

PATRÍCIA MANUELA ALEXANDRE FERNANDES

**Análise dos Incêndios Florestais em Mação num
período de 30 anos.**

Efeitos no sequestro de Carbono.



Universidade do Algarve
Faculdade de Ciências e Tecnologia
2018

PATRÍCIA MANUELA ALEXANDRE FERNANDES

**Análise dos Incêndios Florestais em Mação num
período de 30 anos.
Efeitos no sequestro de Carbono.**

Mestrado em Geomática

Trabalho efetuado sob a orientação de:

Professora Doutora Helena Fernandez

Professor Doutor Fernando Martins



Universidade do Algarve
Faculdade de Ciências e Tecnologia
2018

**“Análise dos Incêndios Florestais em Mação num período de 30 anos.
Efeitos no sequestro de Carbono.”**

Declaração de autoria de trabalho

Declaro por minha honra ser a autora deste trabalho, que é original e inédito. Autores e trabalhos consultados estão devidamente citados no texto e constam da listagem de referências incluída.

Patrícia Manuela Alexandre Fernandes

© Copyright: Patrícia Fernandes

A Universidade do Algarve reserva para si o direito, em conformidade com o disposto no Código do Direito de Autor e dos Direitos Conexos, de arquivar, reproduzir e publicar a obra, independentemente do meio utilizado, bem como de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição para fins meramente educacionais ou de investigação e não comerciais, conquanto seja dado o devido crédito ao autor e editor respetivos”

Agradecimentos

Uma tese de mestrado implica um trabalho constante e simboliza uma etapa muito importante na vida de um profissional. Nesta tese de mestrado, percorri um longo caminho, onde recebi imenso apoio de diversas pessoas que me acompanharam desde o começo até ao fim, sem as quais este trabalho não teria sido possível de concretizar.

Agradeço à Câmara Municipal de Mação, pela disponibilidade imediata e toda a informação cedida para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus orientadores, a Professora Doutora Helena Fernandez e o Professor Doutor Fernando Martins, que estiveram sempre presentes, com elevado rigor científico, para me orientar e incentivar em todos os momentos e fases deste percurso, agradeço imenso a sua dedicação e esforço que me prestaram durante todos estes meses.

Ao meu muito amado companheiro, Joaquim Guerreiro, todo o amor, carinho, dedicação e companheirismo constantes, nos momentos mais complicados, pois sempre me apoiou e permitiu a realização deste trabalho. Pois sem a sua compreensão e incentivo, a nossa Berenice não me teria dado os momentos de raciocínio de que necessitei, ao longo de todo este tempo.

Aos meus Pais, Maria Antonieta e Manuel, Avó, Leonor e irmã Silvana que tomaram conta da minha querida filha, Berenice, durante tantas horas e até dias inteiros, pois sem eles nada disto se teria concretizado.

E por fim, à minha linda filha, Berenice, que sendo tão pequenina, não teve noção do trabalho que a mãe esteve a fazer, servindo de grande incentivo e esperança no futuro, dando um novo e mais colorido sentido à nossa vida (todos da família), que espero compensar pelas longas horas de ausência ao ouvi-la bater à porta a dizer "abe a pota mamã".

Resumo

A investigação desenvolvida surge no âmbito do Mestrado de Geomática para a obtenção do grau de mestre. Apresenta como objetivo produzir a cartografia de evolução/recuperação da massa florestal, do concelho de Mação, pós incêndios e relacioná-la com a produção primária bruta de CO₂ e quantificar também a severidade dos incêndios. A escolha desta área de estudo deve-se ao facto de se tratar de um concelho do interior do país, bastante fustigado por incêndios florestais, nos últimos 30 anos.

Este estudo tem como base imagens de satélite, nomeadamente *Landsat 4 e 5*, *Sentinel 2* e *MODIS MYD17A2H*, obtidas ao longo das últimas 3 décadas (1991, 2003 e 2017). Nestas imagens serão aplicados índices de vegetação, nomeadamente, o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada, o Índice de Vegetação Fotossintético, o CO₂ *flux*, o modelo de GPP e a agressividade do incêndio.

Com este trabalho de investigação mostram-se as potencialidades que as novas tecnologias, nomeadamente a Deteção Remota e os Sistemas de Informação Geográfica, podem ter na gestão e ordenamento do território.

Palavras-chave: Deteção Remota, Sistemas de Informação Geográfica, Índices de vegetação, Incêndios Florestais, Agressividade, Fluxo de Carbono

Abstract

The research developed arises within the scope of the Master of Geomatics to obtain the master's degree. The objective of this study is to produce the evolution / recovery cartography of the forest mass of the county of Mação, after fires and to relate it to the gross primary production CO₂ and also to quantify the severity of the fires. The choice of this area of study is due to the fact that it is a county in the interior of the country, which has been heavily attacked by forest fires in the last 30 years.

This study is based on satellite images, namely *Landsat 4 and 5*, *Sentinel 2* and *MODIS MYD17A2H*, obtained over the last 3 decades (1991, 2003 and 2017). In these images, vegetation indexes will be applied, namely the Normalized Difference Vegetation Index, the Photosynthetic Vegetation Index, the CO₂ *flux*, the GPP model and the aggressiveness of the fire.

This research shows the potential that new technologies, such as Remote Detection and Geographic Information Systems, can have in the management and planning of the territory.

