



UNIVERSIDADE ZAMBEZE
FACULDADE DE ENGENHARIA AMBIENTAL E DOS RECURSOS NATURAIS

**CARACTERIZAÇÃO DO REGIME DAS QUEIMADAS NO COMPLEXO DE
MARROMEU UTILIZANDO DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO**

Baptista João Boanha



UNIVERSIDADE ZAMBEZE

FACULDADE DE ENGENHARIA AMBIENTAL E DOS RECURSOS NATURAIS

**CARACTERIZAÇÃO DO REGIME DAS QUEIMADAS NO COMPLEXO DE
MARROMEU UTILIZANDO DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO**

Baptista João Boanha

Chimoio 2021



UNIVERSIDADE ZAMBEZE

FACULDADE DE ENGENHARIA AMBIENTAL E DOS RECURSOS NATURAIS

**CARACTERIZAÇÃO DO REGIME DAS QUEIMADAS NO COMPLEXO DE
MARROMEU UTILIZANDO DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO**

Baptista João Boanha

Orientador: Prof. Dr. Eufrásio João Sozinho Nhongo

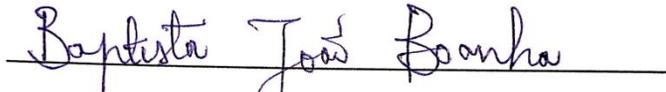
Dissertação submetida à Faculdade de Engenharia Ambiental e dos Recursos Naturais, Universidade Zambeze, Chimoio, em cumprimento dos requisitos para à obtenção do Grau de Mestre em Planeamento Territorial e Conservação da Biodiversidade.

Chimoio 2021

DECLARAÇÃO

Eu, Baptista João Boanha, declaro que esta dissertação é resultado do meu próprio trabalho e está a ser submetida para a obtenção do grau de Mestrado na Universidade Zambeze, Chimoio.

Ela não foi submetida antes para obtenção de nenhum grau ou para avaliação em nenhuma outra Universidade.


(Baptista João Boanha)

Chimoio ao 29 de Junho de 2021

DEDICATÓRIA

Ao meu pai João Buanha Handina

AGRADECIMENTO

Escrever uma dissertação requereu mais do que uma simples ideia, disponibilidade, esforço e dedicação. No entanto, a elaboração desta pesquisa, não seria possível sem a contribuição de várias individualidades. Desde o vislumbre da ideia do tema da pesquisa até ao esboço do último parágrafo, foram varias colaborações que tornaram possível este trabalho.

Em primeiro lugar agradeço a Deus, ao autor das oportunidades, ao inventor da natureza, o primeiro Mestre do Universo, por esta grande oportunidade que me deu em alcançar este grau.

A minha família pelos incentivos, aconselhamento, força e motivação que me deram para nunca desistir de sonhar além fronteiras. Agradeço em especial a minha namorada (Isabel Mucusse) pelo incentivo e partilhou comigo bons e maus momentos e sempre apoiou-me para o sucesso académico, social e profissional.

Ao meu orientador, o Prof. Dr. Eufrásio João Sozinho Nhongo pela disposição, paciência, dedicação e confiança na orientação científica, pelas críticas, sugestões e acréscimos no desenvolvimento deste trabalho.

O meu agradecimento a Universidade Zambeze, Faculdade de Engenharia Ambiental e dos Recursos Naturais pela bolsa de Mestrado concedida.

O meu muito obrigado a todos que directa ou indirectamente colaboraram para a concretização deste trabalho.

“O gênio consiste em 1% de inspiração e 99% de transpiração”

Por Thomas Edison

SUMÁRIO

RESUMO	I
ABSTRACT	II
LISTA DE FIGURAS	III
LISTA DE TABELAS	IV
LISTA DE GRÁFICOS.....	V
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	VI
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Contextualização.....	1
1.2. Relevância.....	3
1.3. Problematização.....	5
1.4. Objectivos	6
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
2.1. Incêndios florestais	7
2.1.1. Regime de queimadas.....	8
2.1.2. Factores que determinam o regime de queimada	12
2.2. Sensoriamento remoto	14
2.2.1. Uso do Sensoriamento remoto para a monitorização do regime de queimada Erro! Marcador não definido.	
2.2.2. Focos de calor e área queimada.....	16
2.2.3. Sensor MODIS: características gerais	17
2.2.4. Anomalias termais (MOD14)	19

2.3.	Zonas húmidas	24
2.4.	Importância de conservação de zona húmidas	25
2.5.	Complexo de Marromeu: história e surgimento	27
2.5.1.	Marromeu como sítio Ramsar	27
2.5.2.	Descrição física e extensão do complexo de Marromeu	28
3.	METODOLOGIAS	30
3.1.	Caracterização da área de estudo	30
3.1.1.	Localização geográfica	30
3.1.2.	Clima e relevo.....	31
3.1.3.	Geomorfologia.....	31
3.1.4.	Hidrografia.....	32
3.1.5.	Vegetação	32
3.2.	Dados	33
3.2.1.	Obtenção e processamento dos dados	34
3.2.2.	Aplicativos computacionais.....	36
3.3.	Metodos	36
3.3.1.	Caracterização do regime das queimadas	36
3.3.2.	Identificação dos factores determinantes a ocorrência dos incêndios florestais.....	38
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
4.1.	Estimativa de focos de calor e extensão da área queimada	41
4.2.	Caracterização do regime das queimadas	44

4.3. Factores determinantes á ocorrência dos incêndios florestais no Complexo de Marromeu	51
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	56
5.1. Conclusões	56
5.2. Recomendações	57
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
7. APÊNDICE	70
Apêndice I: Dados área queimada	70
Apêndice II: Mapas referente aos dados usados no estudo	71

RESUMO

Este trabalho teve como objectivo a caracterização do regime das queimadas (densidade, intensidade, frequência e sazonalidade de queimadas) do Complexo de Marromeu entre os anos de 2002 a 2019. Foram usados dados de sensor MODIS, colecção 6 (MCD14ML, MCD64A1) correspondente a focos de calor e áreas queimadas respectivamente. A densidade das queimadas foi determinada através do estimador de densidade Kernel, a intensidade de queimadas foi determinada usando a energia radiactiva do fogo. A frequência de queimada foi determinada através da combinação de camadas mensais da área queimada e a sazonalidade foi determinada a partir da análise da variação intra anual de áreas e focos de queimadas. Recorreu-se a análise estatística para determinar os factores que influem no regime das queimadas. Os dados foram processados no ambiente do software ArcGis 10.2 e a análise estatística no pacote Statgraphic plus 5.0. Os resultados da pesquisa demonstraram que cerca de 73% de extensão do Complexo de Marromeu queimou entre 2002 á 2019. Em média 24% do Complexo queimou anualmente. O ano de 2008 teve a maior incidência de queimadas com 37% e 2004 com a menor incidência com 6% de extensão. No mesmo período, foram detectados 12.227 focos de calor com uma média de 679 queimadas a base anual. A reserva de Marromeu e as coutadas 10 e 14 registaram maiores extensões de queimadas e com densidades entre moderada a muito alta. A intensidade de queimada foi baixa em quase toda a extensão do Complexo, a frequência anual de queimadas é 3 vezes por ano. O mês de Setembro foi detectado os maiores registos de queimada e Março não teve registos de queimadas. Os factores determinantes ao regime de queimadas são: temperatura, precipitação, proximidade de rodovias, declividade, densidade populacional, cobertura vegetal e altitude. O modelo gerado explica cerca de 80.91% da intensidade de queimadas no Complexo de Marromeu.

Palavras-chave: MODIS, Regime de queimadas; incêndios florestais

ABSTRACT

This work aimed to characterize the fires regime (density, intensity, frequency and seasonality of fires) at the Marromeu Complex between the years 2002 to 2019. The data from MODIS sensor data, collection 6 (MCD14ML, MCD64A1) corresponding to hot spots and burnt areas respectively were used. Statistical analysis to determine the factors that influenced the burning regime were mobilized. The burning density was determined by kernel density estimator, the intensity of burning was determined using fire radiative energy, the frequency of burning was determined by combining monthly layers of burned area and the seasonality was determined by the analysis of inter annual variation of studied area and hot spots. The data were processed with the ArcGis 10.2 software and the statistical analysis was realized using in the Statgraphic plus 5.0 package. The results showed that around 73% of the Marromeu Complex burned between 2002 to 2019. On average, 24% of the Complex burned annually. The year 2008 had the highest incidence of fires with 37% of the complex burned, and 2004 had the lowest incidence with 6% of the complex burned. In the same period, 12227 hot spots were detected with an average of 679 fires on an annual basis. The Marromeu Reserve and the hunting concessions 10 and 14 registered larger extensions of fires and with densities between moderate to very high. The burning intensity was low in almost the entire length of the Complex, the annual frequency of burning is 3 times a year. The month of September recorded the highest of fires and March had no records of fires. The determining factors for the burning regime are: temperature, precipitation, proximity to highways, slope, population density, vegetation cover and altitude. The model generated explains about 80.91% of the intensity of fires in the Marromeu Complex.

Keywords: MODIS, Fire Regime, Forest Fire.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Modelo do triângulo de fogo	7
Figura 2: Janelas subcontinentais do produto MODIS	24
Figura 3: Localizacao geográfica da área de estudo	30
Figura 4: Fluxograma de metodologia da pesquisa	40
Figura 5: Área queimada no Complexo de Marromeu entre 2002 a 2019.....	42
Figura 6: Focos de calor no Complexo de Marromeu entre 2002 a 2019.....	42
Figura 7: Densidade de queimadas	45
Figura 8: Intensidade de queimadas.....	46
Figura 9: Frequência das queimadas.....	47
Figura 10: Distribuição espacial da área queimada de Maio a Dezembro (2002 - 2019).....	50
Figura 11: Mapa de precipitação.....	71
Figura 12: Mapa de temperatura	71
Figura 13: Mapa de altitude	71
Figura 14: Mapa de declividade.....	71
Figura 15: Mapa de densidade populacional	72
Figura 16: Mapa de distancias euclidianas de estradas.....	72
Figura 17: Mapa de exposição solar	72
Figura 18: Mapa de índice de vegetação.....	72
Figura 19: Mapa de humidade relativa	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Parâmetros de regime de queimadas.....	10
Tabela 3: Produtos da superfície terrestre gerados pelo sensor MODIS	19
Tabela 4: Descrição dos dados do produto MCD14ML	21
Tabela 5: Extensão da área do complexo de Marromeu	29
Tabela 6: Dados e respectiva fonte	33
Tabela 7: Área queimada e focos de calor por áreas de conservação	43
Tabela 8: Significância das variáveis e os respectivos coeficientes	51
Tabela 9: Análise de variância.....	52
Tabela 10: Área queimada em períodos mensais.....	70
Tabela 11: Focos de calor em períodos anuais	70

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Climograma do Complexo de Marromeu	31
Gráfico 2: Distribuição temporal de área queimada e focos de calor	44
Gráfico 3: Série anual de áreas queimadas (2002 a 2019).....	48

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AVHRR – *Advanced Very High Resolution Radiometer*

CBD - Convenção da Biodiversidade

CDS - Climate Data Store

CENACARTA - Centro Nacional de Cartografia e Teledeteccção

DEM - Modelo digital de Elevação

DNAC - Direcção Nacional de Áreas de Conservação

DNFFB - Direcção Nacional de Florestas e Fauna Bravia

EOS - Earth Observation System

FTP -Protocolo de Transferência de Arquivos

GPW - Gridded Population of the World

GWR - Geographically Weighted Regression

HDF - Hierarchical Data Format

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

LP-DAAC - Land Processes Distributed Active Archive Center

MADER - Ministério da Agricultura

MFRI - Mean fire return interval

MITADER - Ministério de Terra e Ambiente

MITUR - Ministério do Turismo

MODIS - Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

MQO - Mínimos Quadrados Ordinários

NASA FIRMS - Fire Information for Resource Management System

OLS - Ordinary Least Square

REDD+ - Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal

RNM - Reserva Nacional de Marromeu

SIESIN - Center for International Earth Science Information Network

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SRTM - Shuttle Radar Topographic Mission

TIFF - Tagged Image File Format

UNFCCC - Convenção Quadro das Nações Unidas sobre as mudanças Climáticas

USEPA – United State Environmental Protection Agency

UTM - Universal Transverse Mercator

WWF - Fundo Mundial para a Natureza

1. INTRODUÇÃO

1.1. Contextualização

A preservação da biodiversidade é actualmente considerada uma grande prioridade para toda a comunidade internacional, sendo reconhecida a importância de garantir a utilização sustentável dos recursos naturais para o benefício das gerações actuais e futuras (Fusari *et al.*, 2010).

Segundo Myers (2006), desde o século XX as queimadas são reconhecidas como um principal agente ameaçador para a conservação da biodiversidade. O fogo tem uma influência significativa sobre a conservação biodiversidade bem como as condições atmosféricas, especialmente na relação da dinâmica da vegetação, no ciclo biogeoquímico e na química atmosférica (Merino-de-Miguel *et al.*, 2010). A intensificação das queimadas em vários ecossistemas tem sido atribuída como uma das causas das mudanças climáticas no presente século que por sua vez afecta o ciclo terrestre de carbono (Rogers, *et al.*, 2011).

Segundo Winston, Trollope e Lynne (2011), a África é referido como “continente de fogo” devido a frequência da ocorrência de queimadas, particularmente em biomas de pasto e savanas e estes são ainda reconhecidos como um importante factor ecológico e natural do ambiente nestes tipos de vegetação. Barbosa *et al.*, (1999) constatou que a África Austral é a mais afectada por queimadas, anualmente é estimada uma quantidade anual de queima de biomassa de 704 e 2168Tg e cerca de 75% de área em savanas queima anualmente.

No contexto de Moçambique, as queimadas tem sido bastante frequentes. Segundo Archibald *et al.*, (2010) acima de 50% de extensão tem queimado todos os anos e o país encontra-se entre os três países da África Austral com maiores índices de queimadas.

No complexo de Marromeu, cerca de 26,3% de sua extensão sofre por queimadas anualmente (Rebelo e Beilfuss, 2010). A frequência das queimadas descontroladas tem

causado danos severos para manter a regeneração da floresta (Cunliffe, Mackie e Muller, 2008).

Segundo Beilfuss, Bento e da Silva (2010) a maioria das queimadas no complexo de Marromeu são resultantes das actividades humanas. As principais causas de queimadas incluem: a caça ilegal, a pesca, agricultura, exploração de carvão vegetal, cigarro e assentamentos.

Apesar de possuir um plano de gestão geral que é o documento principal para a conservação e desenvolvimento sustentável do Complexo de Marromeu, planos de maneio específicos e vários instrumentos legais, a situação de queimadas constitui um dos principais problemas do complexo de Marromeu.

Segundo Granemann e Carneiro (2009) a protecção de florestas contra as queimadas deve ser um trabalho contínuo. Assim, a prevenção deve ser praticada constantemente, a fim de evitar que as queimadas atinjam proporções incontroláveis, incorrendo em perdas de vidas e danos patrimoniais.

A disponibilidade de informações detalhadas e actualizadas sobre a localização e extensão das áreas queimadas é fundamental para avaliar perdas económicas e efeitos ecológicos, monitorizar mudanças no uso e cobertura da terra e elaborar modelos atmosféricos e de impactos climáticos devidos à queima de biomassa. (Silva, Rocha e Angelo, 2013). Uma boa descrição do regime de fogo em escala regional é importante, para melhor entender a sua reacção em eventos futuros de queimadas (Archibald et al., 2010).

Neste contexto, a tecnologia de sensoriamento remoto fornece uma perspectiva única para observar e monitorar eventos de queimadas. O Sensoriamento Remoto auxilia na aquisição de informações espaciais e temporais, que possibilitam a caracterização de ocorrências dos focos de calor, além da medição da área e da biomassa efectivamente afectadas pelo fogo, fornecendo importantes contribuições para estudos sobre esta temática, relacionando estes temas ao meio ambiente, e aos seus efeitos ecológicos, climáticos e na química da atmosfera (Alacoque *et al.*, 2019).

Desde o lançamento do primeiro satélite que obtêm informações sobre o fogo tornou-se disponível nos anos de 1990 (Goldammer, 2001), inúmeras pesquisas tem sido desenvolvidas e comprovam com eficácia da utilização de dados de sensoriamento remoto para estudo de regime de queimadas (Barbosa et al., 1999; Morisette et al., 2005; Justice et al., 2006; Archibald et al., 2010; Rebelo e Beilfuss, 2010; Ribeiro et al., 2017; Andreae, 2019).

Este trabalho teve como o objectivo caracterizar o regime temporal e espacial das queimadas no Complexo de Marromeu em períodos mensais de 2002 á 2019. A pesquisa aplica as técnicas de geoprocessamento para analisar a dinâmica de ocorrência de queimadas e avaliar a influência de vários factores sobre o regime de queimada.

1.2. Relevância

O Complexo de Marromeu é uma área rica em biodiversidade, possui diferentes acidentes geográficos, tipos de vegetação e corpos de água que eleva imensamente o seu valor ecológico. Ela alberga uma vasta variedade de população de mamíferos que inclui a mais densa população de Bufalo Africano (*Syncerus caffer*), uma extensa variedade de fauna tais como cão selvagem (*Cuon alpinus*), elefante africano (*Loxodonta*) e a única população de sub-espécie de Zebras de planície de África (*Selloes Zebra*). Inclui ainda a mais vasta concentração de pássaros marinhos em Moçambique, uma diversidade de comunidade de floresta e pastagens e uma extensa costa de Mangal (Beilfuss, Bento e da Silva, 2010).

Devido a grande importância de conservação deste ecossistema, em 2003 o Governo ratificou a convenção Ramsar e designou o Complexo de Marromeu como a primeira Terra Húmida de Importância Internacional no país (Pritchard, Bamba e Rilla, 2009).

A Convenção Ramsar é um tratado intergovernamental com a missão de “conservar e orientar o uso de todas terras húmidas através da cooperação local, regional, nacional e internacional para a contribuição rumo ao alcance do desenvolvimento sustentável por todo mundo” (Ramsar Convention Secretariat, 2016).

Com isso, os objectivos do Complexo de Marromeu estenderam-se não apenas cingir-se na protecção do Búfalo mas também contribuir para a conservação dos ecossistemas, serviços ecossistémicos associados e contribuir para o alcance dos compromissos internacionais associados à proclamação do Complexo de Marromeu como sítio *Ramsar*.

Portanto, apesar de uma vasta importância ecológica, o complexo de Marromeu tem sido o cerne de queimadas e poucas pesquisas retratam da monitorização do regime das queimadas.

Assim a motivação para a condução desta pesquisa no Complexo de Marromeu justifica-se de um lado pela grande incidência de queimadas e do outro lado pela relevância ecológica da área em estudo.

A condução desta pesquisa permitirá analisar a dinâmica de ocorrência de queimadas e identificar os factores que influenciam sobre o regime de queimadas. As pesquisas sobre a monitorização do regime das queimadas constitui uma das actividades de alta prioridade estabelecida no actual plano de manejo da RNM, assim a condução desta pesquisa estaria a atender a um dos objectivos do plano da RNM.

O uso do sensoriamento remoto e de SIGs torna uma ferramenta eficaz para a determinação da rapidez e a eficiência na detecção e monitorização das queimadas. Particularmente, através do uso de dados do sensor MODIS é possível obter os dados de focos de calor em tempo real possibilitando a viabilização do controle do fogo em áreas extensas afectadas pelo fogo ou de difícil acesso, reduzindo os custos operacionais de combate e atenuação dos danos. Este sensor fornece dados de baixo custo e têm as vantagens de uma ampla cobertura espacial e passagens frequentes.

Os dados de focos de calor, extraídos de imagens de satélites, para identificação das áreas de ocorrência de incêndios, contribuirão de forma eficaz na prevenção, na monitorização e combate destes eventos. A partir destes dados poderão ser geradas informações e estimativas sobre localização, período e frequência das queimadas evidenciando sua dinâmica espacial e temporal na área de ocorrência (Silva, Rocha e

Angelo, 2013). Essas actividades são relevantes para melhor direccionar as acções de prevenção e combate de queimadas e por sua vez poderão servir de base para a elaboração de políticas públicas e acções mais adequadas à manutenção da qualidade ambiental. (Lazzarini et al., 2013).

1.3. Problematização

As queimadas descontroladas têm sido uma prática comum no Complexo da Marromeu. O fogo é usado tradicionalmente pela comunidade local para abertura de novas áreas de cultivo, afugentamento de animais ferozes, caça furtiva entre outras actividades (Beilfuss, Bento e da Silva, 2010).

Os impactos advindos das queimadas são desastrosos, estas reduzem a disponibilidade de pasto para os animais, sobretudo durante os períodos de seca prolongada, destroem abrigo e microhabitats, e causam mortalidade directa dos animais de baixa mobilidade. O fogo afecta também a estrutura e a fertilidade dos solos agrícolas contribuindo para a sua degradação, no ambiente biofísico afectam a disponibilidade de serviços dos ecossistemas essenciais para a subsistência das comunidades locais (RNM, 2015).

A pesquisa realizada por Rebelo e Beilfuss (2010) sobre a dinâmica de queimadas entre os anos 2002 e 2007, constata que cerca de 26,3% de extensão do Complexo de Marromeu sofreu por queimadas anualmente e a planície do rio Zambeze foi a área mais extensa queimada no Complexo correspondendo cerca de 51%. Eliminando assim uma vasta área de pasto para os animais, pois em períodos de seca prolongada estes recorrem as zonas de planícies. Observações aéreas realizadas pelo RNM revelaram que mais de 80% da planície de inundação tenha sido queimada durante a segunda metade da estação seca de Setembro a Novembro de 2015 (RNM, 2015).

Nos últimos anos, houve poucas publicações de pesquisas quanto as queimadas no Complexo de Marromeu, não se sabendo ao certo a real situação de queimadas. Nesse contexto, surge a seguinte questão: Qual a situação de ocorrência de queimadas nos

períodos de 2002 á 2019 no Complexo de Marromeu? Até que ponto os factores físicos e antrópicos podem influenciar no regime de queimadas?

1.4. Objectivos

Geral:

Caracterizar o regime das queimadas nos períodos de Janeiro de 2002 á Dezembro de 2019 utilizando dados de sensoriamento remoto no Complexo de Marromeu.

