



FACULDADE DE AGRONOMIA E ENGENHARIA FLORESTAL

Departamento de Engenharia Florestal

Licenciatura em Engenharia Florestal

PROJECTO FINAL

**EFEITOS DAS QUEIMADAS FLORESTAIS SOBRE A BIOMASSA HERBÁCEA NO
ECOSSISTEMA DE MIOMBO EM NIASA**



Autor:

Rui Yuran Tuança

Supervisora:

Prof^ª. Doutora Romana Rombe Bandeira

Co-supervisor:

Mestre Victorino António Buramuge, Eng^º.

Maputo, Dezembro de 2024

**EFEITOS DAS QUEIMADAS FLORESTAIS SOBRE A BIOMASSA HERBÁCEA NO
ECOSSISTEMA DE MIOMBO EM NIASSA**

Elaborado por:

Rui Yuran Tuança

Projecto Final submetido ao Departamento de Engenharia Florestal da Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal da Universidade Eduardo Mondlane, como parte das exigências para obtenção do grau de licenciatura em Engenharia Florestal.

Supervisora:

Prof^a. Doutora Romada Bandeira

Co-supervisor:

Mestre Victorino António Buramuge, Eng^o.

DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu, Rui Yuran Tuança, declaro por minha honra e para os devidos fins que este trabalho de licenciatura é de minha autoria e fruto da minha própria investigação. Declaro, ainda, que todas as informações e dados presentes no trabalho são originais, que todas as fontes de pesquisa foram devidamente citadas, e que o trabalho está em conformidade com os princípios éticos exigidos pela instituição de ensino.

Por ser verdade, firmo a presente declaração.

O Declarante:

(Rui Yuran Tuança)

A Supervisora

(Prof^ª. Doutora Romana Rombe Bandeira)

O Co-supervisor

(Mestre Victorino António Buramuge, Eng^º.)

Maputo, Dezembro de 2024

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho, em especial:

Aos meus pais, Rui Pedro Tuança e Célia Regina Nhantave, pelo amor e apoio incondicional.

Aos meus irmãos: Ayilton, Nelsa, Clara, Clayton e Anderson Tuança, por serem a minha motivação e inspiração diária.

A todos aqueles que não foram mencionados, que este trabalho sirva como fonte de inspiração e que possam dele retirar valiosos aprendizados.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela dádiva da vida e pela graça que tem derramado sobre mim a cada dia.

À minha supervisora, Professora Doutora Romana Bandeira, pela oportunidade e pela dedicação, interesse e acompanhamento que foram essenciais para a realização deste trabalho.

Muito obrigado.

Ao meu co-supervisor, Mestre Victorino Buramuge, Eng., pelo apoio incansável e pelo paciente acompanhamento durante todo o processo de concepção e realização deste estudo.

Agradeço sinceramente pela sua orientação.

A Agência Internacional Japonesa para o Desenvolvimento (JICA) pelo financiamento do projecto FLOMOZ e às universidades Eduardo Mondlane e Lúrio pela colaboração na implementação do projecto.

À equipa responsável pelo trabalho de campo no projecto FLOMOZ, pela condução do experimento de queima e colecta de dados que possibilitou este estudo. O vosso empenho e colaboração foi determinante para a realização deste trabalho.

Aos meus amigos e companheiros: Enga. Mafalda Mangué, Eng. Paulo Chiringo, Elton Tonela, Didéria Mavesse, Felicidade Hunguana e Dércia Jerónimo. O meu muito obrigado por todo o apoio e amizade.

Aos meus pais, Rui Pedro Tuança e Célia Regina Nhantave, pelo amor, carinho, conselhos e incentivo, bem como pelo apoio incondicional ao longo da minha jornada académica.

Aos meus irmãos: Ayilton Tuança, Nelsa Tuança, Clara Tuança, Clayton Tuança e Anderson Tuança, por estarem sempre ao meu lado, oferecendo força, apoio e confiança incondicional.

Por fim, a todos que contribuíram para a minha formação e que não foram mencionados aqui, o meu caloroso agradecimento!

ÍNDICE

DECLARAÇÃO DE HONRA	i
DEDICATÓRIA.....	ii
AGRADECIMENTOS	iii
LISTA DE EQUAÇÕES	vii
LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE GRÁFICOS.....	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE ANEXOS	viii
LISTA DE SIGLAS	ix
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS.....	ix
RESUMO	xi
ABSTRACT	xii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Contextualização.....	1
1.2. Problema e justificação do estudo	2
1.3. Objectivos	3
1.3.1. Geral	3
1.3.2. Específicos.....	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1. Mudanças climáticas globais	4
2.1.1. Contextualização	4
2.1.2. Programa de Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal (REDD+).....	4
2.2. Ecossistema de miombo.....	5
2.2.1. Distribuição, estrutura, composição e importância no país	5
2.3. Fogo na floresta	7
2.3.1. Fogo	7
2.3.2. Queimada controlada.....	7
2.3.3. Incêndios florestais	8
2.3.4. Causas e consequências das queimadas descontroladas em Moçambique.....	8
2.4. Regime de queimadas	9
2.4.1. Conceito e características	9

2.4.2.	Regime de queimadas nos ecossistemas de miombo	9
2.5.	Uso do sensoriamento remoto para monitorização do regime de queimadas	10
2.5.1.	Sensor MODIS	11
2.5.2.	Produtos do sensor MODIS	12
2.5.3.	Validação dos produtos MODIS.....	13
2.6.	O carbono nas florestas	14
2.6.1.	Biomassa e reserva de carbono nas florestas de miombo.....	14
2.6.2.	Principais métodos usados para quantificar a biomassa e reserva de carbono ...	15
2.6.3.	Combustão da biomassa e emissão de gases de efeito estufa (GEE)	15
2.6.4.	Factor de combustão (FC)	16
2.5.6.	Factor de emissão (FE).....	17
3.	METODOLOGIA	18
3.1.	Descrição da área de estudo	18
3.1.1.	Localização geográfica	18
3.1.2.	Clima, relevo, solos e hidrografia.....	19
3.1.3.	Flora e fauna	19
3.1.4.	População e actividades económicas	20
3.2.	Aquisição de dados	20
3.2.1.	Produtos MODIS (MCD64A1 e MCD14ML) e Landsat (8 e 9).....	20
3.2.2.	Colecta de dados da biomassa	21
3.2.3.	Descrição da queima controlada.....	22
3.3.	Processamento de dados	23
3.3.1.	Mapeamento do regime de queimadas	23
3.3.2.	Processamento dos produtos Landsat	26
3.3.3.	Estimativa da perda da biomassa e reserva de carbono devido às queimadas florestais ²⁶	
3.3.4.	Determinação das emissões de gases de efeito estufa (GEE).....	27
3.4.	Análise de dados	27
3.4.1.	Análise da biomassa entre os distritos de Marrupa, Majune e Maúa	27
3.4.2.	Comparação da biomassa antes e depois da queimada nos três distritos	28
3.4.3.	Validação dos produtos MODIS.....	28
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4.1.	Mapeamento e caracterização do regime de queimadas	30

4.1.1.	Frequência e intervalo de retorno de queimadas	30
4.1.2.	Intensidade e densidade de queimadas	33
4.1.3.	Validação dos produtos MODIS.....	37
4.1.4.	Relação entre frequência, intensidade, densidade de queimadas e seu efeito na biomassa florestal.....	38
4.2.	Estimativa e análise da biomassa e reserva de carbono herbáceo nos distritos de Marrupa, Majune e Maúa.....	42
4.2.1.	Análise da biomassa entre as áreas de estudo dos distritos	42
4.2.2.	Estimativa e análise da biomassa e carbono herbáceo antes de depois da queima	43
4.3.	Estimativa de perda da biomassa e reserva de carbono herbáceo devido às queimadas florestais.....	44
4.4.	Determinação das emissões de gases de efeito estufa (CO ₂ , CH ₄ e N ₂ O) a partir das queimadas florestais.....	46
5.	CONCLUSÕES.....	49
6.	LIMITAÇÕES.....	50
7.	RECOMENDAÇÕES	50
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
9.	ANEXOS.....	62

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Fórmula para o cálculo do intervalo médio de retorno de queimadas	24
Equação 2: Fórmula para o cálculo da frequência médias de queimadas	24
Equação 3: Fórmula para o cálculo da densidade de queimadas.....	25
Equação 4: Fórmula para estimativa da biomassa herbácea	26
Equação 5: Fórmula para estimativa de emissões de GEE.....	27
Equação 6: Fórmula para o cálculo do erro de omissão	29
Equação 7: Fórmula para o cálculo do erro de comissão	29
Equação 8: Fórmula para o cálculo do índice Kappa	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Factor de combustão por tipo de uso e cobertura da terra.....	16
Tabela 2: Factores de emissão em grama de componente emitida por quilograma de biomassa seca queimada (g/kg)	17
Tabela 3: Frequência e intervalo médio de retorno de queimadas nos distritos de Marrupa, Majune e Maúa na série temporal de 2014 a 2023.	31
Tabela 4: Área ocupada por frequência de queimadas em km ² (de 2014 a 2023).....	33
Tabela 5: Resultados da validação dos produtos MODIS (apenas para a categoria área queimada), em que EP corresponde à exactidão do produtor, EU à exactidão do utilizador, Po à exactidão global, Pe à exactidão esperada e K ao coeficiente de concordância.	38
Tabela 6: Resultados do teste post hoc de Dunn para comparações múltiplas da biomassa herbácea entre as áreas de estudo dos distritos.....	42
Tabela 7: Biomassa e carbono herbáceo antes e depois da queimada controlada.....	44
Tabela 8: Biomassa e carbono herbáceo perdido para os distritos de Marrupa, Majune e Maúa.	45
Tabela 9: Emissões de GEE a partir de queima controlada nas áreas de estudo dos distritos de Marrupa, Majune e Maúa.	46

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Gráfico de distribuição do número de focos de fogos activos por distrito no período de 2014 a 2023.	33
Gráfico 2: Relações entre a intensidade, frequência e densidade de queimadas para o distrito de Marrupa.....	39
Gráfico 3: Relações entre a intensidade, frequência e densidade de queimadas para o distrito de Majune.	40
Gráfico 4: Relações entre a intensidade, frequência e densidade de queimadas para o distrito de Maúa	41

Gráfico 6: Representação gráfica da biomassa e carbono herbáceo perdido para os distritos de Marrupa, Majune e Maúa.	45
--	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Grelha sinusoidal MODIS onde a área pintada corresponde ao <i>tile</i> h21v10 equivalente à localização da área de estudo (Niassa).	12
Figura 2: Mapa de localização da área de estudo.	18
Figura 3: Esboço das unidades amostrais para a colecta de dados.	22
Figura 4: Mapa de distribuição da frequência de queimadas nos distritos de Marrupa (a), Majune (b) e Maúa (c).	30
Figura 5: Mapa de distribuição da densidade de queimadas nos distritos de Marrupa (a), Majune (b) e Maúa (c)	35
Figura 6: Mapa de distribuição da intensidade de queimadas nos distritos de Marrupa (a), Majune (b) e Maúa (c).	37
Figura 7: Imagens mostrando a actividade de queimadas no distrito de Majune – Luambala.	62
Figura 8: Imagens mostrando a actividade de queimadas no distrito de Marrupa – Manhula.	63
Figura 9: imagens mostrando actividade de queimadas no distrito de Maúa – Pahuá.	64

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1: Variáveis meteorológicas medidas antes da queima realizada no mês de Setembro.	62
Anexo 2: Imagens mostrando a actividade de queima em cada distrito.	62
Anexo 3: Testes de normalidade para os dados da biomassa herbácea.	64
Anexo 4: Resultado do teste de Kruskal Wallis para comparação da biomassa entre os distritos	64
Anexo 5: Resultado do teste Post hoc de Dunn para comparações múltiplas da biomassa herbácea entre os distritos.	64
Anexo 6: Resultados dos testes de Man-Whitney Comparação da biomassa herbácea antes e depois da queimada nos três distritos	65

LISTA DE SIGLAS

ANOVA	Análise de Variância
COP	Conferência das Partes
FAO	Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação
GEE	Gases de Efeito Estufa
GPS	Global Positioning System
IMRQ	Intervalo Médio de Retorno de Queimadas
IPCC	Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas
MAE	Ministério de Administração Estatal
MICOA	Ministério para a Coordenação e Acção Ambiental
MITADER	Ministério da Terra, Ambiente e Desenvolvimento Rural
MODIS	Espectrorradiômetro de Imagem de Resolução Moderada (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)
MRV	Monitoramento, Relatório e Verificação
NASA	Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço (National Aeronautics and Space Administration)
Ppb	Partes por mil milhões
REDD+	Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal
RNN	Reserva Nacional do Niassa
UNFCCC	Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima
UTM	Universal Transversal Mercator
WWF	Fundo Mundial para a Natureza

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

%	Porcentagem
°C	Graus centígrados
C	Carbono
CH ₄	Metano
CO ₂	Dióxido de Carbono
FC	Factor de Combustão
FFA	Focos de Fogos Activos
FE	Factor de emissão
H ₂ O _(g)	Vapor de água
ha	Hectares

hab/km ²	Habitantes por quilómetro quadrado
Km	Quilómetros
Km ²	Quilómetros quadrados
kW/m	Kilowatts por metro
m	Metros
Mg/ha	Megagramas por hectare
MgC/ha	Megagramas de carbono por hectare
mm	Milímetros
MW	Megawatts
N ₂ O	Óxido nitroso
O ₂	Oxigénio
O ₃	Ozono
tC/ha	Toneladas de carbono por hectare
tGEE/ano	Tonelada de Gases de efeito estufa por ano
ton	Toneladas
ton/ha	Toneladas por hectare

RESUMO

As queimadas florestais descontroladas representam um grave problema ambiental, com impacto significativo na estrutura e composição dos ecossistemas florestais, além de contribuírem para a emissão de gases de efeito estufa que impulsionam as mudanças climáticas. No entanto, ainda é pouco compreendida a magnitude do impacto dessas queimadas sobre a vegetação e as emissões de gases de efeito estufa (GEE). Este estudo visa aprofundar o entendimento sobre as queimadas florestais e o seu impacto na emissão de GEE, bem como na biomassa e reserva de carbono do ecossistema de miombo, nos distritos de Marrupa, Majune e Maúá na província de Niassa. Para tal, realizou-se, em cada distrito, um experimento de queima controlada. Foram definidos blocos de 4 ha, dentro dos quais se estabeleceram 20 parcelas temporárias, com dimensões de 50 m x 20 m. A altura do material combustível (gramíneas e herbáceas) foi medida antes e depois da queimada. As emissões de GEE foram estimadas indirectamente, usando a equação do IPCC, enquanto a biomassa herbácea foi calculada com base numa equação calibrada para o ecossistema de miombo. A comparação da biomassa entre distritos foi feita com o teste de Kruskal-Wallis, seguido do teste de Dunn para comparações múltiplas, e a análise da biomassa antes e depois das queimadas foi realizada com o teste de Mann-Whitney. Para compreender a dinâmica espacial e temporal das queimadas, foram utilizados dados de satélite de áreas queimadas (MCD64A1) e de focos de fogos activos (MCD14ML), obtidos através do sensor MODIS. Determinou-se a frequência, intervalo de retorno, intensidade e densidade das queimadas no período de 2014 a 2023. Os resultados indicam que as queimadas ocorrem com maior frequência em Marrupa e Majune do que em Maúá, e que há uma relação inversa entre frequência e intensidade do fogo. Além disso, houve diferenças significativas nos valores de biomassa antes e depois das queimadas, com Majune apresentando maior quantidade de biomassa, tanto antes quanto após a queima. As queimadas controladas reduziram significativamente a biomassa herbácea em todos os distritos. As emissões de CO₂ foram superiores às de CH₄ e N₂O, com valores de 6.07, 7.52 e 3.99 toneladas nos distritos de Marrupa, Majune e Maúá, respetivamente. Os resultados deste estudo destacam a relevância das queimadas controladas como instrumento para compreender o impacto do fogo na biomassa herbácea e nas emissões de GEE no ecossistema de miombo. Ademais, a adopção de práticas de manejo do fogo ajustadas aos padrões do regime de queimadas em cada distrito promove uma gestão mais eficaz do fogo e dos seus impactos.

Palavras chave: Estimativa de biomassa herbácea, carbono e gases de efeito estufa; miombo e queimadas florestais.

ABSTRACT

Uncontrolled forest fires represent a serious environmental problem, significantly impacting the structure and composition of forest ecosystems while contributing to the emission of greenhouse gases (GHGs) that drive climate change. However, the magnitude of these fires' impact on vegetation and GHG emissions remains poorly understood. This study aims to deepen the understanding of forest fires and their impact on GHG emissions, as well as on biomass and carbon storage in the miombo ecosystem in the districts of Marrupa, Majune, and Maúa, in Niassa province. To achieve this, a controlled burning experiment was conducted in each district. Blocks of 4 ha were established, within which 20 temporary plots measuring 50 m × 20 m were set up. The height of combustible material (grasses and herbaceous plants) was measured before and after the fire. GHG emissions were estimated indirectly using the IPCC equation, while herbaceous biomass was calculated based on a calibrated equation for the miombo ecosystem. Biomass comparisons between districts were performed using the Kruskal-Wallis test, followed by Dunn's test for multiple comparisons, and biomass analysis before and after burning was conducted using the Mann-Whitney test. To understand the spatial and temporal dynamics of fires, satellite data on burned areas (MCD64A1) and active fire hotspots (MCD14ML), obtained through the MODIS sensor, were used. Fire frequency, return interval, intensity, and density were determined for the period from 2014 to 2023. The results indicate that fires occur more frequently in Marrupa and Majune than in Maúa and that there is an inverse relationship between fire frequency and intensity. Furthermore, significant differences were observed in biomass values before and after the fires, with Majune presenting the highest biomass levels both before and after burning. Controlled fires significantly reduced herbaceous biomass in all districts. CO₂ emissions were higher than those of CH₄ and N₂O, with values of 6.07, 7.52, and 3.99 tons in the districts of Marrupa, Majune, and Maúa, respectively. The findings of this study highlight the importance of controlled burning as a tool for understanding the impact of fire on herbaceous biomass and GHG emissions in the **miombo** ecosystem. Moreover, adopting fire management practices tailored to the fire regime patterns in each district promotes more effective fire and impact management.

Keywords: Herbaceous biomass estimation, carbon and greenhouse gases; **miombo** and forest fires.

1. INTRODUÇÃO

1.1.Contextualização

As queimadas florestais descontroladas constituem um dos problemas ambientais que mais preocupam toda a sociedade, agravado pelos índices elevados de pobreza em que vive a maioria da população rural moçambicana (MICOA, 2007). As queimadas descontroladas em Moçambique destroem anualmente cerca de 30 milhões de hectares de florestas, correspondendo a 90% do total de queimadas, sendo maioritariamente causadas por actividades humanas (MICOA, 2007).

Para além da perda florestal e da biodiversidade, são uma das principais fontes de emissões de GEE, agravando as mudanças climáticas e o aquecimento global (Joaquim, 2015), o que tem suscitado preocupações a nível nacional e internacional. Em África, cerca de 7% das emissões globais de GEE resultam sobretudo de queimadas, desflorestamento e conversão de terras (Zolho, 2010).

Segundo o Sexto Relatório de Avaliação do IPCC (IPCC, 2021), as concentrações atmosféricas de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) aumentaram significativamente devido a acções humanas, como a queima de combustíveis fósseis e a degradação florestal causada por queimadas. Em 2021, a concentração de CO₂ atingiu 419 ppm, enquanto as de CH₄ e N₂O chegaram a 1866 ppb e 332 ppb em 2019, respectivamente, representando acréscimos expressivos face aos níveis pré-industriais. Estes gases absorvem radiação infravermelha, contribuindo para o aquecimento global e as mudanças climáticas.

As mudanças climáticas, que geram eventos extremos como tempestades tropicais, cheias e secas, são uma preocupação global e se manifestam de forma aguda em Moçambique (MITADER, 2016). Esses fenômenos têm repercussões directas nas comunidades locais, tornando urgente a gestão das queimadas e a adaptação às mudanças climáticas.

O ecossistema de miombo é um tipo de vegetação de savana africana que cobre cerca de 2,7 milhões km² do continente (Ribeiro *et al.*, 2008). Em Moçambique ocorrem principalmente a norte do rio Save até ao rio Rovuma (ou seja, a fronteira com a Tanzânia) e ocupam aproximadamente dois terços da área florestal nacional (Marzoli, 2007). Segundo Chidumayo (1988), o fogo é uma componente essencial desse ecossistema, actuando como um dos principais factores na dinâmica de regeneração, desenvolvimento e distribuição espacial de diversas espécies de fauna e flora.

Devido à sua extensão, o miombo tem também uma grande importância a nível das emissões de gases de efeito estufa (Campbell, 1996) e queimadas generalizadas neste ecossistema podem ter efeitos climáticos globais (Van der Werf *et al.*, 2010). As previsões sobre as mudanças climáticas e seus impactos nos ecossistemas, especialmente nas florestas, são alarmantes, considerando a dependência da maior parte da população rural (85%), a conversão de usos da terra e as queimadas descontroladas (Zolho, 2010).

As comunidades rurais do miombo utilizam a queimada como uma ferramenta de gestão cultural e ecológica. Contudo, as alterações nos regimes de queimadas provocadas pela acção humana e pelas mudanças climáticas podem impactar negativamente a ecologia do ecossistema (Vasco, 2021).

Este estudo tem como objectivo compreender o impacto das queimadas florestais no ecossistema de miombo, os seus efeitos na carga de combustível e o seu contributo para as emissões de gases de efeito de estufa, através de um experimento de queima controlada. O experimento foi realizado no âmbito do projecto piloto FLOMOZ, intitulado "Gestão de Incêndios Florestais e Consciencialização Comunitária sobre a Gestão do Fogo em Niassa", inserido no Projecto de Gestão Sustentável das Florestas e REDD+ em Moçambique, que abrangeu os distritos de Marrupa, Majune, Maúa e Sanga, na província de Niassa.