Keywords: Remote Sensing, Geographic Information Systems, Vegetation Indices, Forest Fires, Aggression, Carbon Flow

Índice

1. Introdução.....	1
2. Estado da Arte.....	2
3. Área de estudo.....	7
4. Metodologia.....	26
5. Resultados e Discussão.....	36
5.1. NDVI e Cobertura vegetal.....	38
5.2. PRI e sPRI.....	47
5.3. CO_2flux	53
5.4. GPP.....	60
5.5. Tratamento Estatístico do CO_2flux e do GPP.....	62
5.6. Modelo do GPP.....	64
5.7. dNBR e Severidade do fogo.....	66
6. Conclusão.....	72
7. Referências bibliográficas.....	76
8. Anexos.....	79

Índice de Figuras

Figura 3.1 Localização geográfica do concelho de Mação no distrito de Santarém.	7
Figura 3.2 Mapa das freguesias do concelho de Mação.....	8
Figura 3.3 Mapa das localidades do concelho de Mação.	8
Figura 3.4 Mapa da rede viária do concelho de Mação.....	9
Figura 3.5 Mapa das linhas de água principais e secundárias do concelho de Mação.	9
Figura 3.6 Mapa de hipsometria do concelho de Mação.....	10
Figura 3.7 Mapa de declives do concelho de Mação.	11
Figura 3.8 Mapa de exposição de encostas do concelho de Mação.	12
Figura 3.9 Mapa da temperatura média do concelho de Mação do período de 1931 a 1960.	13
Figura 3.10 Mapa da precipitação média do concelho de Mação do período de 1931 a 1960....	14
Figura 3.11 Gráfico do climograma do concelho de Mação.	15
Figura 3.12 Gráfico da temperatura média do concelho de Mação.....	16
Figura 3.13 Classes de usos do solo do concelho de Mação adaptado do CLC 2006.....	17
Figura 3.14 Evolução da população residente em Mação ao longo das últimas décadas.....	20
Figura 3.15 Percentagem da população residente em Mação por faixa etária.	22
Figura 3.16 Percentagem da população total empregada no concelho de Mação por sector de atividade económica.....	23
Figura 3.17 Mapa de localização das nascentes minerais no concelho de Mação.	25
Figura 4.1 Identificação dos anos mais afetados, em Mação, pelos incêndios florestais e respetivas imagens de satélite utilizadas para o estudo dos cenários do antes, logo após e anos depois dos incêndios.	27
Figura 4.2 Esquema do recorte da imagem de satélite pela área de estudo.....	29
Figura 4.3 Descrição das etapas para conversão das resoluções espaciais iniciais para a resolução espacial final.	33
Figura 4.4 Esquema da conversão do mapa de GPP com resolução de 500m (imagem raster) para vetorial (shapefile).....	34
Figura 4.5 Esquema da produção das Tabelas para cada cenário em estudo.	35
Figura 4.6 Esquema do cálculo da média através da operação de estatística de zona.....	35
Figura 5.1 Representação dos maiores incêndios ocorridos em Mação nos últimos 30 anos. (Fonte: ICNF).....	37
Figura 5.2 Somatório da área ardida nos anos de 1991, 2003 e 2017.	37
Figura 5.3 Identificação dos anos em que ocorreram os maiores incêndios em Mação, e as datas das imagens aéreas utilizadas para o estudo dos diversos cenários.....	38
Figura 5.4 Mapa do NDVI para antes da ocorrência dos incêndios de 1991.	39
Figura 5.5 Mapa da cobertura vegetal para antes da ocorrência dos incêndios de 1991.....	39
Figura 5.6 Mapa do NDVI para logo após a ocorrência dos incêndios de 1991.	40
Figura 5.7 Mapa da cobertura vegetal para logo após a ocorrência dos incêndios de 1991.....	40
Figura 5.8 Mapa do NDVI para antes da ocorrência dos incêndios de 2003.	41
Figura 5.9 Mapa da cobertura vegetal para antes da ocorrência dos incêndios de 2003.....	41
Figura 5.10 Mapa do NDVI para logo após a ocorrência dos incêndios de 2003.	43
Figura 5.11 Mapa da cobertura vegetal para logo após a ocorrência dos incêndios de 2003.....	43
Figura 5.12 Mapa do NDVI para anos depois da ocorrência dos incêndios de 2003.....	44
Figura 5.13 Mapa da cobertura vegetal para anos depois da ocorrência dos incêndios de 2003.....	44
Figura 5.14 Mapa do NDVI para antes da ocorrência dos incêndios de 2017.	45
Figura 5.15 Mapa da cobertura vegetal para antes da ocorrência dos incêndios de 2017.....	45
Figura 5.16 Mapa do NDVI para logo após a ocorrência dos incêndios de 2017.....	46