Específicos:

- Estimar os focos de calor e extensão da área queimada entre os anos 2002 á 2019;
- Caracterizar o regime das queimadas (Densidade, intensidade, sazonalidade e frequência) entre os anos de 2002 a 2019;
- Identificar os factores determinantes á ocorrência das queimadas no Complexo de Marromeu.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Incêndios florestais

Nos últimos anos, os incêndios florestais produziram uma grande quantidade de danos ambientais e económicos, com isto, o termo incêndio florestal tem sido referido como um perigo natural (San Miguel-Ayanz et al. 2000).

A União Europeia define incêndio florestal como uma queima que eclode e se espalha na floresta e outras terras arborizadas ou que eclode em outra terra e se espalha para a floresta e outras terras arborizadas. A definição de 'incêndio florestal' exclui a queima prescrita ou controlada, geralmente com o objectivo de reduzir ou eliminar a quantidade de combustível acumulado no solo (European Commission 2003).

As causas dos incêndios florestais podem ser agrupadas em duas categorias pré-discográficas (criando condições favoráveis para incêndios) e imediatas (levando à ignição). Ambos podem ser naturais ou feitos pelo homem; e eles se reforçam (Purwanto, 2012).

Nos incêndios florestais, o processo de combustão envolve a química, física e mecânica dos fluidos. Quando o fogo queima a biomassa, o processo é afectado por uma infinidade de factores, incluindo turbulência sem nenhuma uniformidade. Existem três causas principais de incêndios florestais: Combustíveis, Calor e Oxigénio. A inter-relação entre esses três factores é frequentemente chamada de "Triângulo do Fogo" (Gabban et al., 2008). A ilustração do modelo do triângulo de fogo é apresentada na figura 1.



Figura 1: Modelo do triângulo de fogo
Fonte: Gabban et al., 2008

Sem um dos factores do triângulo de fogo, os incêndios não ocorrerão. O fogo precisa de combustíveis secos, o suficiente calor e oxigénio suficiente para iniciar a combustão. Este conceito também orienta as maneiras de interromper os incêndios. Separando ou minimizando um deles os incêndios não vão começar. Minimizar os combustíveis é feito fazendo 'quebra-fogo' para separar das fontes de calor. O calor é minimizado por manter a humidade (por exemplo, por rega). O oxigénio é minimizado por cobrir o fogo com o solo (Purwanto, 2012).

2.1.1. Regime de queimadas

As queimadas são um processo integral no sistema terrestre que varia no espaço e no tempo. O regime de queimadas captura essa variabilidade por meio de vários parâmetros que descrevem quais, quantos, quando e onde ocorrem as queimadas. Quantificando o regime de queimadas exige evidências sobre queimadas anteriores, que pode ser obtido a partir de imagens de satélite ou outras fontes (Oddi, 2018).

O regime de queimadas tornou-se, nas últimas décadas, um conceito chave em muitos domínios científicos. Apesar de sua ampla utilização, o conceito ainda carece de uma definição clara e amplamente estabelecida. Muitos acreditam que isso foi discutido pela primeira vez em um famoso relatório sobre gestão de parques nacionais nos Estados Unidos, e que pode ser simplesmente definido como uma selecção de alguns parâmetros mensuráveis que resumem os padrões de ocorrência de incêndios em uma área. Essa visão foi perpetuada de forma acrítica na comunidade científica nas últimas décadas (Krebs et al., 2010).

Segundo Weston (2010), o regime de queimadas pode ser conceituado como o padrão geral no qual as queimadas ocorrem naturalmente em um determinado ecossistema por um longo período de tempo.

Hoje, o conceito de regime de queimadas refere-se a uma colecção de diversos parâmetros relacionadas as queimadas que podem ser organizados, montados e usados de diferentes maneiras de acordo com as necessidades dos usuários (Krebs et al., 2010).

Os cientistas classificam os regimes de queimadas usando uma combinação de factores, que incluem a frequência, intensidade, tamanho, padrão, estação e gravidade das queimadas. Os incêndios individuais podem variar muito em gravidade, e os efeitos e riscos específicos causados por um incêndio dependerão das especificidades de seu regime de incêndio. Um sistema de classificação foi desenvolvido para descrever as características de um determinado incêndio, determinar qual tipo de regime de incêndio é comum em um determinado ecossistema e comparar os incêndios actuais com as normas históricas (Weston, 2010).

Abaixo é descrita a definição, unidade e comentários para os parâmetros mais comuns do regime de queimadas (Oddi, 2018):

Tabela 1: Parâmetros de regime de queimadas

Parâmetro	Definição	Unidade	Comentários
Frequência	Número de ocorrências de queimadas durante um certo tempo período	Número de incêndios / tempo	Às vezes usado como sinônimo de "ocorrência de incêndio" Pode ser avaliado em um ponto (frequência de ponto) ou dentro de um área especificada (frequência de área) Componente da dimensão temporal do regime de queimadas e ligada a probabilidade de ocorrência de incêndio Responde a perguntas como "quantos incêndios ocorrem?"
Intervalo de retorno	Intervalo de tempo entre queimadas durante um certo período de tempo	Tempo (por exemplo, ano)	Às vezes expresso como "intervalo entre disparos" Inverso da frequência de incêndio e, portanto, pode ser avaliada em um ponto (intervalo de pontos) ou dentro de uma área especificada (intervalo de área ou intervalo composto quando é obtido das cronologias da cicatriz de queimadas) Componente do dimensão temporal do regime de queimadas e ligada a probabilidade de ocorrência de incêndio Responde a perguntas como "com que frequência os incêndios ocorrem?"
Sazonalidade	Distribuição mensal do número de queimadas ocorrências dentro de uma dada área e durante período de tempo	----	Descreve quando os incêndios ocorrem no ano e pode ser pensado como a variabilidade inter-anual da frequência do incêndio; pico de frequência de incêndio ocorre quando alto carga de combustível, condição de combustível seco e ignições coincide componente da dimensão temporal de regime de queimadas e, portanto, está ligado à probabilidade de ocorrência de incêndio Responde a perguntas como "quando incêndios ocorrem? "
Tamanho de queimadas	Tamanho da área de incêndio dentro de uma determinada área e durante um certo Período de tempo	Área (por exemplo, ha)	Os incêndios são avaliados como eventos individuais. Tamanho está relacionado à extensão dos incêndios e, portanto, é um componente do dimensão espacial do regime de queimadas Responde a perguntas como "quão grandes são os incêndios?"
Área queimada	Área afectada pelas queimadas por unidade de tempo dentro de um dada área e durante um certo período de tempo	Área / tempo (por exemplo, há/ano)	Os incêndios ocorridos durante um período de tempo são agrupados. avaliação é sobre a área total afectada pelas queimadas por unidade de tempo; componente da dimensão espacial das queimadas. Se a unidade de tempo for o ano, o parâmetro é geralmente conhecida como "área anual queimada". Se anual área queimada é relativizada ao tamanho da área de juros ("percentagem da área anual queimada"), então é recíproco do ciclo de queimadas Responde a perguntas como "Quanta superfície é afectada por incêndios?"
Distribuição de tamanho	Probabilidade distribuição de tamanhos individuais de queimadas em uma	----	Na maioria das paisagens, uma pequena proporção das grandes queimadas na ponta da distribuição de tamanho são responsáveis pela maior parte da área queimada; leis de potência e negativas distribuições exponenciais são usadas; componente do dimensão espacial do regime de queimadas. Responde a perguntas como "quão comuns são os incêndios maiores do que um

	determinada área e durante um certo tempo período		determinado Tamanho?"
Ciclo	Tempo necessário para um área equivalente ao tamanho de uma área de interesse para queimar	Tempo (por exemplo, ano)	Também é expresso como "rotação de queimadas". Alguns sites podem ser queimado mais de uma vez dentro da área. Depende no intervalo de queimadas e tamanho de queimadas e, portanto, integra a dimensão espacial e temporal do incêndio, se a área de o interesse é reduzido em um ponto, o ciclo de queimadas é equivalente a disparar intervalo. Responde a perguntas como "Quanto tempo leva para ficar completamente queimado?"
Intensidade	Energia liberada numa queima por unidade de espaço	Potência / longitude (por exemplo, kW/m)	Na prática, a intensidade de queimadas é comumente medida como a taxa de transferência de calor por unidade de comprimento da queimada. É um parâmetro relacionado à magnitude das queimadas
Severidade	Impactos das queimadas sobre o ecossistema	Depende do medida de gravidade que é usado	Também expresso como gravidade da queimada e referem-se aos impactos do fogo na capacidade de regeneração da cobertura vegetal, bem como recuperação de hidrologia e processos pedológicos pós-queimadas. Diferentes medições no ecossistema são usadas para avaliação da severidade do fogo, incluindo perda de biomassa vegetal, mortalidade e altura de queima das copas das árvores. Parâmetros relacionadas à magnitude da queimada; responde a pergunta: "Os ecossistemas são danificados por queimadas?"
Tipo	Classificação de queimadas de acordo com o combustível consumido e distribuição do padrão das queimadas	-----	As queimadas são classificadas como queimada de coroa, queimada de superfície e queimada de solo. Queimadas de coroa queimam nas copas das formas de vida dominantes, e o termo mais útil aplicado a arbustos ou florestas; queimada na superfície se espalham no solo e queima a biomassa herbácea viva, folhas mortas e material do caule. Queimada no solo queimam o solo matéria orgânica (lixo e palha, raízes de árvores, turfa, sujeira, etc.) e são caracterizados por uma combustão brilhante. As queimadas terrestres são às vezes erroneamente referidas como queimada de superfície responde perguntas como "que compartimentos dos ecossistemas são queimados?"

Fonte: Oddi, 2018

2.1.2. Factores que determinam o regime de queimada

O regime de queimadas é controlado por um conjunto de factores que interagem em escalas diferentes e modificada por actividades humanas. Para entender como as queimadas operam em ecossistemas e como o homem interagem com eles, os padrões de queimadas devem estar ligados ao contexto socioecológico em que ocorrem, implicando emir além da mera quantificação do parâmetros e expandindo a definição do regime de queimadas para uma visão mais integral (Oddi, 2018).

Vários factores determinam o regime do queimadas como o tipo de biomassa, condições climáticas de incêndio, topografia e actividade humana. A importância relativa desses factores para explicar a probabilidade de queima é crítica em termos de gestão de risco de incêndio (Ye et al. 2017).

2.1.2.1. Factores climáticos

Os incêndios florestais são fortemente afectados pela variação climática. A temperatura, humidade relativa, vento e precipitação possuem efeitos característicos sobre o comportamento das queimadas, influenciando decisivamente na ignição e a propagação dos incêndios (Batista, 2000).

A temperatura dos materiais combustíveis e do ar presente em um ecossistema florestal são factores importantíssimos que podem influenciar no início e na dispersão de uma queimada. A temperatura tem influência directa para o material combustível se inflamar, mas não controla directamente o comportamento do fogo (Joaquim, 2015).

Segundo Soares (1985), as temperaturas menores que 12,8 °C não representam perigo para ocorrência de inflamabilidade, entre 12,8 °C e 21,1 °C apresenta início de perigo, entre 21,2°C e 29,4°C é considerado perigoso e temperaturas maiores que 29,4°C apresentam extremo perigo para o grau de inflamabilidade.

Segundo Leonardo et al. (2011), a ocorrência dos incêndios está sempre associada a períodos sem chuva. Existe uma forte correlação entre ocorrência de grandes incêndios e prolongados períodos de seca.

A precipitação é factor essencial na redução do potencial de ocorrência e propagação dos incêndios, chegando até mesmo a zero, dependendo da quantidade de água precipitada. (Soares 2003).

A precipitação faz com que as partículas em suspensão acabem por interferir no processo de formação de núcleos de condensação, alterando os mecanismos de formação de nuvens e o albedo, conseqüentemente alterando os processos radioactivos e os ciclos hidrológicos nas regiões tropicais (Yamasoe et al., 2000).

A humidade relativa actua directamente na combustão dos combustíveis florestais possibilitando uma constante troca de humidade entre o material depositado e a atmosfera (Joaquim, 2015). A radiação solar tende a aumentar a temperatura ambiente, com isso há um decréscimo na humidade relativa do ar. Com isso, o cenário climático do período de maior ganho energético (12 às 16 h) implica uma maior insolação, maior temperatura e menor humidade relativa do ar, favorecendo às ocorrências de incêndios (Tamiozzo & Torres 2006).

2.1.2.2. Factores topográficos

A morfologia do terreno influencia a continuidade da distribuição do combustível e a dispersão do fogo dentro do ecossistema. A frequência de queimadas aumenta com a redução da elevação e com o aumento da inclinação do terreno e o grau de exposição em relação ao sol (Russell-Smith *et al.*, 2007).

Segundo Batista (2000), a topografia influi directamente no clima. Considerando que o comportamento do fogo é em grande medida o resultado do clima e do combustível disponíveis, o autor refere que a topografia influi indirectamente no comportamento do fogo e directamente pela proximidade das chamas quanto maior a inclinação, tornando as

informações sobre o relevo fundamentais no estabelecimento de planos de prevenção e controle.

A declividade do terreno acelera a velocidade de propagação do fogo quando ocorre de baixo para cima devido à subida do ar quente durante a queimada. Assim, locais mais inclinados apresentam maior risco de ocorrência de queimadas (Jaiswal, *et al.*, 2002).

2.1.2.3. Factor humano

Segundo Novillo (2008), o acesso humano as paisagens naturais, proximidade as áreas urbanas e as estradas estão fortemente associados aos padrões espaciais dos focos de incêndio.

Actualmente as actividades humanas são responsáveis a nível mundial pela maioria dos focos de ignição relativamente aos incêndios florestais (Veja-Garcia et al. 2009). A importância da acção humana nestes fenómenos distingue os incêndios florestais das restantes catástrofes naturais (PMDFCI, 2014).

2.1.3. Uso do sensoriamento remoto para a monitorização do regime de queimadas

O sensoriamento remoto é definido como o conjunto de processos e técnicas usados para medir propriedades electromagnéticas de uma superfície, ou de um objecto, sem que haja contacto entre o objecto e o equipamento sensor (Câmara *et al.*, 1996).

Segundo Rocha (2004), a importância do Sensoriamento Remoto para o Geoprocessamento está no fato que este consiste actualmente na maior fonte de dados para os SIGs sobretudo em países carentes de informações cartográficas actualizadas.

Na visão do mesmo autor, existem diversos sistemas de aquisição de dados em sensoriamento remoto, estes são: as câmaras fotográficas aerotransportadas, satélites, sistemas de radar, sonar ou micro ondas. Em sensoriamento remoto, um satélite é um engenho colocado em órbita pelo homem de forma a obter informações da superfície da Terra ou de outro astro (Rosa, 2013).

Os satélites para estudos dos recursos terrestres fazem parte do grupo de satélites de sensoriamento remoto. Os principais satélites utilizados para obtenção de imagens são: LANDSAT, CBERS, GOES, METEOSAT, NOAA, SPOT, GEOEYE, IKONOS, QUICK BIRD, TERRA, missão espacial SRTM e o AQUA, destinados ao levantamento, mapeamento e monitorização da superfície terrestre e oceânicos (Pamboukian, 2015).

Actualmente muitas corporações e governos nacionais operam o sistema de sensoriamento remoto em satélites designados especificamente para a observação da superfície terrestre para colectar informações sobre a floresta, corpos de água, uso do solo, cidade e minerais (Campbell e Wynee, 2011).

Para monitorar as queimadas, imagens de satélite obtidas por sensores remotos a bordo de satélites, podem detectar focos de calor com boa resolução espacial e temporal (Granemann & Carneiro, 2009).

Diversos satélites têm sido usados para monitorização de queimadas a partir de imagens de satélites. São utilizadas imagens de satélites que possuem sensores ópticos que operam na faixa termal, com destaque para as imagens AVHRR dos satélites polares NOAA, as imagens MODIS dos satélites polares TERRA e AQUA, as imagens dos satélites geostacionários GOES, e MSG. Os produtos são gerados diariamente e distribuídos gratuitamente pela internet, fornecendo as coordenadas geográficas dos focos de calor, alertas de ocorrência de fogo em áreas de interesse especial, risco de queimadas e estimativas de concentração de fumaça (Rosa, 2013).

Segundo Cardoso e Faria (2010) os dados de sensoriamento remoto tem sido amplamente utilizados em estudos voltados para a conservação e manejo dos recursos naturais.

A análise da dinâmica de queimada empregando dados de sensoriamento remoto foi comprovada com sucesso em várias pesquisas através da utilização de imagens colectadas por diversos tipos de satélites de observação do sistema terra (Schroeder, 2008).

Pesquisas recentes comprovam a utilização de dados do sensor MODIS para a monitorização e deteção de focos de calor. Justice et al., 2006 apresenta um algoritmo para a determinação de focos activos baseando-se na colecção 5 de dados MODIS. Rebelo e Beilfuss, 2010 usaram dados MODIS para analisar o regime temporal, espacial, fonte das queimadas e suas principais causas no Complexo de Marromeu. Andere, et al., 2015 usam dados multitemporais do sensor MODIS para mapear a ocorrência de queimadas na Amazónia. Giglio, et al., 2018a apresentam um algoritmo para a determinação de área queimada baseando em colecção 6 dos dados de MODIS.

Barbosa, Stroppiana e Grtgoire (1999), analisaram a distribuição temporal e espacial das queimadas em África num horizonte temporal de 8 anos (1981 a 1983 e 1985 a 1999), onde determinaram a área, biomassa queimada e emissão atmosférica de CO₂, CO, CH₄, NOx e PM. Matavali e Chaves (2014) analisaram a distribuição espacial dos focos de queimadas derivados dos produtos MOD14 e MYD14 no Estado de Minas Gerais entre 2009 e 2012. Zhu, et al. (2017) determinaram os factores de correcção de área queimada derivados do produto MODIS MCD64A1, tendo como referencia a imagem de satélite de alta resolução para seis tipos de vegetação em 12 regiões da Eurásia boreal. Os autores usaram produtos dos satélites Landsat 7 ETM+, RapidEye, WorldView-2 e GeoEye-1 (com resolução: 30, 5, 2 e 2 m respectivamente) para validar os dados Modis MCD64A1 e determinar os factores de correcção tendo em conta os satélites referenciados acima. Nhongo, Fontana e Guasselli (2019) analisaram os padrões espaciais de densidade de focos de calor (acumulado mensal) na Reserva do Niassa, entre os anos 2001 a 2015 a partir de dados MODIS.

2.1.4. Focos de calor e área queimada

Os focos de calor detectados por satélites correspondem a localização espacial de um ponto de calor (temperatura acima de 60° C) detectado através da análise das imagens de diferentes satélites (das séries NOAA, GOES, AQUA, TERRA e METEOSAT, NPP) que rastreiam a superfície terrestre diariamente ou várias vezes por dia (Município Verde azul, 2017).

A relação foco x queimada não é directa nas imagens de satélite. Um foco indica a existência de fogo em um elemento de resolução da imagem (pixel), que varia de 1 km x 1 km até 5 km x 4 km. Neste pixel pode haver uma ou várias queimadas distintas que a indicação será de um único foco. E se uma queimada for muito extensa, ela será detectada em alguns pixéis vizinhos, ou seja, vários focos estarão associados a uma única grande queimada (INPE, 2007).

A quantidade de focos de calor não pode ser utilizada para quantificar a área queimada, pois um foco activo se refere a um horário específico de passagem do satélite e, portanto está sujeita a perda de informações em períodos do dia sem a ocorrência de passagens do satélite; além disso, a energia de uma combustão de poucas dezenas de m² costuma saturar todo o pixel com um ou mais km² (Libonati, et al., 2013).

Apesar dos focos activos não serem indicadores da extensão de área queimada, estes podem ser utilizados como indicativo da localização espacial e temporal destas áreas (Libonati, et al., 2013).

2.1.5. Sensor MODIS: características gerais

O sensor Espectrorradiômetro de Imagem de Resolução Moderada (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer – MODIS) é realizado nas missões Terra e Aqua e, faz cobertura em quatro aquisições diárias (duas diurnas, duas nocturnas) e estão disponíveis para a maior parte da Terra. O sensor MODIS foi projectado para fornecer medições precisas de várias variáveis críticas. Aproximadamente, 40 produtos padrão são produzidos a partir dos dados MODIS (Chuvieco e Justice, 2008).

O sensor MODIS foi lançado na plataforma Terra em Dezembro de 1999, como parte do Sistema de Observação da Terra da NASA (EOS) (Justice et al., 1998). O satélite Terra começou a colectar dados em Fevereiro de 2000, com o horário de passagem às 10:30 h da manhã no equador, e o satélite Aqua foi lançado em Maio de 2002, com o horário de passagem às 13:30 h (Parkinson, 2001; Justice et al., 2002).

O sensor MODIS foi projectado para satisfazer os requerimentos de três campos de estudos: atmosfera, oceano e terra, com bandas de resolução espectral e espacial seleccionadas para estes objectivos e uma cobertura global quase diária (a cada 1-2 dias) (Justice et al., 2002a)

Este sensor veio preencher a lacuna na disponibilidade efectiva de dados de sensoriamento remoto de alta resolução temporal e espectral e moderada resolução espacial, voltados para aplicações sobre a dinâmica terrestre. O MODIS é um espectroradiômetro imageador de resolução espacial variada, entre 250m e 1000m, composto por um scanner óptico de varredura transversal e um conjunto de elementos detectores individuais capaz de fornecer imagens da superfície terrestre em 36 bandas espectrais distribuídas entre o visível e o infravermelho termal (0.4-14.3mm) (MundoGEO, 2012).

O sensor mede a radiação visível e infravermelha, em diferentes resoluções. As primeiras duas bandas cobrem o vermelho e o infravermelho próximo e têm tamanho de pixel de 250 m. Os próximos cinco têm resolução espacial de 500 m e cobrem várias bandas no visível, próximo infravermelho e bandas espectrais SWIR. Os outros canais espectrais têm uma resolução de 1 km e incluem vários no visível, próximo infravermelho, infravermelho médio e infravermelho térmico para estudos de oceanos e atmosferas e monitorização térmica do solo. O campo de visão cobre 2300 km e fornece diariamente observações mundiais (Chuvieco e Justice, 2008).

Observa-se que, as primeiras 19 bandas são da porção reflectida do espectro eletromagnético (405 nm a 2155 nm), onde as bandas 1-7 são direccionadas para as aplicações terrestres; as bandas 8-16 para as observações oceânicas; e as bandas 17-19 para as medições atmosféricas. As bandas 20-36, a excepção da banda 26 (1360-1390 nm), cobrem a porção termal do espectro (3660nm a 14385nm) (Barker et al., 1992).