No entanto, este estudo foca-se exclusivamente nos distritos de Marrupa, Majune e Maúa, onde foram estimadas e analisadas as perdas de biomassa, reservas de carbono e as emissões de gases de efeito estufa resultantes das queimadas. Além dessas análises, foi realizado o mapeamento e a caracterização do regime de queimadas ao longo de 10 anos (2014-2023), com o intuito de compreender a dinâmica espacial e temporal de queimadas em cada distrito.

1.2. Problema e justificação do estudo

Em Moçambique, mais de 50% da área é queimada anualmente, colocando o país entre os líderes em queimadas na África Austral, conforme indicado por Archibald *et al.* (2010a). Essa intensificação das queimadas é considerada uma das principais causas das mudanças climáticas no século XXI, impactando negativamente o ciclo do carbono terrestre (Rogers *et al.*, 2011).

No entanto, a magnitude do impacto das queimadas sobre a vegetação e as emissões de GEE ainda é pouco conhecida. Nhamussua (2015) salienta que, para avaliar a verdadeira influência das queimadas no sistema terrestre, é fundamental a recolha de dados quantitativos sobre as

emissões de GEE e a estimativa da perda de biomassa, elementos essenciais para compreender o seu efeito no acúmulo de gases na atmosfera.

Este estudo complementa investigações anteriores sobre os efeitos do fogo nas florestas de miombo (Cangela, 2014; Nhamussua, 2015; Ribeiro *et al.*, 2017; Sonto, 2020; Meneses *et al.*, 2024). A sua relevância reside na contribuição para a compreensão do impacto das queimadas florestais nas emissões de gases de efeito estufa (GEE), ao avaliar essas queimadas e examinar como elas afectam a biomassa florestal.

Um outro aspecto relaciona-se com a missão do Programa das Nações Unidas para Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal (REDD+) de diminuir em 20% a contribuição das emissões globais de gases de efeito estufa provenientes do sector florestal, promovendo o pagamento pelo carbono sequestrado como incentivo à conservação (Ribeiro, 2009). O principal requisito para a implementação do REDD+ é o monitoramento, relatório e verificação das reservas de carbono da linha de base e suas alterações ao longo do tempo (Ribeiro, 2009; Siteo *et al.*, 2013). Neste caso, ao estimar e analisar as perdas de carbono devido às queimadas, bem como das emissões de GEE torna este estudo fundamental nos esforços para monitorizar o fluxo de gases de efeito estufa nas florestas de miombo.

1.3.Objectivos

1.3.1. Geral

Avaliar as queimadas florestais e seus efeitos sobre a biomassa herbácea no ecossistema de miombo em Niassa.

1.3.2. Específicos

- Mapear e caracterizar o regime de queimadas nos distritos de Marrupa, Majune e Maúano período de 2014 a 2023;
- Estimar e analisar o material combustível disponível em termos de biomassa herbácea nos distritos de Marrupa, Majune e Maúá;
- Estimar a perda de biomassa e carbono herbáceo devido às queimadas;
- Determinar as emissões de gases de efeito estufa (CO₂, CH₄ e N₂O) a partir das queimadas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Mudanças climáticas globais

2.1.1. Contextualização

A Convenção-Quadro das Nações Unidas para as Mudanças do Climáticas (UNFCCC) define mudanças climáticas como uma alteração no clima que pode ser atribuída, directa ou indirectamente, à actividade humana, modificando a composição da atmosfera global, e que se acrescenta às variações climáticas naturais observadas em períodos semelhantes (Santos, 2008). Para Blank (2015), as mudanças climáticas são associadas ao aquecimento global como consequência do aumento da concentração de gases de efeito estufa e também em mudanças do uso da terra.

Essas alterações têm-se evidenciado de diversas maneiras desde a Revolução Industrial, com as temperaturas médias globais a subir a partir dos últimos anos do século XX. O aquecimento global é o principal efeito causado pelas mudanças climáticas, seguido do aumento e intensidade de eventos climáticos extremos, alteração no regime de chuvas, perturbações nas correntes marinhas, retracção de geleiras e a elevação do nível do mar (NAE, 2005).

O sexto relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2021) apresenta um cenário alarmante, indicando que as mudanças climáticas já afetam todas as regiões do mundo. Os efeitos directos provocados pelas mudanças climáticas abrangem a agricultura, a silvicultura, a vida marinha, os ecossistemas, os recursos hídricos e até a mortalidade humana. De forma indirecta, as mudanças climáticas podem causar níveis baixos de desenvolvimento económico, uma perda significativa de biodiversidade e conflitos entre países ou mesmo dentro de um único país (Caiet *al.*, 2020).

2.1.2. Programa de Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal (REDD+)

i. Conceito e surgimento do REDD+

O REDD+ (programa de Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal, aumento das reservas de carbono, manejo sustentável e conservação das florestas) é um mecanismo internacional que visa promover a conservação e o manejo sustentável das florestas em países em desenvolvimento, financiando a mitigação das mudanças climáticas

(Miah, 2020). O objetivo do programa é valorizar as florestas existentes, fornecendo incentivos económicos para que os países em desenvolvimento lidem com actividades relacionadas com a floresta que contribuem para o dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera e aceleram as mudanças climáticas (Hirata *et al.*, 2012).

A ideia surgiu de uma colaboração entre cientistas brasileiros e americanos e foi apresentada na COP-9, em 2003, propondo que países em desenvolvimento com florestas tropicais recebessem compensações financeiras por reduzirem as suas emissões provenientes do desmatamento (Moutinho, 2012). Na COP-13, em 2007, foi acordado um consenso sobre novas metas de REDD+, ampliando o conceito para incluir incentivos que promovam a gestão sustentável das florestas e a conservação florestal.

ii. REDD+ em Moçambique e o conceito de MRV

Moçambique começou a implementar o REDD+ em 2008, com uma estratégia desenvolvida em parceria com a Fundação Amazonas Sustentável e o MICOA durante a COP 14 (Sitoe *et al.*, 2012). O mecanismo é considerado uma alternativa eficaz para reduzir emissões, conservar florestas e aumentar a reserva de carbono, além de gerar empregos em projectos de reflorestamento e energias alternativas (Nhantumbo, 2012).

O conceito de MRV (Monitoramento, Relatório e Verificação), introduzido na COP13 em 2007, estabelece que as acções de mitigação dos gases de efeito de estufa (GEE) devem ser mensuráveis, reportáveis e verificáveis (Hirata *et al.*, 2012). O MRV envolve a medição da reserva de carbono e emissões de GEE, bem como a verificação da eficácia das reduções (Fry, 2011; Jagger *et al.*, 2014).

Kankeu *et al.* (2020) sustentam que as actividades de MRV podem ser realizadas em diferentes níveis, sendo a informação de campo local um dos principais elementos do processo. Construir um sistema de dados para o contexto nacional implica reunir informações reais utilizando diferentes exemplos locais no terreno. Isso pode ajudar a fornecer uma imagem precisa da situação real das reservas de carbono, bem como das emissões passadas, e orientar as tendências futuras de desmatamento local e dinâmicas das reservas de carbono.

2.2. Ecossistema de miombo

2.2.1. Distribuição, estrutura, composição e importância no país

A floresta de miombo ocupa cerca de 10% das áreas florestais em África, sendo o bioma predominante na região sul e oriental do continente, com elevada relevância em termos de biodiversidade (Deweese *et al.*, 2010). Este ecossistema estende-se por uma área de 2,7 milhões de km², desde o Oceano Atlântico, no extremo oeste, até próximo do Oceano Índico, no extremo leste, entre os paralelos 3°S e 26°S (Malmer, 2007). É a principal fitofisionomia florestal em países como Angola, Botsuana, Malawi, Moçambique, Tanzânia, Zâmbia e Zimbábue (Chidumayo, 2013).

As florestas de miombo possuem uma vasta diversidade biológica que inclui cerca de 8500 espécies de plantas, 54% das quais endémicas, com predominância dos géneros *Brachystegia*, *Julbernadia* e *Isoberlinia*, e uma população significativa de fauna, como por exemplo, elefantes (*Loxodonta africana africana*) rinoceronte (*Diceros bicornis*) leões (*Panthera leo*) búfalos (*Syncerus caffer caffer*) leopardos (*Panthera pardus*) impalas (*Aepyceros melampus johnstoni*) zebras (*Equus burchelli boehmi*) e diversas espécies de aves (WWF, 2012)

A estrutura e composição de miombo aparenta ser superficialmente uniforme em larga escala espacial, o que sugere uma similaridade das condições ambientais. As plantas arbóreas compreendem 95 a 98% da biomassa acima do solo, sendo que as gramíneas e as ervas correspondem ao resto da percentagem (Frost, 1996; Ribeiro *et al.*, 2002).

De acordo com Frost (1996) podem ser distinguidos dois tipos de miombo: húmido e seco. O miombo húmido ocorre em áreas com precipitação superior a 1000mm por ano e possui uma composição florística muito rica dominada pelas espécies *Brachystegia floribunda*, *B. graberrima*, *B. taxifolia*, *B. wangerrmeana* e *Marquesia macroura*. O estrato inferior é constituído por gramíneas e arbustos.

Contrariamente, o miombo seco ocorre em regiões com precipitação média anual inferior a 1000 mm e a sua composição florística é pobre sendo dominada pelas espécies *Brachystegia spiciformis*, *B. boehmii* e *Julbernadia globiflora*. O seu estrato herbáceo varia em composição e biomassa, incluindo gramíneas dos géneros *Hyparrhenia*, *Andropogon*, *Loudetia*, *Digitaria* e *Eragrostis* e arbustos (White, 1983; FAO, 2003).

Segundo Siteo e Ribeiro citados por Ribeiro *et al.*, (2002), o miombo é o principal tipo florestal de Moçambique e ocupa aproximadamente 2/3 da superfície total. Possui grande importância socioeconómica pois mais de 150 milhões de pessoas dependem dos seus bens e serviços em África (Deweese *et al.*, 2010). Estes serviços incluem a provisão de alimentos e

energia de biomassa, bem como controle da erosão, mitigação da desertificação e controle de pestes agrícolas (Sileshi *et al.*, 2007).

Mais de 76% do consumo de energia da região provém de biomassa lenhosa e as florestas de miombo providenciam nutrientes essenciais que permitem a prática de agricultura itinerante (Ryan *et al.*, 2016). Em Moçambique a situação não é diferente. Num estudo feito numa zona rural do país, Hegde e Bull (2008) descobriram que 40% da renda bruta e 25% do rendimento monetário dos agregados familiares provinha de produtos obtidos na floresta.

2.3.Fogo na floresta

2.3.1. Fogo

O fogo é considerado um fenómeno físico que ocorre quando o oxigénio se combina rapidamente com uma substância combustível, resultando na produção de calor, luz e, geralmente, chamas. O fogo é composto por três elementos essenciais: combustível, comburente (oxigénio) e calor, formando o que é conhecido como o triângulo do fogo (Joaquim, 2015).

Ecossistemas de savanas são historicamente modulados pela acção do fogo. Nesses ecossistemas, as gramíneas tornam-se um exemplo de vegetação persistente e adaptável, visto que possuem a estratégia predominante de rebrota em toda a área onde há frequência de fogo. Somente as gramíneas possuem a capacidade fisiológica de elevar sua biomassa novamente com rapidez suficiente para sustentar regimes de fogo em regiões susceptíveis a alta frequência e intensidade do regime de fogo (Archibald *et al.*, 2013; Simpson *et al.*, 2021). A distinção entre os conceitos de queimada prescrita ou controlada e incêndio florestal é crucial.

2.3.2. Queimada controlada

Uma queimada controlada pode ser definida, de forma geral, como um processo no qual se aplica fogo de maneira controlada em vegetação nativa ou plantações comerciais, sob certas condições ambientais, que permitem que o fogo permaneça restrito àquela área (Dick, 2018). Para ser classificada como controlada, a queima deve apresentar severidade baixa ou moderada e durar no máximo um dia (Shakesby e Doerr, 2006; Ferreira *at al.*, 2010). As técnicas utilizadas incluem queima contra o vento, em faixas, de flancos, em manchas, em anel e em forma de estrela ou "V" (Dick, 2018).

A queimada controlada passa a ser alternativa para se evitar o acúmulo da biomassa e,

consequentemente, mitigar os incêndios florestais (Silva *et al.*, 2021) e também para manter os tipos de vegetação aberta do ecossistema (Durigan *et al.*, 2020). Além do mais, as queimadas controladas não causam perdas de riquezas de espécies de plantas e animais, e ainda trazem ganhos em riqueza e abundância de espécies vegetais (Durigan *et al.*, 2020).

2.3.3. Incêndios florestais

Incêndios florestais são geralmente definidos como fogos descontrolados que se propagam livremente, consumindo os diversos tipos de materiais combustíveis presentes numa floresta, ou simplesmente como fogos fora da área urbana. Podem ser classificados em superficiais, subterrâneos e de copa (Dick, 2018; Agbeshie *et al.*, 2022).

Os incêndios superficiais propagam-se na superfície do piso florestal, queimando resíduos vegetais não decompostos, como folhas e galhos caídos, gramíneas e arbustos. Os incêndios subterrâneos propagam-se através das camadas de húmus ou turfa que se encontram sobre o solo mineral e abaixo do piso florestal. Os incêndios de copa são caracterizados pela propagação de fogo através das copas das árvores e ocorrem em combustível acima de 1,8 metros de altura (Soares e Batista, 2007).

Os incêndios florestais causam danos significativos aos ecossistemas, afetando a fauna, destruindo habitats e comprometendo recursos, além de consumirem o estrato herbáceo e a serapilheira do solo (Durigan e Ratter, 2016). Classificados como de alta, muito alta ou extrema severidade, podem atingir grandes proporções e durar vários dias até serem controlados (Ferreira *et al.*, 2010; Shakesby e Doerr, 2006).

Embora seus impactos sejam negativos, a ocorrência de incêndios depende de condições ambientais, como secas intensas e altas temperaturas. Secas extremas têm menos impacto quando os incêndios são frequentes, pois o acúmulo de combustível é reduzido, resultando em incêndios rastejantes e de baixa intensidade, ao contrário dos menos frequentes, que podem variar amplamente em intensidade (Archibald *et al.*, 2013; Silva *et al.*, 2011; Simpson *et al.*, 2021).

2.3.4. Causas e consequências das queimadas descontroladas em Moçambique

MICOA (2007) sustenta que aproximadamente 90% das queimadas em Moçambique são resultantes de actividades humanas, enquanto os restantes 10% têm causas naturais. Ribeiro (2007) e Siteo *et al.* (2012) afirmam que, em Moçambique, o problema dos incêndios florestais está relacionado com práticas agrícolas inadequadas, caça, produção tradicional de

mel, necessidade de lenha, especialmente em grandes aglomerados populacionais, e questões socioculturais. A pobreza é considerada uma das principais causas das queimadas descontroladas, já que a população rural utiliza o fogo como o método mais rápido e barato para abrir campos para a agricultura.

As consequências e os impactos negativos das queimadas descontroladas são motivo de preocupação tanto a nível nacional como internacional, pois não apenas geram emissões de gases de efeito de estufa (GEE) que contribuem para as mudanças climáticas, mas também causam degradação dos recursos naturais (Nhamussua, 2015).

Em Moçambique as queimadas geralmente ocorrem durante a estação seca, sendo mais frequentes entre os meses de julho e outubro. As províncias mais afetadas são Niassa, Tete, Manica e a parte ocidental de Cabo Delgado, Nampula, Zambézia e Sofala, categorizadas como Região I. As partes centrais de Cabo Delgado, Nampula, Zambézia, Sofala e as províncias ao sul do rio Save, como Maputo, Gaza e Inhambane, são moderadamente afetadas (Região II). A faixa costeira é considerada a menos afetada (Região III) (Ossene, 2015; MICOA, 2007).

2.4. Regime de queimadas

2.4.1. Conceito e características

As queimadas são um processo integral no sistema terrestre, variando no espaço e no tempo. O regime de queimadas captura essa variabilidade por meio de vários parâmetros que descrevem quais, quantas, quando e onde ocorrem as queimadas. Quantificar o regime de queimadas exige evidências sobre queimadas anteriores, que podem ser obtidas a partir de imagens de satélite (Oddi, 2018).

O regime de queimadas é tido como o historial de fogos individuais ocorridos numa dada área, ou seja, a sequência de queimadas ocorridas num determinado lugar ao intervalo e época do ano em que ocorrem bem como a respectiva intensidade. O regime de queimadas é caracterizado pelo tipo, intensidade, extensão, frequência, intervalo de retorno e características espaciais dos fogos que ocorreram nesse lugar num passado histórico recente (Cangela, 2014).

2.4.2. Regime de queimadas nos ecossistemas de miombo

A queimada é uma prática comum e essencial para a gestão cultural e ecológica nas

comunidades do miombo, desempenhando um papel crucial na sua ecologia. De acordo com Bond e Keeley (2005), as queimadas contribuem para a manutenção da estrutura e composição da floresta, ao remover a biomassa e criar condições favoráveis à regeneração das gramíneas e árvores. Contudo, alterações nos regimes de queima, devido à intervenção humana e às mudanças climáticas, podem prejudicar o equilíbrio do ecossistema.

Archibald *et al.* (2013) identificam dois tipos de queimadas no ecossistema de miombo: queimadas frequentes de baixa intensidade e pequena dimensão, e queimadas frequentes de alta intensidade e grande dimensão. Magadzire (2013) e Ribeiro (2007), ao estudarem as queimadas no Zimbabwe e Moçambique, dividiram a sazonalidade em três períodos: início do período seco (maio a julho), período seco tardio (agosto a outubro) e época chuvosa (novembro a abril). Constatam que o período com maior incidência de queimadas ocorre entre agosto e outubro, com menor incidência na época chuvosa.

Ribeiro *et al.* (2017) analisaram a distribuição espacial e temporal dos fogos na Reserva Nacional do Niassa entre 2000 e 2012, verificando que os incêndios começavam em abril, com um pico entre agosto e outubro. Cangela (2014) mapeou o regime de queimadas na mesma área, identificando um intervalo médio de retorno de 3,29 anos e uma frequência média de 0,36 ocorrências/ano. Observou também uma relação inversa entre a densidade e a intensidade dos fogos, com áreas de baixa densidade a registar queimadas mais intensas devido à acumulação de combustível.

Vasco (2021) mapeou e analisou o regime de queimadas na floresta de miombo do distrito de Sussundenga, constatando que o fogo retorna a um local específico a cada 1,3 anos, com uma frequência média de 0,8 vezes por ano. Pungulanhe *et al.* (2021) estudando a frequência de queimadas no ecossistema de miombo do Parque Nacional do Gilé-Zambézia constataram que a frequência média de queimadas no período de 5 anos foi de 0,38 vezes/ano, o intervalo de retorno foi de 5,38 anos e o intervalo médio de retorno dos incêndios foi de 2,62 anos.

2.5. Uso do sensoriamento remoto para monitorização do regime de queimadas

O sensoriamento remoto é uma técnica que permite obter informações sobre objetos, áreas ou fenómenos sem contacto directo, utilizando dados adquiridos por sensores. Este sistema envolve quatro componentes fundamentais: a fonte de energia, a atmosfera, os alvos terrestres e o sensor ou satélite (Prado, 2009). O mapeamento de áreas queimadas através do sensoriamento remoto teve início na década de 1970, com o desenvolvimento de vários

estudos visando a identificação dessas áreas em escalas regional e global (Braga, 2015; Pereira, 2017).

Vários satélites são usados para monitorizar queimadas através de imagens térmicas como as imagens AVHRR (satélites NOAA), MODIS (satélites TERRA e AQUA), e as dos satélites GOES e MSG. Diariamente, são gerados e distribuídos gratuitamente na internet produtos que fornecem coordenadas de focos de calor, alertas de fogo, risco de queimadas e estimativas de concentração de fumaça (Rosa e Brito, 2013).

2.5.1. Sensor MODIS

O sensor MODIS, instalado nas plataformas TERRA e AQUA, lançadas em 1999 e 2002, foi projectado para monitorar a dinâmica da biosfera terrestre, incluindo processos na superfície, oceanos e atmosfera, influenciados por actividades humanas e fenómenos naturais (Pereira, 2017). Com resolução espacial de 250 m a 1000 m, o MODIS atende às áreas de atmosfera, oceanos e superfície terrestre, proporcionando cobertura global quase diária e revisitas de 1 a 2 dias (Justice *et al.*, 2002; MundoGEO, 2012).

A grelha sinusoidal MODIS é dividida por *tiles* (quadrados que formam a grelha sinusoidal) com coordenadas horizontal (h) e vertical (v), cobrindo uma área de cerca de 1200 km x 1200km (10°x10° no equador) (Cangela, 2014). Moçambique é coberto pelos *tiles* “h21v10 a h21v11”.

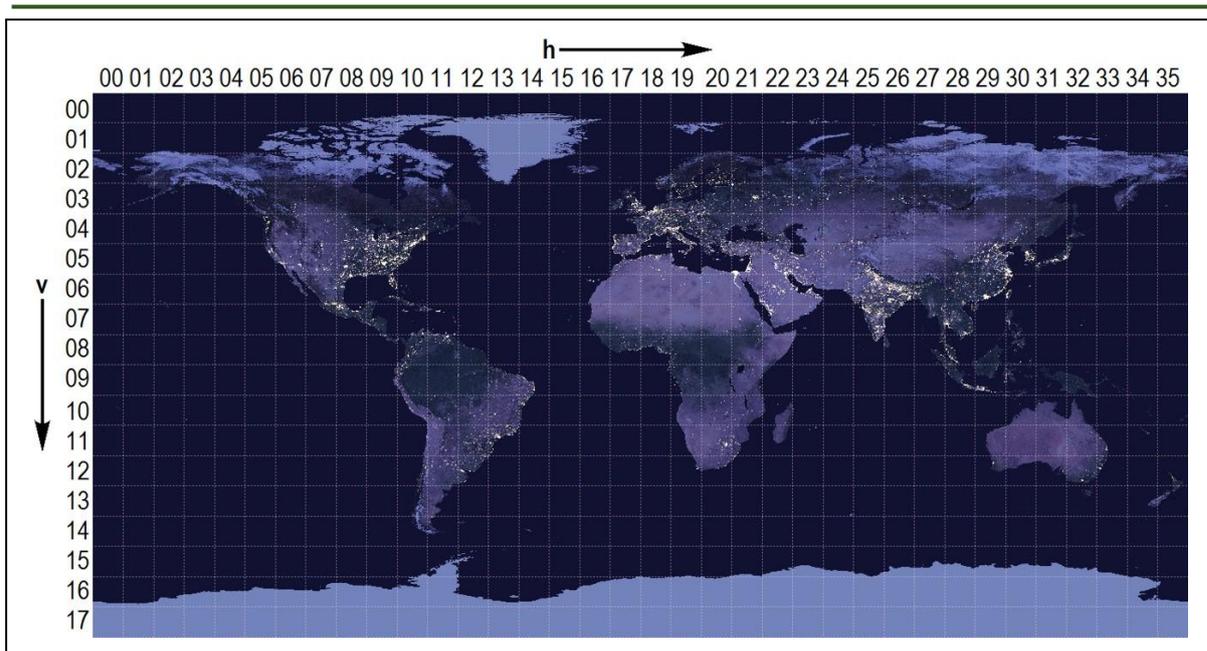


Figura 1: Grelha sinusoidal MODIS onde a área pintada corresponde ao *tile* h21v10 equivalente à localização da área de estudo (Niassa).