Figura 5.17 Mapa da cobertura vegetal para logo após a ocorrência dos incêndios de 2017.....	46
Figura 5.18 Mapa do PRI para antes da ocorrência dos incêndios de 1991.....	47
Figura 5.19 Mapa do sPRI para antes da ocorrência dos incêndios de 1991.....	47
Figura 5.20 Mapa do PRI para logo após a ocorrência dos incêndios de 1991.....	48
Figura 5.21 Mapa do sPRI para logo após a ocorrência dos incêndios de 1991.....	48
Figura 5.22 Mapa do PRI para antes da ocorrência dos incêndios de 2003.....	49
Figura 5.23 Mapa do sPRI para antes da ocorrência dos incêndios de 2003.....	49
Figura 5.24 PRI para logo após a ocorrência dos incêndios de 2003.....	50
Figura 5.25 sPRI para logo após a ocorrência dos incêndios de 2003.....	50
Figura 5.26 Mapa do PRI para anos depois da ocorrência dos incêndios de 2003.....	51
Figura 5.27 Mapa do sPRI para anos depois da ocorrência dos incêndios de 2003.....	51
Figura 5.28 Mapa do PRI para antes da ocorrência dos incêndios de 2017.....	52
Figura 5.29 Mapa do sPRI para antes da ocorrência dos incêndios de 2017.....	52
Figura 5.30 Mapa do PRI para logo após a ocorrência dos incêndios de 2017.....	53
Figura 5.31 Mapa do sPRI para logo após a ocorrência dos incêndios de 2017.....	53
Figura 5.32 Mapa de CO ₂ flux para antes da ocorrência dos incêndios de 1991.....	54
Figura 5.33 Mapa de CO ₂ flux para logo após a ocorrência dos incêndios de 1991.....	55
Figura 5.34 Mapa de CO ₂ flux para anos depois da ocorrência dos incêndios de 1991.....	56
Figura 5.35 Mapa de CO ₂ flux para logo após a ocorrência dos incêndios de 2003.....	57
Figura 5.36 Mapa de CO ₂ flux para anos depois da ocorrência dos incêndios de 2003.....	58
Figura 5.37 Mapa de CO ₂ flux para antes da ocorrência dos incêndios de 2017.....	59
Figura 5.38 Mapa de CO ₂ flux para logo após a ocorrência dos incêndios de 2017.....	60
Figura 5.39 Imagem MYD17A2H relativa ao GPP para o período de 4 de julho de 2002 a 11 de julho de 2002.....	61
Figura 5.40 Imagem MYD17A2H relativa ao GPP para o período de 13 de agosto de 2003 a 20 de agosto de 2003.....	61
Figura 5.41 Imagem MYD17A2H relativa ao GPP para o período de 2 de junho de 2017 a 9 de junho de 2017.....	62
Figura 5.42 Imagem MYD17A2H relativa ao GPP para o período de 08 de outubro de 2017 a 12 de outubro de 2017.....	62
Figura 5.43 Regressão linear para “antes dos incêndios” de 2003.....	63
Figura 5.44 Regressão linear para “logo após os incêndios” de 2003.....	63
Figura 5.45 Regressão linear para “antes dos incêndios” de 2017.....	63
Figura 5.46 Regressão linear para “logo após os incêndios” de 2017.....	63
Figura 5.47 Mapa do resultado entre as variáveis de CO ₂ flux e GPP para o cenário de antes dos incêndios de 2003.....	65
Figura 5.48 Mapa do resultado entre as variáveis de CO ₂ flux e GPP para o cenário de logo após os incêndios de 2003.....	65
Figura 5.49 Mapa do resultado entre as variáveis de CO ₂ flux e GPP para o cenário de logo após os incêndios de 2003.....	66
Figura 5.50 Mapa do resultado entre as variáveis de CO ₂ flux e GPP para o cenário de logo após os incêndios de 2003.....	66
Figura 5.51 Mapa do dNBR para os incêndios de 1991.....	67
Figura 5.52 Severidade do fogo para os incêndios de 1991.....	67
Figura 5.53 Mapa do dNBR para os incêndios de 2003.....	69
Figura 5.54 Severidade do fogo para os incêndios de 2003.....	69
Figura 5.55 Mapa do dNBR para os incêndios de 2017.....	70
Figura 5.56 Severidade do fogo para os incêndios de 2017.....	70

Índice de Tabelas

Tabela 3.1 Identificação das classes de ocupação do solo e respetivas áreas de acordo com o CLC 2006.....	18
Tabela 3.2 Dados estatísticos da demografia da população residente no concelho de Mação....	19
Tabela 3.3 Distribuição da população residente no concelho de Mação por faixas etárias.....	21
Tabela 3.4 População empregada segundo os Censos: total e por setor de atividade económica.	22
Tabela 4.1 Bandas espectrais necessárias para o cálculo dos diversos índices.....	27
Tabela 4.2 Definição das classes do mapa de cobertura vegetal a partir dos intervalos de NDVI	30
Tabela 4.3 Identificação das datas dos pares para cálculo do dNBR.....	32
Tabela 4.4 Definição das classes do mapa da severidade do incêndio.....	32
Tabela 4.5 Identificação das datas das imagens do sensor MODIS.....	34
Tabela 5.1 Incêndios ocorridos desde 1990 até 2017 no concelho de Mação e respetiva área ardida.....	36
Tabela 5.2 Identificação dos incêndios alvo deste estudo.....	37
Tabela 8.1 Características específicas das bandas espectrais, utilizadas para o cálculo das equações presentes na metodologia, do sensor TM (Termal Mapper) e suas principais aplicações	80
Tabela 8.2 Características das bandas espectrais do sensor MODIS para o estudo da superfície da terra.....	81
Tabela 8.3 Características específicas das bandas espectrais, utilizadas para o cálculo das equações presentes na metodologia, do sensor MSI (Multispectral Imager).	81
Tabela 8.4 Dados a utilizar relativos aos incêndios de 1991 para o cálculo da radiância e da refletância.....	82
Tabela 8.5 Dados a utilizar relativos aos incêndios de 2003 para o cálculo da radiância e da refletância.....	83
Tabela 8.6 Recorte das bandas da imagem Landsat 4 de 22 de dezembro de 1990.....	84
Tabela 8.7 Recorte das bandas da imagem Landsat 5 de 26 de dezembro de 1991.....	85
Tabela 8.8 Recorte das bandas da imagem Landsat 5 de 1 de julho de 2002.....	86
Tabela 8.9 Recorte das bandas da imagem Landsat 5 de 12 de agosto de 2003.....	87
Tabela 8.10 Recorte das bandas da imagem Landsat 5 de 6 de novembro de 2011.....	88
Tabela 8.11 Recorte das bandas da imagem Sentinel 2 de 4 de junho de 2017.....	89
Tabela 8.12 Recorte das bandas da imagem Sentinel 2 de 12 de outubro de 2017.....	90
Tabela 8.13 Recorte das imagens do sensor MODIS (GPP).....	91
Tabela 8.14 Conversão dos níveis digitais em refletâncias para a imagem Landsat 4 de 22 de dezembro de 1990.....	92
Tabela 8.15 Conversão dos níveis digitais em refletâncias para a imagem Landsat 5 de 12 de agosto de 1991.....	93
Tabela 8.16 Conversão dos níveis digitais em refletâncias para a imagem Landsat 5 de 1 de julho de 2002.....	94
Tabela 8.17 Conversão dos níveis digitais em refletâncias para a imagem Landsat 5 de 12 de agosto de 2003.....	95
Tabela 8.18 Conversão dos níveis digitais em refletâncias para a imagem Landsat 5 de 6 de novembro de 2011.....	96