A tabela 3 ilustra os produtos da superfície terrestre gerados pelo sensor MODIS.

Tabela 2: Produtos da superfície terrestre gerados pelo sensor MODIS

Balanco de energia e radiação da superfície	Produto de vegetação	Produto de cobertura e uso de terra
MOD 09 Reflectância de superfície	MOD 13 Índice de vegetação	MOD 12 Cobertura da terra e mudança na cobertura da terra
MOD 11 Temperatura da superfície da Terra e emissividade	MOD 15 Índice de área foliar (LAI) e FPAR	MOD 14 Anomalias termais, fogo e queima de biomassa
MOD 43 BRDF/Albedo	MOD 17 Fotossíntese líquida e produtividade primária	MOD 44 Conversão da cobertura vegeta
MOD 10 e 29 Cobertura de neve e extensão de gelo na superfície do mar		

Fonte: Justice et al., 2002

2.1.6. Anómalas termais (MOD14)

Os produtos MODIS anómalas termais/Fogo (MOD14) são derivados principalmente das radiâncias MODIS de 4 e 11 micrómetros. A estratégia de detecção de incêndio é baseada na detecção absoluta de um incêndio (quando a força do fogo é suficiente para detectar) e na detecção em relação ao seu fundo (para levar em conta a variabilidade da temperatura da superfície e reflexão da luz solar). Numerosos testes são empregados para rejeitar fontes típicas de falsos alarmes, como o brilho do sol ou uma linha costeira sem máscara (Giglio e Justice, 2015).

O MOD 14 tem como característica a inclusão da ocorrência do fogo e o cálculo da energia de cada foco, além de composições de 8 e 30 dias de suas ocorrências. Os produtos incluem vários parâmetros relacionados ao fogo, incluindo a ocorrência de anomalias termais, agrupadas em diferentes classes de temperatura, baseada na energia emitida pela queimada (Justice et al., 2002a).

MOD14 são dados de faixa de nível 2 fornecidos diariamente com resolução de 1 quilómetro. Os conjuntos de dados científicos neste produto incluem máscara de fogo, garantia de qualidade de algoritmo, potência radioactiva e várias camadas que descrevem atributos de pixel de fogo (Giglio e Justice, 2015).

O instrumento Terra MODIS adquire dados duas vezes ao dia (10:30 e PM), assim como o Aqua MODIS (13:30 e AM). Essas quatro observações diárias do fogo MODIS servem para promover a monitorização global do processo do fogo e seus efeitos nos ecossistemas, na atmosfera e no clima (Giglio e Justice, 2015).

A estratégia de identificação de focos de incêndios é baseada tanto na detecção absoluta, quanto na relativa das queimadas. Quando ocorrer à possibilidade de falsas detecções para observações durante o dia, o pixel é rejeitado se os canais de resolução de 250 m apresentarem uma reflectância acima de 30% ou se encontrar dentro de uma posição de 40° da reflexão especular (Justice et al., 2002a).

2.1.6.1. Produto de fogo activo (MCD14ML)

O produto mensal de localização de incêndio contém a localização geográfica, data e algumas informações adicionais para cada pixel de incêndio detectado pelos sensores Terra e Aqua MODIS mensalmente. Para conveniência, o produto é distribuído como um arquivo ASCII (texto) simples com campos de largura fixa delimitados com espaços. A primeira linha de cada arquivo é um cabeçalho contendo os nomes abreviados de cada coluna (campo) (Giglio et al., 2018a).

Os nomes dos arquivos do produto MCD14ML têm a estrutura MCD14ML.YYYYMM.CCC.VV.txt, onde YYYY é o ano do produto de quatro dígitos, MM é o mês do calendário de dois dígitos, CCC denota o Colecção e VV denota a versão do produto (actualmente “02”) dentro de uma Colecção (Giglio et al., 2018a).

Uma breve descrição de cada coluna de dados é fornecida na Tabela 4.

Tabela 3: Descrição dos dados do produto MCD14ML

Coluna	Nome	Unidades	Descrição
1	YYYYMMDD	-	UTC ano (YYYY), mês (MM), e dia (DD).
2	HHMM	-	UTC hora (HH) e minuto (MM).
3	Sat	-	Satélite: Terra (T) ou Aqua (A).
4	Lat	Graus	Latitude no centro do pixel de fogo.
5	Lon	Graus	Longitude no centro do pixel de fogo.
6	T21	K	Banda 21 temperatura de brilho do pixel de fogo.
7	T31	K	Banda 31 temperatura de brilho do pixel de fogo.
8	Sample	-	Número da amostra (intervalo 0-1353).
9	FRP	MW	Potência radioactiva do fogo (FRP).
10	Conf	%	Confiança de detecção (intervalo 0-100).
11	Type	-	Tipo de ponto de acesso inferido: 0 = presumível incêndio na vegetação 1 = vulcão activo 2 = outra fonte de terra estática 3 = no mar
12	Dn	-	Sinalizador do algoritmo dia / noite: dia (D) ou noite (N).

Fonte: Giglio et al., 2018a

Todos os produtos MODIS estão disponíveis para os usuários gratuitamente por meio de várias fontes diferentes. A maioria dos produtos terrestres MODIS podem ser obtidos a partir dos Processos Fundiários Distribuídos Activos Centro de Arquivo (LP-DAAC) (Giglio et al., 2018a).

2.1.6.2. Produto de área queimada (MCD64A1)

A abordagem de mapeamento de área queimada MCD64 emprega imagens MODIS de 500m juntamente com MODIS de 1 km observações activas de fogo. O algoritmo híbrido aplica limites dinâmicos a imagens compostas geradas de um índice de vegetação sensível a queima (VI) derivado dos canais infravermelhos de onda curta MODIS 5 e 7, e uma medida de textura temporal (Giglio et al., 2018).

O algoritmo de mapeamento finalmente identifica a data de queima, para o dia mais próximo, para células de grade de 500 m dentro do bloco MODIS individual sendo processado. A data é codificada em uma única camada de dados de saída produto como o dia ordinal do ano civil no qual a queimada (intervalo 1-366), com um valor de 0 para

pixéis de terra não queimados e valores especiais adicionais reservados para dados perdidos e células de grade de água. A saída produto contém camadas de dados adicionais para fins de diagnóstico e para facilitar a propagação da incerteza em produtos a jusante derivados de mapas de áreas queimadas, como estimativas de emissões (Giglio et al., 2018).

Três versões diferentes do produto MODIS para área queimada estão disponíveis (Boschetti et al., 2015):

- ✓ O produto oficial MCD64A1 no formato HDF-EOS, que está disponível como parte do conjunto MODIS de produtos terrestres globais;
- ✓ A versão mensal reprojada do TIFF disponibilizada pela Universidade de Maryland;
- ✓ A versão mensal do Shapefile reprojada, disponibilizada pela Universidade de Maryland.

O Produto de Área Queimada MCD64A1 é um produto mensal de 500 m em grade de Nível 3 contendo por pixel gravação e informações de qualidade e metadados em nível de bloco (Giglio et al., 2018).

Todos os produtos MODIS estão disponíveis gratuitamente. O produto de área queimada MODIS está disponível para pedido do Land Processes Distributed Active Archive Center (LP-DAAC) Além disso, dois servidores ftp¹ são mantido pela Universidade de Maryland, principalmente para auxiliar usuários de ciências que precisam fazer download regularmente grandes volumes de dados (Giglio et al., 2018a).

O produto de área queimada MODIS está disponível para download em formato HDF, GeoTIFF ou Shapefile do servidor ftp ba1 da Universidade de Maryland. Que pode ser conectado usando as seguintes informações:

¹ FTP significa Protocolo de Transferência de Arquivos. É um protocolo usado para transferir arquivos entre um host / servidor FTP e um computador cliente FTP na Internet. O FTP é mais comumente usado para baixar e enviar arquivos para FTP servidores (Chung, 2014). Existem vários softwares que podem ser usados no servidor FTP, um desde mais populares é o SmartFTP. Ele permite a transferência de arquivos entre um computador local e um servidor na Internet. Com as características básicas e avançadas, o SmartFTP também oferece a garantia de transferências confiáveis e eficientes que a tornam uma ferramenta poderosa (SmartFTP, 2020).

- ✓ Servidor: ba1.geog.umd.edu
- ✓ Nome de login: user
- ✓ Senha: burnt_data

O sistema de arquivos no servidor ftp é estruturado para organizar os dados hierarquicamente por janela e depois por ano. Todos os dados para a mesma janela do mesmo ano estão localizados (para arquivos GeoTIFF e shapefiles, respectivamente) nos diretórios / C6 / TIF / WinXX / YYYY / e / C6 / SHP / WinXX / YYYY /, onde XX é o número da janela e YYYY é o ano. Por exemplo, o diretório / C6 / TIF / Win01 / 2001 contém todos os arquivos GeoTIFF do ano 2001 para a janela 01 (Giglio et al., 2018).

Os arquivos GeoTIFF seguem uma convenção de nomenclatura semelhante ao produto oficial MCD64A1. No entanto, como os arquivos GeoTIFF são obtidos por mosaico, reamostragem e reprojeção de vários blocos do produto original, o tempo de processamento não está disponível. Exemplos de nomes de arquivo de produto são (Giglio et al., 2018):

- ✓ MCD64monthly.A2000306.Win01.006.burndate.tif
- ✓ MCD64monthly.A2000306.Win01.006.ba_qa.tif

Onde

- ✓ MCD64monthly = versão mensal GeoTIFF de MCD64A1
- ✓ A2000306 = ano e data juliana do dia de início do mês coberto pelo produto: 306 é a data juliana data de 1º de Novembro, portanto 2.000306 significa que o produto cobre Novembro de 2.000.
- ✓ Win01 = extensão espacial: o arquivo cobre a janela 1 (Alasca). Para o caso de África Austral cobre a janela 13
- ✓ 006 = identificador de versão (colecção 6)
- ✓ burndate / ba qa = conteúdo do arquivo: ao contrário do HDF, os arquivos GeoTIFF contêm uma única camada. Actualmente, duas camadas do produto original estão disponíveis como arquivos GeoTIFF: “Burn Date” e “QA”.

Os arquivos GeoTIFF são reprojetoados na projecção Plate-Carree e cobrem um conjunto de janelas subcontinentais. Uma tabela contendo as regiões cobertas e as coordenadas delimitadoras das 24 janelas (Giglio et al., 2018). Conforme apresentado na figura 2.

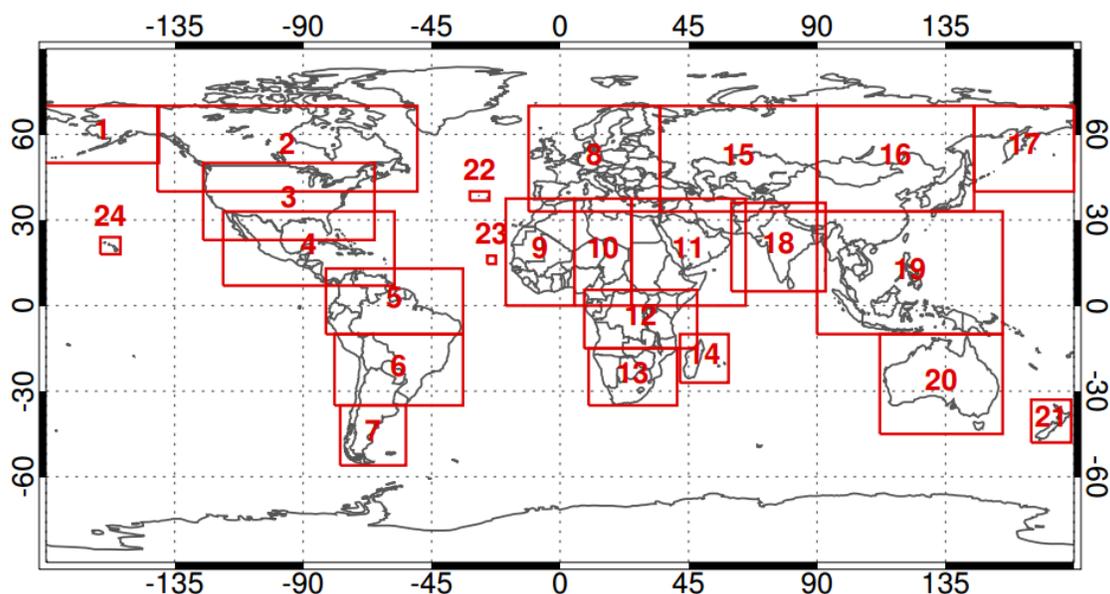


Figura 2: Janelas subcontinentais do produto MODIS

Fonte: Giglio et al., 2018

2.2. Zonas húmidas

Zonas húmidas são áreas onde a terra seca se encontra ou é saturada pela água e é caracterizada pela presença de espécies de plantas e animais que dependem da água. Como parte integrante do ciclo da água, zonas húmidas estão entre os ecossistemas mais produtivos da Terra e são de grande economia e importância cultural para a humanidade (Shine e Klemm, 1999).

As zonas húmidas podem suportar tanto espécies aquáticas bem como terrestres. A presença prolongada de água cria condições que favorecem o crescimento plantas especialmente adaptadas (hidrófitas) e promover o desenvolvimento de solos característicos de áreas húmidas (USEPA, 2017).

A Convenção de Ramsar adota uma abordagem ampla na determinação das zonas húmidas que estão sob sua jurisdição. Sob o texto da Convenção as zonas húmidas são definidas como (Ramsar Convention Secretariat, 2016):

“Áreas de pântano, turfeiras, água natural ou artificial, permanente ou temporário, com água estática ou em fluxo, doce ou salgada, incluindo áreas de água marinha cuja profundidade na maré baixa não exceda seis metros”.

As áreas húmidas incluem uma grande variedade de habitats do interior, como pântanos, turfeiras, várzeas, rios e lagos e áreas costeiras como marismas, mangais, alagamentos entre marés e camas de ervas marinhas e também recifes de coral e outras áreas marinhas a menos de seis metros na maré baixa, além de áreas húmidas criadas pelo homem, como barragens, reservatórios, arrozais e lagoas e lagoas para tratamento de águas residuais (Ramsar Convention Secretariat, 2016a).

Em geral, cinco tipos principais de áreas húmidas são reconhecidos (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2013):

- Marinho (zonas húmidas costeiras, incluindo lagoas costeiras, costas rochosas e recifes de coral);
- Estuários (incluindo deltas, pântanos de mares, zonas planas sobre lamas e mangais);
- Lagos (zonas húmidas associadas a lagos);
- Ribeiros (zonas húmidas adjacentes a rios e córregos); e
- Pântanos (ou seja, pantanosos – zonas húmidas inundadas ou em lamaçal).

2.3. Importância de conservação de zonas húmidas

Segundo a USEPA (2007), as zonas húmidas já foram consideradas locais inúteis e de transmissão de doenças (como malária e febre amarela) que deveriam ser evitados e apenas recentemente que começou-se a entender as muitas funções ecológicas associadas zonas húmidas e seu significado para a sociedade.

Segundo Shine e Klemm (1999), as zonas húmidas têm sido famosamente descritas como "supermercados biológicos" por causa das extensas teias alimentares e rica biodiversidade que sustentam e como "rins da paisagem" por causa das funções que desempenham nos ciclos hidrológico e químico. Além desses produtos e serviços ecológicos, as áreas húmidas podem ser apreciadas por sua mera existência.

As zonas húmidas estão entre os ambientes mais produtivos do mundo. Elas constituem uma fonte da diversidade biológica, fornecendo água e produtividade primária sobre a qual inúmeras espécies de plantas e animais dependem para a sobrevivência. Eles suportam altas concentrações de espécies de aves, mamíferos, répteis, anfíbios, peixes e invertebrados. Zonas húmidas também são importantes armazéns de material genético das plantas (Ramsar Convention Secretariat, 2016).

Agora percebe-se que zonas húmidas oferecem muitos benefícios à sociedade como habitats de peixes e animais selvagens, melhora a qualidade água natural, armazenamento de enchentes, protecção contra erosão costeira, oportunidades para recreação e apreciação estética e produtos naturais para nosso uso com pouco ou nenhum custo. Protegendo as zonas húmidas podem, por sua vez, proteger nossa saúde e segurança, reduzindo os danos causados pelas inundações e preservando qualidade da água (USEPA, 2007).

As zonas húmidas fornecem os mecanismos para o equilíbrio hidrológico. Dependendo das condições específicas de um pantanal individual, ele pode executar uma ou mais das seguintes funções (Shine e Klemm (1999):

- Armazenamento do abastecimento de água e regulação do lençol freático através de manutenção e recarga superficial e subterrâneo;
- Descarga de água subterrânea, através da qual o excesso de água é drenado para rios e córregos e evita o alagamento da terra;
- Armazenamento de águas de inundação em planícies de inundação, que permitem que as águas excedentes se espalhem durante níveis máximos e, assim, reduzir a força das inundações. Retenção de áreas húmidas para inundações;

- A vegetação da zona húmida contribui de maneira importante para o controle da erosão. Zonas húmidas costeiras, particularmente mangais, contribuem para a estabilização da costa e protecção contra tempestades, custo mais baixo do que as estruturas projectadas, ajudando a dissipar a força e diminuir o dano de acção do vento e das ondas em muitas áreas baixas;
- Áreas húmidas naturais e artificiais podem ter funções de purificação de água. Estes são de grande importância, já que sedimentos orgânicos (esgoto) e tóxicos (químicos e industriais) são geralmente os principais poluentes em muitas bacias hidrográficas;
- As zonas húmidas também contribuem para a estabilidade climática. No nível micro-climático, a evaporação localizada de áreas húmidas ou transpiração de florestas húmidas mantém os níveis locais de humidade e precipitação.

2.4. Complexo de Marromeu: história e surgimento

2.4.1. Marromeu como sítio Ramsar

Moçambique aderiu à Convenção de Ramsar em 3 de Agosto de 2004. A Convenção entrou em vigor para Moçambique (após o intervalo de quatro meses necessário) em 4 de Dezembro 2004 (Pritchard, Bamba e Rilla, 2009).

O país conta agora com duas zonas húmidas de importância ecológica internacional. A primeira terra húmida foi o Complexo de Marromeu designado pela Resolução 45/03 de 2003 de 05 de Novembro e a segunda é o Lago Niassa que foi adicionado a lista de terras húmidas de importância internacional através da Resolução no. 67/2011 de 21 de Dezembro (IUCN, 2019).

Com a ratificação da convenção Ramsar o país designou o Complexo de Marromeu como a primeira terra húmida de importância internacional. Em honra da proclamação do Complexo de Marromeu como sitio Ramsar, o Fundo Mundial para a Natureza (WWF) proclamou o Complexo Marromeu como um “presente da terra”- o maior prémio do WWF por conquistas de conservação globalmente significativas. Outras famosas zonas húmidas de importância internacional na África Austral incluem o Delta do Okavango no Botsuana,

o Kafue Flats e pântanos de Bangweulu na Zâmbia e Santa Lúcia na África do Sul (Beilfuss, Bento e Silva, 2010).

2.4.2. Descrição física e extensão do complexo de Marromeu

O Complexo Marromeu possui uma extensão de 11.270 km² e cobre a metade da zona sul do Delta do Zambeze e adjacente as Escarpa de Cheringoma. O Complexo Marromeu inclui a Reserva de Búfalos de Marromeu (Reserva Especial de Marromeu) e duas reservas florestais (Reserva Floresta de Nhampacué e de Inhamitanga), quatro concessões de caça (Coutada Oficial nº 10, 11, 12 e 14), largas terras agrícolas comerciais (nomeadamente as propriedades de Sena, a maior plantação de açúcar em Moçambique), e terras da comunidade. O Complexo Marromeu se conecta ao rio Zambeze através de uma série de canais de distribuição através da depressão Salone (Beilfuss et al., 2010).

A zona Ramsar compreende ainda uma área tampão ao lado sudoeste e uma outra zona a nordeste. Inclui uma variedade de ecossistemas que variam de Savana inundada costeira da Zambézia, dunas costeiras, pastagens, pântanos de água doce, dambos associados à floresta de miombo, mangais e ervas marinhas (Pritchard, Bamba e Rilla, 2009).

Segundo Beilfuss, Bento e Silva (2010), existem discrepâncias muito substanciais entre as áreas oficialmente publicadas para as diferentes unidades de Marromeu e as áreas calculadas em seu estudo usando coordenadas GPS e mapas digitais (GIS “Arquivos de forma”) fornecidos pelo DNFFB. Segundo o autor, essas diferenças não afectam substancialmente a área total destinada à conservação no Complexo Marromeu (a área de conservação real é 2,8% menor que a área oficialmente reconhecida), mas têm implicações significativas para o tamanho relativo dessas unidades em comparação um para o outro.

Assim, a extensão da área do complexo de Marromeu é apresentada por Beilfuss, Bento e Silva (2010), na tabela 5.

Tabela 4: Extensão da área do complexo de Marromeu

Complexo de Marromeu	Área Oficial (km²)	Área Calculada (Km²)	Diferença (%)
Áreas de Conservação			
Reserva Especial de Marromeu	1561	1538	-1,5
Coutada no. 10	2008	2603	29,6
Coutada no. 11	1928	1842	-4,5
Coutada no. 12	2963	2721	-8,2
Coutada no. 14	1353	972	-28,2
Reserva Florestal de Nhampacue	170	26	-84,7
Reserva Florestal de Inhamitanga	16	19	18,8
Sub-total	9999	9721	-2,8
Áreas de Desenvolvimento			
Propriedades da Açucareira de Sena	--	168	
Terras comunitárias	--	1383	
Sub-total	--	1551	
Total	---	11272	

Fonte: Beilfuss, Bento e Silva (2010).

Nota: Dimensões das diferentes unidades terrestres que compõem o Complexo Marromeu. A “área oficial” é conforme Boletim Oficial n°. 5, de 4 de Fevereiro de 1961, que instituiu a Coutada 10 e o Boletim Oficial n°. 16, de 19 de Abril de 1969, que instituiu as Coutada 11, 12 e 14. A área calculada foi derivada da análise de mapas digitais fornecidos pelo DNFFB, utilizando o software ArcGIS 9.0.