Fonte: (MODIS Land Team Home Page, s/d) <https://mundogeo.com/2004/05/23/o-sensor-modis-a-bordo-das-plataformasterra-e-acqua/>

2.5.2. Produtos do sensor MODIS

Os produtos do MODIS estão disponíveis gratuitamente no site da NASA e incluem georreferenciamento e correção dos efeitos atmosféricos, como nuvens e aerossóis. Existem dois tipos de produtos: o MCD14ML, que identifica s fogos activos no momento da passagem do satélite, e o mais recente MCD64A1, que corresponde a áreas queimadas. Ambos são produzidos globalmente como produtos padronizados e independentes, utilizando diferentes comprimentos de onda e algoritmos (Giglio *et al.*, 2018; Soares, 2017).

a) Produto de área queimada (MCD64A1)

Antes gerado como MCD45A1 da coleção 5.1 (atualizado em 2018 devido à baixa qualidade da informação), o produto é agora gerado usando uma nova versão (MCD64A1, Versão 6), dos satélites TERRA e AQUA combinados. Este oferece um produto mensal com resolução espacial de 500m, contendo informações de qualidade e área queimada por píxel (Giglio *et al.*, 2018).

b) Produto de focos de fogos activos (MCD14ML)

O produto relativo aos focos fogos activos (FFA) regista todos os eventos de queimadas que

ocorrem à escala de um píxel de 1000 metros (Justice *et al.*, 2002). O conjunto de dados MCD14ML contém os atributos de longitude e latitude do fogo, temperatura de brilho do píxel de incêndio medida em Kelvin (K), análise por satélite, data e hora de aquisição, confiança expressa em percentagem (%), temperatura de brilho do píxel de incêndio no canal 31 medida em Kelvin (K), e poder radiativo do fogo (FRP) medido em Megawatts (MW) (Gajovic e Todorovic, 2013).

O nível de confiança varia entre 0 e 100%, sendo classificado em três categorias: baixa (<30%), nominal (30-80%) e alta ($\geq 80\%$). A escolha do nível de confiança a considerar depende dos objetivos do utilizador (Giglio, 2013). Se o objetivo for minimizar os erros de comissão, apenas os focos com um nível de confiança elevado devem ser utilizados. Por outro lado, se o utilizador pretende assegurar que não falha a detecção de qualquer queimada, pode optar por considerar também os focos com um nível de confiança mais baixo (Soares, 2017).

2.5.3. Validação dos produtos MODIS

Para avaliar a exactidão dos produtos MODIS, é essencial utilizar dados de referência mais precisos, como as imagens de alta resolução do Landsat. O uso de imagens Landsat como dados de referência para validar produtos globais de áreas queimadas é amplamente reconhecido na literatura científica (Giglio *et al.*, 2009; Boschetti *et al.*, 2009; Siljander 2009; Tsela *et al.*, 2010). Devido à resolução espacial mais elevada de 30m, o Landsat possui uma maior capacidade do que o MODIS para detectar áreas queimadas menores e especialmente fragmentadas. Portanto, pode assumir-se que os mapas de áreas queimadas extraídos de imagens Landsat são uma representação próxima das áreas queimadas reais no terreno e, assim, podem ser utilizados como dados de referência (Boschetti *et al.* 2006).

Para a validação dos produtos do MODIS é aplicada a análise de exactidão baseada na matriz de confusão (Meneses *et al.*, 2024). Uma matriz de confusão, também conhecida como matriz de erro, é um método que consiste na comparação de um mapa de detecção remota, também conhecido como mapa de classificação, com um mapa de referência, considerado como verdade de campo (Magadzire, 2013). Esta comparação permite avaliar como o mapa de classificação coincide com a verdade de campo (Araújo *et al.*, 2011).

Segundo Magadzire (2013), várias variáveis são calculadas para construir a matriz de confusão: o erro de omissão, que indica a percentagem de classificações falhadas em comparação com a verdade de campo; o erro de comissão, que indica classificações

sobrestimadas em comparação com a verdade de campo; a exactidão do produtor, que se refere à proporção de dados de referência numa categoria específica de classificação, correctamente classificados; a exactidão do utilizador, a proporção da área de classificação numa categoria específica, correctamente classificada nos dados de referência; a exactidão global, que é a proporção de classificações correctas em relação ao total de amostras avaliadas; e o coeficiente Kappa, que mede o nível de concordância entre o mapa de classificação e a verdade de campo.

Freitas *et al.* (2023) referem que o índice Kappa leva em consideração todas as células da matriz de confusão (erros de comissão e omissão), o que pode tornar o valor da acurácia mais consistente. A exactidão global, por outro lado, baseia-se apenas nos pontos correctamente classificados (diagonal principal) em relação ao total de pontos amostrais, resultando, em geral, numa concordância superior ao índice Kappa.

2.6. O carbono nas florestas

As florestas têm uma elevada capacidade de fixação de carbono, desempenhando um papel crucial no ciclo global de carbono através da troca com a atmosfera por meio da fotossíntese e da respiração (Barreto *et al.*, 2009; Renner, 2004). Durante a combustão da biomassa, ocorre a libertação de CO₂ na atmosfera, sendo este gás previamente absorvido em igual proporção pelas plantas que originaram o combustível. Assim, o CO₂ emitido durante a transformação dos resíduos florestais é equivalente ao CO₂ absorvido pelas plantas e convertido em O₂, não contribuindo para o aumento deste gás na atmosfera (Cardoso, 2010).

2.6.1. Biomassa e reserva de carbono nas florestas de miombo

As reservas de carbono nas savanas africanas são dominadas pelo solo, pois, Ryan *et al.* (2013), observaram na floresta de miombo em Nhambita que a reserva total de carbono orgânico do solo foi de aproximadamente 110 tC/ha, sendo 68% no topo dos 50 cm e a biomassa das árvores aproximadamente 30 tC/ha.

Vários estudos foram realizados no ecossistema de miombo com vista a estimar a biomassa e/ou reserva de carbono existente. Williams *et al.* (2008), no estudo realizado no ecossistema demiombo de Gorongosa, estimaram 33,4 ton/ha de carbono total. Siteo *et al.* (2009), no seu estudo sobre a estimativa de carbono em Dombe-Manica, encontraram 31,04 ton/ha de carbono. Tomo (2012) estimou a biomassa na floresta de miombo do distrito de Gondola por classe de uso e cobertura. Os resultados indicaram que a floresta densa possuía 130,27

toneladas por hectare (ton/ha), a floresta aberta possuía 116,24 ton/ha, outras formações lenhosas possuíam 48,77 ton/ha e as áreas de agricultura possuíam 4,07 ton/ha.

Ribeiro *et al.* (2013), no seu estudo sobre o monitoramento da dinâmica da vegetação e densidade da reserva de carbono na floresta de miombo, encontraram aproximadamente 63 ton/ha de biomassa total e 31,5 ton/ha de carbono médio. Nhamussua (2015), ao estimar a biomassa e a reserva de carbono no ecossistema de miombo nos distritos de Gondola e Manica, obteve valores de 61,92 e 55,96 ton/ha de biomassa, e 30,95 e 27,98 ton/ha de carbono total, respetivamente. Para o ecossistema de mopane, no distrito de Tambara, foram registados 57,5 ton/ha de biomassa e 28,85 ton/ha de reserva de carbono total, respetivamente.

2.6.2. Principais métodos usados para quantificar a biomassa e reserva de carbono

A quantificação das reservas de carbono florestal pode ser realizada através de inventários florestais (volume das árvores), medição de biomassa (peso das plantas) e imagens de satélite. A biomassa florestal pode ser estimada por métodos directos (destrutivos) e indirectos (não destrutivos). O método directo envolve derrubar árvores para separar e pesar seus componentes, sendo mais preciso, porém demorado e caro. O método indirecto utiliza equações alométricas da literatura, baseadas em dados do inventário florestal (DAP, altura, volume, densidade, etc.), sem necessidade de derrubar árvores (Siteo e Tchaúque, 2006).

No método indirecto, é importante usar equações desenvolvidas em locais com condições climáticas e espécies semelhantes, e que as características dos indivíduos utilizados sejam semelhantes às da área de estudo (Nhamussua, 2015). A quantificação da reserva de carbono pode ser realizada tendo como base a norma do Painel Intergovernamental sobre as Mudanças Climáticas (IPCC, 2007a), que estipulou que 50% da biomassa arbórea corresponde a carbono.

2.6.3. Combustão da biomassa e emissão de gases de efeito estufa (GEE)

O material combustível refere-se à biomassa que será consumida pelo fogo. O termo “combustível disponível” designa aquele que será efetivamente eliminado durante a combustão, em contraste com o combustível total. A quantidade de combustível disponível é influenciada pelo arranjo estrutural da biomassa, pela distribuição da humidade no complexo combustível e pela intensidade do fogo, que é afetada pelas condições meteorológicas (Fernandes *et al.*, 2002).

Na perspectiva de Schumacher *et al.* (2005), o processo de combustão em incêndios florestais

ocorre em várias fases distintas. Na fase inicial, conhecida como pré-aquecimento, o material combustível é aquecido, resultando na perda de humidade e preparando-se para a combustão. Segue-se a fase de destilação ou gasosa, onde os gases voláteis são liberados e inflamados, gerando chamas e elevadas temperaturas. Por fim, na fase de carbonização, o combustível sólido transforma-se em carvão, continuando a libertar calor e alguns gases até que a combustão esteja completa. Segundo o mesmo autor, combustão completa do combustível florestal resulta na libertação de calor, vapor de água e dióxido de carbono. Durante um incêndio florestal, além da água e do CO₂, são emitidos vários outros elementos na atmosfera, como monóxido de carbono, hidrocarbonetos e partículas, contribuindo assim para a poluição do ar e a emissão de GEE.

O efeito estufa refere-se à acumulação de vapor de água, dióxido de carbono, metano, óxido nítrico e outros gases residuais na atmosfera, que absorvem a radiação emitida pela Terra. Alterações nas concentrações desses gases podem afetar o equilíbrio da transferência de energia entre a atmosfera, o espaço, a terra e o oceano (IPCC, 2006). Os principais gases de efeito estufa presentes na atmosfera são o dióxido de carbono (CO₂), óxido nítrico (N₂O), metano (CH₄), ozono (O₃) e vapor de água (H₂O) (U.S. Environmental Protection Agency, 2013).

2.6.4. Factor de combustão (FC)

Conforme relatado por Sonto (2020), o factor de combustão é a proporção do material combustível consumido pelo fogo em relação a toda biomassa acima do solo. Na ausência de dados específicos sobre o combustível consumido, o valor do FC pode ser obtido na literatura. O IPCC (2006) recomenda valores baseados no tipo de uso e cobertura do solo e na época do ano (tabela 1).

Tabela 1:Factor de combustão por tipo de uso e cobertura da terra.

Tipo de vegetação	Factor de combustão
Floresta aberta e floresta arbustiva	0,72±0,25
Floresta decídua, floresta aberta semi-decídua, floresta sempre verde (Início da época seca)	0,74±0,22
Floresta decídua, floresta aberta semi-decídua, floresta sempre verde (meados ao fim da época seca)	0,74±0,14
Pradaria (início da época seca até aos meados)	0,74
Pradaria (meados ao fim da época seca)	0,77±0,26

Floresta aberta com áreas agrícolas	0,55±0,06
-------------------------------------	-----------

Fonte: Adaptado de IPCC (2006).

2.5.6. Factor de emissão (FE)

Segundo Tyner *et al.* (2010), os factores de emissão são coeficientes que quantificam as emissões por unidade de actividade. Em outras palavras, um factor de emissão é um valor que indica a quantidade de emissão de um determinado composto químico em função da quantidade de biomassa queimada. Andreae e Marlet (2001) realizaram uma ampla revisão bibliográfica sobre factores de emissão em diversos regimes de queimadas e diferentes especificidades. Esta revisão abrange uma ampla variedade de produtos de emissões gasosas e particuladas. A tabela abaixo ilustra os factores de emissão para diferentes compostos em variadas condições de ocorrência de queimadas (tabela 2).

Tabela 2: Factores de emissão em grama de componente emitida por quilograma de biomassa seca queimada (g/kg)

Componente emitida	Savanas e gramíneas	Floresta tropical	Floresta extratropical
CO ₂	1613±95	1580±90	1569±101
CH ₄	2.3±0.9	6.8±2	4.7±1.9
N ₂ O	0.21±0.1	0.20	0.26±0.07

Fonte: Adaptado de Andreae e Marlet, (2001).

3. METODOLOGIA

3.1. Descrição da área de estudo

3.1.1. Localização geográfica

O estudo foi realizado na província de Niassa concretamente nos distritos de Marrupa, Majune e Maúa. Estes distritos ocupam uma superfície de 17273 km², 11521km², 7976 km² respectivamente. De acordo com MAE (2005), o distrito de Marrupa está localizado no extremo Centro-Leste da Província do Niassa, confinando a Norte com os distritos de Mecula e Mavago, a Sul com os distritos de Maúa e Nipepe, a Este com o distrito de Balama e a Oeste com o distrito de Majune.

O distrito de Majune está localizado na região centro da Província do Niassa, confinando a Norte com o distrito de Mavago, a Sul com os distritos de N'gaúma, Mandimba e Maúa, a Este com os distritos de Marrupa e Maúa e a Oeste com os distritos de Muembe e Lichinga. Por sua vez, o distrito de Maúa está localizado no extremo Sudoeste da província do Niassa, confinando a Norte com o Distrito de Marrupa, a Sul com o Distrito de Metarica, a Este com o Distrito de Nipepe e a Oeste com os Distritos de Mandimba e Majune (MAE, 2005).

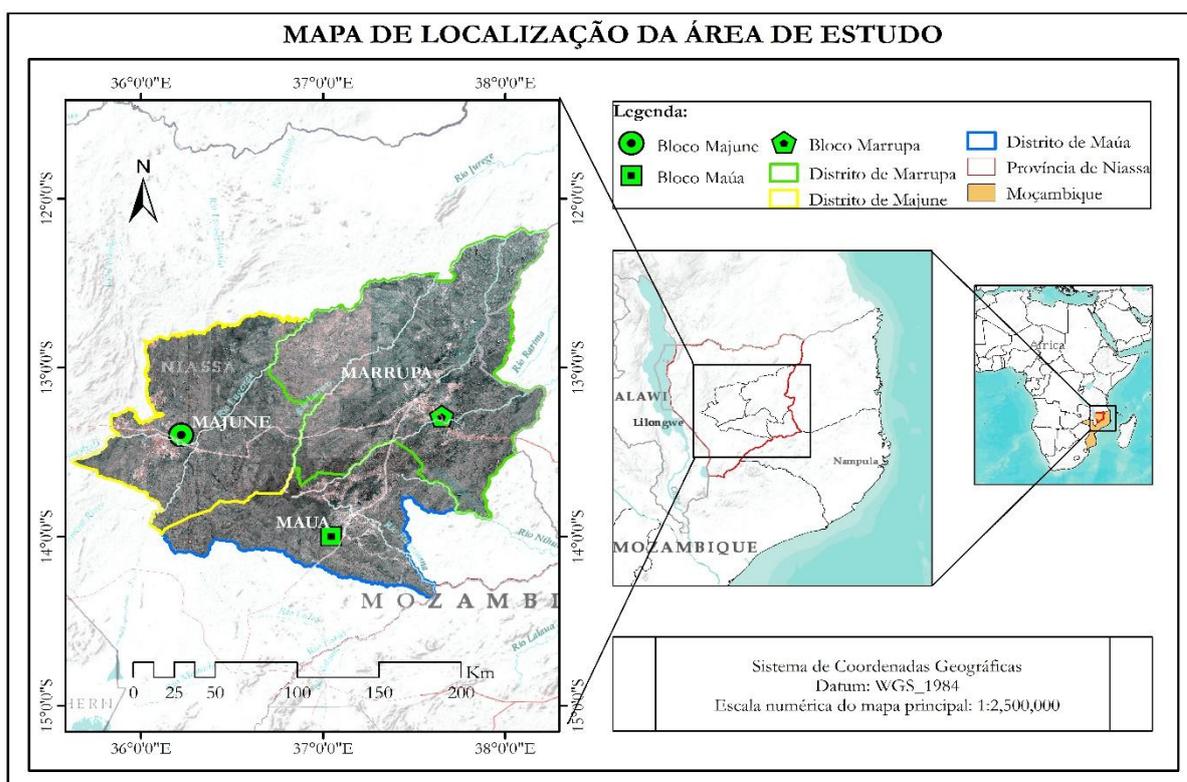


Figura 2: Mapa de localização da área de estudo.

3.1.2. Clima, relevo, solos e hidrografia

O distrito de Marrupa possui um clima tropical húmido, com temperatura média anual varia de 22° a 24°C e a precipitação anual varia de 1000 a 1400mm, podendo atingir os 1600mm. O relevo do distrito de Marrupa é de planície em quase todo o distrito. Os solos do distrito são predominantemente vermelhos de textura média, excepto na região Sudeste, onde se desenvolvem solos castanhos. A rede hidrográfica do distrito de Marrupa compreende numerosos rios e pântanos, destacando-se as bacias de Lugenda que faz limite a Norte com os distritos de Mavago e Messalo que atravessa o distrito na região Sul (MAE, 2005).

A região do distrito de Maúa possui climas semiárido e sub-húmido seco, com precipitação anual entre 800 e 1200 mm e temperaturas médias de 20° a 25°C. Localizada entre 200 e 500 metros de altitude, apresenta relevo ondulado e é uma zona planáltica que gradualmente se torna mais dissecada e inclinada em direção ao litoral. Os solos são profundos, bem a moderadamente drenados, com texturas argilosas. A região é atravessada pelas bacias dos rios Lúrio, Messalo e Mecualo, que fluem para o Oceano Índico (MAE, 2005).

O clima do distrito de Majune é tropical húmido, com temperaturas médias anuais entre 24 e 26°C, podendo atingir máximas de 36°C e mínimas de 14°C. A precipitação anual é de cerca de 1400 mm. O distrito é dividido em duas zonas altimétricas: no Norte, o relevo é muito acidentado, com altitudes acima de 1000 metros, enquanto no Sul as altitudes variam de 600 a .000 metros. Os solos são classificados em três grupos principais: solos argilosos vermelhos e profundos, solos franco-argilosos-arenosos vermelhos no extremo norte, e solos hidromórficos nas margens dos rios. A rede hidrográfica inclui a grande Bacia-Lugenda, com o rio Lugenda que nasce no Lago Amaramba e desagua no rio Rovuma (MAE, 2005).

3.1.3. Flora e fauna

De acordo com o mapa histórico de vegetação de Moçambique elaborado por Lötter *et al.*(2021), a região insere-se no bioma de savanas e pastagens, caracterizado pelo ecossistema regional do Miombo Húmido Zambeziano. A área de estudo é predominantemente coberta pelos seguintes ecossistemas: Miombo Húmido de Nungo, Miombo Húmido de Matondovela e Miombo Húmido do Planalto de Marrupa. Este tipo de floresta é dominado por espécies do género *Brachystegia* e *Julbernardia*, com destaque para espécies como: *Brachystegia boehmii*, *Brachystegia spiciformis*, *Brachystegia allenii*, *Brachystegia bussei*, *Brachystegia longifolia*, *Brachystegia utilis*, *Burkea africana* e *Julbernardia globiflora*, entre outras.

Ainda segundo os mesmos autores, também ocorrem pequenos arbustos e espécies herbáceas, como: *Aeschynomene schliebenii*, *Anisopappus chinensis* var. *buchwaldii*, *Cissus cornifolia*, *Crotalaria cephalotes*, *Droogmansia pteropus*, *Gladiolus murielae* e *Indigofera antunesiana*. Entre as gramíneas destacam-se: *Bewsia biflora*, *Hyperthelia dissoluta*, *Leptocarydion vulpiastrum*, *Melinis amethystea*, *Pogonarthria squarrosa*, *Sacciolepis indica*, *Stereochlaena cameronii*, *Themeda triandra* e *Zonotriche inamoena*. O potencial faunístico da região é rico em espécies de grande porte, nomeadamente, elefantes, leões, leopardos, entre outras espécies (MAE, 2005).

3.1.4. População e actividades económicas

O distrito de Marrupa possuía uma população de aproximadamente 54 mil habitantes em 2005 e densidade populacional de 3 hab/km². Maúá, por sua vez, tinha uma população de 53 mil habitantes em 2005, com densidade de 7 hab/km². Já Majune possuía 28 mil habitantes e densidade populacional de 3 hab/km² em 2005. (MAE, 2005).

A maior parte da população do Niassa vive em áreas rurais e depende da agricultura tradicional e de recursos naturais para subsistência (Nhantumbo *et al.*, 2013). Há três sistemas agrícolas dominantes: consorciação de mandioca, milho, feijões e arroz pluvial; cultura pura de mapira, consociada com milho, feijão, meixoeira e amendoim; e cultivo de algodão, principal cultura de rendimento. Todos os sistemas são de sequeiro. A população também se dedica à pesca, carpintaria e artesanato como actividades alternativas ou complementares à agricultura (MAE, 2005).