Tabela 8.19 Reescalonamento níveis digitais para a imagem Sentinel 2 de 4 de junho de 2017	97
Tabela 8.20 Reescalonamento níveis digitais para a imagem Sentinel 2 de 12 de outubro de 2017.....	98
Tabela 8.21 Conversão do NDVI com resolução espacial de 30m para 60m nas imagens Landsat e resolução espacial de 10m para 60m nas imagens Sentinel	99
Tabela 8.22 Conversão do PRI com resolução espacial de 30m para 60m nas imagens Landsat e resolução espacial de 10m para 60m nas imagens Sentinel	100
Tabela 8.23 Conversão do sPRI com resolução espacial de 30m para 60m nas imagens Landsat e resolução espacial de 10m para 60m nas imagens Sentinel	101
Tabela 8.24 Conversão do NBR com resolução espacial de 30m para 60m nas imagens Landsat	102
Tabela 8.25 Conversão das refletâncias da imagem Sentinel para obter o NBR com resolução espacial de 60m	103
Tabela 8.26 Conversão do CO ₂ flux com resolução espacial de 30m para 60m nas imagens Landsat e resolução espacial de 10m para 60m nas imagens Sentinel.....	104
Tabela 8.27 Identificação dos pares de NBR para cálculo do dNBR para os três anos dos incêndios	105
Tabela 8.28 Resultado do estudo estatístico para o cenário de “antes dos incêndios” de 2003	106
Tabela 8.29 Resultado do estudo estatístico para o cenário de “logo após os incêndios” de 2003	107
Tabela 8.30 Resultado do estudo estatístico para o cenário de antes dos incêndios de 2017....	108
Tabela 8.31 Resultado do estudo estatístico para o cenário de logo após os incêndios de 2017	109

Lista de Abreviaturas, símbolos e siglas

μm – Micrómetro

ρ_{BLUE} - Refletância para a banda do azul

ρ_{GREEN} - Refletância para a banda do verde

ρ_k - Refletância espectral

ρ_{MIR} - Refletância da banda do infravermelho médio

ρ_{NIR} - Refletância da banda do infravermelho próximo

ρ_{RED} - Refletância da banda do vermelho

θ - Ângulo zenital do sol

% - Percentagem

°C - Grau centígrado

AAD – Atlas do Ambiente Digital

B1 – Banda Espectral 1

B2 – Banda Espectral 2

B3 – Banda Espectral 3

B4 – Banda Espectral 4

B7 – Banda Espectral 7

B8 – Banda Espectral 8

B12 – Banda Espectral 12

C - Carbono

CAOP 2016 - Carta Administrativa Oficial de Portugal 2016

CGPR – Cadastro Geométrico da Propriedade Rústica

CLC – Corine Land Cover

CMM – Câmara Municipal de Mação

CO₂ – Dióxido de Carbono

CO₂flux – Fluxo de Carbono

d^2 - Distância Terra-Sol em Unidades astronómicas

DGT – Direção Geral do Território

DN - Nível Digital

dNBR – Diferença de valores do NBR

EBM - EuroBoundaryMap

EOS - Sistema de Observação Terrestre

ERTS - Earth Resources Technology Satellite

ESA - Agência Espacial Europeia

ETM – Enhanced Thematic Mapper

FPAR - Fraction of Photosynthetically Active Radiation (Fração da Radiação Fotossintética Ativa)

gC/m² – gramas de Carbono por metro quadrado

GEE - Gases de Efeito de Estufa

GPP - Gross Primary Production

ha – Hectares

HDF – Hierarchical Data Format

ICNF - Instituto de Conservação da Natureza e Florestas

INE – Instituto Nacional de Estatística

IPAR – Intercepted photosynthetically active radiation (Radiação Fotossintética Ativa Incidente)

k - Radiância solar exoatmosférica

KgC/m² – Kilograma de carbono por metro quadrado

Landsat - Land Remote Sensing Satellite

L_{λ} - Radiância espectral

L_{\max} - Coeficiente de calibração radiância espectral máxima

L_{\min} - Coeficiente de calibração da radiância espectral mínima

m – Metro

m^2 – Metro quadrado

mm – Milímetro

MJ/ m^2 – Megajoule por metro quadrado

MMQ – Método dos Mínimos Quadrados

MODIS - Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

MOD17 – Produtos de produtividade primária do MODIS

MSI – Multispectral Imager

MYD17A2H – Modis/Aqua Gross Primary Production 8-Day L4

nm – Nanómetro

NASA - National Aeronautics and Space Administration

NBR - Normalized Burn Ratio (Taxa de Queima Normalizada)

$NBR_{\text{préfogo}}$ – NBR antes do incêndio

$NBR_{\text{pósfogo}}$ – NBR após o incêndio

NDVI – Normalized Difference Vegetation Index (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada)