3. METODOLOGIA

3.1. Caracterização da área de estudo

3.1.1. Localização geográfica

O complexo de Marromeu possui uma extensão de 11272Km², estende-se desde sul do delta de Zambeze e adjacente ao escarpa de Cheringoma. O Complexo de Marromeu inclui a Reserva de Búfalo de Marromeu (Reserva Especial de Marromeu), duas Reservas Florestais (Reserva Florestal de *Nhampacué* e de *Inhamitanga*), quatro concessões de caça (Coutada Oficial no 10, 11, 12 e 14), as plantações de açúcar da açucareira de Sena e as terras comunitárias (Rebello e Beilfuss, 2010).

O complexo está situado entre as coordenadas 17° 59' 37" e 19° 20' 32" de latitude sul e 34° 59' 23" e 36° 11' 26" de longitude este, conforme o mapa da figura 3.

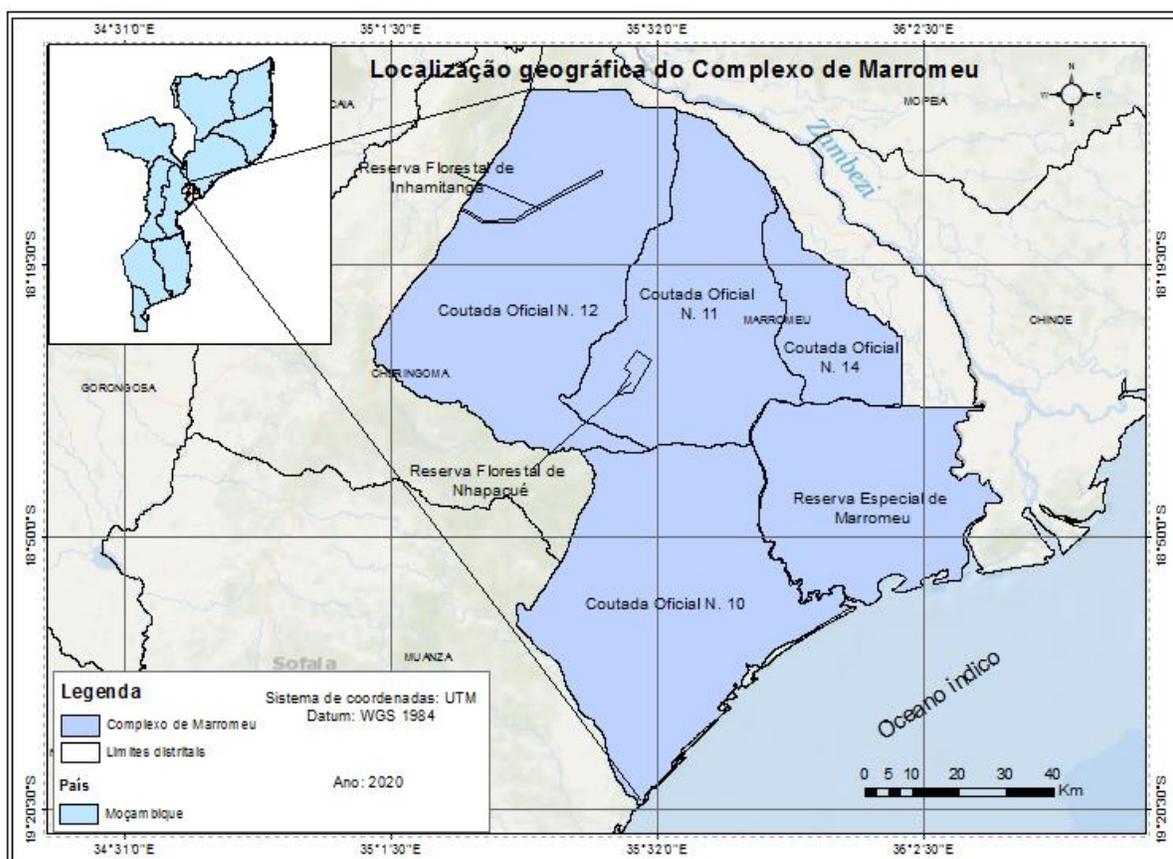


Figura 3: Localização geográfica da área de estudo

3.1.2. Clima e relevo

O Complexo Marromeu tem um clima fortemente sazonal, com a maioria das chuvas ocorrendo durante os meses de Novembro a Abril. A precipitação média anual é mais elevada na costa, que recebe cerca de 1400 mm anuais, e diminui gradualmente para o interior até cerca de 1000 mm na crista da escarpa. A temperatura é muito quente ao longo do ano, apresenta temperaturas baixas ao longo da costa e aumenta gradualmente em direcção ao sudoeste. A zona nordeste do Complexo apresenta as temperaturas mais elevadas em relação a todo complexo de Marromeu.

O gráfico 1 apresenta o climograma do Complexo de Marromeu.

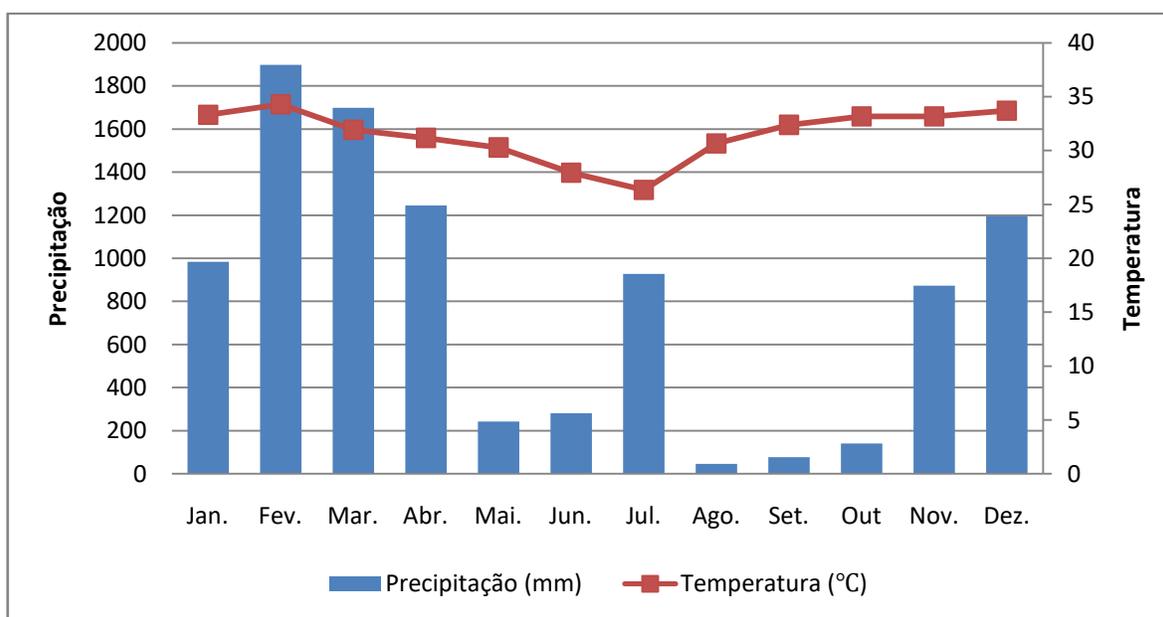


Gráfico 1: Climograma do Complexo de Marromeu

Fonte: Worldclim, 2018

O complexo está situado no terminal a jusante do grande rio Zambeze, onde divide o GrandeVale do Rift africano e desagua no Oceano Índico. Esta paisagem apresenta duas formas de relevo principais: o Delta do Zambeze e a escarpa de Cheringoma.

3.1.3. Geomorfologia

O Delta do Zambeze é uma vasta planície aluvial plana, formada a partir da acumulação de sedimentos transportados a jusante do Rio Zambeze ao longo de milhares de

anos. De seu ápice perto de Chupanga, o delta forma um grande triângulo com a costa do Oceano Índico, com aproximadamente 12000 km² de área, dos quais 40% (4744 km²) ocorre dentro do Complexo de Marromeu.

3.1.4. Hidrografia

O Rio Zambeze é o principal afluente do Complexo de Marromeu, este entra na região do delta e se divide em uma rede de canais distributivos que ramificam pela planície aluvial. Entre Chupanga e Marromeu, cinco canais distributivos drenam através da depressão Salone para a Reserva de Marromeu. Sobre 25 km a jusante de Marromeu, o rio Mucelo ramifica-se do tronco principal do Zambeze e segue um caminho plano e sinuoso ao longo do limite leste da Reserva de Marromeu até a costa.

Mais distante a jusante, a cerca de 30 km da costa, o canal principal do Zambeze divide-se em dois, com o rio Chinde a o norte e o tronco principal do Rio Zambeze ao sul. O rio Chinde ramifica-se para o leste até a costa porto de Chinde. O canal principal do Zambeze divide-se pela última vez a cerca de 15 km do mar, abrindo-se para duas grandes saídas costeiras, a foz do Zambeze (Boca do Zambeze) e o menor rio Catarina.

3.1.5. Vegetação e fauna

Os acidentes geográficos do Complexo de Marromeu possuem dois grandes biomas de vegetação: Tropical e Subtropical húmido. A Floresta de folha larga (representada pela ecorregião do Mosaico da Floresta Costeira de Zanzibar - Inhambane do Sul) e pradarias e savanas inundadas (ecorregião de savanas inundadas costeiras da Zambeziana) (Beilfuss, Bento e Da Silva, 2010).

O mosaico da floresta costeira inclui floresta húmidas perene, floresta de miombo, floresta aberta mista e floresta de pântano perene. O mosaico costeiro de savana inundada inclui palmeiras de várzea e savanas de acácia, pastagens sazonalmente e permanentemente inundadas, papiros e pântanos de Phragmites em áreas de planícies do delta, com mangais, pastagens salinas, pântanos de espinhos e pântanos salgados perto da costa (Beilfuss, Bento e da Silva, 2010).

A fauna do Complexo de Marromeu é constituído por diversos e abundantes populações de grandes mamíferos, incluindo uma das mais densas concentrações de búfalo africano, espécies variadas como cão selvagem, elefantes e única população de Zebra “Sellous” inclui ainda a maior concentração de aves aquáticas em Moçambique.

3.2. Dados

Para a condução desta pesquisa foram usados dados do sensor MOD14 referente a anómalas termais (MCD14ML, MCD64A1) correspondente a focos de calor e áreas queimadas obtidos a base mensal considerando um período de 2002 á 2019.

Foram também usados dados climáticos (temperatura, humidade relativa, precipitação), Topográficos (declividade, altitude e exposição solar), Socioeconómicos (densidade populacional e vias de acesso) e tipos de vegetação.

A tabela 6 apresenta em síntese todos os dados usados no estudo, o formato e a respectiva fonte.

Tabela 5: Dados e respectiva fonte

Dados	Formato	Fonte de dados
Limites do Complexo de Marromeu	Vectorial	CENACARTA
MODIS MCD14ML	Vectorial	NASA FIRMS https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov
MODIS MCD64A1	Raster	University of Maryland ba1.geog.umd.edu
Densidade populacional	Raster	SIESIN http://sedac.ciesin.columbia.edu/gpw
Modelo digital de Elevação (DEM)	Raster	Earthexplorer https://earthexplorer.usgs.gov/
Cobertura vegetal (NDVI)	Raster	NASA/USGS https://glovis.usgs.gov/
Dados climáticos (Temperatura e Precipitação)	Raster	Worldclim https://www.worldclim.org/data/monthlywth.html
Dados climáticos (humidade relativa)	Raster	Climate Data Store https://cds.climate.copernicus.eu/

3.2.1. Obtenção e processamento dos dados

i. Precipitação e temperatura

Os dados de precipitação e temperatura foram obtidos gratuitamente da plataforma Worldclim. Os dados são disponibilizados no formato EsriGrid (raster a uma resolução espacial de 1Km) a nível global. Os valores da temperatura e precipitação são apresentados em ($^{\circ}\text{C} \cdot 10$) e (mm/10) respectivamente, implicando que para determinar a temperatura real, os valores foram divididos por 10 e para a precipitação real foram multiplicados por 10. Os dados de precipitação e temperatura estão agregados em valores médios, mínimos e máximos mensais. (Hijmans *et al.*, 2005).

Os dados foram assim recortados para a área de estudo e extraídas a temperatura e precipitação médias mensais e anuais, posteriormente gerados os mapas de temperatura e precipitação (vide apêndice II, figura 11 e 12).

ii. Altitude e declividade

A altitude e declividade foram obtidas através da interpretação do modelo digital de elevação DEM (*Digital Elevation Model*), obtida gratuitamente pelo site Earthexplorer através do endereço www.earthexplorer.usgs.gov.

Os dados DEM no formato raster possuem uma resolução espacial de 30m, assim, com auxílio das ferramentas do *arctoolbox* do ArcGis 10.2 foram gerados os mapas de altitude e declividade (vide apêndice II, figura 13 e 14).

iii. Densidade populacional

A densidade populacional foi usada para investigar o efeito da presença da população sobre a intensidade de queimadas. Foram usados dados de CIESIN (2018) referente dados de População Mundial (*Gridded Population of the World – GPWv-4.11*) com resolução espacial de 1 Km. Estes dados estão disponíveis gratuitamente para qualquer usuário no formato raster. O mapa da densidade populacional é apresentado no apêndice II, figura 15.

O GPW, Densidade Populacional, consiste em estimativas da densidade populacional humana (número de pessoas por quilómetro quadrado) com base em contagens consistentes com censos nacionais e registos populacionais, para os anos de 2000, 2005, 2010, 2015 e 2020. Os arquivos de dados foram produzidos como rasters globais com resolução de 30 segundos de arco (~ 1 km no equador). (SIESIN, 2018).

iv. Vias de acesso

As vias de acesso foram obtidas junto a dados da CENACARTA no formato vectorial. As vias de acesso (representadas por estradas), foram rasterizadas e determinados os buffers zones empregando a ferramenta espacial *euclidean distance* do ArcGis (vide apêndice II, figura 16).

v. Exposição solar

A exposição solar foi gerado a partir da imagem DEM e através da ferramenta do ArcGis *solar radiation* foi gerado o mapa de exposição solar (vide apêndice II, figura 17).

vi. Cobertura vegetal

A cobertura vegetal foi determinada por meio do índice de vegetação (NDVI), foi usada uma serie temporal dos dados Landsat, produto com 30m de resolução espacial e 16 dias de resolução temporal. Os dados foram obtidos do site da USGS (<https://glovis.usgs.gov/>) e foram seleccionadas apenas imagens de Janeiro de 2002 a Dezembro de 2019. Foi determinada a média mensal de NDVI para o período do estudo. Para o download das imagens foi usado o (path:166 e 167 e row: 073) (vide apêndice II, figura 18).

vii. Humidade relativa

Os dados da humidade relativa foram obtidos através da plataforma *Climate Data Store – CDS*² do ERA5. Os dados foram obtidos em períodos mensais de Janeiro de 2002 á Dezembro de 2019. Estes dados são disponibilizados gratuitamente para qualquer usuário

² ERA5-Land monthly averaged data from 1981 to present

no formato Grib. Os dados foram recortadas para a área de interesse do estudo e posteriormente os pixels foram reamostrados para 500m de resolução espacial empregando o método *nearest neighbor* do Arcgis 10.2 (vide apêndice II, figura 19).

3.2.2. Aplicativos computacionais

A pesquisa usou o software ArcGis 10.2. para o processamento dos produtos de satélites e o software SmartFTP 9 para o download dos dados MODIS referente ao produto de área queimada. Foi também usado o pacote Statgraphics plus 5 para a análise estatística e Excel 2007 para plotagem gráfica.

3.3. Métodos

3.3.1. Caracterização do regime das queimadas

3.3.1.1. Densidade e intensidade de queimada

Para a determinação da densidade e intensidade das queimadas foram usados dados de focos activos do produto MCD14ML extraídos para o período de estudo.

Para a análise espacial da densidade das queimadas, foi empregue o estimador de densidade Kernel. Este interpolador é comumente utilizado para gerar uma superfície contínua através de dados amostrais, geralmente pontos (Zucchini, 2003; Węglarczyk, 2018). Este processo possibilitou uma visão qualitativa dos focos de calor na região de interesse. Para tal, foi empregue a extensão *Spatial analyst* do ArcGIS 10.2 para modelar o padrão de distribuição espacial mensal dos focos de calor através de dados MCD14ML.

Assim o estimador Kernel foi definido pela seguinte expressão matemática.

Equação 1

$$\hat{f}(x) = \frac{1}{nh^2} * \sum_{i=1}^n k \left\{ \frac{x-x_i}{h} \right\}$$

Foi usado o método da distância média aleatória (*mean random distance - RDmean*), para o cálculo da largura da banda

$$RDmean = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{A}{N}}$$

Onde:

- n corresponde ao número de pontos observados;
- h - largura de banda;
- k - função Kernel;
- x - localização do ponto estimado;
- xi - Representa a cada ponto observado em relação aos pontos estimados;
- A - tamanho total da área de estudo e
- N - número total de Focos de calor.

A intensidade de queimadas foi determinada usando a Energia Radioactiva do Fogo (FRP) que vem junto com o produto mensal de focos de queimadas MCD14ML. A intensidade de queimada é representada nestes dados como Fire Radiative Power -FRP e é medida em Quilowatts por metro quadrado (KW/m²) e representa a taxa de libertação de energia radiante por um fogo sobre todos os comprimentos de onda e ângulos (NWCG, 2012).

3.3.1.2. Frequência de queimada e sazonalidade

A frequência de queimada foi determinada através da combinação de camadas mensais da área queimada produzido pelos dados MCD64A1, onde foi calculada através do número de vezes que um pixel é queimado durante o período estabelecido na pesquisa conforme a metodologia descrita nas pesquisas de Archibald et al., 2010 e Ribeiro et al., 2017.

Este processo foi determinado através da transformação em números binários (0 e 1, 0= área não queimada, 1 =queimada) e posterior combinação de todas imagens anuais para se obter o número de vezes que cada pixel foi afectado pelo foco, isto foi feito no raster calculator no ArcGIS (Maúnze, 2016; Ribeiro et al., 2017).

Foi feita a análise da variação intra anual de áreas e focos de queimadas para caracterizar a sazonalidade das queimadas. Assim a média de área queimada e focos de calor de cada mês foi extraído para cada período da estação do ano para permitir a análise da dinâmica de fogo durante as estações dos anos.

3.3.2. Identificação dos factores determinantes a ocorrência dos incêndios florestais.

Nesta secção foram analisados os diversos factores que determinam a ocorrência dos incêndios florestais, para compreender até que ponto os mesmos influem na ocorrência de queimadas.

Foram seleccionados para tal as seguintes variáveis: cobertura vegetal (NDVI), a precipitação, temperatura, declividade, altitude e densidade populacional, humidade relativa, vias de acesso e intensidade das queimadas.

Para avaliar os factores que influenciam a ocorrência de queimadas, recorreu-se a análise estatística. Todas as variáveis consideradas no estudo foram combinadas empregando a ferramenta *Combine* do Arcgis 10.2 e foram exportadas para o ambiente do pacote estatístico *Statgraphics plus 5.0* para possibilitar a análise estatística.

Foi construído o modelo de regressão empregando a ferramenta (multiple regression). Este modelo tem sido amplamente utilizado em pesquisas que buscam modelos para a explicação do comportamento de variáveis resposta (variáveis dependentes) a partir de um conjunto de variáveis explicativas (variáveis independentes), por apresentar resultados bastantes satisfatórios para dados espaciais (Freitas, 2011; Cangela, 2014; Maúnze, 2016).

O modelo de regressão é dado pela seguinte expressão:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_n x_n + \varepsilon_i$$

Onde:

y_i - Variável dependente

x_i – Variável independente

β_i - Parâmetro

ε_i - Erro

Para a execução do modelo de regressão foi considerada como variável dependente a intensidade das queimadas e variáveis independentes: a cobertura vegetal (NDVI), a precipitação, temperatura, declividade, altitude, exposição solar, rodovias, humidade relativa e densidade populacional.

A estatística t auxiliou para determinar o melhor ajustamento do modelo. As variáveis que apresentaram significância acima de 0,05 foram excluídas do modelo.

Para avaliar o desempenho do modelo, foi analisado o valor de R^2 e foi considerado o melhor ajustamento, o modelo que apresentou significância abaixo de 0,05 e R^2 alto. Os coeficientes do modelo foram analisados quanto a sua influência negativa ou positiva sobre a variável dependente.

Foi feito o teste ANOVA para determinar a variância das médias nas variáveis e a estatística *Durbin-Watson* para analisar a correlação dos resíduos. Neste teste, o melhor ajustamento foi determinado caso o p-value seja menor que 0,01.

Em síntese, a metodologia utilizada nesta pesquisa pode-se resumida no fluxograma da figura 4.