3.2. Aquisição de dados

3.2.1. Produtos MODIS (MCD64A1 e MCD14ML) e Landsat (8 e 9)

Neste estudo, a caracterização do regime de queimadas foi feita com base em dois produtos do sensor MODIS correspondentes aos produtos de áreas queimadas (MCD64A1) e focos de fogos activos diários (MCD14ML) referentes ao período entre Janeiro de 2014 até Dezembro de 2023, disponibilizados gratuitamente na internet pelos endereços¹e²respectivamente(acessados em 20 de janeiro de 2024).Para a validação do produto de áreas queimadas MCD64A1 foram usados produtos multiespectrais da série Landsat 8 e 9 referentes aos meses de Outubro e Novembro durante os anos em análise (2014-

¹<https://lpdaac.usgs.gov/tools/earthdata-search/>

²<https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/>

2023). Estes produtos são disponibilizados gratuitamente na internet pelo endereço³(acessado em 21 de Setembro de 2024).

3.2.2. Colecta de dados da biomassa

O levantamento dos dados de biomassa foi realizado em 2023 e consistiu na criação de parcelas retangulares temporárias, com orientação norte e dimensões de 50 m x 20 m, nas comunidades de Luambala, no distrito de Majune, Manhula, no distrito de Marrupa, e Pahua, no distrito de Maúa, conforme ilustrado na figura 4. As parcelas foram estabelecidas em blocos previamente definidos, com aceiros de 5 m em Luambala e Pahua e de 10 m em Manhula. A dimensão dos aceiros foi definida considerando variáveis como a velocidade do vento, inclinação do terreno e tamanho do material combustível.

Devido a limitações financeiras, não foi possível estabelecer todas as parcelas no mesmo período de tempo. Na primeira fase, foram implantadas 170 parcelas, distribuídas da seguinte forma: 80 na comunidade de Luambala, no distrito de Majune; 50 em Manhula, no distrito de Marrupa; e 40 em Pahua, no distrito de Maúa. Em cada local, foram previamente estabelecidos blocos de 16 ha, 10 ha e 8 ha, nas comunidades de Luambala, Manhula e Pahua, respectivamente.

Posteriormente, foram abertas áreas adicionais de 6 ha e 8 ha nos distritos de Marrupa e Maúa, respectivamente, totalizando 16 ha em ambos, alinhando-se com o que já tinha sido implementado no distrito de Majune. Assim, foram estabelecidas mais 30 parcelas em Marrupa e 40 parcelas em Maúa, perfazendo um total de 240 parcelas nos três distritos, destinadas à medição do material combustível.

³<https://earthexplorer.usgs.gov/>

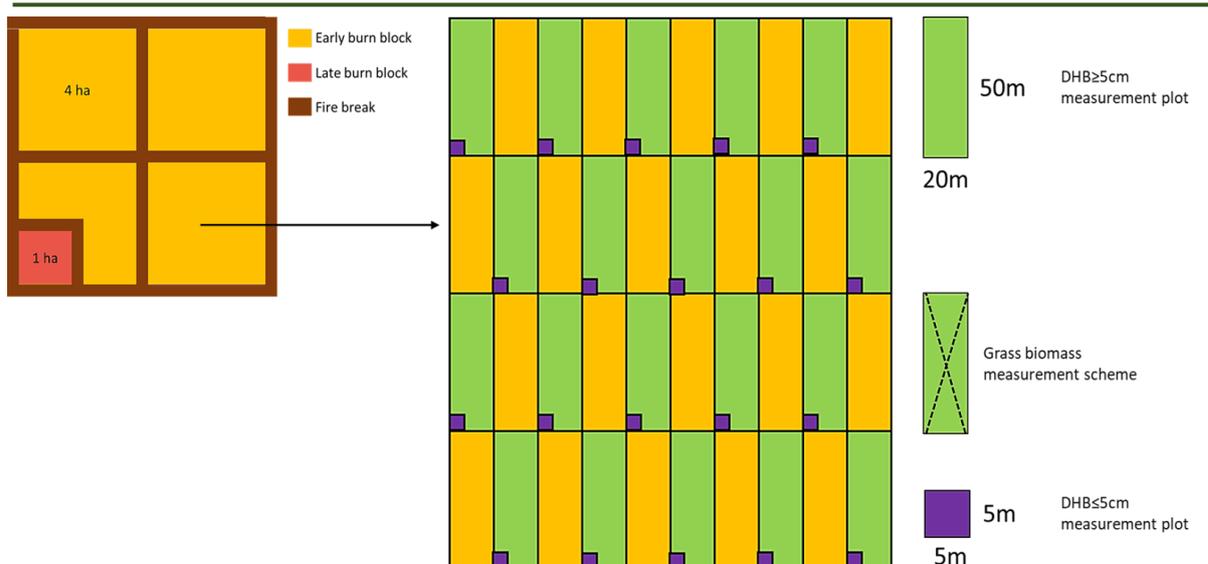


Figura 3:Esboço das unidades amostrais para a colecta de dados.

Fonte: (UEM e UniLúrio, 2023).

Na figura 4, a cor laranja representa blocos de 4ha; cor castanha representa os aceiros; verde indica as parcelas de 50mx20m e o lilás representa as subparcelas de 5mx5m. O tracejado diagonal em forma de X na parcela verde representa a medição de altura do material combustível (herbáceo).

Em cada parcela representada a cor verde, foram feitas as medições do material combustível (herbáceo) com o auxílio de um o disco medidor de pasto que consiste de uma haste metálica graduada que corre um disco de alumínio onde é colocado solto sobre a vegetação do estrato herbáceo (Sonto, 2020). A medição foi feita em duas linhas imaginárias em diagonal formando um X, com um distanciamento de aproximadamente 2 m entre cada ponto como ilustrado na figura 4.Foi usado o GPS para levantar coordenadas de cada parcela de medição. A informação colectada nos pontos mencionados serviu para estimar a quantidade de biomassa do estrato gramíneo e herbáceo existente na área de estudo de cada distrito.

3.2.3. Descrição da queima controlada

Após o levantamento dos dados relativos ao material combustível, procedeu-se à realização de uma queima fria controlada. Durante os meses de julho e agosto, as condições meteorológicas desfavoráveis e o elevado teor de humidade do material combustível impediram a execução integral da queima fria em todos os blocos previamente estabelecidos. Assim, para alcançar o efeito pretendido, foi necessário proceder de imediato à queima em setembro, sob pena de a

área ficar sujeita exclusivamente a uma queima quente.

Antes do início da queima, foram medidas e avaliadas as variáveis meteorológicas com auxílio do aparelho anemómetro portátil de marca *Krestel 2500* (vide anexo 1). Constatando-se que as condições eram favoráveis, deu-se início à queima (vide imagens no anexo 2), com o auxílio de pinga-lume, molho de capim ou mesmo ramo seco, orientadas a favor do vento. Considerando que o material combustível se encontrava semi-verde, com um teor de humidade que sugeria uma intensidade de fogo baixa a moderada, o fogo foi ateado em quase toda a área de queima, à exceção de 1 hectare destinado à queima tardia (quente).

A área queimada foi de 15 hectares por local, em cada distrito, contando com a participação de 12 membros da comunidade de gestão de fogos em cada actividade. Para garantir o controlo das chamas, a queima foi realizada sob a supervisão de todos os membros, que utilizaram materiais como mochilas com bombas de água, abafadores, ancinhos, pás e catanas.

Após a conclusão da queima controlada, todas as chamas foram devidamente extintas, recorrendo a abafadores ou ramos de árvores, de forma a evitar o alastramento do fogo caso ocorressem mudanças nas condições meteorológicas (como o aumento da velocidade do vento). Posteriormente, com o auxílio de um disco medidor de pasto, foi medida a altura do material combustível remanescente após a passagem do fogo. Esses dados foram utilizados para estimar a biomassa consumida durante a queima.

3.3. Processamento de dados

3.3.1. Mapeamento do regime de queimadas

O mapeamento do regime de queimadas foi feito de acordo a metodologia usada por Ribeiro *et al.* (2017), onde com base nos produtos do sensor MODIS correspondentes as áreas queimadas (MCD64A1, resolução espacial de 500m) e focos de fogos activos (MCD14ML) referentes ao período entre janeiro de 2014 a dezembro de 2023, determinou-se a frequência, o intervalo médio de retorno das queimadas, a intensidade e a densidade em 10 anos para os três distritos.

a) Frequência e intervalo médio de retorno de queimadas

O processamento foi realizado no ArcMap 10.8, começando pela conversão dos produtos matriciais MCD64A1 do formato *hdf* para *GeoTIFF*, utilizando a função *data – export data*.

Após essa conversão, foi feita a transformação de um sistema de coordenadas geográficas para uma projecção no sistema de coordenadas projectado (ou plano): UTM zona 36 S. Em seguida, com o uso da função *extract subdataset* foi extraído o *subdataset* referente a data de queima (*burndate*).

Em seguida, com o uso da ferramenta *reclassify*, foi feita a classificação para áreas queimadas os píxeis com valores entre 1 e 366 dias julianos, enquanto os valores fora desse intervalo foram classificados como áreas não queimadas. Essa classificação foi feita através de uma transformação em números binários (0 para área não queimada e 1 para área queimada). Combinando todas as imagens anuais, determinou-se a frequência de queimadas em cada píxel, utilizando a ferramenta *raster calculator*. Por fim, foi feito o recorte da área de estudo empregando a ferramenta de extracção *extract by mask*.

Para determinar o número de ocorrências de queimadas em cada píxel ao longo dos 10 anos analisados, em cada distrito, realizou-se a sobreposição das camadas mensais e, posteriormente, a agregação anual do produto obtido após a extracção da área de estudo. Em seguida, para estimar a área queimada, os píxeis no formato matricial (raster) foram convertidos para o formato poligonal utilizando a ferramenta *conversion (raster to polygon)*, e procedeu-se ao cálculo da área queimada em quilómetros quadrados (km²) para cada distrito (Vasco, 2021).

O intervalo médio de retorno de queimadas (IMRQ) e a frequência média das queimadas foram calculados com base na metodologia apresentada por Ribeiro *et al.* (2007) recorrendo-se à equação 1:

$$\text{IMRQ} = T * \frac{A}{a} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde: **T** é o período de tempo em análise (10 anos); **A** é área total de cada distrito (Km²) e **a** é área actualmente queimada.

A frequência média de queimadas é dada pela equação 2:

$$\text{Frequência} = \frac{1}{\text{IMRQ}} \quad (\text{Equação 2})$$

A frequência de queimada foi determinada através da combinação de camadas mensais e anuais da área queimada produzido pelos dados MCD64A1, onde foi calculada através do

número de vezes que um píxel é queimado durante o período estabelecido na pesquisa conforme a metodologia descrita nas pesquisas de Archibald *et al.*, (2010a) e Ribeiro *et al.*, (2017).

A classificação de frequências de queimadas consistiu na atribuição da classe “frequência alta” às áreas que no horizonte temporal de 10 anos (2014-2023) queimaram mais que 6 vezes, “frequência média” às áreas que queimaram até 6 vezes, “frequência baixa” às áreas que queimaram até 2 vezes e “sem queimadas” para áreas que não apresentaram nenhuma incidência de queimadas.

b) Densidade e intensidade de queimadas

Quer a densidade como a intensidade de queimadas foram calculadas a partir dos focos de fogos activos extraídos do produto MCD14ML (focos com nível de confiança $\geq 80\%$). Píxeis de baixa confiança não foram usados para evitar erros resultantes de detecções de alarmes falsos. A densidade de queimadas representa o número de queimadas (píxeis com queimadas) por unidade de área (km^2) durante os 10 anos de estudo (Ahrends *et al.*, 2010). É dada pela fórmula:

$$\text{Densidade} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de píxeis de queimadas}}{\text{Área}} \quad (\text{Equação 3})$$

Para calcular a densidade de queimadas, foi construído um mapa de densidade com a função *kernel density* do Arcmap 10.8 com uma resolução espacial de 1 km^2 .

A intensidade das queimadas refere-se à quantidade de calor libertada por uma frente de fogo num determinado período, sendo expressa através do Poder Radiativo do Fogo (FRP). O FRP mede a taxa de emissão de energia radiante por um incêndio, abrangendo todos os comprimentos de onda e ângulos, sendo este valor expresso em Megawatts (MW). Para a realização do mapa de intensidade de queimadas foi usado o interpolador IDW.

A relação entre a intensidade, a frequência e a densidade das queimadas foram analisadas por meio de gráficos de dispersão. Para a colecta dos dados, inicialmente foram gerados pontos aleatórios utilizando a ferramenta “*create random points*” no ArcMap 10.8. Posteriormente, aplicou-se a função “*extract multi values to points*”, a qual extrai os valores do *raster* para os pontos seleccionados, incorporando essa informação na tabela de atributos do *shapefile* correspondente. Finalmente, os dados foram exportados para o excel, onde foram elaborados

os gráficos de dispersão.

3.3.2. Processamento dos produtos Landsat

Devido à ausência de dados de campo concretos sobre as queimadas no período de 2014-2023, recorreu-se aos produtos de alta resolução espacial (30 m) do satélite Landsat para identificar as cicatrizes de áreas queimadas, com o objectivo de realizar a análise de exactidão (validação) do mapa de áreas queimadas (mapa de frequência de queimadas). Contudo, devido à presença de nuvens, não foi possível efectuar a validação para todos os anos em análise. Assim, foram excluídas as imagens do Landsat com elevada percentagem de nuvens, uma vez que estas dificultavam a detecção das cicatrizes de queimadas. Deste modo, a validação foi restringida aos seguintes anos: 2017, 2020, 2021, 2022 e 2023.

O software ArcGIS 10.8 foi utilizado para combinar bandas espectrais com o intuito de detectar as cicatrizes de queimadas (Meneses *et al.*, 2024). A combinação de bandas considerada mais adequada incluiu o visível, o infravermelho próximo (NIR) e o infravermelho de ondas curtas (SWIR2), na configuração 7-4-2 (Araújo e Ferreira, 2011; Campbell e Wayne, 2011).

3.3.3. Estimativa da perda da biomassa e reserva de carbono devido às queimadas florestais

Para estimar a perda da biomassa e a reserva de carbono, foi utilizada a metodologia descrita por Nhamussua (2015), onde estimou-se a biomassa e reserva de carbono antes e depois da queimada, como se explica a seguir com detalhes:

a) Biomassa e reserva de carbono antes e depois da queima

A biomassa herbácea representa a massa seca de todo o material combustível acumulado na área de estudo. A determinação da biomassa foi realizada com base na equação calibrada por Sonto (2020) para o ecossistema de miombo na Reserva Nacional do Niassa, cujas condições ambientais são semelhantes às da área de estudo. A equação utilizada para a estimativa foi:

$$Y = 0.005639X + 0.11679 \quad (\text{Equação 4})$$

As reservas de carbono foram determinadas com base nas normas do Painel Intergovernamental sobre as Mudanças Climáticas (IPCC, 2007a), que estipula que 50% da biomassa florestal corresponde a carbono.

b) Perda de biomassa e reserva de carbono

Depois da realização queimada controlada, estimou-se a biomassa e o carbono remanescente. A quantidade de biomassa e carbono perdido devido às queimadas florestais foi obtido fazendo a diferença entre a quantidade de biomassa e carbono antes e depois da queima.

3.3.4. Determinação das emissões de gases de efeito estufa (GEE)

Para a determinação das emissões usou-se a metodologia do IPCC (2006) referente a diretrizes para realização de inventários nacionais de GEE para cada distrito. Este método que combina os valores de biomassa com factores de emissão com a seguinte equação:

$$\text{Emissões (biomassa queimada)} = A_i * B_i * FE * FC * 10^{-3} \quad (\text{Equação 5})$$

Onde: Emissões (biomassa queimada) = Quantidade de emissões do GEE em toneladas;

A_i é a área queimada no distrito i (ha);

B_i é a biomassa antes da queima no distrito i (ton/ha);

FE é o factor de emissão específico para cada gás expressa a quantidade de gás emitido por tonelada de biomassa queimada (g/kg);

FC é o factor de combustão (proporção do material combustível queimado) na área de estudo do distrito i (%); Obtido pela seguinte fórmula: $FC = \frac{B_i - B_f}{B_i}$ onde: B_i representa a biomassa antes da queima e B_f a biomassa depois da queima.

O factor 10^{-3} converte a unidade para toneladas;

3.4. Análise de dados

Os dados do presente estudo foram agrupados e analisados nos pacotes, Microsoft Office Excel 2016 e IBM SPSS statistics. Os aspectos analisados foram: variação da biomassa entre os distritos de Marrupa, Majune e Maúa comparação da biomassa antes e depois da queimada nos três distritos. Em todos os testes foi usado nível de significância de 5% ($p < 0,05$).

3.4.1. Análise da biomassa entre os distritos de Marrupa, Majune e Maúa

Com o objectivo de averiguar se ocorreram diferenças significativas na biomassa herbácea entre os três distritos, os dados foram inicialmente submetidos a uma análise de distribuição normal, utilizando o teste estatístico de normalidade de Kolmogorov-Smirnov onde constatou-se que os dados não seguiam uma distribuição normal (vide anexo3). Deste modo,

recorreu-se ao teste Kruskal-Wallis não paramétrico alternativo da ANOVA que permite comparar medianas entre três ou mais grupos independentes. Para tal, formulou-se as seguintes hipóteses:

H₀: as medianas da biomassa nos três distritos (Marrupa, Majune e Maúa) são iguais.

H_a: pelo menos uma das medianas da biomassa é diferente entre os distritos.

Do teste de Kruskal Wallis, constatou-se que o *p-value* foi significativo (vide anexo 4), rejeitando-se deste modo, a hipótese nula (H₀). Assim, houve evidências suficientes que mostram que pelo menos uma das medianas da biomassa é diferente entre os distritos. De modo a aferir qual das medianas foi diferente, foi feito o teste *post hoc* de Dunn para comparações múltiplas entre as comunidades (distritos) pelo método *pairwise*.

3.4.2. Comparação da biomassa antes e depois da queimada nos três distritos

Para avaliar se ocorreram diferenças significativas na biomassa antes e após a queima nos três distritos, utilizou-se o teste não paramétrico de Mann-Whitney que é alternativo não paramétrica para o teste t, usado para comparar dois grupos independentes o qual examina se as medianas de dois grupos (biomassa antes e biomassa após a queima) são estatisticamente distintas. Este procedimento foi aplicado individualmente a cada um dos distritos. Assim, foram formuladas as seguintes hipóteses:

H₀: A biomassa antes e depois da queimada é igual na área de estudo de cada distrito.

H_a: há diferença da biomassa antes e depois da queimada na área de estudo de cada distrito.

3.4.3. Validação dos produtos MODIS

A validação foi realizada no software QGIS (versão 3.33.4), utilizando o complemento Acatama, onde foram gerados 300 pontos por ano, distribuídos com base no método de amostragem aleatória estratificada, de acordo com a proporção da área de cada estrato (área queimada e área não queimada). Posteriormente, os pontos foram rotulados com aquilo que se considerou a verdade no terreno (produtos Landsat).

No Acatama, os pontos foram confrontados com o mapa temático de áreas queimadas. O complemento gerou automaticamente a matriz de confusão, apresentando os valores da acurácia do utilizador e do produtor, bem como a exactidão global. Por fim, a matriz de confusão foi exportada para o Excel, onde foram calculados o erro de omissão, o erro de

comissão e o índice Kappa, com base nas equações 6, 7 e 8, respectivamente.

$$\text{Erro de omissão} = 100 - \text{acurácia do produtor} \quad (\text{Equação 6})$$

$$\text{Erro de comissão} = 100 - \text{acurácia do usuário} \quad (\text{Equação 7})$$

$$K = \frac{P_o - P_e}{1 - P_e} \quad (\text{Equação 8})$$

Onde o valor observado (P_o) é equivalente à exactidão global, e o valor esperado (P_e) baseia-se na concordância aleatória entre o mapa sob avaliação e o mapa de referência. O valor esperado é calculado como o produto dos valores da linha e da coluna de uma classe na matriz de confusão (Campbell e Wayne, 2011). Os valores do índice Kappa são classificados como $K < 0.0$ (baixa concordância), 0.0–0.20 (concordância fraca), 0.20–0.40 (concordância moderada), 0.40–0.60 (boa concordância), 0.60–0.80 (muito boa concordância) e 0.8–1.0 (excelente concordância) (Araújo e Ferreira, 2011; Magadzire, 2013).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Mapeamento e caracterização do regime de queimadas

4.1.1. Frequência e intervalo de retorno de queimadas

Durante o período de análise do regime de queimadas, compreendido entre os anos de 2014 a 2023 (10 anos), verificou-se que a frequência das queimadas oscilou entre 0 e 10 ocorrências. De acordo com a figura 5, no distrito de Marrupa (a) observou-se maior ocorrência de queimadas em relação aos distritos de Majune (b) e Maúa (c), principalmente nas zonas norte e oeste, onde predominou a classe de alta frequência. Este facto pode ser justificado pelo clima tropical húmido da região, que favorece o crescimento de vegetação proporcionando maior acumulação de biomassa seca durante a estação seca.

O distrito de Maúa (c) foi o menos afectado pelas queimadas com ocorrências de 0 a 6 queimadas ao longo dos 10 anos analisados. A baixa frequência de queimadas neste distrito pode ser explicada pelas condições meteorológicas locais, com climas semiárido e sub-húmido seco, que limitam o crescimento da vegetação e reduzem a quantidade de biomassa disponível para queimadas.