NUT – Nomenclatura das Unidades Territoriais

PDA – Procedimentos de Delimitação Administrativa

PORDATA – Base de Dados de Portugal Contemporâneo

PPB – Produção Primária Bruta

PRI - Photochemical Reflectance Index (Índice de Vegetação Fotossintético)

shp - *shapfile*

SIG - Sistemas de Informação Geográfica

Tiff. – Tagged Image File Format

TM – Thematic Mapper

USGS - United States Geological Survey

UTM - Universal Transversa de Mercator

WGS - World Geodetic System

$\text{Wm}^{-2} \mu\text{m}^{-1}$ - Watt por metro quadrado por micrómetro

$\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$ - Watt por metro quadrado por esferorradiano por micrómetro

“Na natureza, (...) tudo está ligado. Agora que tanto se fala de “ordenamento”, importa dizermos outra vez que “tudo está ligado”. As árvores com o clima, as plantações com as propriedades, a sua limpeza com a presença de pessoas, as pessoas com as atividades económicas, estas com as condições de vida, e por aí fora. Tudo está ligado. Por isso, infelizmente, o problema não são só os incêndios e as suas terríveis e imediatas tragédias de perdas de vidas, e de bens. Os incêndios têm causas, diretas e indiretas, mas também, consequências. Diretas e indiretas. E estas nas dimensões da enorme área ardida poderão ser também gigantescas.”

20 de Outubro 2017. Dia Internacional da Paisagem do Conselho da Europa.

Jorge Frazão Cancela

1. Introdução

As necessidades de representar o conhecimento espacial em geral, a medição e a delimitação do território, têm resposta na representação cartográfica, que veio permitir a concetualização do espaço de forma a perceber a realidade com bastante rigor (Matos, 2008).

As mudanças climáticas globais têm sido tema de grande destaque na nossa sociedade, surgindo, inevitavelmente, associado a esta preocupação, o aumento dos gases de efeito de estufa (GEE) presentes na atmosfera (Gerhardt, 2010).

Segundo Chuvieco *et al.* (2007) os incêndios florestais são responsáveis por quase 40% das emissões totais de CO₂, resultado das queimas de biomassa, aumentando significativamente a contribuição dos gases de efeito de estufa na atmosfera.

Uma forma de compreender os fluxos associados ao carbono é através do estudo da quantificação da biomassa florestal, que surge como veículo físico de captura deste elemento químico. Ao ocorrer um incêndio florestal, esta dinâmica é profundamente afetada (Celes *et al.*, 2013).

É neste contexto que se justifica a importância que este estudo apresenta, na medida em que pretende mapear, monitorizar e estimar a biomassa florestal do concelho de Mação, determinar, a Produção Primária Bruta (PPB, GPP em inglês) e conhecer a agressividade dos incêndios, num período de 30 anos.

Assim, irão ser utilizadas técnicas de processamento digital de imagem, nomeadamente, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), considerado por muitos autores, como uma boa ferramenta para o cálculo de biomassa e o Índice de Vegetação Fotossintético (PRI) que se trata de um indicador da taxa fotossintética. Segundo o autor Rahman *et al.* (2000) os índices NDVI e PRI podem ser relacionados, obtendo-se um índice de fluxo de carbono (CO₂flux). Este índice será relacionado com a GPP e determinado para a área de estudo a quantidade de CO₂ que a vegetação retém durante o processo de fotossíntese.

Para concretizar os objetivos propostos foi necessário proceder à aquisição de imagens de satélite *Landsat* pelo *United States Geological Survey* (USGS), pelo programa *Copernicus* as imagens *Sentinel* e pelo programa *Sistema de Observação Terrestre* (EOS) as imagens *MODIS*.

As imagens tiveram como referência os anos em que ocorreram os incêndios florestais com maior área ardida das últimas três décadas, sendo estas agrupadas em 3 momentos: antes da data de ocorrência dos incêndios, logo após os incêndios e anos depois da ocorrência dos incêndios.

2. Estado da Arte

De acordo com o relatório *Adaptação das Florestas às alterações climáticas* do Instituto de Conservação da Natureza e Florestas (ICNF) (Dias *et al.*, 2013) todas as projeções apontam para o aumento da temperatura terrestre e para alterações dos padrões climáticos, existindo atualmente um consenso alargado no que respeita à inevitabilidade das alterações climáticas decorrentes do aumento das emissões de gases com efeito de estufa. A região mediterrânea e a Europa do Sul assim como os espaços florestais europeus são considerados regiões mais vulneráveis e onde se prevê impactos mais negativos.

Um dos elementos naturais que mais fustiga as áreas florestais e a região mediterrânica é o fogo, sendo este um dos fatores mais importantes no que concerne a uma boa gestão do território (Forestis, 2007). Na situação de ocorrer um incêndio florestal de elevadas dimensões, torna-se urgente avaliar os danos causados por este o mais rapidamente possível, tanto a nível económico e social como a nível ambiental (Escuin *et al.*, 2002).

Tal como foi referido anteriormente, o fogo é um elemento assíduo nas paisagens do sul da Europa condicionando o desenvolvimento ou regressão dos ecossistemas florestais. Associadas a este elemento surgem, ainda, as mudanças socioeconómicas ocorridas na segunda metade do século passado, que nos países do sul da Europa, proporcionaram o aparecimento de grandes áreas do território abandonadas, devido à deslocação da população do campo para as grandes cidades. O abandono dos territórios interiores conjugado, conseqüentemente, com o aumento da biomassa florestal, em grande parte constituída por espécies vegetais altamente combustíveis, que devido ao seu interesse económico, ao fácil cultivo e ao crescimento rápido, como por exemplo o *Eucaliptus globulus*, foram substituindo as espécies autóctones de

crescimento lento, nomeadamente o *Quercus suber* L., que no entanto são melhor adaptadas aos territórios e com melhores mecanismos de defesa em relação a estes fogos, proporcionam a intensificação deste fenómeno (Ferreira, *et al.*, 2011).