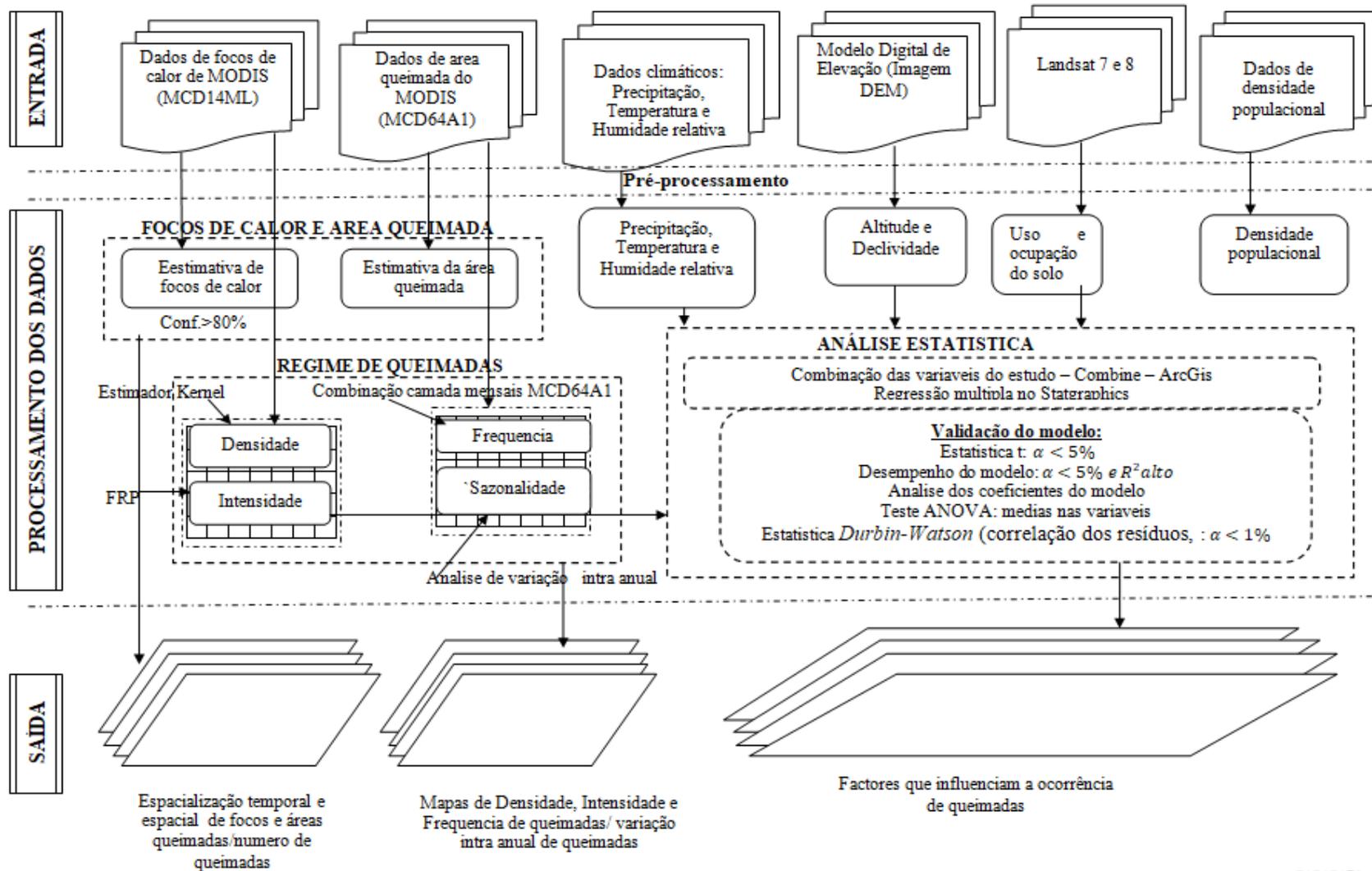


Figura 4: Fluxograma de metodologia da pesquisa

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Estimativa de focos de calor e extensão da área queimada

As queimadas no Complexo de Marromeu ocorrem na estação seca com maior actividade de fogo entre Setembro a Dezembro. Da análise feita pelos dados MODIS nos períodos compreendidos entre Janeiro de 2002 á Dezembro de 2019, a pesquisa constatou que cerca de 73% da extensão do Complexo de Marromeu sofreu por queimada e em média 24% da extensão do complexo de Marromeu queima anualmente. A menor e maior incidência de queimada foram registados nos anos 2004 com 6% e 2008 com 37% da extensão queimada respectivamente.

No período considerado no estudo, foram detectados cerca de 12.227 focos de calor, com média de 679 incêndios a base anual.

Rebelo e Beilfuss (2010), analisando a serie temporal, a extensão e a fonte das queimadas no complexo de Marromeu em períodos de 2002 a 2007 e constataram que o ano de 2006 apresentou maior extensão com 36,1% e a menor ocorreu em 2004 com 9,4%, apresentando reduções substanciais em outros anos.

Silva e Bento (2006) constataram que a ocorrência de queimadas no Complexo de Marromeu é influenciada pelo crescimento acelerado de gramíneas na ausência de vida selvagem e pela falta de inundações anuais regulares. Esses factores se combinam para produzir condições extremamente inflamáveis na planície de inundação durante a estação seca.

Os mapas das figuras 5 e 6 apresentam a área queimada e os focos de calor durante o período de análise do estudo.

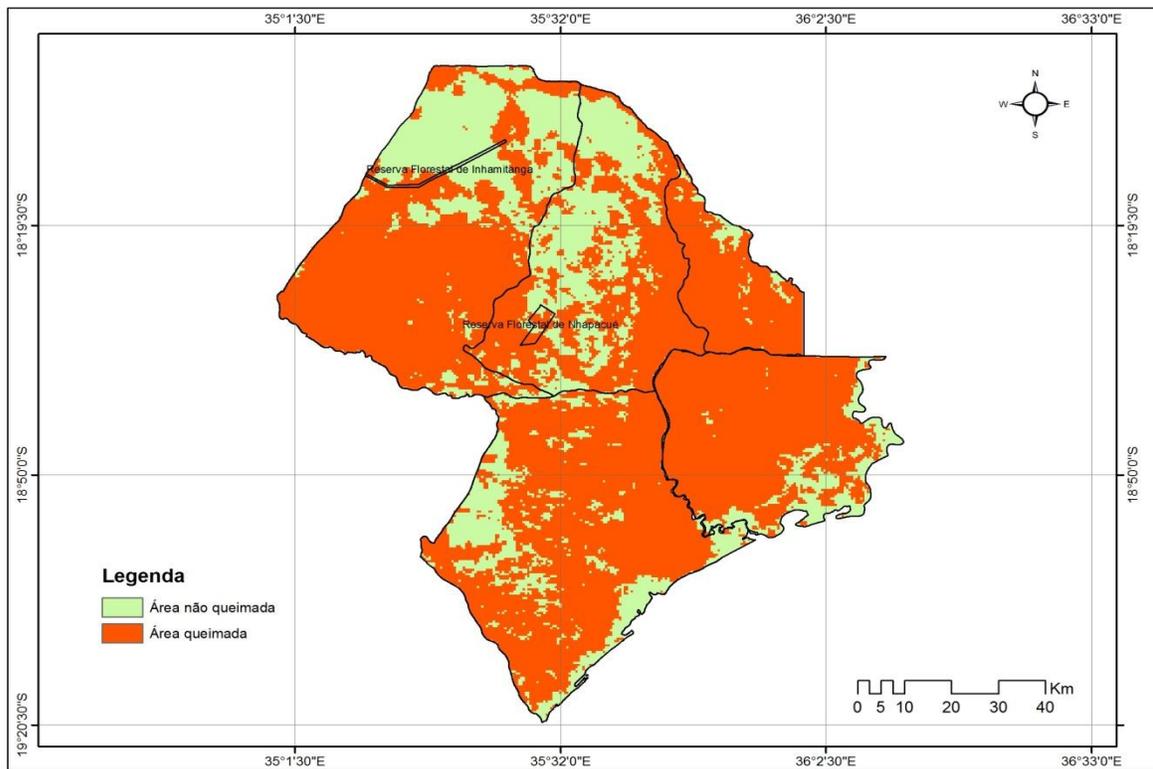


Figura 5: Área queimada no Complexo de Marromeu entre 2002 a 2019

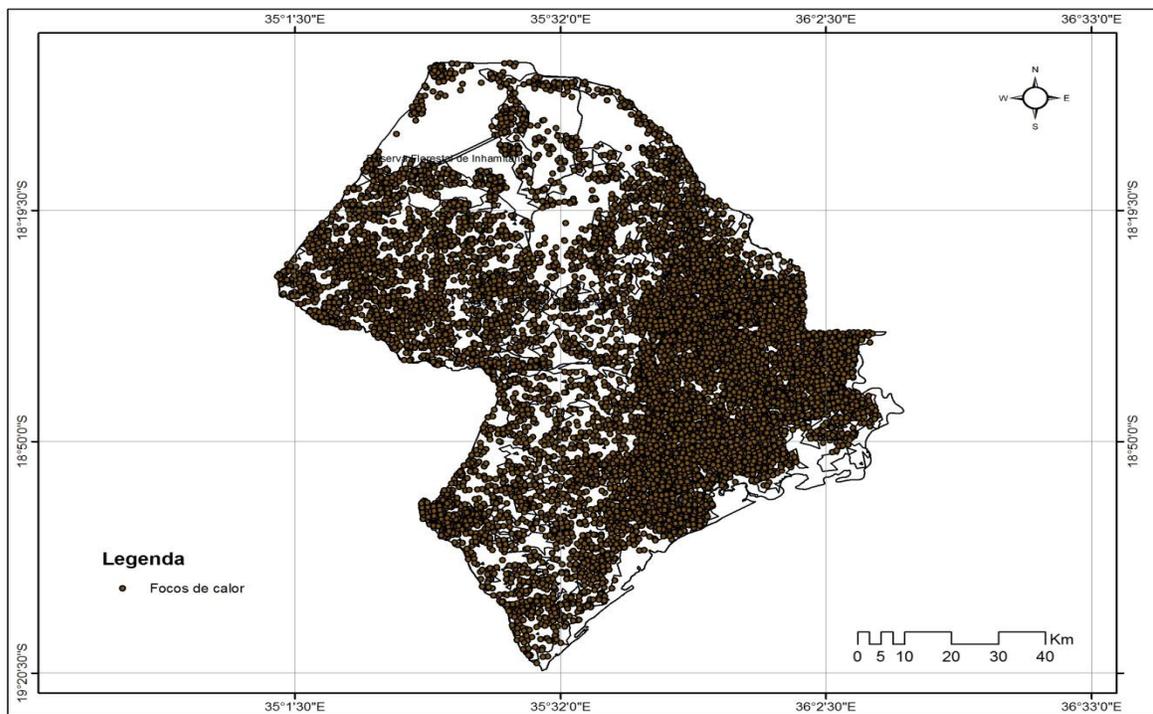


Figura 6: Focos de calor no Complexo de Marromeu entre 2002 a 2019

Conforme os mapas das figuras 5 e 6, nota-se que a zona leste com maior destaque na Coutada 14 foi área mais afectada por queimada com cerca de 91% de sua extensão, seguido da reserva de Marromeu (85%), coutada 10 (78%), Reserva floresta de Nhampacue (71%), coutada 12 (68%), Coutada 11 (58%) e Reserva florestal de Inhaminga com 46% de sua extensão durante o período do estudo. Por outro lado, a zona sudeste com maior destaque na Reserva de Marromeu apresentou o maior número de focos de calor com 3.385 e a Reserva florestal de Inhaminga com 16 focos de calor durante o período de análise do estudo. Os resultados são apresentados na tabela 7.

Tabela 6: Área queimada e focos de calor por áreas de conservação

	Área queimada (Km²)	Área não queimada (Km²)	Focos de calor	% de área queimada
Coutada oficial no 14	646,25	60,25	1394	91%
Reserva de Marromeu	1459,25	264,25	3383	85%
Coutada oficial no 10	2251,5	628,5	3305	78%
Reserva floresta de Nhampacue	20,5	8,25	18	71%
Coutada oficial no 12	2048,5	956,5	2378	68%
Coutada oficial no 11	1184,5	852,5	1733	58%
Reserva florestal de Inhamitanga	8,5	10	16	46%
Total	7619	2780,25	12227

Esta intensificação de queimadas na coutada 14 e Reserva Especial de Marromeu pode estar associado ao tipo de vegetação dominante ser maioritariamente de arbustos e vegetação herbácea, associado a densidade populacional acentuado. Em período chuvoso estas área ficam relativamente inundadas, porém em estação de seca as queimadas tendem a intensificarem.

Segundo Frost (1999), os incêndios na estação seca na África austral tem um efeito

maior nas plantas lenhosas do que nas gramíneas, com incêndios no final da estação seca sempre mais destrutivos do que aqueles que ocorrem no início da estação seca.

Apesar que a legislação Moçambicana não permita que em áreas de conservação (Especialmente Reservas Nacionais) possa ter assentamentos humanos (Decreto n.º 89/2017), no Complexo de Marromeu esta prática tem sido verificada (Beilfuss, Bento e da Silva, 2010), justificando-se assim a ocorrência de grandes incêndios na estação seca.

A análise da extensão de área queimada e focos de calor descrita acima é representada no gráfico 2 onde ilustra a distribuição temporal de área queimada e focos de calor nos períodos de 2002 á 2019.

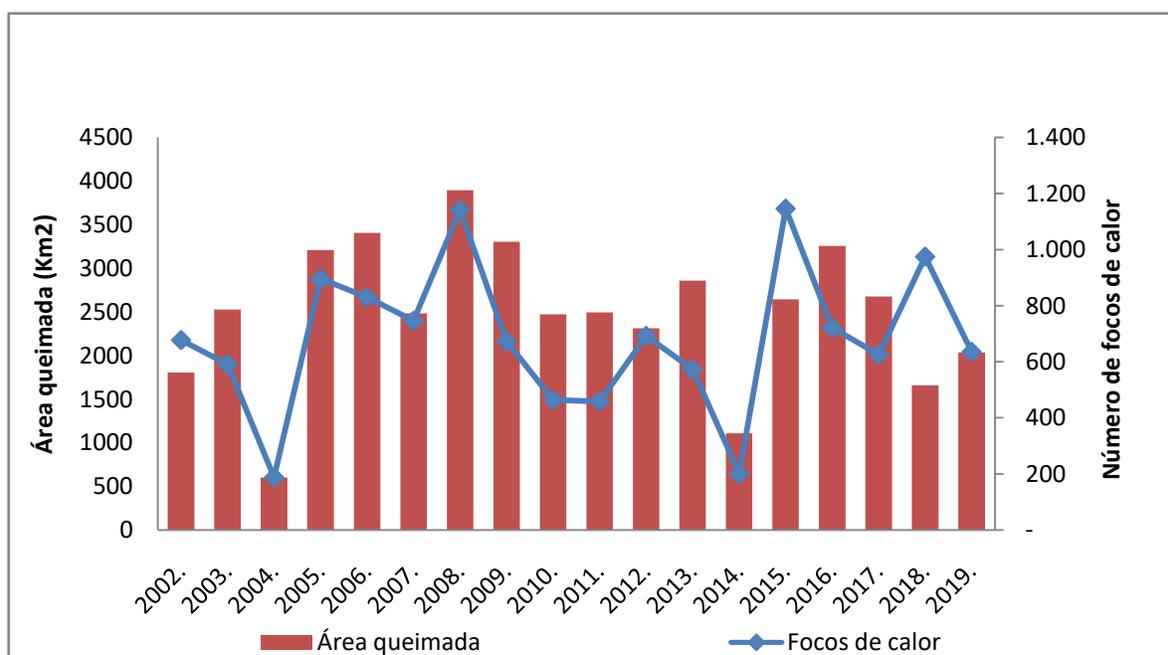


Gráfico 2: Distribuição temporal de área queimada e focos de calor

4.2. Caracterização do regime das queimadas

O mapa da figura 7 apresenta o resultado da interpolação dos focos de calor através da densidade Kernel, onde se observa a intensidade pontual das densidades de queimadas na área de estudo.

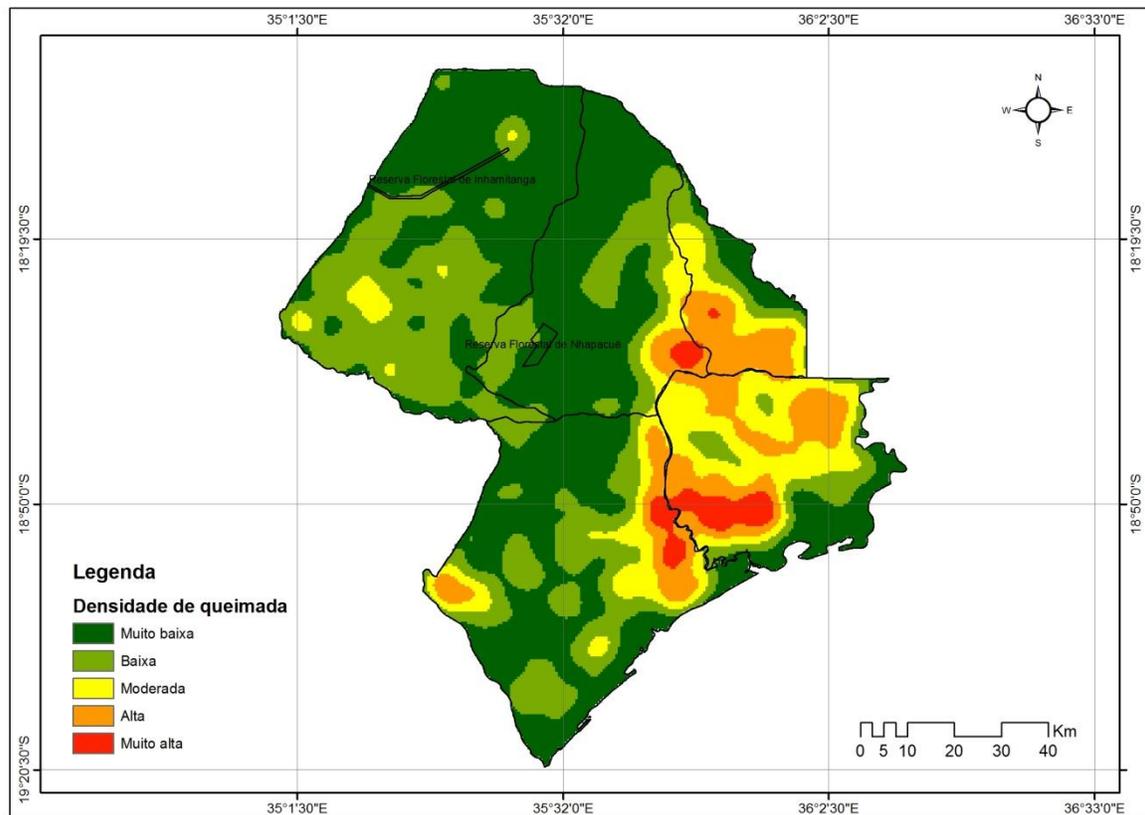


Figura 7: Densidade de queimadas

Analisando o mapa da figura 7, constatou-se que a densidade muito alta foi verificada a Este do complexo de Marromeu, com maior destaque na coutada 14 e na reserva de Marromeu. A vegetação típica da reserva associado as condições climáticas influenciam bastante na densidade das queimadas. Principalmente na estação seca onde há muito combustível lenhoso que facilita a ocorrência das queimadas.

Isso ocorre porque no final da estação seca ocorre rápido crescimento de plantas lenhosas. As frequentes queimadas no final da estação seca transformam áreas de floresta em savana aberta com apenas manchas de árvores do dossel tolerantes ao fogo possibilitando o crescimento de plantas lenhosas (Frost, 1999).

A intensidade de queimada foi relativamente baixa em quase toda a extensão do Complexo, com maior concentração no intervalo de 9 a 85 KW/m² (Figura 8). Em todo o período de análise do estudo, a intensidade de queimada variou entre 9 a 1.400KW/m².

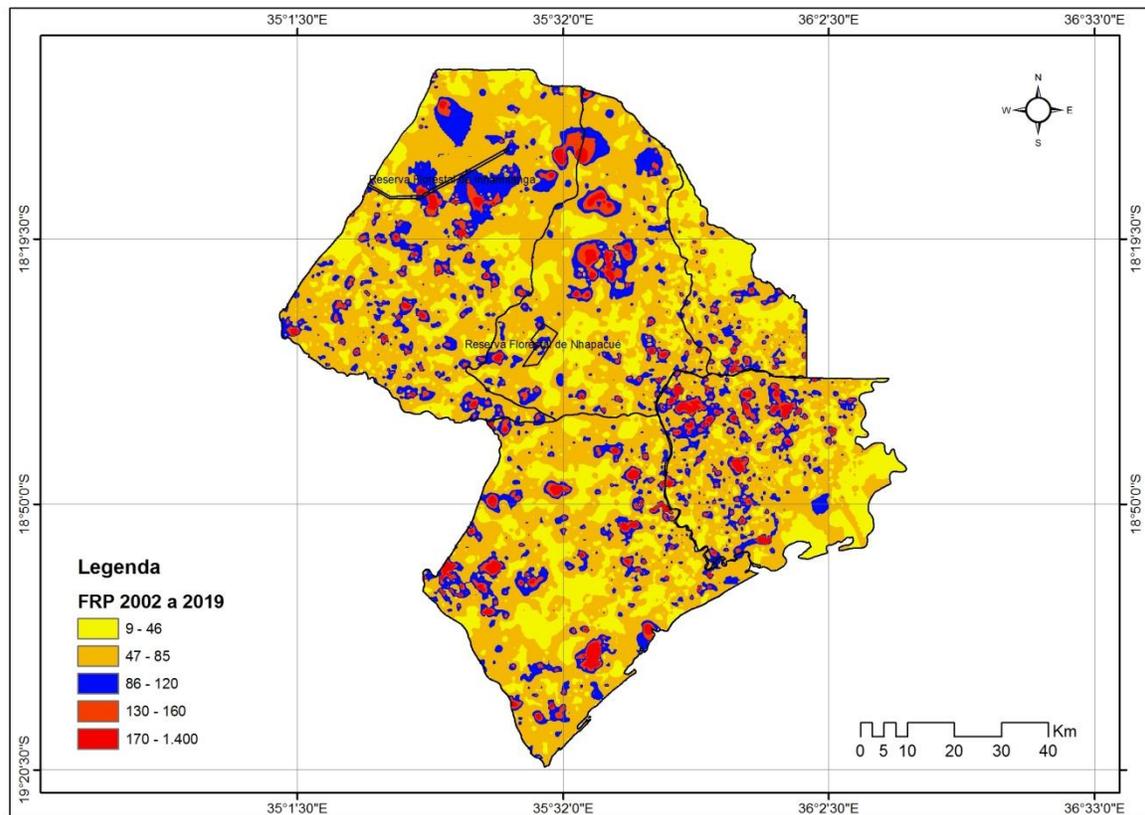


Figura 8: Intensidade de queimadas

Analisando o mapa da figura 8, a ligeira intensidade de queimadas pode estar associado a alta humidade relativa do ar e a precipitação. Tratando duma zona húmida é provável que em quase todo período do ano permaneça inundada influenciando na redução da intensidade de queimadas.

Segundo Leonardo, White e Ribeiro (2011), os períodos sem chuva são os que apresentam maiores incidências de queimadas. Os autores constataam uma forte correlação entre ocorrência de grandes incêndios e prolongados períodos de seca. Soares (2003) constatou que a precipitação reduz o potencial de ocorrência e propagação dos incêndios, chegando até mesmo a zero, dependendo da quantidade de água precipitada.

Quanto a frequência de queimadas, constatou-se que o Complexo queima em média 3 vezes por ano. A frequência máxima obtida durante o período considerado no estudo foi de 20 vezes (Figura 9).