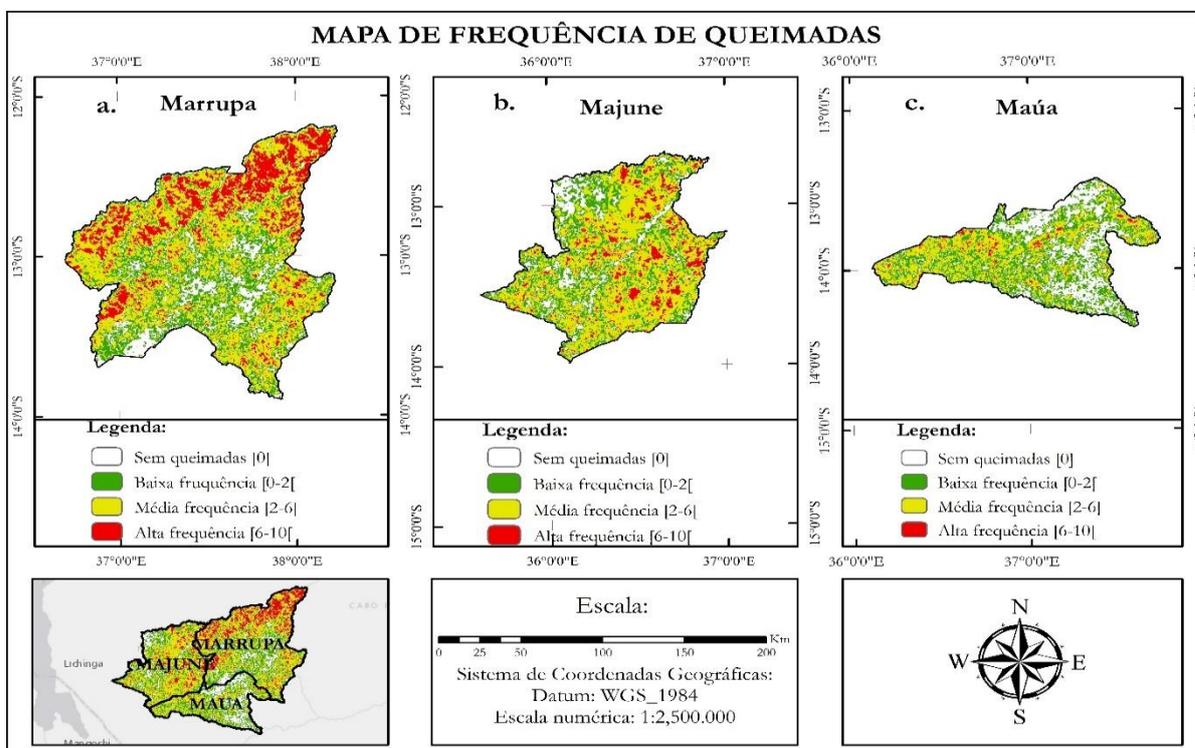


Figura 4: Mapa de distribuição da frequência de queimadas nos distritos de Marrupa (a),

Majune (b) e Maúa (c).

Tabela 3: Frequência e intervalo médio de retorno de queimadas nos distritos de Marrupa, Majune e Maúa na série temporal de 2014 a 2023.

Parâmetro	Marrupa	Majune	Maúa
IMRQ (anos)	3.83	4.04	5.48
Frequência de queimadas (ocorrências/ano)	0.26	0.25	0.18

De forma geral, observaram-se variações tanto na frequência como no intervalo médio de retorno das queimadas ao longo do período analisado nos três distritos. Conforme evidenciado na tabela 3, intervalo médio de retorno de queimadas (IMRQ) calculado para o distrito de Marrupa foi de 3.83 anos, indicando que o fogo retorna a um local específico a cada 3.83 anos, o que corresponde a uma frequência média de 0.26 ocorrências por ano. Estes resultados são semelhantes aos encontrados por Cangela (2014), que, ao caracterizar o regime de queimadas no ecossistema de miombo da Reserva Nacional do Niassa, obteve um intervalo médio de retorno de 3.29 anos e uma frequência média de queimadas de 0.36 ocorrências por ano, ao longo de um período de 12 anos.

Para o distrito de Majune, o IMRQ calculado indica o fogo retorna a um sítio particular a cada 4.04 anos correspondendo a uma frequência média de 0.25 ocorrências/ano. Este resultado assemelha-se ao obtido por Maúnze (2016) na análise espacial e temporal de queimadas na Reserva Nacional do Gilé tendo constatado que o fogo retorna a um sítio particular em 3.9 anos. Meneses *et al.* (2024) na mesma análise no ecossistema do miombo da concessão florestal LevasFlor obteve um IMRQ de 4.43 anos.

Para o distrito de Maúa, o IMRQ calculando indica o fogo retorna a um sítio particular a cada 5.48 anos correspondendo a uma frequência média de 0.18 ocorrências/ano. Estes valores assemelham-se aos resultados obtidos por Pungulanhe *et al.* (2021) que estudando a frequência de queimadas no ecossistema de miombo do Parque Nacional do Gilé-Zambézianum período de 5 anos constataram que o intervalo de retorno foi de 5.38 anos, porém a frequência foi de 0.38 ocorrências/ano. Recentemente, Joana (2023) analisou o regime de queimadas nas províncias da Zambézia, Niassa, Nampula e Cabo Delgado durante o período de 2005 a 2020, constatando que o intervalo médio de retorno das queimadas foi de 3.38 anos e a frequência média foi de 0.21 ocorrências/ano.

De acordo com Ryan e Williams (2011), a frequência das queimadas pode não representar um

problema para o manejo florestal na área de estudo, uma vez que, segundo esses mesmos autores, incêndios frequentes podem não acarretar, necessariamente, uma destruição significativa para o ecossistema. No entanto, Kall (2006) e Magadzire (2013) defendem que o verdadeiro problema reside nos incêndios intensos, pois a intensidade aumenta o potencial de perturbação causado pelos incêndios.

Os achados sobre intervalo médio de retorno de queimadas neste estudo estão de acordo com os achados de outros estudos conduzidos em ecossistemas semelhantes. Por exemplo, os estudos de Archibald *et al.* (2010a) se referiram ao IMRQ em ecossistemas de savana e pastagem, que incluem florestas de Miombo, variando de 1,7 a 10 anos. Ribeiro (2007), Saito *et al.* (2014), Ribeiro *et al.* (2017) e Van Wilgen *et al.* (2022) relataram que o IMRQ para Miombo varia entre 1,6 e 4,5 anos. Assim, os IMRQ encontrados neste estudo são considerados dentro da faixa comum para florestas de miombo e são classificados como moderado para Majune e Maúa, e alto para Marrupa, conforme declarado por Magadzire (2013).

Apesar do intervalo médio de retorno ter sido estimado em 3.83, 4.04 e 5.48 anos para Marrupa, Majune e Maúa respectivamente, isto não significa exactamente que na área de estudo as queimadas ocorrem a cada 3, 4 e 5 anos, pois, fazendo análises e observações anuais através de imagens do produto MCD64A1, foi possível verificar que a região norte e oeste do distrito de Marrupa registaram queimadas frequentes, numa escala de 6 a 10 ocorrências consecutivas em 10 anos, e, por sua vez a parte central do distrito de Marrupa, noroeste do distrito de Majune e quase todo distrito de Maúa foram os menos afectados por queimadas frequentes, com uma variação de 0 a 5 ocorrências de queimadas.

A tabela 4 ilustra a área que cada frequência ocupa nos distritos de Marrupa, Majune e Maúa em quilómetros quadrados. Nota-se que no distrito de Maúa há uma relação inversa entre a frequência de queimadas e a sua respectiva área queimada durante o horizonte temporal. Onde, quanto mais frequente se torna a ocorrência de queimadas, a área ocupada pela mesma reduz. Assim sendo, observa-se que a frequência 1 apresenta maior área queimadas durante a série temporal, cerca de 1577.7 Km² correspondente a 27.7% da área queimada.

Pode-se observar também que a maior frequência de queimadas (frequência de queimadas igual a 10) apresentou a menor extensão de área queimada, cerca de 126.78 Km², 15.31Km² e 1.92Km² correspondentes a 0.83%, 0.15% e 0.03% da área queimada nos distritos de

Marrupa, Majune e Maúa, respectivamente. Este resultado é semelhante aos obtidos por N'Datchoh *et al.*,(2015), Maúnze (2016), Janota (2022) e Joana (2023),que também identificaram uma relação inversa entre a frequência de queimadas e a área queimada nos seus estudos.

Tabela 4: Área ocupada por frequência de queimadas em km² (de 2014 a 2023).

Frequência	Marrupa		Majune		Maúa	
	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%
1	1990.22	13.06	1416.77	14.32	1577.67	27.69
2	2080.13	13.65	1536.10	15.53	1322.21	23.20
3	2090.98	13.72	1712.57	17.31	1087.73	19.09
4	2107.60	13.83	1672.54	16.90	783.94	13.76
5	2049.88	13.45	1479.48	14.95	489.55	8.59
6	1832.80	12.03	1060.47	10.72	253.88	4.46
7	1503.63	9.87	630.71	6.37	121.74	2.14
8	981.52	6.44	279.53	2.83	44.88	0.79
9	478.04	3.14	90.61	0.92	15.00	0.26
10	126.78	0.83	15.31	0.15	1.92	0.03
Total	15241.58	100	9894.09	100	5698.52	100

4.1.2. Intensidade e densidade de queimadas

Entre 2014 e 2023, foram registados um total de 30373, 20240 e 12134 focos de fogos activos nos distritos de Marrupa, Majune e Maúa, respetivamente. No entanto, após a exclusão dos FFA com um nível de confiança inferior a 80%, com o intuito de evitar a inclusão de falsos alarmes, a distribuição foi reduzida para 8349, 5624 e 2428 nos mesmos distritos, conforme apresentado no gráfico 1.

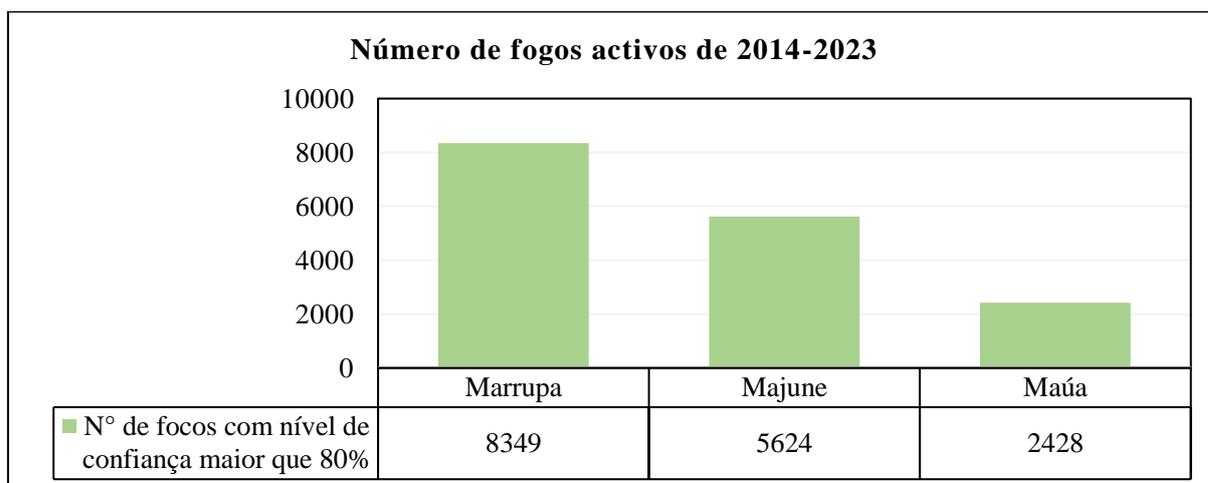


Gráfico 1:Gráfico de distribuição do número de focos de fogos activos por distrito no

período de 2014 a 2023.

Assim, tal como evidenciado por Cagela (2024), Ribeiro (2017), Soares (2017) e Joana (2023), o número de FFA utilizados na análise de intensidade e densidade pode ser visto como uma subestimação dos valores reais, concentrando-se apenas naqueles em que houve uma elevada certeza de ocorrência.

A distribuição espacial das queimadas é representada pela densidade de ocorrências por quilómetro quadrado, conforme ilustrado na figura 6. No distrito de Marrupa, as zonas norte e noroeste destacaram-se por apresentar a maior concentração de queimadas, com a densidade máxima a atingir 566 queimadas por quilómetro quadrado. Em contraste, as áreas centrais e sudoeste registaram as densidades mais baixas de queimadas a nível do distrito.

Para o distrito de Majune, as regiões a sul, sudoeste e leste demonstraram a maior concentração de queimadas, apresentando uma densidade máxima equiparada à do distrito de Marrupa, com 557 queimadas por quilómetro quadrado. Em contrapartida, a zona noroeste apresentou as densidades mais reduzidas de queimadas dentro do distrito. Enquanto que no distrito de Maúa, observou-se um panorama distinto, caracterizado por uma menor densidade de queimadas. As regiões central e oeste destacaram-se pela elevada concentração de queimadas, atingindo uma densidade máxima de 359 queimadas por quilómetro quadrado. As demais áreas do distrito apresentaram densidades significativamente inferiores.

Apesar da elevada densidade de queimadas na região central do distrito de Maúa, a frequência de ocorrência foi baixa, fenómeno que pode ser atribuído às características ecológicas da área, como a taxa de crescimento do material combustível e a presença de barreiras naturais que limitam a propagação do fogo na paisagem (Archibald *et al.*, 2010a). Nesse contexto, Williams *et al.* (2008) argumentam que a elevada densidade pode resultar de múltiplos incêndios de pequena dimensão, os quais, embora promovam a continuidade das queimadas devido à constante disponibilidade de combustível, têm impacto limitado na expansão da área queimada. Assim, a densidade de queimadas revela-se uma variável essencial na análise do regime de fogo de uma região.

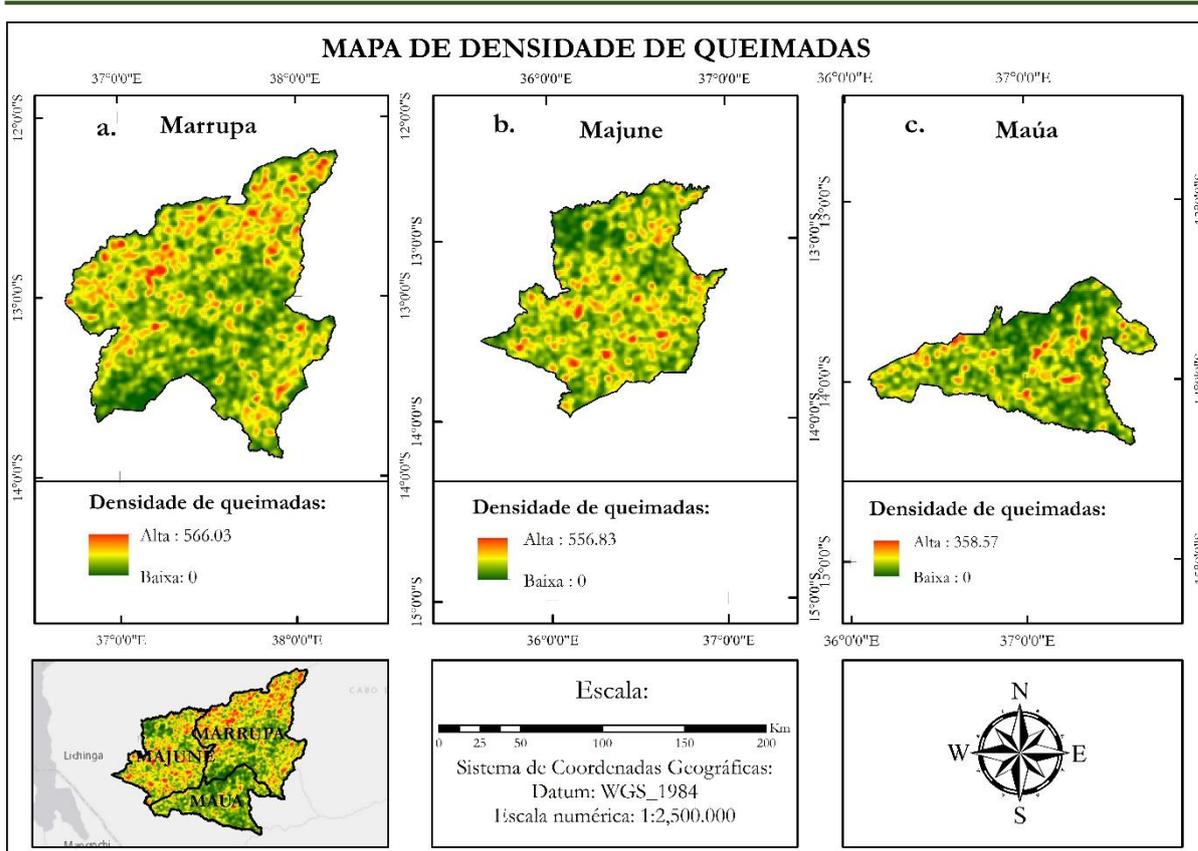


Figura 5: Mapa de distribuição da densidade de queimadas nos distritos de Marrupa (a), Majune (b) e Maúa (c) .

De acordo com Joana (2023), a intensidade de queimadas é determinada pelo Poder Radioactivo do Fogo (FRP). Assim, cada foco possui o seu FRP específico, e, após a interpolação dos dados, foi gerado o mapa de intensidade referente ao período analisado para os distritos de Marrupa, Majune e Maúa, conforme ilustrado na figura 7.

A intensidade (FRP) de queimadas no distrito de Marrupa variou de 6.6 a 1524.2 Megawatts, com uma média de 64.5MW, sendo que 84.3% das queimadas tiveram intensidade abaixo de 100MW, sendo consideradas de queimadas de baixa intensidade, 15.5% com intensidade de 100 a 500MW (intensidade média) e 0.25% apresentaram intensidade acima de 500MW (alta intensidade).

Para o distrito de Majune a intensidade (FRP) de queimadas variou de 9.2 a 1156MW, com uma média de 64.85MW similar a média do distrito de Marrupa, sendo que 84.9% das queimadas tiveram intensidade abaixo de 100MW consideradas de queimadas de baixa intensidade, 14.9% com intensidade de 100 a 500MW (intensidade média) e 0.01%

apresentaram intensidade acima de 500MW (alta intensidade).

Os cenários observados nos distritos de Marrupa e Majune são semelhantes aos resultados obtidos por Soares (2017), ao caracterizar o regime de queimadas no distrito de Gurué, entre 2000 e 2015. Nesse estudo, constatou-se que a maioria das queimadas apresentava uma intensidade inferior a 100 MW (81,3%), com 18,4% situando-se entre 100 e 500 MW, e apenas 0,3% das queimadas exibiam uma intensidade superior a 500 MW.

Um cenário diferente foi constatado no distrito de Maúa onde a intensidade (FRP) de queimadas variou de 8.3 a 388.3MW, com uma média de 54.42MW sendo que 89.5% das queimadas tiveram intensidade abaixo de 100MW, sendo consideradas de queimadas de baixa intensidade, 10.5% com intensidade de 100 a 500MW (intensidade média). Diferentemente do que foi constatado nos distritos de Marrupa e Majune, o distrito de Maúa não apresentou queimadas com intensidade acima de 500MW (consideradas de alta intensidade).

Segundo Ichoku *et al.* (2008), queimadas com intensidades inferiores a 100 MW representam, geralmente, mais de 90% de todas as queimadas que ocorrem numa determinada região. Este padrão foi confirmado no presente estudo, onde aproximadamente 90% das queimadas registadas nos distritos de Marrupa, Majune e Maúa apresentaram intensidades abaixo de 100 MW.

Ryan e Williams (2011) mostraram que o aumento da intensidade das queimadas no miombo está associado a uma maior mortalidade nas espécies arbóreas. Portanto, nas áreas mencionadas anteriormente, é provável que ocorra uma mortalidade mais elevada das árvores devido à alta intensidade das queimadas. Govender *et al.* (2006) afirmam que a intensidades elevadas podem destruir as partes aéreas de plantas lenhosas de porte médio, obrigando-as a rebrotar a partir da base após a queimada. No entanto, queimadas de até 30.000 kW (30 Megawatts) podem provocar a morte imediata de 90% das mudas com até um metro de altura, enquanto apenas 40% das árvores com mais de dois metros são afetadas.

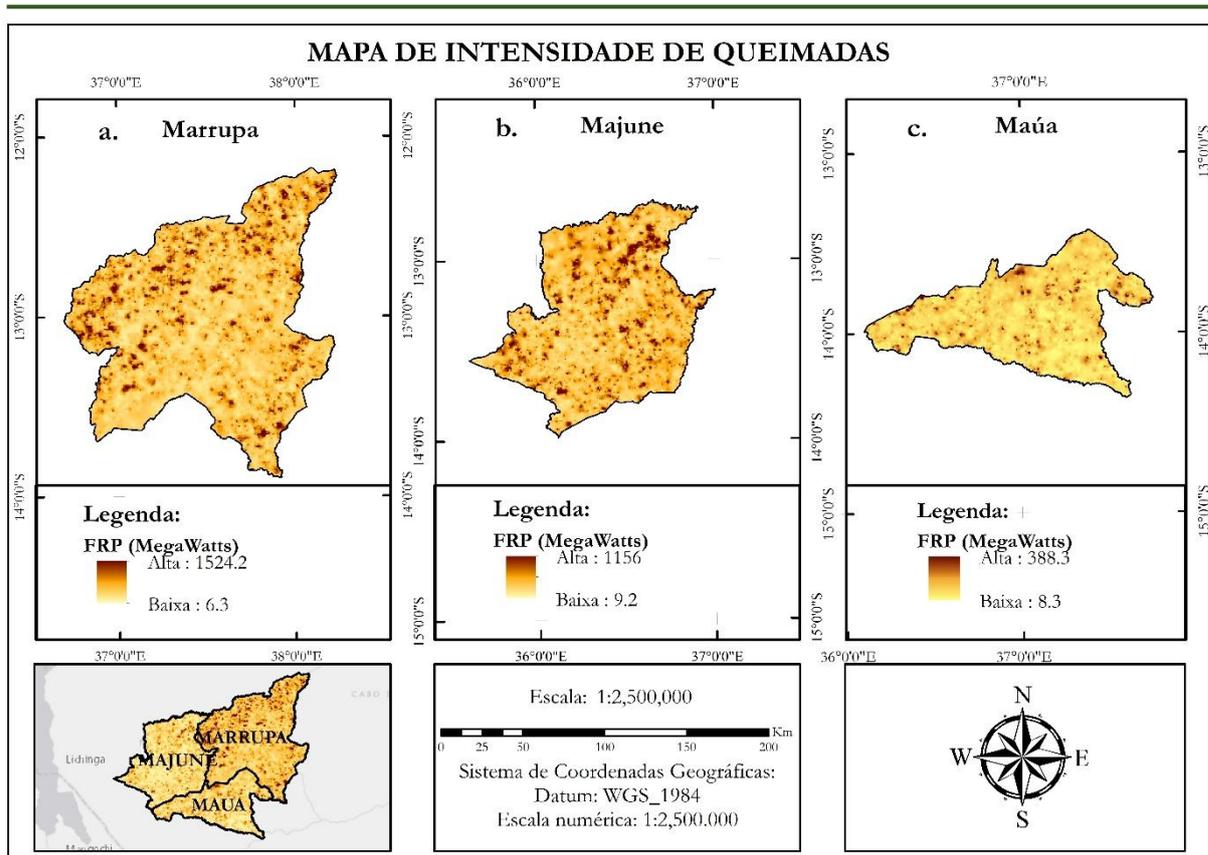


Figura 6: Mapa de distribuição da intensidade de queimadas nos distritos de Marrupa (a), Majune (b) e Maúa (c).