Portugal não é alheio a estas alterações demográficas, dando abertura para a desertificação dos concelhos interiores, como é o caso do concelho de Mação, sendo este alvo de situações muito preocupantes relacionadas com este fenómeno catastrófico, que é o fogo, principalmente durante a época de verão (Ferreira, *et al.*, 2011).

De acordo com Lourenço (2004) no distrito de Santarém, Mação é um dos concelhos que devido às suas condições geográficas, favorece a progressão de fogos, caracterizando-se pela sua interioridade, relevo bastante acentuado e um clima quente e seco na época estival. Ao mesmo tempo, o abandono das terras por parte da população e a diminuição marcada da atividade pastorícia contribuiu para o aumento dos combustíveis rasteiros, tornando este concelho um alvo fácil para despoletar um incêndio florestal de grandes dimensões.

Escuin *et al.* (2002) afirma que os mapas de vegetação associados a outras estimativas, como o grau de severidade podem ser de grande utilidade para conseguir uma recuperação mais rápida das áreas afetadas pelo fogo. Neste sentido a deteção remota adquire um papel preponderante, na medida em que ao ocorrerem alterações físicas na paisagem explicadas pelo incêndio, permite estudar o desaparecimento ou redução da cobertura vegetal ou a alteração da cor da superfície, através do estudo da resposta espectral da cobertura vegetal.

Para distinguir as zonas queimadas das zonas não queimadas e o grau de severidade dos incêndios pode ser utilizado o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI, *Normalized Difference Vegetation Index*) assim como a diferença normalizada entre as bandas do infravermelho próximo e do infravermelho médio (NBR, *Normalized Burn Ratio*) (Chuvieco, *et al.* 2002).

O NDVI, proposto por Rouse *et al.* (1974) é o índice de vegetação mais usado e trata-se de um bom indicador do estado de saúde da vegetação. Através da combinação da reflexão da região do vermelho e do infravermelho próximo é possível identificar áreas queimadas (Escuin, *et al.* 2007). Outro índice que evidencia bons resultados para medir o grau de severidade das áreas

queimadas é o NBR, combinando informações na região do infravermelho próximo e do infravermelho médio. Este índice, segundo Escuin *et al.* (2007), revela que nas áreas queimadas, os valores diminuem ao mesmo tempo que a severidade do fogo aumenta, sendo um índice que serve para avaliar a gravidade de um incêndio florestal. O mesmo autor descreve, ainda, que a maneira mais fiável de avaliar a severidade dos incêndios florestais mediterrânicos é pela diferença de valores do NBR (dNBR) antes do incêndio (NBR_{prefogo}) e logo após o incêndio (NBR_{posfogo}), tendo os resultados desta diferença uma precisão de 86,4 %.

Diversos trabalhos têm sido desenvolvidos nesta temática nomeadamente, “Estimación del área quemada en el Parque Nacional Torres del Paine utilizando datos de teledetección” (Mattar, *et al.* 2012), “Fire severity assessment by using NBR (Normalized Burn Ratio) and NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) derived from LANDSAT TM/ETM images (Escuin, *et al.* 2007) e “Un ejemplo práctico de aplicación operativa de la teledetección a la gestión de riesgos naturales: cartografía y evaluación urgente de áreas quemadas en Galicia” (Martín, *et al.* 2007).

De acordo com Silva (2015) existem estudos que demonstram a eficácia de utilizar a análise espectral da vegetação, para estimar o índice $CO_2\text{flux}$ a partir de variáveis como a biomassa. Alguns desses estudos foram elaborados por Rahman *et al.* (2000), propondo utilizar o vigor da vegetação fotossinteticamente ativa, medido através do NDVI e da eficiência do uso da luz na fotossíntese medida pelo Índice de Vegetação Fotosintético (PRI, *Photochemical Reflectance Index*), e estabelecer uma relação entre estes dois índices, obtendo-se assim o índice do $CO_2\text{flux}$, que mede a eficiência do processo de sequestro de carbono pela vegetação

As florestas têm um papel essencial na mitigação das mudanças climáticas, atuando como reservatórios de carbono, essencial ao suporte e existência de vida, constituindo-se como parte integrante da composição química de todos os componentes orgânicos atualmente conhecidos (Almeida, 2016).

A GPP está diretamente relacionada com o carbono efetivamente extraído da atmosfera pelos diversos ecossistemas terrestres e traduz-se, de acordo com Almeida (2016), na taxa onde os produtores de um ecossistema convertem a energia solar em energia química através da fotossíntese, ou segundo Giner *et al.* (2012) o GPP, também pode ser definida pela quantidade de CO_2 que um m^2 de vegetação absorve através da fotossíntese.

Segundo Sousa & Marques da Silva (2011), a detecção remota, possibilita a aquisição de informação, sobre a superfície da terra, através da análise de dados obtidos por meio de um dispositivo que não está em contacto mecânico com a mesma. Constitui uma ferramenta muito importante para o conhecimento e gestão dos incêndios florestais, enfatizando a importância da aplicação dos sistemas de informação geográfica para uma melhor gestão da informação espacial (Escuin *et al.*, 2002).

A evolução ao nível das técnicas de aquisição de informação, nomeadamente com os programas de detecção remota baseados em plataformas orbitais como o programa *Landsat* (iniciado em 1972), o programa *EOS* (iniciado em 1999) ou o programa *Copernicus* (iniciado em 2014), entre muitos outros, veio beneficiar a expansão dos SIG (Grancho, 2006).