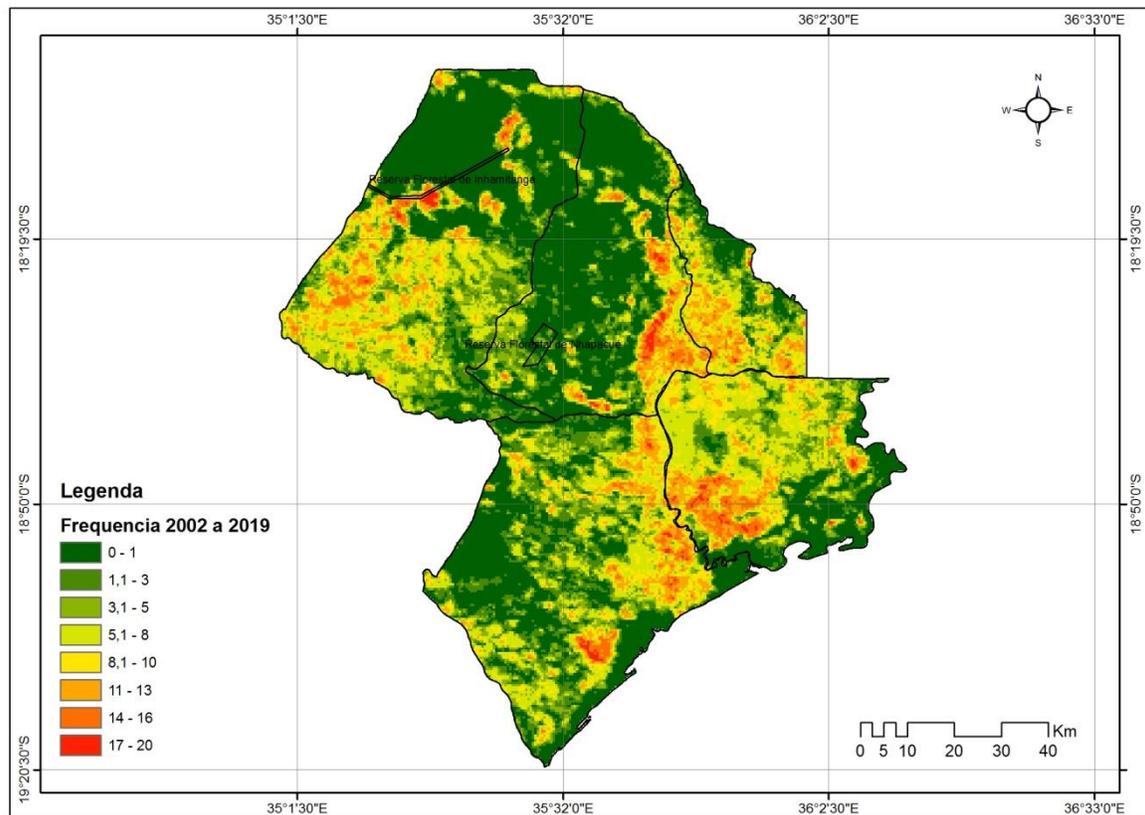


Figura 9: Frequência das queimadas

Conforme o mapa da figura 9, a zona leste de CM, representada maioritariamente pela Reserva de Marromeu, Coutada 12 e 14 foram as que registaram maiores frequências de queimadas.

Pesquisa feita por Rebelo e Beilfuss, (2010) constataram que as maiores frequência das queimadas entre 2002 a 2007 foram registadas na Reserva de Marromeu e coutadas circundantes que queimam anualmente ou quase anualmente. A área mais intensa de ocorrência de incêndios anuais repetidos cobre as porções oeste e norte da Reserva de Marromeu e áreas de fronteira correspondentes com Coutada 10, 11 e 14. Entre as Coutadas, a área queimada mais extensa ocorreu na Coutada 14 e na fronteira entre Coutadas 11 e 14.

O regime de queimadas no Complexo Marromeu pode ser afectados pela cobertura vegetal, incluindo clima e topografia, regime hidrológico, sistemas de pastagem da vida selvagem e/ou gado e várias práticas de uso do solo (Rebelo e Beilfuss, 2010).

A pesquisa notou que a actividade do fogo foi mínima durante a estação chuvosa. Nos meses de Janeiro a Abril, não foram registadas queimadas significativas. Constatou-se que as queimadas mais intensas estão concentradas entre os meses de Julho á Dezembro. Em todo o período do estudo, o mês de Março não foi detectado nenhuma queimada. Notou-se que o mês de Setembro teve maior frequência de queimada e semelhantemente os meses de Agosto, Outubro, Novembro e Dezembro.

Esta análise pode ser observada no gráfico 3 onde apresenta a série anual de área queimada a base mensal durante os anos 2002 a 2019.

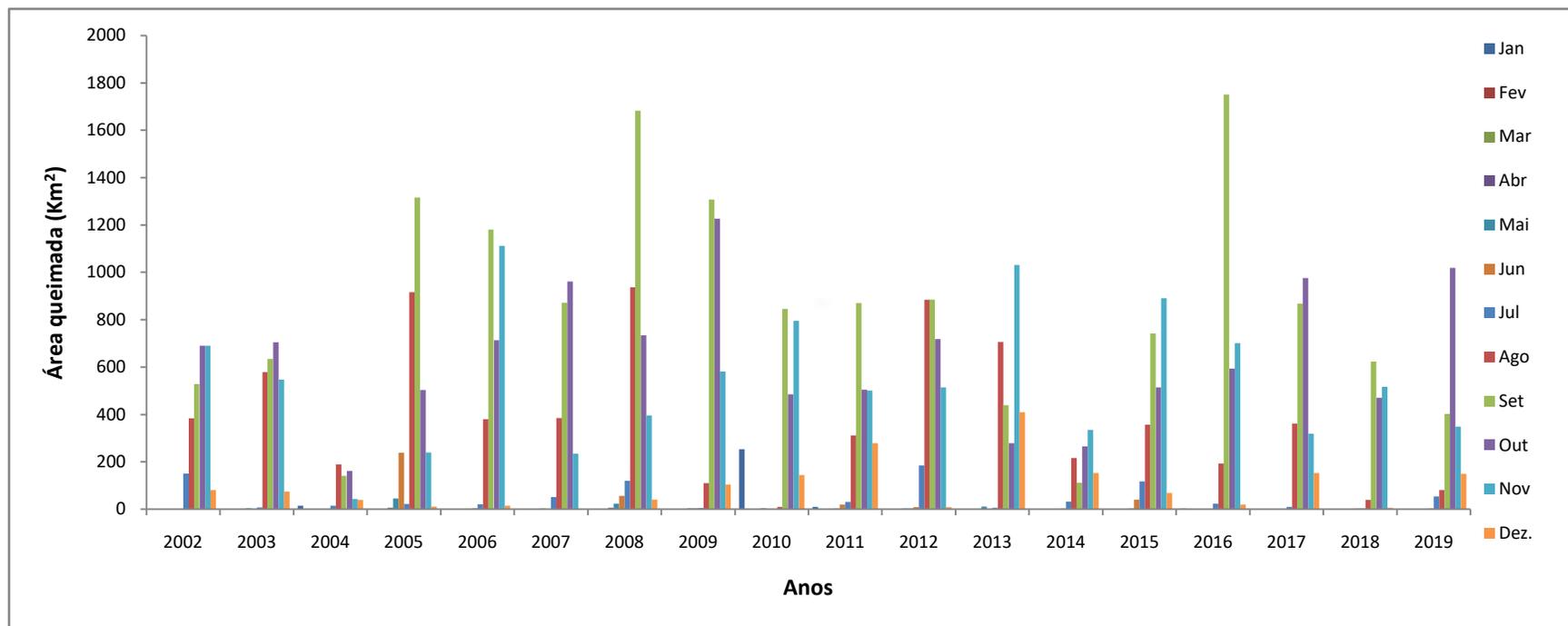


Gráfico 3: Série anual de áreas queimadas (2002 a 2019)

Analisando o gráfico 3, nota-se que a estação seca é o período do ano com maiores frequências de queimadas. Neste período do ano o material combustível, como galhos e folhas, depositados no solo, tornam-se altamente inflamáveis, resultante da redução acentuada nos níveis de humidade deste material (Silva, Rocha e Ângelo 2013), influenciando assim para a ocorrência de grandes incêndios.

Notou-se que do ano 2003 para 2004 ocorreu uma descontinuidade na incidência de queimadas. Esta inversão pode estar associada ao volume de precipitação neste ano em relação aos restantes anos. Rebelo e Beilfuss (2010) na sua análise de ocorrência de precipitação entre os anos 2002 a 2007 no complexo de Marromeu, constataram que o ano 2004 foi o segundo ano com maiores registos de precipitações elevadas.

Nos anos de 2002 a 2012 notou-se que até ao mês de Abril de cada ano não houve registos significativo de área queimada, do outro lado, a partir do ano 2013, até ao mês de Junho de cada ano não houve registos significativos de queimadas, notou-se uma diminuição ligeira das queimadas nos últimos 8 anos de análise do estudo e uma concentração de queimadas nos meses de Agosto a Novembro e o ano de 2014 notou-se uma descontinuidade no regime de queimadas.

Analisando os dados descritos acima, esta redução pode estar associado a intervenção do Governo na redução das queimadas no complexo de Marromeu, onde no 2010 foi elaborado um plano geral de Maneio do complexo (Beilfuss, Bento e da Silva, 2010) e em 2016 o plano de maneio para reserva de Marromeu (RNM, 2016), que constituem documentos chaves para o maneio e gestão sustentável do Complexo.

Em relação a dinâmica de queimadas, esta pesquisa constatou que há uma dinâmica espacial mensal que é fortemente influenciada pelo tipo de vegetação. As queimadas iniciam do noroeste para sudeste do Complexo de Marromeu, iniciando a partir do mês de Maio.

Na zona do noroeste possui uma vegetação típica de floresta aberta sempre verde (15 a 65% cobertura) ocupada pelas Coutadas 11, 12 e a Reserva florestal de Inhamitanga e

ao longo dos meses, as queimadas migram para a zona sudeste e intensificam-se nos meses de Agosto, Setembro e Outubro. Esta zona é ocupada por vegetação típica arbustiva e herbácea regularmente inundadas.

A figura 10 apresenta a distribuição espacial da área queimada de Maio a Dezembro.

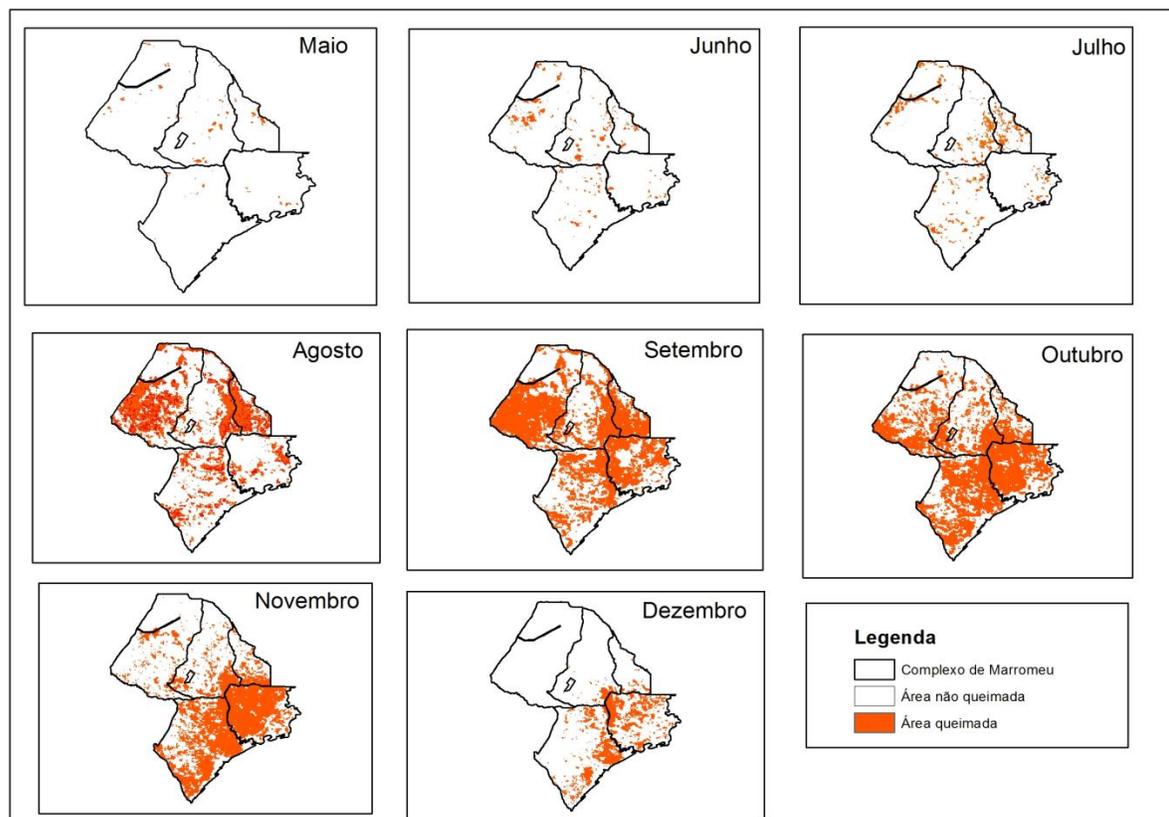


Figura 10: Distribuição espacial da área queimada de Maio a Dezembro (2002 - 2019)

Segundo Scholes e Walker (1993), as queimadas são limitadas pela disponibilidade de combustível vegetal, e migram quando a área não apresenta combustível vegetal suficiente para a queima, quando as condições meteorológicas não são propícias a queimadas ou quando se deparam com barreiras topográficas ou antropogênicas ou áreas sem vegetação e previamente queimadas (Stambaugh e Guyette, 2008).

Na pesquisa de Nhongo, Fontana e Guasselli (2019) sobre a análise dos padrões espaciais de densidade focos de calor (acumulado mensal) na reserva do Niassa,

constatarem que a dinâmica de queimadas é fortemente dependente do tipo de cobertura vegetal e do acúmulo de biomassa seca.

Este facto foi verificado na área de estudo, em que na Coutada 14 e na Reserva de Marromeu na estação chuvosa (Dezembro a Março), não houve registo significativo de queimadas, uma vez que esta área apresenta um tipo de vegetação inundada, porém na estação seca, a redução da precipitação, associado pelo aumento do combustível seco, foi verificado grandes incêndios.

4.3. Factores determinantes á ocorrência dos incêndios florestais no Complexo de Marromeu

A análise da regressão múltipla demonstrou cerca de 7 factores determinantes ao regime de queimadas no Complexo de Marromeu. Os resultados indicam para a temperatura, precipitação, rodovias, declividade, densidade populacional e altitude como variáveis determinantes as queimadas a 99% de confiança ($P < 0,0001$).

A tabela 8 apresenta a significância das variáveis e os respectivos coeficientes.

Tabela 7: Significância das variáveis e os respectivos coeficientes

Parâmetros		Coeficientes	Erro padrão	Estatística T	Df	Valor P
Constante	80,311	1,568	51,202		0,000
Rodovias	Rod	0,0040	0,0015	26,303	1	0,000
Temperatura	Temp	-0,188	0,043	-4,373	1	0,000
Precipitação	Pr	0,04	0,00054	6,495	1	0,000
Densidade Populacional	Densp	-0,053	0,0016	-32,134	1	0,000
Declividade	Dec	0,014	0,054	2,601	1	0,0093
Altitude	Alt	-0,020	0,00041	-48,738	1	0,000
Cobertura Vegetal	NDVI	-1,314	0,124	-10,515	1	0,000

A humidade relativa e exposição solar foram excluídos do modelo por não ter efeito estatístico significativo sobre a intensidade de queimadas a 5% de significância.

Os resultados apresentados na tabela mostram o ajustamento do modelo de regressão múltipla para a relação entre a intensidade de queimadas (Iq) e as variáveis

independentes consideradas no modelo. A equação de ajustamento do modelo é dada pela expressão 3.

Equação 3

$$Iq = 80,311 + 0,0040Rod - 0,188Temp + 0,04Pr + 0,0142Dec - 0,053Densp - 0,020Alt - 1,314NDVI$$

Os resultados mostram que a temperatura, densidade populacional, altitude e cobertura vegetal possuem uma relação negativa no regime das queimadas e rodovias, precipitação e declividade demonstram uma relação positiva no modelo. A relação negativa indica a medida que as variáveis com relação negativa aumentam, a intensidade de ocorrência de queimadas tende a decrescer e vice-versa.

A tabela 9 apresenta em síntese a análise da variância dos dados apresentados no modelo.

Tabela 8: Análise de variância

Fonte	Soma dos quadrados	Df	Média dos quadrados	F-ratio	Valor -p
Modelo	42053,0	7	6007,58	3478,46	0,000
Resíduos	9922,05	5745	1,727		
Total (correl.)	51975,0	5752			

Fonte: autor, 2020

Nota: R-squared = 80,91%

R-squared (ajustado para d.f.) = 80,88%

Erro padrão da Est. = 1,31418

Média do erro absolute = 1,03253

Estatística Durbin-Watson = 0,444304 (P=0,0000)

Correlação dos residues = 0,777239

A estatística R^2 indica que o ajustamento do modelo explica cerca de 80,91% da variabilidade da intensidade de queimadas, sendo que 19,09% é explicado por outras variáveis não incluídas no modelo.

O erro padrão de estimação mostra o desvio padrão dos resíduos de 1,314. Este valor indica o limite de predição para novas observações. O erro médio absoluto foi de 1,033 que representa a média dos resíduos. O teste Durbin Watson retornou num

coeficiente de 0,444 ($P=0,000$) demonstrando que os resíduos possuem uma correlação significativa de acordo com a forma como os mesmos se distribuem.

Os resultados da pesquisa demonstram que a cobertura vegetal é o factor mais determinante no regime de queimadas, seguido de temperatura, densidade populacional, altitude, declividade, precipitação e terminando com rodovias.

Este resultado corrobora com a pesquisa de Nhongo et al., (2019), que modelou a ocorrência de queimadas baseando-se na regressão logística na Reserva de Niassa. Constatou o índice de vegetação como factor mais importante na ocorrência de queimadas e com uma forte relação negativa. A relação negativa de NDVI obtido no estudo, foi semelhantemente constatado por Ribeiro et al., (2009) na Reserva do Niassa, segundo o autor, em áreas com vegetação menos densa (NDVI baixo) possuem maiores incidências de queimadas.

A temperatura constituiu o segundo factor com maior influência nas queimadas. Estudos recentes apontam para uma relação positiva da temperatura com a ocorrência das queimadas.

Fried *et al.* (2008), constatou que as altas temperaturas proporcionam a redução da humidade da biomassa tornando altamente susceptíveis a queimadas. Tamiozzo e Torres (2006), constata também que a radiação solar tende a aumentar a temperatura ambiente, causando um decréscimo na humidade relativa do ar e consequentemente favorecendo às ocorrências de queimadas.

Diferentemente dos resultados desta pesquisa, onde foi obtida uma relação negativa da temperatura. Este resultado pode estar relacionado com a distribuição temporal das queimadas (queimadas com intensidade alta concentradas na estação seca entre Agosto a Dezembro), tratando-se de uma zona húmida há maior humidade relativa do ar proporcionando temperaturas baixas em vários períodos do ano. Resultado semelhante foi constatado por Nhongo *et al.* (2019) na reserva de Niassa, segundo o autor, a relação negativa está relacionada com a dinâmica espacial das queimadas na Reserva em que esta dinâmica migra do este (altas temperaturas) para oeste (baixas temperaturas) ou sua

sazonalidade que varia de Maio a Dezembro. Do outro lado, analisando em período longo, a temperatura do ar apresenta uma relação positiva com os focos de queimadas.

De acordo com o modelo apresentado na pesquisa, a precipitação apresenta uma relação positiva. Este resultado pode estar relacionado pela distribuição espacial da precipitação no Complexo onde as zonas com menores precipitações ocorrem maiores incidências de queimadas.

Soares (2003) refere que a precipitação é factor essencial na redução do potencial de ocorrência e propagação dos incêndios, chegando até mesmo a zero, dependendo da quantidade de água precipitada. Segundo Archibald *et al.* (2010), a precipitação afecta a produção e disponibilidade do combustível ao mesmo tempo que condiciona a inflamabilidade da biomassa.

Analisando as figuras 4 e 5 apresentadas acima (sobre mapas de precipitação e temperatura respectivamente), pode-se notar que as zonas com altas temperaturas possuem baixas precipitações e conseqüentemente altos índices de queimadas. A título de exemplo, as Coutada 12, 14 e a reserva de Marromeu possuem baixas precipitações, altas temperaturas e maiores focos de queimadas.

Segundo Silva e Bento (2006), para além dos fenómenos naturais como relâmpagos, as queimadas no delta de Zambeze são resultantes de actividades humanas.

Nesta pesquisa a densidade populacional foi terceira variável com maior influência na ocorrência das queimadas, tendo uma influência negativa. Beilfuss, Bento e Silva (2010), apontam para a caça, agricultura de pequeno porte, assentamentos, exploração de carvão, pesca, cigarros como as fontes de queimadas não controlado no delta. Novillo (2008), refere que o acesso humano as paisagens naturais, proximidade as áreas urbanas e as estradas estão fortemente associados aos padrões espaciais dos focos de incêndios.

No modelo constatou-se que a declividade teve uma relação positiva enquanto a altitude uma relação negativa. Os efeitos da altitude, direcção do vento e declividade no comportamento do fogo têm sido igualmente referenciados na literatura. Dentre os quais, a

declividade é considerada como o factor crítico. As zonas com declividades acentuadas aumentam a velocidade de propagação do fogo (Byram, 1959).

A topografia afecta a profundamente as características dos ventos, e é responsável pela localização dos diversos tipos de combustíveis, tendo influência sobre o seu crescimento e inflamabilidade devido os seus efeitos sobre o clima (Batista, 2000).

As vias de acesso foram identificadas como uma das variáveis determinantes as queimadas. As zonas mais próximas as estradas apresentam maior risco de queimadas. Mathe (2013), refere que nas rotas, as pessoas montam acampamento temporariamente ao longo das estradas, onde atizam o fogo para manter os animais selvagens distantes tornando pontos focais para a ocorrência de queimadas.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1. Conclusões

O trabalho caracterizou o regime das queimadas no Complexo de Marromeu. Foram detectados cerca de 12227 focos de calor com média de 679 incêndios a base anual. No período considerado pelo estudo, o Complexo de Marromeu queimou 73% da sua extensão e em média 24% queima anualmente. A menor incidência de queimadas foi detectada em 2004 com 6% de extensão queimada e a maior em 2008 com 37% de extensão. As Coutadas 10, 14 e a Reserva de Marromeu foram as áreas com maiores incidências de queimadas.