4.1.3. Validação dos produtos MODIS

Com base no resultado de validação do mapa de áreas queimadas na tabela 5, é possível constatar que a exactidão do produtor para área queimada variou de 53 a 79%. A exactidão do usuário para a área queimada variou de 63 a 83%. No entanto, estima-se que 21 a 47% das áreas queimadas não foram detectadas (erros de omissão) e outros 17 a 34% foram identificados incorrectamente como queimados (erros de comissão).

Os erros de omissão podem ser atribuídos à limitação do sensor MODIS em detectar queimadas menores que 500 m² (Magadzire, 2013; Leblon e Bourgeau-Chavez, 2012). Segundo Cangela (2014), o sensor MODIS detecta perfeitamente áreas queimadas que sejam extensas e contínuas, mas têm dificuldades de detectar áreas com baixa densidade de queimadas pois ao fazer observações no campo identificou nas parcelas de frequência de queimada nula indivíduos com sinais de fogo o que significa que a queimada registada na área não foi suficientemente intensa nem extensa para ser detectada como fogo activo ou área queimada pelo sensor MODIS.

Para Roy *et al.* (2005), a baixa eficiência da combustão, ou seja, o grau em que a vegetação é consumida pelo fogo, pode provocar alterações insuficientes na reflectância da superfície, impedindo que a área seja identificada como queimada, conseqüentemente, alguns incêndios podem não ser detectados. Adicionalmente, a presença contínua de nuvens e a densa cobertura do dossel florestal podem dificultar a capacidade do satélite de identificar incêndios na superfície, levando a erros de omissão (Giglio *et al.*, 2009).

Os erros de comissão são consideravelmente inferiores aos erros de omissão (tabela 5). Magadzire (2013) e Roy *et al.* (2005) referem que os dados do sensor MODIS apresentam limitações em condições de reflectância infravermelha reduzida, uma vez que alterações nessa reflectância não se limitam a indicar queimadas, podendo também representar a remoção de vegetação, a exposição de solos menos reflectivos, inundações ou o processo de senescência da vegetação. Além disso, apontam que variações espectrais semelhantes às causadas por incêndios podem ser originadas por sombras de nuvens ou do relevo, conduzindo a potenciais erros de interpretação.

A exactidão global (Po), que variou entre 75% e 82%, indica que o mapeamento de áreas queimadas utilizando os produtos MODIS neste estudo apresenta uma correspondência significativa com as observações de campo. O coeficiente de concordância de Kappa, com valores entre 46% e 60%, demonstra uma boa concordância entre o mapa derivado do MODIS e os dados de referência (verdade terrestre). Estes resultados estão em conformidade com os obtidos por Cangela (2014), Ribeiro *et al.* (2017), Pungulanhe (2021) e Meneses *et al.* (2024).

Tabela 5: Resultados da validação dos produtos MODIS (apenas para a categoria área queimada), em que EP corresponde à exactidão do produtor, EU à exactidão do utilizador, Po à exactidão global, Pe à exactidão esperada e K ao coeficiente de concordância.

Ano	Erros de omissão (%)	Erros de comissão (%)	EP (%)	EU (%)	Po (%)	Pe (%)	K (%)
2017	20.71	34.29	79.29	65.71	82.01	56.30	58.83
2020	35.36	31.25	64.64	68.75	78.01	55.76	50.29
2021	47.17	23.33	52.84	76.67	74.94	53.60	45.98
2022	23.89	17.39	76.11	82.61	80.01	50.00	60.01
2023	38.50	23.33	61.50	76.67	81.23	56.00	57.34

4.1.4. Relação entre frequência, intensidade, densidade de queimadas e seu efeito na biomassa florestal

Os gráficos de dispersão apresentam as relações entre a intensidade das queimadas (em Megawatts), afreqüência das queimadas (número de ocorrências) e adensidade(número de FFA por km²). Essas análises visam verificar o comportamento das queimadas e o seu efeito sobre a biomassa vegetal (combustível) nos três distritos analisados: Marrupa, Majune e Maúa.

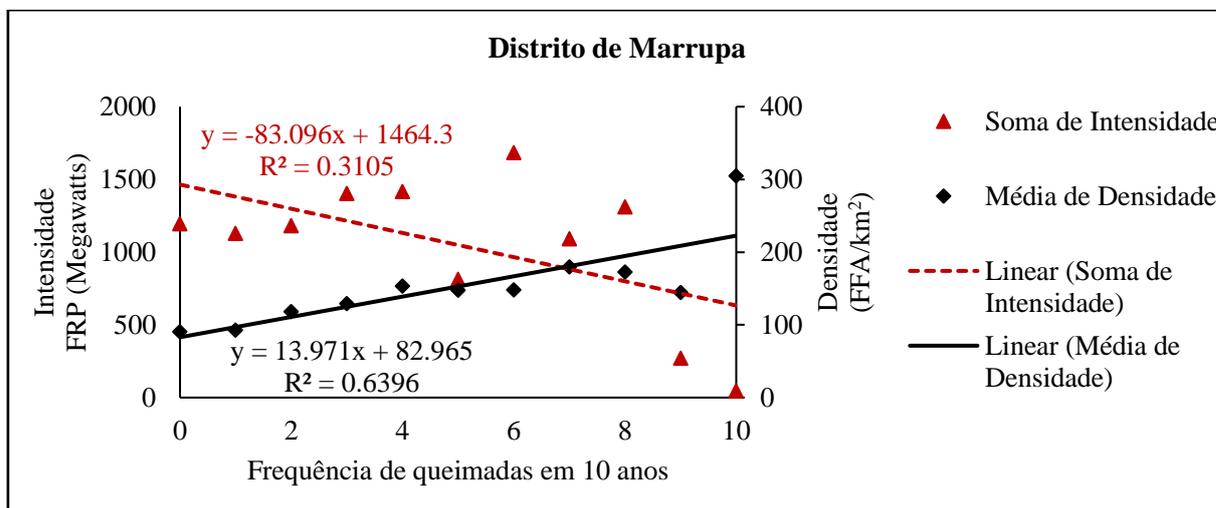


Gráfico 2: Relações entre a intensidade, frequência e densidade de queimadas para o distrito de Marrupa.

No distrito de Marrupa (gráfico 2), a relação entre a frequência e a intensidade das queimadas revelou uma correlação fraca e inversa, com um coeficiente de correlação (R^2) de 0.31. Este valor reduzido sugere que outros factores, além da frequência, possam estar a influenciar a intensidade das queimadas, como a variação da biomassa ou as condições climáticas. Por outro lado, a correlação entre a frequência e a densidade das queimadas foi moderadamente forte e positiva, com um coeficiente de correlação de 0.64, o que indica que áreas com maior recorrência de queimadas apresentam mais focos de ignição e uma maior concentração de actividade de fogo.

A relação entre a intensidade e a densidade mostrou-se inversa, confirmando que zonas com maior densidade de queimadas tendem a ter incêndios de menor intensidade. Nas áreas com maior densidade de focos de fogo, a biomassa acumulada é menor, resultando em queimadas menos intensas. Estes resultados estão de acordo com as conclusões de Cangela (2014), que verificou que a elevada densidade de queimadas reduz a quantidade de biomassa disponível, levando a uma diminuição da intensidade das queimadas subsequentes.

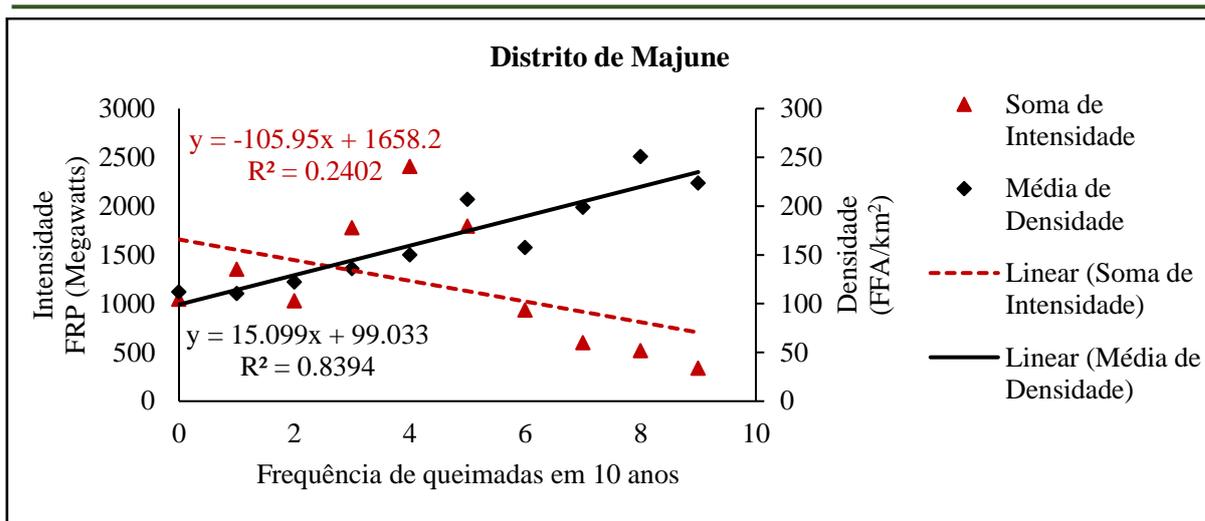


Gráfico 3: Relações entre a intensidade, frequência e densidade de queimadas para o distrito de Majune.

Em Majune (gráfico 3), a correlação entre a frequência e a intensidade foi igualmente fraca e inversa, tal como no distrito de Marrupa, com um coeficiente de correlação de 0.24. Este resultado difere do obtido por Janota (2022) ao relacionar a frequência e intensidade de queimadas em Moçambique num período de 11 anos (2008 a 2018) tendo observado uma relação forte e positiva ($R^2=0.98$) significando que a intensidade de queimada depende da frequência de queimada e as áreas que queimam com mais frequência também têm queimadas mais intensas.

Por outro lado, a correlação entre a frequência e a densidade de queimadas revelou-se forte e positiva, com um coeficiente de correlação de 0.83, o que demonstra que a densidade de queimadas aumenta conforme a frequência. Estes resultados seguem o mesmo padrão observado em Marrupa e estão em consonância com as conclusões de Cangela (2014). O aumento da frequência de queimadas está associado a uma maior densidade de FFA, sustentando a ideia de que áreas com maior recorrência de queimadas apresentam mais pontos de ignição e maior concentração de actividade de fogo. A relação entre intensidade e densidade foi inversa, refletindo também o padrão observado em Marrupa.

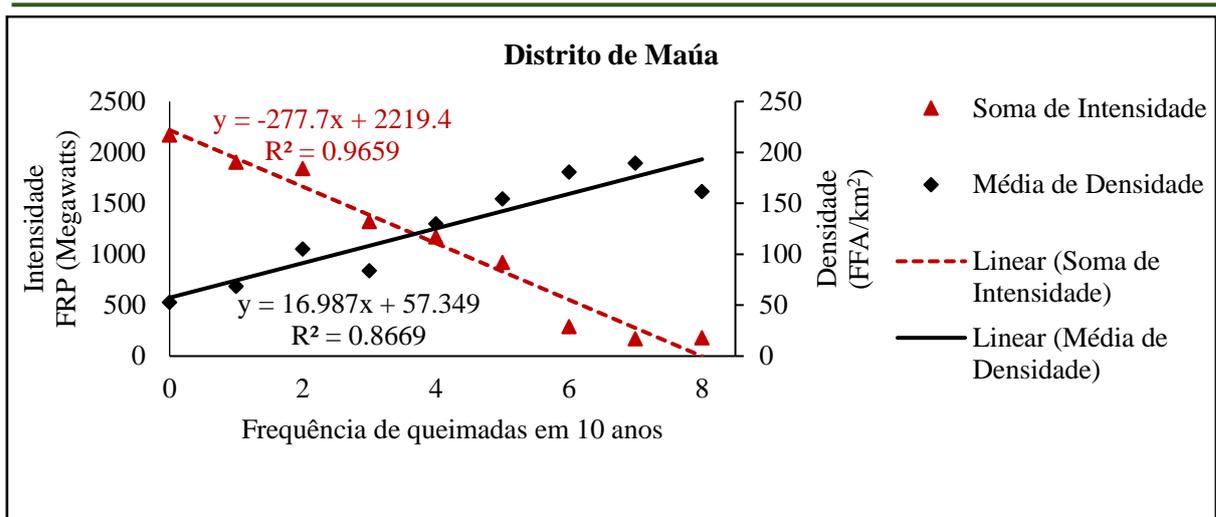


Gráfico 4: Relações entre a intensidade, frequência e densidade de queimadas para o distrito de Maúá

A relação entre frequência e intensidade em Maúá (gráfico 4) foi muito forte e inversa, com um coeficiente de correlação de 0.98. Esse comportamento é consistente com o observado por Ribeiro *et al.* (2017), que também encontraram uma correlação inversa significativa na Reserva Nacional do Niassa. A maior frequência de queimadas resulta em menor intensidade devido à redução de biomassa disponível para queima. Por sua vez, a relação entre frequência e densidade em Maúá foi igualmente muito positiva, com um coeficiente de correlação de 0.87. A relação entre intensidade e densidade foi inversa reflectindo o padrão observado em Marrupa e Majune.

Govender *et al.* (2006), num estudo realizado na savana sul-africana, observaram que o prolongamento do intervalo entre queimadas de 1 para 6 anos resultou num aumento acentuado da intensidade do fogo, passando de 28 kW/m para 17905 kW/m. Este fenómeno foi atribuído ao aumento da biomassa lenhosa, que cresceu de 2964 kg/ha para 3972 kg/ha. De forma análoga, van Langevelde *et al.* (2003), através de simulações, demonstraram que o acréscimo da biomassa de gramíneas em savanas tropicais desencadeia incêndios de maior intensidade, com impactos significativos nas árvores.

No contexto local, os distritos de Marrupa e Majune registaram médias mais elevadas de intensidade de queimadas (64.5 MW e 64.85 MW, respectivamente) e um intervalo de retorno mais curto (4 anos), quando comparados com o distrito de Maúá, que apresentou uma intensidade média mais baixa (54.42 MW) e um intervalo de retorno mais longo (6 anos). Para mitigar as intensas queimadas observadas em Marrupa e Majune, recomenda-se o

aumento da frequência de queimadas, encurtando o intervalo de retorno por meio da aplicação de queimadas antecipadas no início da época seca. Esta estratégia visa reduzir a quantidade de biomassa acumulada, diminuindo assim a intensidade das queimadas subsequentes, especialmente os que ocorrem no final da época seca, caracterizados por condições extremas (baixa humidade e combustível florestal seco), que intensificam os danos causados ao ecossistema.

4.2. Estimativa e análise da biomassa e reserva de carbono herbáceo nos distritos de Marrupa, Majune e Maúa

4.2.1. Análiseda biomassa entre as áreas de estudo dos distritos

Os resultados da análise da biomassa revelaram diferenças estatisticamente significativas nas medianas de biomassa entre as áreas de estudo dos distritos de Marrupa, Majune e Maúa ($p < 0,05$) (vide anexo 4), o que levou à rejeição da hipótese nula (H_0). Estes dados indicam que pelo menos uma das medianas de biomassa difere significativamente entre as áreas de estudo dos distritos.

A tabela 6 ilustra os resultados comparativos do teste *post hoc* de Dunn para determinar em quais distritos as diferenças ocorrem.

Tabela 6: Resultados do teste post hoc de Dunn para comparações múltiplas da biomassa herbácea entre as áreas de estudo dos distritos

Amostra 1 - Amostra 2	Sig. (valor p)	Adj. Sig. (Valor p ajustado)
Majune – Maúa	0.005	0.016
Majune - Marrupa	<0.001	0
Maúa – Marrupa	0.059	0.178

Os resultados obtidos nas comparações múltiplas de biomassa nos distritos de Marrupa, Majune e Maúa revelaram diferenças significativas na biomassa entre os distritos, particularmente entre os distritos de Majune e Maúa ($p < 0,05$), e entre os distritos de Majune e Marrupa ($p < 0,05$). Contudo, não se observaram diferenças significativas entre os distritos de Maúa e Marrupa ($p > 0,05$). Estes resultados indicam que, embora os três distritos pertençam ao mesmo ecossistema, existem variações locais que influenciam a distribuição da biomassa.

4.2.2. Estimativa e análise da biomassa e carbono herbáceo antes e depois da queima

A tabela 7 apresenta a quantidade de biomassa herbácea e carbono antes e depois da queimada e o resultado da análise da biomassa antes e depois da queimada. O teste de Mann-Whitney empregado na área de estudo de cada distrito mostrou diferenças significativas na biomassa antes e após a queima em todos os distritos (Marrupa, Majune e Maúa), com valores de p inferiores a 0,001. Isso indica que as queimadas tiveram um impacto significativo na biomassa herbácea, evidenciando uma redução acentuada após a queima.

Antes da realização da queima constatou-se que a maior quantidade da biomassa herbácea e carbono total verificou-se na área de estudo do distrito de Majune com 0.85 ton/ha de biomassa herbácea e 0.43 ton/ha de carbono, seguido da área de estudo do distrito de Marrupa com 0.78 ton/ha de biomassa herbácea e 0.39ton/hade carbono e por fim, a área de estudo do distrito de Maúa com 0.73ton/ha de biomassa herbácea e 0.37ton/ha de carbono.

Os valores de biomassa e carbono herbáceo estimados para este estudo diferem dos encontrados por Ribeiro *et al.* (2013) no estudo sobre monitorização da dinâmica da vegetação e da densidade da reserva de carbono em florestas de miombona Reserva Nacional do Niassa tendo obtido 4.05 Mg/ha (4,05ton/ha) de biomassa e 2.03 MgC/ha (2.03 tonC/ha) de carbono para as gramíneas e 0.04 Mg/ha(0.04 ton/ha) de biomassa e 0.02 MgC/ha (0.02 tonC/ha) de carbono para herbáceas. Na mesma área de estudo, Sonto (2020), ao estimar a biomassa herbácea por densidade de cobertura florestal obteve 1.36 1.38 1.35 1.37 ton/ha para as densidades 10 a 25%, 25 a 50%, 50 a 75% e 75 a 100% respectivamente. Estes valores são elevados quando comparados com os valores obtidos no presente estudo.

Por outro lado, foram observados valores similares aos apresentados neste estudo referentes a biomassa e carbono herbáceo obtidos por Nhamussua (2015) (0.58 a 2.04 ton/ha de biomassa e 0.26 a 1.35 ton/ha de carbono), na floresta de miombo nos distritos de Gondola e Manica, e na floreta de Mopane no distrito de Tambara.

Tabela 7: Biomassa e carbono herbáceo antes e depois da queimada controlada.

Distrito	Antes da queima		Depois da queima		Sig. (valor p)
	Biomassa (ton/ha)	Carbono (ton/ha)	Biomassa (ton/ha)	Carbono (ton/ha)	
Marrupa	0.78	0.39	0.52	0.26	<0.001
Majune	0.85	0.43	0.54	0.27	<0.001
Maúa	0.73	0.37	0.57	0.28	<0.001

Após a queimada fez-se novamente a contabilização da biomassa e carbono remanescente com vista a determinar as quantidades de biomassa e carbono remanescentes após a passagem do fogo. Os dados da Tabela 7, indicam que após a queimada, o remanescente foi de 0.52 ton/ha de biomassa e 0.26 ton/ha de carbono para a área de estudo do distrito de Marrupa, por sua vez, no distrito de Majune o remanescente foi de 0.54 ton/ha de biomassa e 0.27 ton/ha de carbono e finalmente no distrito de Maúa, o remanescente foi de 0.57 ton/ha de biomassa e 0.28 ton/ha de carbono. Embora os três distritos pertençam ao mesmo ecossistema (miombo) e estejam próximos entre si, apresentaram valores distintos de biomassa e carbono herbáceo, tanto antes como após a queima.

4.3. Estimativa de perda da biomassa e reserva de carbono herbáceo devido às queimadas florestais

A tabela 8 indica a estimativa de perda de biomassa herbácea e carbono devido as queimadas florestais assim como a percentagem que a perda representa na biomassa e carbono herbáceo total. Verificou-se que a área de estudo dos distritos de Marrupa e Majune apresentaram maior percentagem de biomassa e carbono herbáceo perdido devido às queimadas florestais (33.3 e 36.5% da biomassa e carbono herbáceo total respectivamente) enquanto que o distrito de Maúa apresentou metade da biomassa e carbono herbáceo perdido na área de estudo do distrito de Marrupa (21.92% da biomassa e carbono herbáceo total).