O *Landsat* foi um programa desenvolvido pela Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (NASA, *National Aeronautics and Space Administration*) tendo sido direccionado unicamente para a observação dos recursos naturais e da superfície do planeta terrestre.

Esta missão espacial foi inicialmente designada *Earth Resources Technology Satellite* (ERTS), tendo sido uma missão experimental até 1983, momento em que foi considerada operacional ocorrendo a entrada na fase de comercialização das imagens recolhidas pelos satélites. A missão foi gerida pela NASA e pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS, *United States Geological Survey*) envolvendo o lançamento de mais de sete satélites. Este programa de observação da Terra deu início em 1972 (Fonseca, *et al.* 2004) com o lançamento do primeiro satélite denominado *ERTS-1*, sendo depois alterado o nome do programa para *Landsat* e consequentemente a alteração da denominação do satélite *ERTS-1* para *Landsat 1*.

A série de satélites *Landsat*, mesmo sendo a primeira, mantém a sua importância junto à comunidade de utilizadores destas imagens, tanto pelo seu acervo histórico como pela contínua actualização tecnológica mantendo características importantes.

O programa EOS da NASA deu início em 1999, com o lançamento do sensor *MODIS* (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) a bordo do satélite TERRA e em 2002 a bordo do satélite AQUA, com a finalidade de mapear e monitorizar a cobertura vegetal e o uso do solo (MundoGeo, 2004). Os satélites TERRA e AQUA cobrem em conjunto a superfície da Terra a cada 1-2 dias. O satélite TERRA orbita em redor do globo terrestre viajando de norte

para sul, cruzando o Equador durante a manhã. O satélite AQUA tem a mesma órbita, no entanto, este viaja de sul para norte cruzando o Equador durante a tarde (Quiroga, 2009). O sensor *MODIS* iniciou o fornecimento de produtos de produtividade primária (nomeados de *MOD17*) no início do ano de 2000, a cada 8 dias. A partir desta data, tornou-se possível pela primeira vez na história da humanidade obter o estado do crescimento da vegetação a nível mundial, incluindo a produção primária, em tempo quase real (Maccherone & Cardwell, 2014).

O sensor *MODIS* é composto por 36 bandas espectrais desenvolvidas para observar a atmosfera, o oceano e a terra, distribuindo-se essas bandas pelo intervalo de 405 nm a 14400 nm que vai desde o visível até ao infravermelho termal. Com uma resolução espacial de 250 m (entre o vermelho e o infravermelho próximo) e de 500 m (bandas do azul, verde e infravermelho próximo) encontram-se as primeiras sete bandas direcionadas para as aplicações ambientais e de uso e ocupação do solo. As bandas a partir da 8 até à 16 têm aplicações ao nível da observação oceânica, as bandas 17, 18 e 19 aplicam-se às medições atmosféricas. As restantes bandas (da 20 à 36) cobrem a porção termal do espectro eletromagnético, podendo ser utilizadas em diversas áreas das ciências naturais (Shimabukuro & Rudorff, 2006).

O *Copernicus* é um programa que assenta numa parceria entre a Agência Espacial Europeia (ESA), a União Europeia e os Estados-Membros. Este projeto pretende estabelecer um sistema operacional e independente de observação da Terra, tendo como objetivo principal obter dados sobre questões ambientais e de segurança global, facilitando o conhecimento técnico e disponibilizando serviços de qualidade em tempo útil (Lira, *et al.*, 2016).

A missão *Sentinel* é a mais recente do programa *Copernicus*, tendo planeado sete constelações, estando neste momento três delas já em órbita, a *Sentinel-1*, a *Sentinel-2* e a *Sentinel-3* (Lira, *et al.*, 2016).

O par *Sentinel-2* foi lançado em 2015 dando continuidade à missão *Landsat*. Este transporta o sensor multiespectral (MSI, *Multispectral Imager*) de alta resolução que regista informação ótica da vegetação, solo, água e zonas costeiras (Lira, *et al.*, 2016).

Para efetuar este trabalho de tese foram utilizadas uma imagem do *Landsat 4* datada de 22 de dezembro de 1990, quatro imagens do *Landsat 5*, com datas de 26 de dezembro de 1991, 1 de julho de 2002, 12 de agosto de 2003 e 6 de novembro de 2011, permitindo a recolha de dados relativos a

esses períodos temporais, quatro imagens do sensor *MODIS*, correspondentes ao pré fogo e pós fogo referentes aos incêndios de 2003 e 2017 (pois não existem imagens deste sensor antes de 2000) e duas imagens do *Sentinel-2*, datadas de 4 de junho de 2017 e 12 de outubro de 2017.

3. Área de estudo

O município de Mação pertence ao distrito de Santarém e tem uma área aproximada de 40.000 ha (Figura 3.1). Localiza-se na Região Centro (NUT II), na Sub-Região do Médio Tejo (NUT III).