O regime de queimadas foi caracterizado pela densidade, intensidade, frequência e sazonalidade de queimada. A densidade foi muito alta na coutada 14 e na reserva de Marromeu comparativamente as outras áreas de conservação do Complexo de Marromeu. A intensidade de queimada foi relativamente baixa em quase toda a extensão do Complexo, com maior concentração no intervalo de 9 a 85 KW/m². Em média o Complexo de Marromeu queimou 3 vezes por ano.

Durante a estação chuvosa, a actividade do fogo foi mínima. Nos meses de Janeiro a Abril, não foram registadas queimadas significativas. As queimadas mais intensas estão concentradas entre os meses de Julho á Dezembro. O mês de Março não foi detectado nenhuma queimada e o mês de Setembro teve os maiores registos de queimadas durante o período considerado no estudo.

O regime de queimadas é favorecido pela temperatura, precipitação, proximidade de rodovias, declividade, densidade populacional, cobertura vegetal e altitude. Estas constituem variáveis determinantes a ocorrência de queimadas a 0,05 de significância. O modelo produzido explica 80,91% da intensidade de queimadas no CM, sendo que aproximadamente 19,09% é explicado por outros factores não inclusos no modelo.

A caracterização do regime das queimadas demonstrou ser uma ferramenta bastante útil, permitindo a identificação de áreas prioritárias e alertar sobre a necessidade de se

alavancar programas de manejo de queimadas e educação ambiental no Complexo de Marromeu.

Em suma, a metodologia empregue nesta pesquisa apresentou resultados bastante satisfatórios. Por considerar um grande volume de parâmetros de análise, o método demonstrou ser mais pormenorizado, preciso e assertivo. Os objectivos foram alcançados com satisfação, contribuindo duma certa forma na gestão e manejo das queimadas.

5.2. Recomendações

O manejo efectivo de queimadas deve ter como base o conhecimento do regime e ecologia das queimadas bem como os seus impactos positivos e negativos sobre o ecossistema. As queimadas não apenas podem ter um impacto negativo sobre os ecossistemas, também quando geridas adequadamente podem trazer múltiplos benefícios para manter os ecossistemas naturais.

Apesar de apresentar um decréscimo gradativo nos índices de queimadas nos últimos 9 anos, a pesquisa tornou a vista que as queimadas ainda constituem uma questão preocupante no Complexo de Marromeu, sendo que grande parte das queimadas são resultantes das actividades humanas. Diante desta situação, a pesquisa recomenda:

i. Para a direcção de Complexo de Marromeu

Possa dirigir maiores esforços no manejo de queimadas para as Coutadas 10, 14 e a Reserva de Marromeu. Pois estes possuem incidências de queimadas críticos que é influenciada tanto por factores naturais e intensificada por actividades humanas dentro da área de conservação.

Possa elaborar e implementar programas de consciencialização da população em acções de manejo de fogo, fomentando o envolvimento da comunidade na gestão de incêndios florestais através de uma educação ambiental.

Reassentar a população que se encontra nas zonas mais críticas como a coutada 10, 14 e a reserva de Marromeu que apresentam áreas queimadas e focos de calor

extremamente altos. Esta população pode ser reassentada para zona tampão que não constitua perigo de conflitos homem-fauna bravia e com terras aráveis para a prática agrícola.

Promover actividade de manejo de queimadas como as queimadas frias no inicio da época seca com vista a reduzir o impacto das queimadas.

Elaborar um plano geral de manejo de fogo. O CM possui um plano de manejo geral que constitui num documento chave para a conservação e desenvolvimento sustentável de CM como sitio ramsar, portanto a questão de gestão de queimadas é tratada de forma superficial. O plano poderá conter acções a curto, médio e longo prazo com objectivos e metas bem definidas.

ii. Para o Governo representado pela ANAC

Sugere-se que possa disponibilizar ou mobilizar fundos para a gestão e manejo de incêndios florestais no Complexo de Marromeu.

iii. Para a comunidade científica

Sugere-se que este trabalho não seja o fim mas sim uma continuidade da pesquisa. Que mais trabalhos possam ser desenvolvidos nesta linha de pesquisa, tanto para o Complexo de Marromeu bem como para outras áreas de conservação.

Sugere-se a inclusão de mais variáveis para a composição do modelo de regressão como caça furtiva, actividade agrícola, colecta de mel, exploração de carvão, e cigarros entre outras, com vista a entender a influência dos mesmos sobre o regime das queimadas.

Sugere-se a condução de estudos acurados relacionados aos factores que influenciam as queimadas nas áreas mais críticas (Coutada 10, 14 e reserva de Marromeu). Possa se conduzir pesquisas relacionadas a quantidade de biomassa queimada, emissão de gases de efeito de estufa durante o período considerado no estudo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALACOQUE, J.; ALVES, M.; MIRANDA, J.; SILVA, P.; TRINDADE, F.; PINHEIRO, M.; CHAVES, C. **O Uso Das Imagens Modis Na Estimativa Da Velocidade De Queima Na Apa Do Pandeiros – MG.** Anais XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. INPE. Brasil. 2019
2. ALBUQUERQUE, P. H. M.; Medina, F. A. S.; e Silva, A. R. **Regressão Logística Geograficamente Ponderada Aplicada a Modelos de Credit Scoring.** R. Cont. Fin. – USP, São Paulo, v. 28, n. 73, p. 93-112, jan./abr. 2017
3. ANDERE, L.; ANDERSON, L.; DUARTE, V.; ARAI, E.; ARAGÃO, J.; OLIVEIRA, L.; DE ARAGÃO, C. **Dados multitemporais do sensor MODIS para o mapeamento de queimadas na Amazônia.** Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento. INPE. Brasil. 2015
4. ANDREAE, M.O. **Emission of trace gases and aerosols from biomass burning – An updated assessment.** Atmospheric Chemistry and Physics Discussion Journal. California. USA. April, 2019
5. ARCHIBALD, S.; SCHOLLES, R. J. ROY, D. P.; ROBERTS, G.; BOSCHETTI, L. **Southern African fire regimes as revealed by remote sensing.** International Journal of Wildland Fire, 19 (7): 861-878. 2010.
6. BARBOSA, P.; STROPPIANA, D.; GRTGOIR, J.; PEREIRA, J. **An assessment of vegetation fire in África (1981-1991): Burned areas, burned biomass, and atmospheric emission.** Global Biogeochemical Cycles. Vol. 13. n^o 4. Pages 933-950. December, 1999
7. BARKER, J. L.; HARDEN, M. K.; ANUTA, E. A.; SMID, J. E.; HOUGHT, D. **MODIS spectral sensivity study: requirements and characterization.** Washington: NASA, Oct, 1992. 84p
8. BATISTA, A. C. **Mapas de risco: uma alternativa para o planejamento de controle de incêndios florestais.** Floresta, Curitiba, v. 30, n^o 1/2. 2000. pp. 45-54
9. BATISTA, A. **Mapas de risco: uma alternativa para o planejamento de controle de incêndios florestais.** 2000

10. BEILFUSS, R. D.; BENTO, C. M.; HALDANE, M.; RIBAUE, M. **Status and distribution of large herbivores in the Marromeu Complex of the Zambezi Delta, Mozambique.** WWF Mozambique. Maputo. 2010.
11. BEILFUSS, R.; BENTO, C.; DA SILVA, P. **General Management Plan for the Marromeu Complex: A Wetland of International Importance.** 2010
12. BOSCHETTI, L.; ROY, D.; HOFFMANN, A. A.; HUMBER, M. **MODIS Collection 5.1 Burned Area Product - MCD45.** User's Guide Version 3.1.0, December 2015
13. BYRAM G. M. Combustion of forest fuels. In: DavisKP (ed) *Forest fire: control and use.* McGraw-Hill, NewYork. 1959 pp 61–89.
14. CÂMARA, G.; CASANO, M.; HEMERLY, A.; MAGALHÃES, G.; MEDEIROS, C. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica.** Rio de Janeiro. 1996
15. CAMPBELL, J.; WYNEE, R. **Introduction to Remote Sensing.** Guilford press. 5th ed. New York. 2011. 667pp.
16. CANGELA, A. C. N. P. **Caracterização e Mapeamento do Regime de Queimadas na Reserva Nacional de Niassa.** Dissertação (Mestre em Maneio e Conservação da Biodiversidade). Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal/ Universidade Eduardo Mondlane. Maputo, Fevereiro, 2014
17. CARDOSO, C.A.; FARIA, F. S. **O uso do geoprocessamento na análise ambiental como subsídio para a indicação de áreas favoráveis a criação de unidade de conservação para o uso sustentável do minhocoçu *Rhinodrilus alatus*.** Revista Científica. Departamento de Ciências Biológicas, Ambientais e da Saúde. Centro Universitário de Belo Horizonte. Volume 3. No 1. Agosto, 2010
18. CARVALHO, L. E. X.; SILVA, H. N.; LOUREIRO, C.F. G.; MENESES, H. B. **Regressão linear geograficamente ponderada em ambiente SIG.** Transportes, v. XIV, n. 2, p. 18-26, Dezembro. 2006
19. CENTER for International Earth Science Information Network (CIESIN). **Documentation for the Gridded Population of the World, Version 4 (GPWv4), Revision 11 Data Sets.** Palisades NY: NASA Socioeconomic Data and Applications

- Center (SEDAC). Columbia University. 2018. <https://doi.org/10.7927/H45Q4T5F>
Accessed 10/07/2020.
20. CHUNG, C. **An Introduction to FTP**. 2BrightSparks. 2014
 21. CHUVIECO, E.; JUSTICE, C. **Earth Observation of Global Change: The Role of Satellite Remote Sensing in Monitoring the Global Environment**. NASA Earth Observation Satellite Missions for Global Change Research. 10.1007/978-1-4020-6358-9_2. 2008.
 22. CONVENTION on Wetland. **Wetlands: a global disappearing act**. Fact Sheet 3.1.
 23. COSTA Y. T.; RODRIGUES, S. C. **Efeito Do Fogo Sobre Vegetação E Solo A Partir De Estudo Experimental Em Ambiente De Cerrado**. Revista do Departamento de Geografia – USP, Volume 30. 2015, p. 149 a 165.
 24. CUNLIFFE, R.; MACKIE, C.; MULLER, T. **Identification and Mapping of High Conservation Value Forests in Coutadas 11 and 12, Sofala Province, Mozambique**. World Wide Fund for Nature. Maputo. Mozambique. 2008.
 25. FILHO, J. L. **Introdução a SIG: Sistemas de Informações Geográficas**. 1995
 26. FREITAS, M. W. D. **Regressão geograficamente ponderada (GWR): análise de fenômenos com heterogeneidade espacial**. INPE. 2011.
 27. FRIED JJ, GILLESS K, RILEY W, MOODY T, DE BLAS C, HAYHOE K, MORITZ M, STEPHENS S, TORN M. Predicting the effect of climate change on wildfire behavior and initial attack success. **Climat Change**. 87(S1):251–264. 2008.
 28. FROST, P. **Fire in southern African woodlands: Origins, impacts, effects and control**. In Proceedings of an FAO meeting on Public Policies Affecting Forest Fires. volume 138 of FAO Forestry Paper, pp. 181–205. 1999
 29. FUSARI, A.; LAMARQUE, F.; CHARDONNET, P.; BOULET, H. **Reserva Nacional Do Gilé: Plano De Maneio 2012 -2021**. Maputo. 2010
 30. GIGLIO, L.; SCHROEDER, W.; HALL, J.; JUSTICE, C. **MODIS Collection 6 Active Fire Product User’s Guide Revision B**. December, 2018a.

31. GIGLIO, L.; BOSCHETTI, L.; ROY, D.; HOFFMANN, A.; HUMBER, M.; HALL, J. **Collection 6 MODIS Burned Area Product**. User's Guide Version 1.2. August, 2018.
32. GIGLIO, L.; JUSTICE, C. Universidade de Maryland e MODAPS SIPS - NASA. MOD14 MODIS / Anomalias térmicas / Incêndio 5 min L2 Faixa 1km NASA LP DAAC. <http://doi.org/10.5067/MODIS/MOD14.006>. 2015.
33. GOLDAMMER, J. G. **Global forest fire assessment 1990–2000**. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Forest Resources Assessment Working. Paper 055. 2001. Rome
34. GRANEMANN, D.; CARNEIRO, G. Monitoramento De Focos De Incêndio E Áreas Queimadas Com A Utilização De Imagens De Sensoriamento Remoto. **Revista de Engenharia e Tecnologia**. V. 1, No. 1, Dez, 2009
35. HIJMANS, R. J.; CAMERON, S. E.; PARRA, J. L.; JONES, P. G. & JARVIS, A. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. Wiley InterScience. **International Journal of Climatology**. 25: 1965–1978. 2005.
36. INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Monitoramento de Queimadas**. 2007. Disponível em <http://sigma.cptec.inpe.br/queimadas/perguntas.html> Acesso aos 19/02/2020.
37. IUCN. **Mangroves for Nature, Humans and Development, Mozambique**. Legal Matrix on Mangroves' Conservation and Use. IUCN Environmental Law Centre. July. 2019.
38. JAISWAL, R. ; MUKHERJEE, S.; RAJU, D.; SAXENA, R. Forest fire risk zone mapping from satellite imagery and GIS. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**. 2002.
39. JOAQUIM, D. M. **Influência dos Elementos Climáticos na Ocorrência de Queimadas no Posto Administrativo de Catandica**. (TCC). Licenciatura em Meteorologia. Universidade Eduardo Mondlane. 2015
40. JUSTICE, C. O., TOWNSHEND, J. R. G., VERMOTE, E. F., MASUOKA, E., WOLFE, R. E., SALEOUS, N., ROY, D. P., MORISETTE, J. T. An overview of

- MODIS Land data processing and product status. **Remote Sensing and Environment**. 83: 3 –15. 2002.
41. JUSTICE, C. O.; VERMOTE, E.; TOWNSHEND, J. R. G.; DEFRIES, R.; ROY, D. P.; HALL, D. P.; SALOMONSON, V. V.; PRIVETTE, J. L.; RIGGS, G.; STRAHLER, A.; LUCHT, W.; MYNENI, R.; KNYAZIKHIN, Y.; RUNNING, S. W.; NEMANI, R. R.; WAN, Z.; HUETE, A.; VAN LEEUWEN, W.; WOLFE, R. E.; GIGLIO, L.; MULLER, J. P.; LEWIS, P.; e BARNSLEY, M. J. The moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global change research. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, 36, 1228 – 1249. 1998.
 42. JUSTICE, C.; GIGLIO, L.; BOSCHETTI, L.; ROY, D.; CSISZAR, I.; MORISETTE, J.; KAUFMAN, Y. **Algorithm Technical Background Document**. MODIS Fire Products. Version 2.3, 1 October, 2006
 43. JUSTICE, C.O.; GIGLIO, L.; KORONTZI, S.; OWENS, J.; MORISETTE, J.T.; ROY, D.; DESCLOITRES, J.; ALLEAUME, S.; PETITCOLIN, F.; e KAUFMAN, Y. The MODIS fire products. **Elsevier Science Inc**. 2002a.
 44. KREBS, P.; PEZZATTI, G.B.; MAZZOLENI, S.; TALBOT L, M.; CONEDERA M. Fire regime: history and definition of a key concept in disturbance ecology. **Theory Biosci**. 129(1):53-69. 2010.
 45. LAZZARINI, G.; FERREIRA, L.; FELICÍSSIMO, M.; LIRA, R.; JUSTINO, A. GOMES, C.; RIBEIRO, J.; MAGALHÃES, G. **Análise da distribuição de focos de calor no Tocantins entre 2002 e 2011**. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. INPE. Brasil, 2013
 46. LEONARDO, B.; WHITE, A. e RIBEIRO, A.D.S. **Rainfall analysis and its influence in forest fire occurrence in the Serra de Itabaiana National Park**. Sergipe. Brazil. 2011.
 47. LIBONATI, R.; SETZER, A.; MORELLI, F.; DACAMARA, C. **Algoritmo automático de detecção de áreas queimadas em imagens MODIS – aplicação na região do Jalapão, TO**. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. INPE. Foz do Iguaçu. Brasil. 2013

48. MACEDO, M. R.A. **Regressão geograficamente ponderada aplicada ao estudo da relação pecuária e desmatamento no sudeste do estado do Pará.** Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil. 2011, INPE, p.2899
49. MATAVELI, G. A. V.; CHAVES, M. E. D. **Análise Da Distribuição Espacial Dos Focos De Queimada No Estado De Minas Gerais Entre 2009 E 2012.** I Simpósio Mineiro de Geografia. Alfenas. Maio, 2014
50. MATHE, M. F. **Modelação SIG na avaliação do risco de incêndio na Reserva Nacional do Niassa.** (Dissertação). Mestre em Ciência e Sistemas de Informação Geográfica. 2013.
51. MAÚNZE, C. R. **Análise Espacial e Temporal de Queimadas usando Imagens Satélite na Reserva Nacional do Gilé (de 2004 a 2014).** [TCC]. Licenciatura em Engenharia Florestal. Universidade Eduardo Mondlane. Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal. Maputo. 2016.
52. MERINO-DE-MIGUEL, S.; GONZÁLEZ-ALONSO, F.; HUESCA, M. ARMENTERAS, D.; FRANCO, C. MODIS Reflectance and Active Fire Data for Burn Mapping in Colombia. **Earth Interactions.** Vol. 15 Paper No. 10. 2010
53. MICROIMAGES. **Raster and Image Processing: Radiometric Correction of Satellite Images.** January, 2016
54. MINISTÉRIO da Terra, Ambiente e Desenvolvimento Rural. **Estratégia e Plano De Acção Para a Conservação da Diversidade Biológica em Moçambique.** Maputo. MITADER. 2015. 112 pp.
55. MORISETTE, J. T.; GIGLIO, L.; CSISZAR, I.; SETZER, A.; SCHROEDER, W. MORTON, D.; JUSTICE, C.O. **Validation of MODIS Active Fire Detection Products Derived from Two Algorithms.** **Earth Interactions.** Volume 9. Paper No. 9. Page 2. 2005
56. MUNDOGEO. **O sensor MODIS a bordo das plataformas Terra e Acqua.** 2012 disponível em <https://mundogeo.com/2004/05/23/o-sensor-modis-a-bordo-das-plataformas-terra-e-acqua/> acesso aos 21/08/2020
57. MUNICIPIO VerdeAzul. **Tutorial Para Produção Do Mapa De Focos De Calor.** 2017

58. MYERS, R. **Convivir con el fuego- Manteniendo los ecosistemas y los medios de subsistencia mediante el Manejo Integral del Fuego.** Iniciativa Global para el Manejo del Fuego. Junio, 2006
59. NHONGO, E. J. S.; FONTANA, D. C.; GUASSELLI, L. A. BREMM, C. Probabilistic modelling of wildfire occurrence based on logistic regression, Niassa Reserve, Mozambique. **Geomatics, Natural Hazards and Risk.** VOL. 10, NO. 1, 1772–1792. 2019.
60. NHONGO, E. J. S.; FONTANA, D. C.; GUASSELLI, L. A. **Padrões Espaciais Mensais De Focos De Calor A Partir De Estimativa De Densidade De Kernel, Na Reserva Do Niassa - Moçambique.** Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. INPE. Brasil. 2019
61. NOVILLO, J.D. **Spatial modelling of the influence of human activity on wildfire ignition risk in a Mediterranean landscape.** 2008.
62. NWCG - National Wildfire Coordinating Group. Glossary of Wildland Fire Terminology. 2012 Disponível em: <http://www.nwcg.gov/pms/pubs/glossary/c.htm>, consultado em: 10/07/2020.
63. ODDI, F. J. Fire Regime. **Springer International Publishing AG.** Part of Springer Nature S. L. Manzello (ed.). Encyclopedia of Wildfires and Wildland-Urban Interface (WUI) Fires. 2018.
64. OECD. Development Assistance Committee. **Guidelines For Aid Agencies For Improved Conservation And Sustainable Use Of Tropical And Sub-Tropical Wetlands.** Sustainable use of wetlands. Paris. 1996
65. PAMBOUKIAN, S. V. **Sensoriamento Remoto.** Laboratório de Geotecnologias da UPM. 2015
66. PARKINSON, C. **Aqua: Monitoring the Earth's Water Cycle and Associated Variables from the Vantage of Space.** NASA. Greenbelt, Maryland 2002
67. **Plano Municipal De Defesa Da Floresta Contra Incêndios.** PMDFCI. Gouveia. 2014
68. PRITCHARD, D. BAMBA, W. A. AND RILLA, F. **Ramsar Advisory Missions - No. 62: Marromeu Complex Ramsar Site.** Mozambique. 16-20 August, 2009

69. PURWANTO, E. **Forest Fire Prevention for Community**. 2012
70. **RAMSAR 58th Convention of Parties**. Decisions of the 58th meeting of the Standing Committee at its intersessional virtual sessions of 23 and 25 June 2020
71. RAMSAR Convention Secretariat. **An Introduction to the Ramsar Convention on Wetlands**, 7th ed. (previously The Ramsar Convention Manual). Ramsar Convention Secretariat, Gland, Switzerland. 2016
72. RAMSAR Convention Secretariat. **The Fourth Ramsar Strategic Plan 2016–2024**. Ramsar handbooks for the wise use of wetlands, 5th edition, vol. 2. Ramsar Convention Secretariat, Gland, Switzerland. 2016a
73. REBELO, L. E.; BEILFUSS, R. **Analysis of the timing, extent, and sources of fire in the Marromeu Complex, and potential causal factors**. 2010
74. REPUBLICA de Moçambique. Regulamento da Lei n.º 16/2014, de 20 de Junho, alterado e republicado pela Lei n.º 5/2017, de 11 de Maio, Lei da Protecção, Conservação e Uso Sustentável da Diversidade Biológica. Decreto n.º 89/2017. Serie I, no 203. 2017.
75. RIBEIRO, N. S. **Interactions between fires and elephants in relation to vegetation composition and structure of Miombo woodlands in northern Mozambique**. [PhD thesis]. University of Virginia, Charlottesville. USA. 2007
76. RIBEIRO, N. S., SHUGART, H. H., SWAP, R. J., OKIN, G. S. The influence of rainfall, vegetation, elephants and people on fire frequency of miombo woodlands, northern Mozambique. **Journal of Forest Ecology and Management**. Vol. 255: 1626–1636. 2009.
77. RIBEIRO, N. S.; CANGELA, A.; CHAUQUE, A.; BANDEIRA, R. R.; and RIBEIRO-BARROS, A. I. Characterisation of spatial and temporal distribution of the fire regime in Niassa National Reserve, northern Mozambique. **International Journal of Wildland Fire**. 2017
78. RNM (Reserva Nacional de Marromeu). **Plano de Maneio da Reserva Nacional de Marromeu (2016 – 2025)**. Julho, 2016
79. ROCHA, S. F.; **Análise da Vulnerabilidade e Risco de Contaminação dos Aquíferos Livres na Baixada Campista – Campos dos Goytacazes – RJ**.