As percentagens da biomassa herbácea perdida (combustível consumido) verificados no presente estudo são inferiores em comparação com o valor obtido por Sonto (2020) ao estudar o comportamento do fogo e a sua relação com as florestas de miombo na Reserva Nacional do Niassa, verificou percentagens do combustível consumido nos estratos variaram de 89 a 94%. Os valores elevados obtidos por este autor podem ser justificados pelo facto da queima ter sido realizada no final da época seca (outubro) em que as condições ambientais (velocidade do vento elevada) e do combustível (humidade baixa) favorecem as queimadas de alta

intensidade.

Tabela 8: Biomassa e carbono herbáceo perdido para os distritos de Marrupa, Majune e Maúa.

Distrito	Biomassa perdida (ton/ha)	Carbono perdido (ton/ha)	Percentagem de perda (%)
Marrupa	0.26	0.13	33.33
Majune	0.31	0.16	36.47
Maúa	0.16	0.09	21.92

Sonto (2020) constatou que o valor do combustível herbáceo consumido foi de 1,45 ton/ha para cada uma das densidades de cobertura florestal (10 a 25%, 25 a 50%, 50 a 75% e 75 a 100%). Este valor é maior em relação ao valor obtido em cada um dos distritos do presente no presente estudo. As quantidades de biomassa e carbono herbáceo perdido na área de estudo dos distritos de Majune e Maúa são semelhantes às quantidades obtidas por Nhamussua (2015) onde a biomassa perdida variou de 0.32 a 0.70 ton/ha e o carbono perdido variou de 0.16 a 0.345 ton/ha entre os distritos de Gondola, Manica e Tambara.

Tendo em conta a quantidade de biomassa perdida, pode-se concluir que as queimadas foram de menor intensidade, quando comparadas com as queimadas mais intensas que ocorrem no final da época seca. A menor intensidade das queimadas, e consequentemente a menor perda de biomassa, é explicada pela época do ano em que este estudo foi realizado, uma vez que, no início da época seca, ocorrem normalmente queimadas frias. Estas queimadas, consideradas de menor intensidade, provocam menos danos aos ecossistemas florestais, dado que o teor de humidade do material combustível é elevado e a velocidade do vento é reduzida.

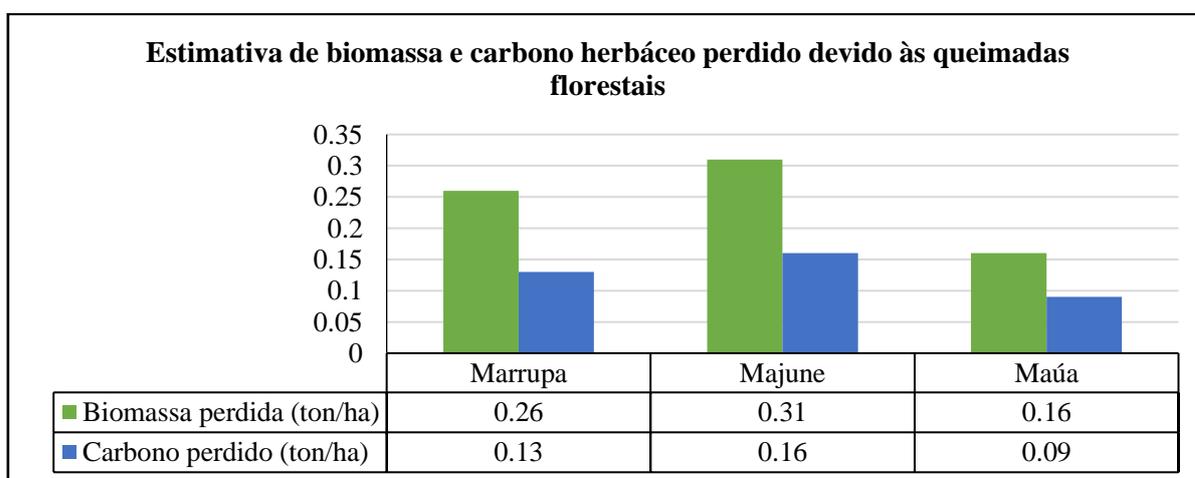


Gráfico 5: Representação gráfica da biomassa e carbono herbáceo perdido para os

distritos de Marrupa, Majune e Maúa.

4.4.Determinação das emissões de gases de efeito estufa(CO₂, CH₄ e N₂O) a partir das queimadas florestais

A tabela 9, apresentada abaixo, ilustra os valores da biomassa herbácea antes e após a queima (ton/ha), a área de estudo (ha), o factor de combustão (%), os factores de emissão (g/kg) e as emissões dos gases de efeito estufa (CO₂,CH₄e N₂O) em (ton) para as áreas de estudo nos distritos de Marrupa, Majune e Maúa.

Tabela 9: Emissões de GEE a partir de queima controlada nas áreas de estudo dos distritos de Marrupa, Majune e Maúa.

	Distritos		
	Marrupa	Majune	Maúa
Biomassa antes da queima (Bi) em (ton/ha)	0.78	0.85	0.73
Biomassa depois da queima (ton/ha)	0.52	0.54	0.57
Área queimada (Ai) em (ha)	15	15	15
Factor de combustão (FC) em (%)	0.33	0.37	0.23
Factor de emissão CO ₂ (g/kg)	1580	1580	1580
Factor de emissão de CH ₄ (g/kg)	6.8	6.8	6.8
Factor de emissão de N ₂ O (g/kg)	0.20	0.20	0.20
Emissões de CO₂ (ton)	6.07	7.52	3.99
Emissões de CH₄ (ton)	0.03	0.03	0.02
Emissões de N₂O (ton)	0.0008	0.0010	0.0005

Na tabela, verifica-se que os factores de combustão obtidos nas áreas de estudo de cada distrito são inferiores aos valores recomendados pelo IPCC (2006), tendo em conta o tipo de uso e cobertura do solo, assim como a época do ano. No caso em análise, para os tipos de uso e cobertura do solo no início da época seca até os meados que é o período em que a queimada controlada foi realizada (vide tabela 1).

Pode-se observar ainda que, numa área queimada de 15 hectares, as emissões de CO₂ foram de 6.07, 7.52 e 3.99 toneladas para os distritos de Marrupa, Majune e Maúa, respectivamente. Os resultados indicam que os distritos de Marrupa e Majune apresentaram as maiores

emissões de CO₂, com Majune a registar o valor mais elevado. Isto justifica-se pela maior quantidade de biomassa e carbono perdido na queimada fria, o que resultou em mais emissões.

No distrito de Maúa, verificou-se uma quantidade reduzida de emissões em comparação com os outros distritos, representando metade das emissões registadas em Marrupa. Tal situação pode ser explicada pela menor quantidade de biomassa disponível e pela menor perda de biomassa durante a queima.

Os resultados deste estudo são semelhantes aos obtidos por Nhamussua (2015), que estimou as emissões resultantes de uma queima controlada em três distritos, dos quais dois pertencem ao ecossistema de miombo: Gondola (0.51 ton/ha) e Manica (1.11 ton/ha), e o terceiro ao ecossistema de mopane, no distrito de Tambara (1.09 ton/ha). Este autor constatou que as emissões, tanto pelo método directo como pelo método indirecto, refletiram a quantidade de material afetado pelo fogo. Contudo, apesar de ambas as queimadas terem ocorrido no início da época seca (queimada fria), as emissões obtidas neste estudo foram superiores às encontradas por Nhamussua (2015).

Os menores valores de emissões de CO₂ observados por Nhamussua foram atribuídos ao elevado teor de humidade do material combustível durante a realização do seu experimento, o que resultou numa diminuição dos factores de combustão (0.005 em Gondola, 0.03 em Manica e 0.01 em Tambara) e num menor consumo de biomassa. Além disso, a área de estudo utilizada por Nhamussua (1 hectare), que era 15 vezes menor do que a área analisada no presente estudo, justifica a diferença nos valores de emissões.

Verificou-se igualmente que as quantidades de CH₄ e N₂O emitidas foram inferiores às de CO₂, o que, segundo Nhamussua (2015), pode ser explicado pelo facto de as emissões de CH₄ e N₂O resultarem da decomposição da matéria orgânica em sistemas biológicos, de processos agrícolas, da decomposição de resíduos de animais e da produção de culturas forrageiras fixadoras de nitrogénio. De acordo com o IPCC (2007b) e a U.S. Environmental Protection Agency (2013), o gás CH₄ é gerado pela decomposição anaeróbica da matéria orgânica em sistemas biológicos e em processos agrícolas, como o cultivo de arroz em zonas húmidas, fermentação entérica em animais e decomposição de resíduos animais.

Sonto (2020), estimou as emissões de dióxido de carbono a partir das queimadas por hectare e por densidade de cobertura florestal nas florestas de miombo na Reserva Nacional do Niassa,

tendo constatado que as emissões de CO₂ foram de 2.37, 2.28, 2.38 e 2.39 ton/ha para as densidades 10 a 25%, 25 a 50%, 50 a 75% e 75 a 100% respectivamente. Apesar da queimada ter sido realizada no fim da época seca, as emissões de CO₂ foram menores em relação as emissões estimadas no presente estudo devido a área de estudo 10000m² (1ha) que também era 15 vezes menor do que a área analisada no presente estudo.

O autor também constatou que as emissões de CO₂ (ton/ha) resultantes das queimadas florestais estão fortemente correlacionadas com o consumo de material combustível. O mesmo foi observado neste estudo, onde o distrito com o maior consumo de material combustível (Majune) apresentou também a maior quantidade de emissões, enquanto a área de estudo no distrito de Maúa, com menor consumo de material combustível, registou, conseqüentemente, uma menor quantidade de emissões.

5. CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo apontam para as seguintes conclusões:

1. O regime de queimadas analisado revelou que, em média, o fogo retorna a um mesmo local a cada 3.83 anos em Marrupa, 4.04 anos em Majune e 5.48 anos em Maúa, tendo o distrito de Marrupa registado maior ocorrência de queimadas. A frequência, intensidade e densidade das queimadas variaram significativamente entre os distritos. Observou-se uma relação inversa entre a frequência e a intensidade das queimadas, indicando que áreas com maior recorrência de queimadas tendem a apresentar menor intensidade, devido à redução da biomassa disponível para combustão.
2. Além disso, as zonas com maior densidade de focos de fogo apresentaram queimadas de menor intensidade, o que corrobora a ideia de que a elevada densidade reduz a quantidade de biomassa acumulada. Assim, os distritos com menor intervalo de retorno de queimadas, como Marrupa e Majune, registaram maiores intensidades e mais FFA activos, comparativamente ao distrito de Maúa, onde a intensidade foi inferior e o intervalo de retorno mais longo.
3. Os três distritos apresentaram diferenças significativas nos valores de biomassa e carbono herbáceo, tanto antes como depois das queimadas. As queimadas controladas nos distritos de Marrupa, Majune e Maúa tiveram um impacto significativo na redução da biomassa e do carbono herbáceo. Esses resultados confirmam que a intensidade e os efeitos das queimadas variam consoante as condições locais, sendo o distrito de Majune aquele que apresentou maior quantidade de biomassa e carbono tanto antes quanto após a queima.
4. As emissões verificadas apresentaram diferenças entre os três distritos, reflectindo de forma directa a quantidade de material combustível (biomassa herbácea) consumida pelo fogo. As emissões de CH₄ e N₂O foram inferiores às de CO₂, sendo estas últimas de 6.07, 7.52 e 3.99 toneladas nas áreas de estudo dos distritos de Marrupa, Majune e Maúa, respetivamente.

6. LIMITAÇÕES

A realização da queima fria, inicialmente planeada para Junho, teve de ser adiada devido às condições meteorológicas e ao nível de humidade do material combustível, que não favoreciam a propagação do fogo. Além disso, não foi possível proceder à análise da área destinada à queima quente devido à indisponibilidade de dados.

No que respeita à validação dos produtos MODIS, não foi viável efectuar a validação para todos os anos em análise (2014-2023), uma vez que a presença de nuvens nos produtos Landsat impediu a identificação das cicatrizes de áreas queimadas à superfície.

7. RECOMENDAÇÕES

À comunidade académica, sugere-se a realização de mais estudos que analisem o efeito do fogo na biomassa herbácea e o impacto nas emissões de gases de efeito estufa resultantes da queima controlada nas duas estações: no início da época seca (queimada fria) assim como no final da época seca (queimada quente). Este trabalho é essencial para quantificar e avaliar as perdas de biomassa e as emissões associadas a ambos os tipos de queima (fria e quente), permitindo uma melhor compreensão sobre qual tipo de queima provoca mais danos ao ecossistema de miombo.

Recomenda-se um estudo aprofundado para identificar os factores que influenciam as diferenças na biomassa herbácea nos distritos de Marrupa, Majune e Maúa, considerando aspectos como características do solo, impacto das actividades humanas (ex.: agricultura, pastoreio e queimadas), padrões climáticos locais e interações ecológicas no ecossistema de miombo.

Do ponto de vista do manejo das queimadas, recomenda-se que, para além da aplicação da queimada antecipada para reduzir o material combustível, a implementação das práticas de manejo tenha em consideração os padrões do regime de queimadas (intervalo de retorno, frequência e intensidade e densidade) em cada distrito. Este enfoque permitirá uma gestão mais eficiente do fogo. Considerando como prioritárias às áreas de ocorrência de incêndios de alta intensidade em cada distrito.

No contexto do REDD+ recomenda-se que o distrito de Majune que apresentou a maior emissão de gases de efeito estufa (7,52 toneladas de CO₂), seja priorizado nas estratégias de redução de emissões. Focar em Majune permitirá uma redução significativa nas emissões totais e servirá como modelo para outras regiões com características semelhantes.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Agbeshie, A.A., Abugre, S., Atta-Darkwa, T. and Awuah, R., (2022). A review of the effects of forest fire on soil properties. Journal of Forestry Research, 33(5), pp.1419-1441.
2. Ahrends, A., N. D. Burgess, S. A. Milledge, M. T. Bulling, B. Fisher, J. C. Smart, G. P. Clarke, B. E. Mhoro E S. L. Lewis. (2010). Predictable waves of sequential forest degradation and biodiversity loss spreading from an African city. Proceedings of the National Academy of Sciences, 107(33).
3. Andreae, M. and Merlet, P. (2001). Emission of trace gases and aerosols from biomass burning. Global Biogeochemical Cycles, 15, 4, 955–966.
4. Araújo, FD e Ferreira, LG, Jr. (2011). Validação do produto MODIS MCD45A1 área queimada utilizando imagens LANDSAT TM para o bioma Cerrado. In Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba, PR, Brasil; páginas 6410–6417.
5. Archibald, S., Lehmann, C. E. R., Gómez-Dans, J. L., Bradstock, R. A. (2013). Defining pyromes and global syndromes of fire regimes. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, v. 110, n. 16, p. 6442–6447, 2013.
6. Archibald, S., Roy, D.P., vanWilgen B.W. e Scholes, R.J. (2010a). What limits fire? an examination of drivers of burnt area in southern Africa. In: Fire Regimes in Southern Africa -Determinants,Drivers and Feedbacks. Tese de Doutorado. University of the Witwatersrand. Johannesburg.
7. Archibald, S., Scholes, R., Roy, D., Roberts, G., Boschetti, L. (2010b). Southern African fire regimes as revealed by remote sensing. International Journal of Wildland Fire 19, 861–878.doi:10.1071/WF10008;
8. Barreto, L. V.; Freitas, A. C. S.; Paiva, L. C. (2009). Sequestro de carbono. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Brasil. 10p.
9. Blank, D. M. P. (2015). O Contexto das Mudanças Climáticas e as Suas Vítimas. Mercator, Fortaleza, v.14, n. 2, p. 157-172.
10. Bond, W.J. and Keeley, J.E. (2005). Fire as a global ‘herbivore’: the ecology and evolution of flammable ecosystems.Trends in ecology & evolution, 20(7), pp.387-394.
11. Boschetti, L., Brivio, P.A., Eva, H.D., Gallego, J., Baraldi, A., Grégoire, J. (2006). Um

-
- método de amostragem para a validação retrospectiva de produtos globais de áreas queimadas. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 44:1765-1773.
12. Boschetti, L., Roy, D., Hoffmann, A.A. and Humber, M., (2009). MODIS Collection 5 Burned Area Product-MCD45. User's Guide, Ver, 2, pp.1-2.
 13. Braga, J. V. (2015). Mapeamento de áreas queimadas usando séries temporais normalizadas derivadas de dados NBR-MODIS durante o período 2001-2014 no Parque Nacional das Emas. Brasília: Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Departamento de Geografia.
 14. Cai, M., Murtazashvili, I., Murtazashvili, J. B., Salahodjaev, R. (2020). Patience and climate change mitigation: Global evidence. Environmental Research.
 15. Campbell, B.M.(1996). The Miombo in transition: woodlands and welfare in Africa. Cifor.
 16. Campbell, J. e Wayne, R. (2011). Introdução ao Sensoriamento Remoto, 5ª ed.; The Guilford Press: Nova York, NY, EUA; 701p.
 17. Cangela, A. (2014). Estudo de Regime de Queimadas do Ecossistema de Miombo na Reserva Nacional do Niassa. UEM-FAEF. Tese de Mestrado.
 18. Cardoso, S. C. G. (2010). Quantificação de Biomassa Residual em Povoamentos de Pinheiro Manso (Pinus pinea L.). Master's thesis, Universidade Tecnica de Lisboa. Lisboa. Portugal. 67p.
 19. Chidumayo, E. N. (1988). A re-assessment of effects of fire on miombo regeneration in the Zambian Copperbelt.Journal of Tropical Ecology, 4(4), 361-372.
 20. Chidumayo, E.N.(2013). Degradação e recuperação florestal numa paisagem de floresta de Miombo na Zâmbia: 22 anos de observações em parcelas de amostra permanentes.Forest Ecology and Management, 291, pp. 154–161.
 21. Dewees, P. A., B. M. Campbell, Y. Katerere, A. Siteo, A. B. Cunningham, A. Angelsen E S. Wunder. (2010). Managing the miombo woodlands of Southern Africa: policies, incentives and options for the rural poor. Journal of natural resources policy research, 2(1): 57-73.
 22. Dick, G., (2018). Fertilização mineral em Eucalyptus dunnii Maiden: efeitos nos estoques dos nutrientes. Doctoral dissertation. Universidade Federal de Santa Maria.
 23. Durigan, G. and Ratter, J.A., (2016). The need for a consistent fire policy for Cerrado conservation. Journal of Applied Ecology, 53(1), pp.11-15.
 24. Durigan, G., Pilon, N.A., Abreu, R.C., Hoffmann, W.A., Martins, M., Fiorillo, B.F.,
-

-
- Antunes, A.Z., Carmignotto, A.P., Maravalhas, J.B., Vieira, J. and Vasconcelos, H.L., (2020). No net loss of species diversity after prescribed fires in the Brazilian savanna. *Frontiers in Forests and Global Change*, 3, p.13.
25. FAO, (2003). State of Forest and Tree Genetic Resources in Dry Zone Southern Africa Development Community Countries. Forest Genetic Resources Working Papers. Working Paper FGR/41E. Rome Italy.
26. Fernandes P., Botelho. H., E Loureiro C. (2002). Manual de Formação para a Técnica do Fogo Controlado. Departamento Florestal. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro-Vila Real.
27. Ferreira, A. D., Coelho, C., Silva, J. S., Esteves, T. (2010). Efeitos do fogo no solo e no regime hidrológico. In: MOREIRA, F. *Ecologia do Fogo e Gestão de Áreas Ardidadas*. Lisboa: ISA Press,. p. 21 - p.48.
28. Freitas, L.C., Cavalcanti, L.C. e Braz, A.M., (2023). Avaliação Da Acurácia Das Classes De Uso E Cobertura Da Terra Do Mapbiomas (Coleção 6) Para O Município De Carpina (Pe). Caderno Prudentino de Geografia, 2(45), pp.38-52.
29. Frost, P. (1996). The ecology of miombo woodlands. In: B. Campbell (ed.) *The Miombo in Transition: Woodlands and Welfare in Africa*, pp. 11-57. Centre for International Forestry Research, Bogor, Indonesia.
30. Fry, P. B. (2011). Community forest monitoring in REDD+: the 'M'in MRV? *Environmental Science & Policy*, 14, 181-187 (Centre for Environmental Policy, Imperial College, South Kensington Campus, London, SW7 2AZ, United Kingdom)
31. Gajović, V. and Todorović, B., (2013). Spatial and temporal analysis of fires in Serbia for period 2000-2013. *Journal of the Geographical Institute "Jovan Cvijic"*, SASA, 63(3 Conference Issue), pp.297-312.
32. Giglio, L., Loboda, T., Roy, D.P., Quayle, B., Justice, C.O. (2009). Um algoritmo de mapeamento de área queimada baseado em fogo activo para o sensor MODIS. *Sensoriamento Remoto do Ambiente* 113: 408–420.
33. Giglio, L. (2013). MODIS collection 5 active fire product user's guide version 2.5. Science Systems and Applications, Inc. 61 p.
34. Giglio, L., Boschetti, L., Roy, D., Hoffmann, A. A., Humber, M., Salão, J. V. (2018). Collection 6 MODIS Burned Area Product User's Guide. Version 1.2. University of Maryland.
35. Govender, N., Trollope, W. S. W., van Wilgen, B. W. (2006). The effect of fire season,
-