- Dissertação (Mestrado em Ciências de Engenharia). Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Rio de Janeiro. 2004.
80. ROGERS, B. M., NEILSON, R. P. DRAPEK, R. LENIHAN, J. M. WELLS, J. R. BACHELET, D. LAW, B. E. Impacts of climate change on fire regimes and carbon stocks of the U.S. Pacific Northwest, **J. Geophys. Res.**, 116, G03037, doi:10.1029/2011JG001695. 2011
 81. ROGERS, B. M.; NEILSON, R. P.; DRAPEK, R.; LENIHAN, J. M.; WELLS, J. R.; BACHELET, D.; LAW, B. E. **Impacts of climate change on fire regimes and carbon stocks of the U.S. Pacific Northwest.** J. Geophys. Res. 2011
 82. ROSA, R. **Introdução ao Geoprocessamento.** Universidade Federal De Uberlândia. Instituto De Geografia. Laboratório De Geoprocessamento. 2013
 83. RUSSELL-SMITH, J.; YATES, C.; WHITEHEAD, P.; SMITH, R.; CRAIG, R.; ALLAN, G.; THACKWAY, R.; FRAKES, I.; CRIDLAND, S.; MEYER, M. and GILL, A.M. Bushres 'down under': patterns and implications of contemporary Australian landscape burning. **International Journal of Wildland Fire.** Vol. 16: 361- 377. 2007
 84. SCHOLES, R.J.; WALKER, B.H. **An African Savanna.** Synthesis of the Nylsvley Study. Cambridge University Press, Cambridge. 1993.
 85. SCHROEDER, W. **Towards An Integrated System For Vegetation Fire Monitoring In The Amazon Basin.** Dissertation (PhD thesis). University of Maryland. 2008
 86. SCHROEDER, W.; PRINS, E.; GIGLIO, L.; CSISZAR, I.; SCHMIDT, C.; MORISETTE, J. T.; MORTON, D. **Validation of GOES and MODIS active fire detection products using ASTER and ETM+ data.** Remote Sensing of Environment. 112:2711-2726. 2008.
 87. SECRETARÍA de la Convención de Ramsar. **Manual de la Convención de Ramsar: Guía a la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 1971)**, 6a. edición. Secretaría de la Convención de Ramsar, Gland (Suiza). 2013
 88. SHINE, C.; KLEMM, C. **Wetlands, Water and the Law: Using law to advance wetland conservation and wise use.** IUCN Environmental Policy and Law Paper No. 38. The World Conservation Union. 1999.

89. SILVA, P. and Bento, C. **Roundtable on Wildlife Management in the Zambezi Delta held.** 1-2 December 2005 at Marrromeu Village. Final Report. MICOA-Direcção Nacional de Gestão Ambiental. Maputo, January 2006
90. SILVA, T.; ROCHA, W.; ANGELO, M. **Quantificação e análise espacial dos focos de calor no Parque Nacional da Chapada Diamantina – BA.** Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, INPE. Brasil. 2013
91. SMARTFTP. **O que é SmartFTP?** 2020. Disponível em <https://www.smartftp.com/en-us/> acesso aos 15/08/2020
92. SOARES, R. V. (1985). **Incêndios Florestais: Controle e Uso do Fogo.** Curitiba, Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, p. 213
93. SOARES, R.V. **Novas tendências no controle de incêndios florestais.** 2003
94. STAMBAUGH, M. C.; GUYETTE R. P. **Predicting spatio-temporal variability in fire return intervals using a topographic roughness index.** For Ecol Manag 254:463–73. 2008.
95. TAMIOZZO, F. e TORRES, P. **Relações entre fatores climáticos e ocorrências de incêndios florestais na cidade de Juiz de Fora (MG).** Caminhos de Geografia, 7(18), pp.162–171. 2006
96. THE COMET Program. **Multispectral Satellite Applications: Monitoring the Wildland Fire Cycle.** 2nd Ed. 2013
97. USEPA - United State Environmental Protection Agency. **Wetland Functions and Values.** Watershed Academy Web. 2007
98. USEPA – United State Environmental Protection Agency. **What is a Wetland?.** Wetlands Protection and Restoration. An official website of the United States government. 2017 Available at <https://www.epa.gov/wetlands/what-wetland> accessed at 07/05/2020.
99. VEGA-GARCIA, C., CHUVIECO, E. & MARTÍNEZ, J. **Human-caused wildfire risk rating for prevention planning in Spain.** Journal of environmental management, 90(2), pp.1241–52. 2009. Available at <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18723267> accessed at 16/08/2020>

100. WĘGLARCZYK, S. **Kernel density estimation and its application**. ITM Web of Conferences 23, 00037. 2018
101. WESTON, D. **What is a Fire Regime?** 2010. Available at <https://oregonexplorer.info/content/what-fire-regime?topic=95&ptopic=62> accessed at 11/08/2020
102. WINSTON, S.; TROLLOPE, W.; LYNNE, A. **Range And Animal Sciences And Resources Management**. Vol. II - Fire Effects and Management in African Grasslands and Savannas. Encyclopedia of Life Support Systems. 2011
103. YAMASOE, E., M. A., ARTAXO, P., MIGUEL, A. H., ALLEN, A. G. Chemical composition of aerosol particles from direct emissions of vegetation fires in the Amazon Basin: water-soluble species and trace elements. **Atmospheric Environment**, v. 34, n. 10, p. 1641-1653, 2000.
104. YE, T.; WANG, Y.; GUO, Z.; LI, Y.; **Factor contribution to fire occurrence, size, and burn probability in a subtropical coniferous forest in East China**. *PLoS One.*; 12(2):e0172110. 2007
105. ZHU, C.; KOBAYASHI, H.; KANAYA, Y.; SAITO, M.; **Size-dependent validation of MODIS MCD64A1 burned area over six vegetation types in boreal Eurasia: Large underestimation in croplands**. Scientific report. 2017
106. ZUCCHINI, W. **Applied Smoothing Techniques**. Part 1: Kernel Density Estimation. October 2003.

7. APÊNDICE

Apêndice I: Dados área queimada

Tabela 9: Área queimada em períodos mensais

Área queimada mensal																		
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Jan	0	0	15,25	0	0	0	0	0	252,75	9,75	0	0	0	0	2	0	0	0
Fev	0	0	0	0	0	0	0	0	0,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abr	0	1	0	6	0	0,25	5,75	0	0	0	2,25	0	0	0	0	0	0,25	0,25
Mai	0,5	3,5	0,25	46	0	2,5	24	3,5	3,75	2,25	2,75	11	0	3,25	0	0	0,5	2
Jun	2	1	0	239	4	1,25	56	4,25	0	19,25	9	0,25	2,5	40,75	0	0	3	2,5
Jul	149,75	7,5	14,75	22	20	51,25	120	5,25	1	30,25	184,5	6,25	32	116,75	22,5	9	2,25	53,25
Ago	383,25	578,75	189,5	916	380	385	936,5	110,5	9,5	311,25	884,75	706,5	216,25	357,25	192,75	361,75	38,75	80,25
Set	528	634,5	141	1316	1180	871,5	1681,75	1306,5	845	869,5	884,75	438	110,75	741,5	1750,75	867,25	623,5	402
Out	690,5	705,25	160,75	503	713	961	734	1227	485	504	718,75	278,5	265	514,75	594,25	976	470,5	1018,75
Nov	690,5	547,75	43	239	1112	234,25	395,25	581,75	795,25	501,5	514,75	1031	334,5	891	701,25	318,5	516,5	348
Dez.	81	74	38,5	11	15	0	40	103,5	144,5	278,5	8,75	409,25	152,25	68,25	20	153	6,5	149
TOTAL	2525,5	2553,25	2607	3298	3424	4514	3993,25	3342,25	2537,5	2526,25	3210,25	2880,75	1113,25	2733,5	3283,5	2685,5	1661,75	2056

Nota: área queimada calculada por imagem MCD64A1 serie temporal de Janeiro de 2002 á Dezembro de 2019

Tabela 10: Focos de calor em períodos anuais

Focos de calor a base anual																		
Anos	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
nº de focos de calor	677	591	188	895	830	746	1.141	673	464	458	692	572	200	1145	721	625	974	635

Apêndice II: Mapas referente aos dados usados no estudo

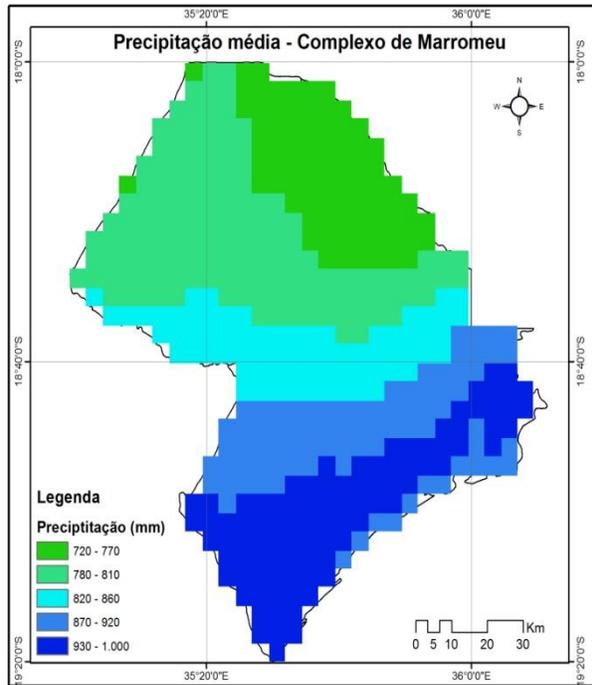


Figura 11: Mapa de precipitação

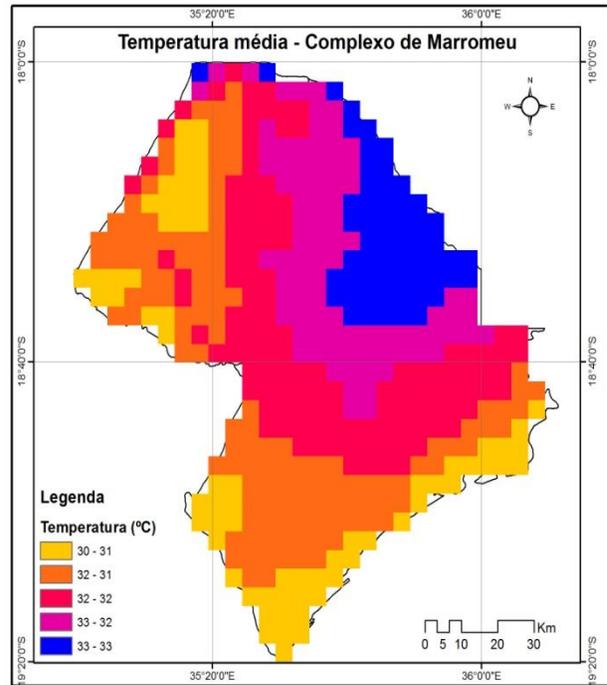


Figura 12: Mapa de temperatura

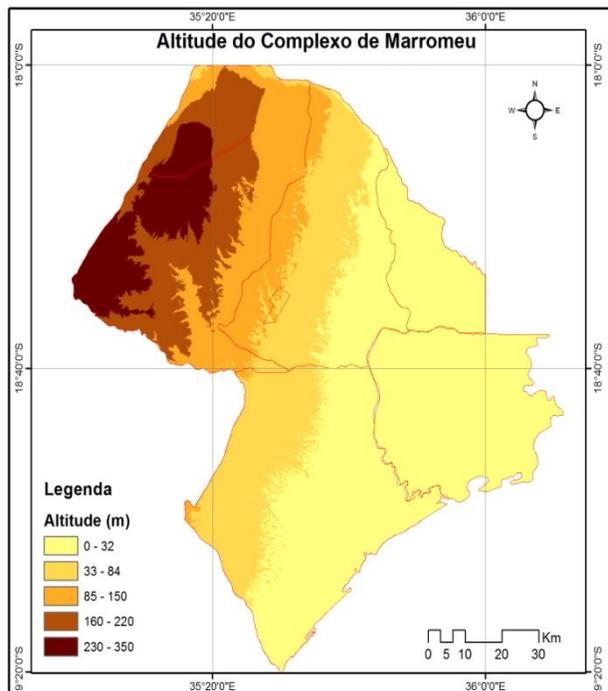


Figura 13: Mapa de altitude

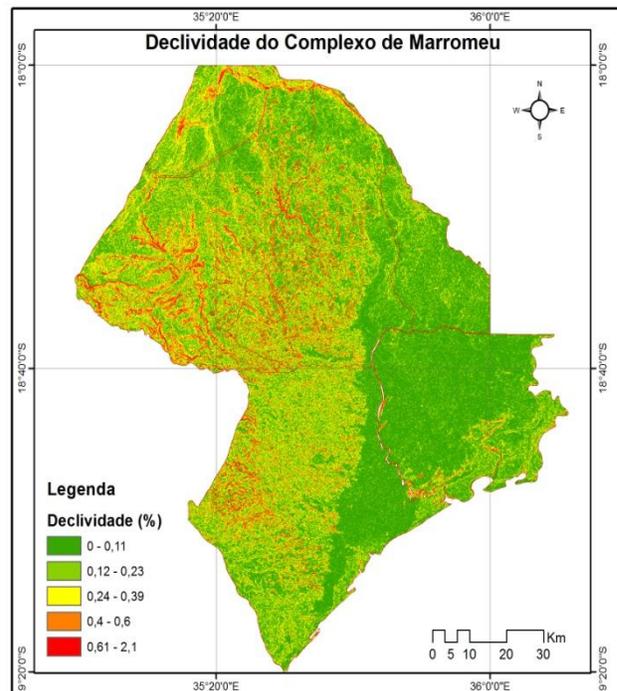


Figura 14: Mapa de declividade

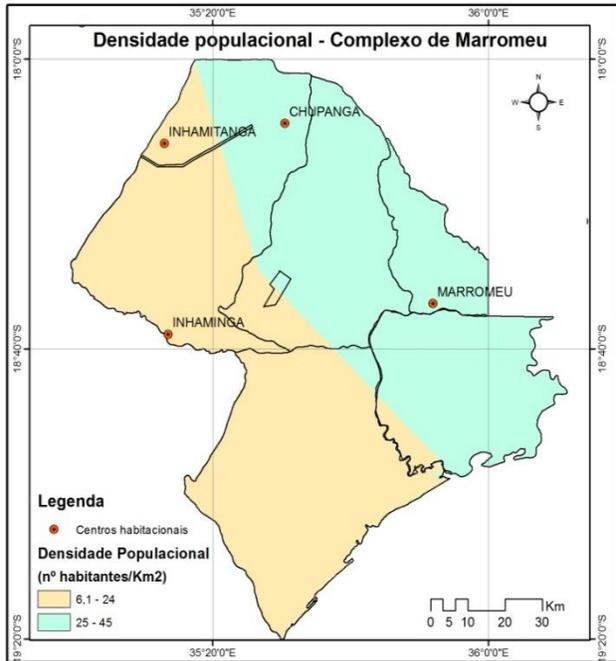


Figura 15: Mapa de densidade populacional

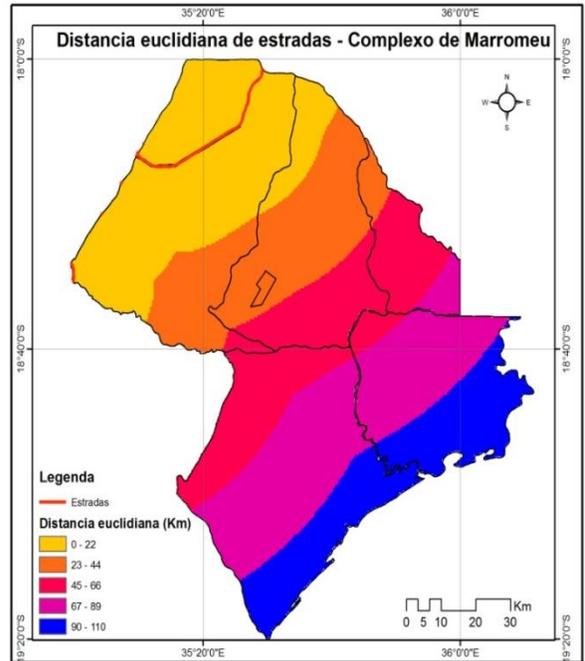


Figura 16: Mapa de distancias euclidianas de estradas

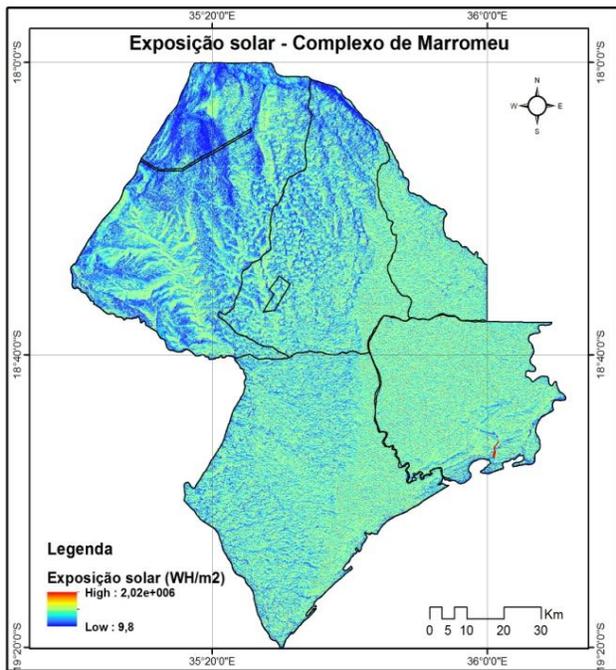


Figura 17: Mapa de exposição solar

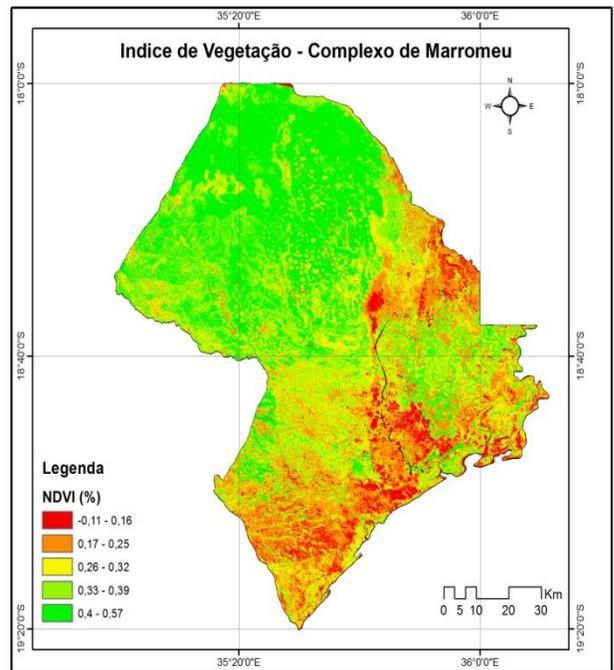


Figura 18: Mapa de índice de vegetação

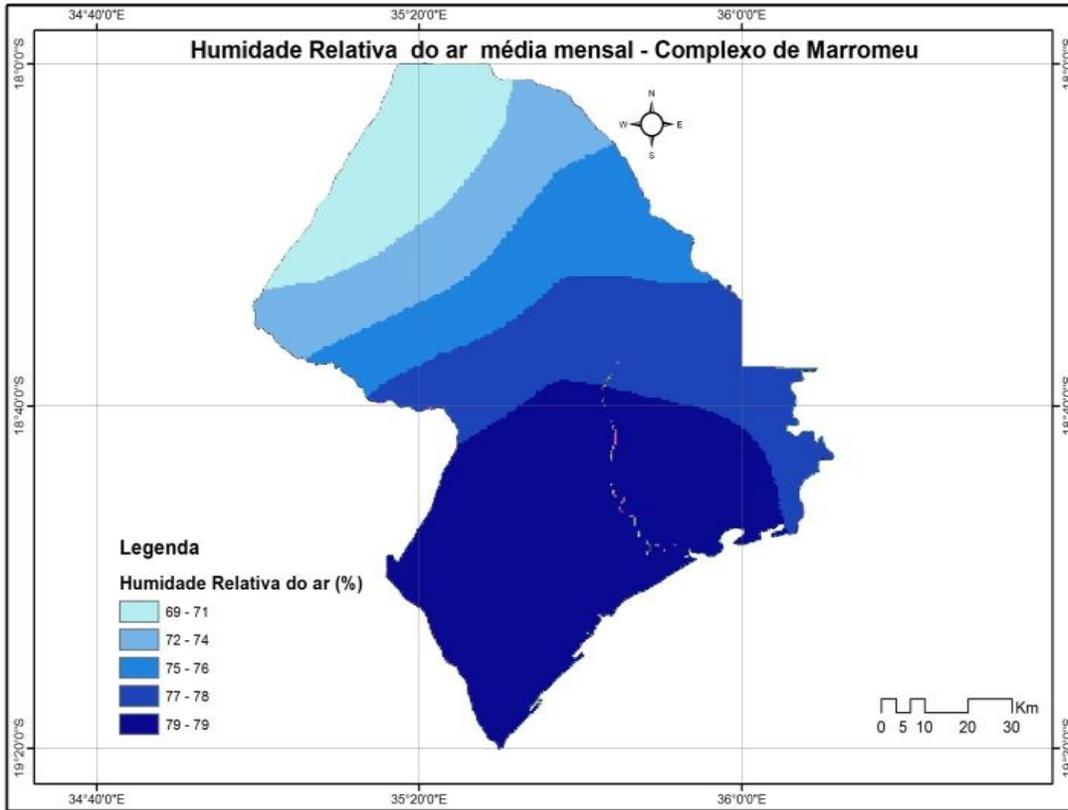


Figura 19: Mapa de humidade relativa