-
- fire frequency, rainfall and management on fire intensity in savanna vegetation in South Africa. *Journal of Applied Ecology*. Vol. 43: 748–758.
36. Hegde, R. and Bull, G. (2008). Economic shocks and Miombo woodland resource use: a household level study in Mozambique. Department of Forest Resource Management, University of British Columbia, pp.80-105.
37. Hirata, Y., Takao, G., Sato, T., Toriyama, J. (2012). REDD-Plus Cookbook. REDD Research and Development Center, Forestry and Forest Products Research Institute Japan. ISBN 978-4-905304-15-9.
38. Ichoku, C., Giglio, L., M. Wooster, M.J., Remer, L.A. (2008). Global characterization of biomass-burning patterns using satellite measurements of fire radiative energy. *Remote sensing of Environment*, 112(6): 2950-2962.
39. IPCC. (2006). Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Agriculture, Forestry and Other Land Use. Volume 4.
40. IPCC. (2007a). Mudanças Climáticas 2007: Relatório de Síntese. Contribuição dos Grupos de Trabalho I, II e III para o Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. Equipa de Redação Principal, Pachauri, R.K. e Reisinger, A. (eds.). IPCC, Genebra, Suíça, 104 pp.
41. IPCC. (2007b). Mudança do Clima 2007: a Base das Ciências Físicas. Contribuição do Grupo de Trabalho I para o Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima. Sumário para os Formuladores de Políticas.
42. IPCC. (2021). Mudanças climáticas - A base da ciência. Sexto relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas. WMO. UNEP.
43. Jagger, P., Brockhaus, M., Duchelle, A., Gebara, M., Lawlor, K., Resosudarmo, I., Sunderlin, W. (2014). Multi-Level Policy Dialogues, Processes, and Actions: Challenges and Opportunities for National REDD+ Safeguards Measurement, Reporting, and Verification (MRV). *Forests*, 5, no. 9: 2136-2162.
44. Janota, P. A. (2022). Estimativa de emissões de gases de efeito estufa por incêndios florestais em Moçambique. Universidade Eduardo Mondlane. Faculdade de agronomia e Engenharia Florestal. Maputo.
45. Joana, M.E. (2023). Caracterização e modelação do regime e risco de queimadas nas Províncias de Zambézia, Niassa, Nampula e Cabo Delgado. Universidade Eduardo Mondlane. Faculdade de agronomia e engenharia Florestal. Maputo.
-

-
46. Joaquim, D. M. (2015). Influência dos Elementos Climáticos na Ocorrência de Queimadas no Posto Administrativo de Catandica. Universidade Eduardo Mondlane. Maputo.
 47. Justice, C.O., Townshend, J.R.G., Vermote, E.F., Masuoka, E., Wolfe, R.E., Saleous, N., Roy, D.P. and Morisette, J.T. (2002). An overview of MODIS Land data processing and product status. Remote sensing of Environment, 83(1-2), pp.3-15.
 48. Käll, K. (2006). O papel do fogo na floresta de Miombo: E a adaptação do manejo florestal comunitário para atender às necessidades locais. Environ. Sci. 24.
 49. Kankeu, R.S., Demaze, M.T., Krott, M., Sonwa, D.J. and Ongolo, S., (2020). Governing knowledge transfer for deforestation monitoring: Insights from REDD+ projects in the Congo Basin region. Forest Policy and Economics, 111, p.102081.
 50. Kanschik, W. and Becker, E. (2001). Dry Miombo—ecology of its major plant species and their potential use as bio-indicators. Plant ecology, 155(2): 139-146.
 51. Leblon, B., San, J., Bourgeau-Chavez, L. (2012). Uso de sensoriamento remoto no gerenciamento de incêndios florestais. Capítulo 3. Em Desenvolvimento Sustentável - Conteúdo Autoritário e de Ponta para Gerenciamento Ambiental; Western Michigan University: Sime Curkovic, MI, EUA; pp. 57–81.
 52. Lötter, M., Burrows, J., McClelland, W., Stalmans, M., Schmidt, E., Soares, M., Grantham, H., Jones, K., Duarte, E., Matimele, H., Costa, H. (2021). Historical vegetation map and red list of ecosystems assessment for Mozambique – Version 1.0 – Final report. USAID / SPEED+. Maputo. 371pp.
 53. MAE. (2005). Perfil do Distrito de Majune. Província de Niassa. Série perfis distritais. Maputo.
 54. MAE. (2005). Perfil do Distrito de Marrupa. Província de Niassa. Série perfis distritais. Maputo.
 55. MAE. (2005). Perfil do Distrito de Maúa. Província de Niassa. Série perfis distritais. Maputo.
 56. Magadzire, N. (2013). Reconstruction of a fire regime using MODIS burned area data: Charara Safari Area, Zimbabwe. Tese de mestrado. Faculty of Science, Stellenbosch University. South Africa.
 57. Malmer, A.(2007). Características ecológicas gerais das florestas de Miombo e considerações para a sua utilização e gestão. Working Papers of the Finnish Forest Research Institute, 50, pp. 34–42.
-

-
58. Marzoli, A. (2007). Inventário florestal nacional. Maputo, Moçambique: Direcção Nacional de Terras e Florestas, Ministério da Agricultura.
59. Maúnze, C. R. (2016). Análise Espacial e Temporal de Queimadas usando Imagens Satélite na Reserva Nacional do Gilé (de 2004 a 2014). Maputo: Universidade Eduardo Modlane,
60. Meneses, O.M., Ribeiro, N.S., Shirvani, Z. and Andrew, S.M., (2024). Spatio-Temporal Analysis of Wildfire Regimes in Miombo of the LevasFlor Forest Concession, Central Mozambique. *Fire*, 7(8), p.264.
61. Miah, M.D. (2020). Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation (REDD+). In *Life on Land* (pp. 797-807). Cham: Springer International Publishing.
62. MICOA. (2007). Plano de acção para a prevenção e controlo às queimadas descontroladas 2008-2018. Maputo. Moçambique.
63. MITADER. (2016). Estratégia Nacional para a Redução de Emissões de Desmatamento e Degradação Florestal, Conservação de Florestas e Aumento de Reservas de Carbono Através de Florestas (REDD+) 2016-2030 (Ministério da Terra, Ambiente e Desenvolvimento Rural ed.). Maputo.
64. MODIS Land Team Home Page. (s/d). Obtido em 4 de julho de 2024, de https://modis-land.gsfc.nasa.gov/MODLAND_grid.html
65. Moutinho, P. (2012). REDD no Brasil: um enfoque amazônico Fundamentos, critérios e estruturas institucionais para um regime nacional de Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal – REDD. IPAM (Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia). Brazil.
66. MundoGEO. (2012). O sensor MODIS a bordo das plataformas Terra e Acqua. MundoGEO (Online) Disponível em <https://mundogeo.com/2004/05/23/o-sensor-modis-a-bordo-das-plataformasterra-e-acqua/> (Acessado em 4/7/2024).
67. NAE. (2005). Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República, Secretaria de Comunicação do Governo e Gestão Estratégica. n. 3, Brasília.
68. N'Datchoh, E.T., Konaré, A., Diedhiou, A., Diawara, A., Quansah, E. and Assamoi, P., (2015). Effects of climate variability on savannah fire regimes in West Africa. *Earth System Dynamics*, 6(1), pp.161-174.
69. Nhamussua, R. R. (2015). Avaliação das Emissões de Gases de Efeito Estufa a partir de Queimadas Florestais nos Ecossistemas de Mopane e Miombo na Província de Manica. Maputo. Universidade Eduardo Mondlane.
-

-
70. Nhantumbo, I. (2012). Âmbito e Escala do REDD+ : Opções para Moçambique. IIED. United Kingdom.
71. Nhantumbo, I., Macqueen, D., Cruz, R., Serra, A. (2013). Investir na silvicultura controlada localmente em Moçambique: Potencial para a promoção do desenvolvimento rural sustentável na província do Niassa. International Institute for Environment and Development (IIED). Londres.
72. Oddi, F. J. (2018). Fire Regime. Springer International Publishing AG. Part of Springer Nature S. L. Manzello (ed.). Encyclopedia of Wildfires and Wildland-Urban Interface (WUI) Fires.
73. Ossene, A. L. (2015). Avaliação Da Incidência De Queimadas No Ecossistema De Mopane No Distrito De Mabalane de 2002 a 2011. (Universidade Eduardo Mondlane. Ed.). Maputo: Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal.
74. Pereira, A. A. (2017). Mapeamento Automático de queimadas no bioma cerrado utilizando Sensores Orbitais. (Universidade Federal de Lavras ed.). Lavras, Mato Grosso.
75. Prado, F. D. (2009). Sistema hierárquico de classificação para mapeamento da cobertura da terra nas escalas regional e urbana. Dissertação (mestrado). Presidente Prudente: Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências e Tecnologia.
76. Pungulanhe, L.A. e Ribeiro, N.S., (2021). Frequência de incêndios na floresta de Miombo do Parque Nacional do Gilé, Província da Zambézia. Revista de Meio Ambiente e Ecologia, 12(2), pp.1-21.
77. Renner, R. M. (2004). Sequestro de Carbono e a Viabilização de Novos Reflorestamentos no Brasil. Curitiba.132p.
78. Ribeiro, N. (2007). Interaction among fire, fuel and Elephants (*Loxodonta africana blumenbach*) in miombo woodlands of northern Mozambique. University of Virginia, USA.
79. Ribeiro, N. S., Shugart, H. H., Swap, R. J., Okin, G. S. (2009). 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.
80. Ribeiro, N., Siteo, A., Guedes, B. S., Staiss, C. (2002). Manual de Silvicultura Tropical. Maputo: UEM/FAEF/DEF.
81. Ribeiro, N. S., Shugart, H. H. and Washington-Allen, R. (2008). The effects of fire and elephants on species composition and structure of the Niassa Reserve, Northern
-

Mozambique. *Forest Ecology and Management*, 255, 5, 1626–1636.

82. Ribeiro, N., Matos, N.C, Moura, I., Allen R, Ribeiro, A. (2013). Monitoring vegetation dynamics and carbon stock density in miombo woodlands.
83. Ribeiro, N.S., Cangela, A., Chauque, A., Bandeira, R.R. and Ribeiro-Barros, A. (2017). Characterisation of spatial and temporal distribution of the fire regime in Niassa National Reserve, northern Mozambique. *International Journal of Wildland Fire*, 26(12), pp.1021-1029.
84. Rogers, B.M., Neilson, R.P., Drapek, R., Lenihan, J.M., Wells, J.R., Bachelet, D. and Law, B.E., (2011). Impacts of climate change on fire regimes and carbon stocks of the US Pacific Northwest. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 116(G3).
85. Rosa, R. e Brito, J.L.S. (2013). Introdução ao geoprocessamento. UFU: Apostila. Uberlândia.
86. Roy, D.P., Jin, Y., Lewis, P.E., Justice, C.O. (2005). Prototipagem de um algoritmo global para mapeamento sistemático de áreas afetadas por incêndios usando dados de séries temporais MODIS. *Sensoriamento Remoto do Meio Ambiente* 97: 137 – 162.
87. Ryan, C. M. and Williams, M. (2011). How does fire intensity and frequency affect miombo woodland tree populations and biomass? *Ecological applications*, 21(1): 48-60.
88. Ryan, C. M., R. Pritchard, I. Mcnicol, M. Owen, J. A. Fisher E C. Lehmann. (2016). Ecosystem services from southern African woodlands and their future under global change. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 371(1703).
89. Ryan, C., Williams, M., Grace, J. (2013). Above- and Belowground Carbon Stocks in a Miombo Woodland Landscape of Mozambique. *Biotrópica*.
90. Saito, M.; Luyssaert, S.; Poulter, B.; Williams, M.; Ciais, P.; Bellassen, V.; Ryan, CM; Yue, C.; Cadule, P.; Peylin, P. (2014). Regimes de incêndio e variabilidade na biomassa lenhosa acima do solo em florestas de miombo. *Revista de Pesquisa Geofísica. Biogeociências*, 119, 1014–1029.
91. Santos, A. S. (2008). Vulnerabilidades sócio-ambientais diante das mudanças climáticas projectadas para o semiárido da Bahia. Universidade de Brasília-CDS. Brasília.
92. Schumacher, M.V., Brun, E.J. and Calil, F.N. (2005). CFL 506-Proteção Florestal. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria.
93. Shakesby, R.A. and Doerr, S.H., (2006). Wildfire as a hydrological and geomorphological agent. *Earth-Science Reviews*, 74(3-4), pp.269-307.

-
94. Sileshi, G., Akinnifesi, F.K., Ajayi, O.C., Chakeredza, S., Kaonga, M. and Matakala, P.W. (2007). Contributions of agroforestry to ecosystem services in the Miombo eco-region of eastern and southern Africa. African journal of environmental science and technology, 1(4), pp.68-80.
95. Siljander, M. (2009). Modelagem preditiva de ocorrência de incêndio para melhorar a estimativa de área queimada em escala regional: Um estudo de caso em East Caprivi, Namíbia. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 11:380–393.
96. Silva, C., Viana, I., Souza, D.D., Silva, D., Portella, A. and Giongo, M., (2021). Efeito do fogo na abundância e diversidade fúngica no solo do Cerrado. Ciência Florestal, 31(4), pp.1910-1929.
97. Silva, D.M., de Paula Loiola, P., Rosatti, N.B., Silva, I.A., Cianciaruso, M.V. and Batalha, M.A., (2011). Os efeitos dos regimes de fogo sobre a vegetação de Cerrado no Parque Nacional das Emas, GO: considerações para a conservação da diversidade. Biodiversidade Brasileira, 1(2), pp.26-39.
98. Simpson, K.J., Jardine, E.C., Archibald, S., Forrestel, E.J., Lehmann, C.E., Thomas, G.H. and Osborne, C.P., (2021). Resprouting grasses are associated with less frequent fire than seeders. New Phytologist, 230(2), pp.832-844.
99. Siteo A., Guedes, B., Machoco, R., Cambule, A., Cunhete, D., Nacamo, E., Romano, G. (2009). Baseline carbon estimation in Dombe, Manica Biofuel production area Mozambique Principle Energy. Gestão de Recursos Naturais e Biodiversidade. Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal-Universidade Eduardo Mondlane.
100. Siteo, A. E Tchaúque, F. (2006). Medição da Biomassa Florestal em Moçambique. Maputo.
101. Siteo, A., Salomão, A. e Wertz-Kanounnikoff ; Sheila. (2012): O Contexto de REDD+ em Moçambique Causas, Actores e Instituições. Publicação Ocasional 76. CIFOR, Bogor, Indonesia.
102. Siteo, A.A., Guedes, B.S. and Nhantumbo, I. (2013). Linha de Referência, Monitoria, Relatório e Verificação para o REDD+ em Moçambique. Relatório do país. IIED, Londres.
103. Soares, M.G. (2017). Relação entre as mudanças de uso e cobertura de terra e as queimadas em florestas de Miombo, Gurué, Moçambique. UEM-FAEF. Tese de Mestrado.
-

-
104. Soares, R. V. E Batista, A. C. (2007). Incêndios Florestais Controle. efeito e uso do fogo. Curitiba, Paraná, Brasil.
105. Sonto, E.P. (2020). Comportamento do fogo e sua relação com as florestas de miombo na Reserva Nacional do Niassa. Mestrado em Maneio e Conservação da Biodiversidade, Universidade Eduardo Mondlane.
106. Tomo, A, T. (2012). Estimativas de Stock de Carbono nas Florestas de Miombo em Gondola (Tese de Licenciatura). Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal. Universidade Eduardo Mondlane. Maputo.
107. Tsela, P.L., van Helden, P., Frost, P., Wessels, K., Archibal, S. (2010). Validação dos produtos MODIS Burned-area em diferentes biomas na África do Sul. Anais do Simpósio Internacional de Geociências e Sensoriamento Remoto do IEEE de 2010, realizado de 25 a 30 de julho de 2010. Honolulu, Havaí, EUA.
108. Tyner, W.E., Taheripour, F., Zhuang, Q., Birur, D. and Baldos, U. (2010). Land use changes and consequent CO₂ emissions due to US corn ethanol production: A comprehensive analysis. Department of Agricultural Economics, Purdue University, pp.1-90.
109. U.S. Environmental Protection Agency. (2013). Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2011. 1200 Pennsylvania Ave., N.W. Washington, DC 20460 U.S.A.
110. UEM (Universidade Eduardo Mondlane) e UniLúrio (Universidade Lúrio). (2023). Relatório Mensal FLOMOZ: Gestão de Incêndios Florestais e Consciencialização Comunitária sobre a Gestão do Fogo em Niassa no Âmbito do Projecto de Gestão Sustentável das Florestas e REDD+ em Moçambique.
111. Van der Werf, G.R., Randerson, J.T., Giglio, L., Collatz, G.J., Mu, M., Kasibhatla, P.S., Morton, D.C., DeFries, R.S., Jin, Y.V. and van Leeuwen, T.T. (2010). Global fire emissions and the contribution of deforestation, savanna, forest, agricultural, and peat fires (1997–2009). Atmospheric chemistry and physics, 10(23), pp.11707-11735.
112. Van Langevelde, F., vanDevijver, L. A. D. M., Kumar, L., PRINS, H. H. T. (2003). Effects of fire and herbivory on the stability of savanna ecosystems. Ecology. Vol. 84(2): 337–350.
113. Van Wilgen, B. W., De Klerk, H. M., Stellmes, M., Archibald, S.N. (2022). Uma análise dos regimes de incêndios recentes na bacia hidrográfica angolana de Delta do Okavango, África Central. Fire Ecol. 18, 13.
-

-
114. Vasco, I. D. (2021). Mapeamento e Análise do Regime de Queimadas e Uso e Cobertura de Terra do Distrito de Sussundenga – Província de Manica. Instituto Superior Politécnico de Gaza.
115. White, F. (1983). The vegetation of Africa. Natural Resources Research 20, UNESCO, Paris.
116. Williams, M.R.C.M., Ryan, C.M., Rees, R.M., Sambane, E., Fernando, J. and Grace, J., (2008). Carbon sequestration and biodiversity of re-growing miombo woodlands in Mozambique. Forest Ecology and management, 254(2), pp.145-155.
117. WWF. (2012). Miombo Eco-region Report “Home of the Zambezi” Conservation Strategy: 2011-202. Harare. 36p
118. Zolho, R. (2010). Mudanças Climáticas e as Florestas em Moçambique. Centro de Integridade Pública Moçambique / Amigos da Floresta.

9. ANEXOS

Anexo 1: Variáveis meteorológicas medidas antes da queima realizada no mês de Setembro.

Fonte: (UEM e UniLúrio, 2023).

Distritos-comunidades	Variáveis		Material combustível			Data de implementação
	Velocidade do vento (m/s)	Temperatura (°C)	Tipo/categoria	continuidade	Distribuição	
Majune – Luambala	6	29.2	Semi-perigoso	Contínuo	Horizontata 1	26-Sep
Marrupa – Manhula	8	29.5	Semi-perigoso	Contínuo	Horizontata 1	27-Sep
Maúa – Pahua	6	29.8	Semi-perigoso	Contínuo	Horizontata 1	28/9 - 29/9

Anexo 2: Imagens mostrando a actividade de queima em cada distrito.



Antes da queima controlada



Durante da queima controlada



Depois da queima controlada

Figura 7: Imagens mostrando a actividade de queimadas no distrito de Majune – Luambala.

Fonte: (UEM e UniLúrio, 2023).



Durante a queima controlada

Depois da queima controlada

Figura 8: Imagens mostrando a actividade de queimadas no distrito de Marrupa – Manhula.

Fonte: (UEM e UniLúrio, 2023).



Antes da queima controlada

Depois da queima controlada



Equipe responsável pela condução do experimento de queima controlada

Figura 9: imagens mostrando actividade de queimadas no distrito de Maúa – Pahua.

Fonte: (UEM e UniLúrio, 2023).

Anexo 3: Testes de normalidade para os dados da biomassa herbácea.

a) Para biomassa medida antes da queima controlada

Testes de Normalidade							
	Distrito	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estatística	gl	Sig.	Estatística	gl	Sig.
Biomassa	1	.197	3656	<.001	.720	3656	<.001
	2	.230	4560	<.001	.651	4560	<.001
	3	.142	4362	<.001	.792	4362	<.001

a. Correlação de Significância de Lilliefors

Onde: 1 corresponde ao distrito de Marrupa, 2 ao distrito de Majune e 3 ao Distrito de Maúa.

b) Para biomassa medida depois da queima controlada

Testes de Normalidade							
	Distrito	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estatística	gl	Sig.	Estatística	gl	Sig.
Biomassa	1	.180	3755	<.001	.792	3755	<.001
	2	.350	3367	<.001	.448	3367	<.001
	3	.167	4089	<.001	.838	4089	<.001

a. Correlação de Significância de Lilliefors

Onde: 1 corresponde ao distrito de Marrupa, 2 ao distrito de Majune e 3 ao Distrito de Maúa.

Anexo 4: Resultado do teste de Kruskal Wallis para comparação da biomassa entre os distritos

Estatísticas de teste^{a,b}

Biomassa	
H de Kruskal-Wallis	21.369
df	2
Significância Sig.	<.001

a. Teste Kruskal Wallis

b. Variável de Agrupamento:
distrito

Anexo 5: Resultado do teste Post hoc de Dunn para comparações múltiplas da biomassa

herbácea entre os distritos

Comparações por Método Pairwise de distrito

Sample 1-Sample 2	Estatística de teste	Erro Padrão	Estatística de Teste Padrão	Sig.	Adj. Sig. ^a
2-3	-214.022	76.834	-2.785	.005	.016
2-1	367.450	80.537	4.563	<.001	.000
3-1	153.428	81.346	1.886	.059	.178

Cada linha testa a hipótese nula em que as distribuições Amostra 1 e Amostra 2 são iguais. São exibidas significâncias assintóticas (teste de 2 lados). O nível de significância é .050.

a. Os valores de significância foram ajustados pela correção Bonferroni para vários testes.

Onde: 1 corresponde ao distrito de Marrupa, 2 ao distrito de Majune e 3 ao Distrito de Maúa.

Anexo 6: Resultados dos testes de Man-Whitney Comparação da biomassa herbácea antes e depois da queimada nos três distritos

a) Para o distrito de Marrupa

Estatísticas de teste^a

	Biomassa
U de Mann-Whitney	3591180.500
Wilcoxon W	10643070.500
Z	-35.653
Significância Sig. (2 extremidades)	<.001

a. Variável de Agrupamento: Período

b) Para o distrito de Majune

Estatísticas de teste^a

	Biomassa
U de Mann-Whitney	6671662.000
Wilcoxon W	12341690.000
Z	-9.997
Significância Sig. (2 extremidades)	<.001

a. Variável de Agrupamento: Período

c) Para o distrito de Maúa

Estatísticas de teste^a

	Biomassa
U de Mann-Whitney	3453829.500

Wilcoxon W	11815834.500
Z	-48.875
Significância Sig. (2 extremidades)	<.001

a. Variável de Agrupamento: Período