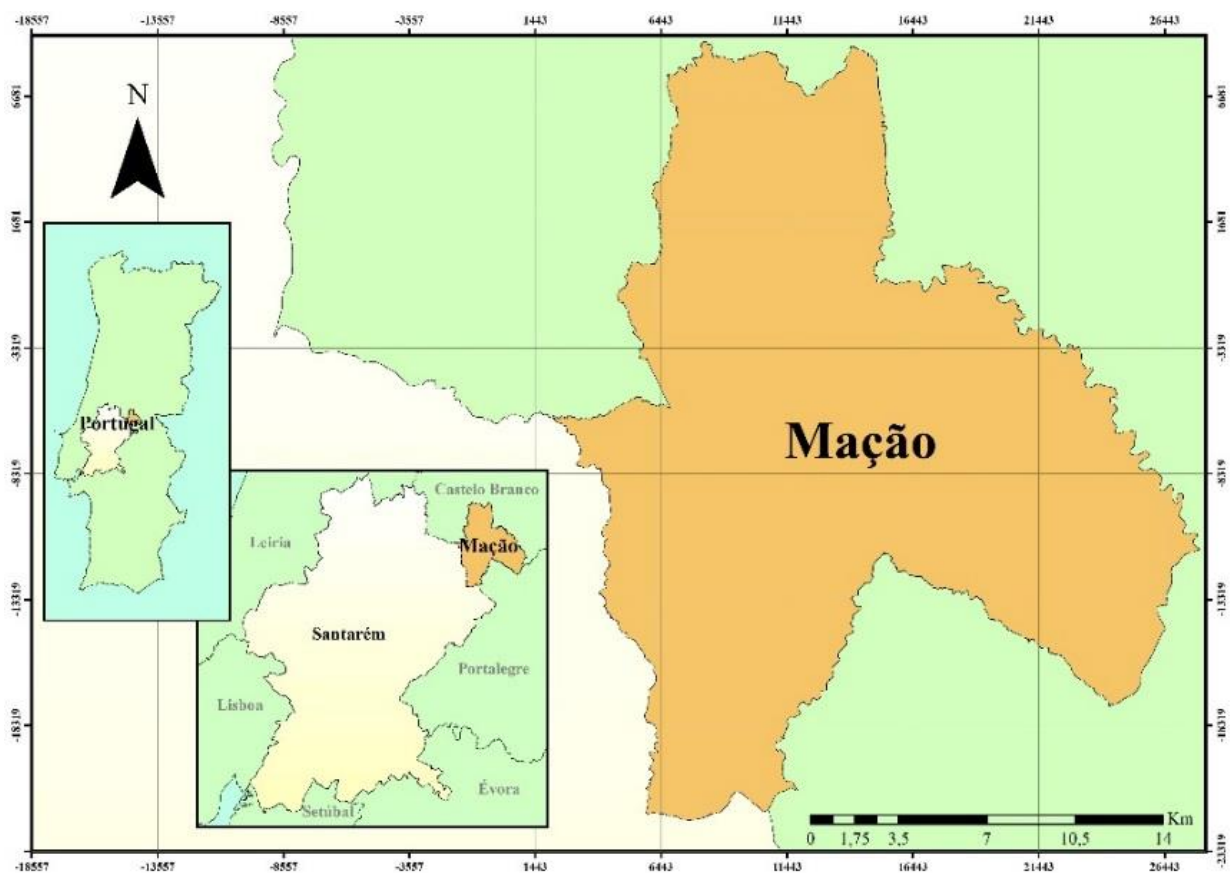


Figura 3.1 Localização geográfica do concelho de Mação no distrito de Santarém. (Fonte: DGT).

O concelho de Mação é constituído por seis freguesias: Cardigos, Amêndoa, Carvoeiro, União de Freguesias de Mação, Penhascoso e Aboboreira, Envendos e Ortiga (Figura 3.2). A Figura 3.3 mostra algumas localidades das freguesias do concelho de Mação.

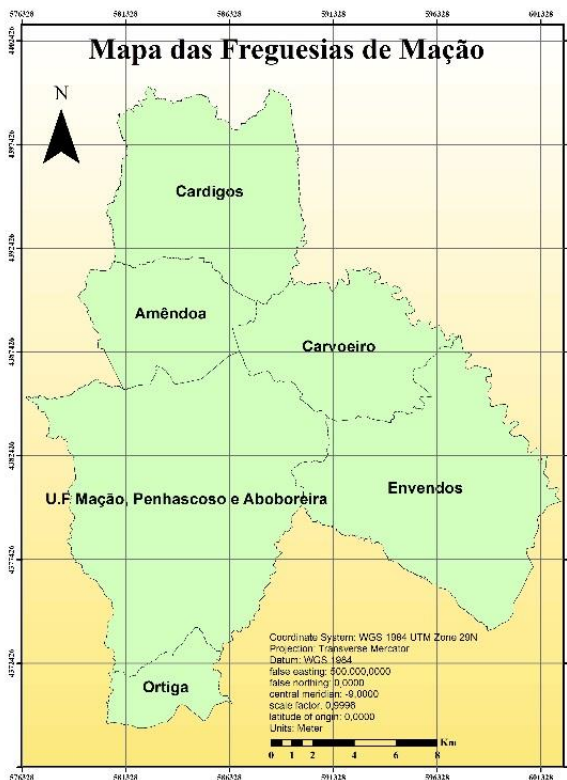


Figura 3.2 Mapa das freguesias do concelho de Mação. (Fonte: DGT).



Figura 3.3 Mapa das localidades do concelho de Mação. (Fonte: DGT).

A Figura 3.4 mostra que o município de Mação é geograficamente atravessado por diversos eixos viários, importando destacar a sul dois eixos viários de interesse nacional, a A23 e a EN 3 e no sentido norte-sul a EN 244 que passa pela sede de concelho, vila de Mação.

A Figura 3.5 mostra que a rede hidrográfica do concelho de Mação é mais densa a sul do território, em comparação com o norte do território. Nas duas extremidades a sul do concelho passa o rio Tejo, servindo este de fronteira, no extremo sudeste passa o rio Ocreza. Existem várias ribeiras e ribeiros, servindo algumas destas, também como elemento fronteiro do território, como é exemplo da ribeira de Eiras. Algumas destas linhas de água passam por zonas urbanas como é o caso da ribeira do Aziral que cruza o Carvoeiro ou a ribeira de Canas que toca em Envendos.

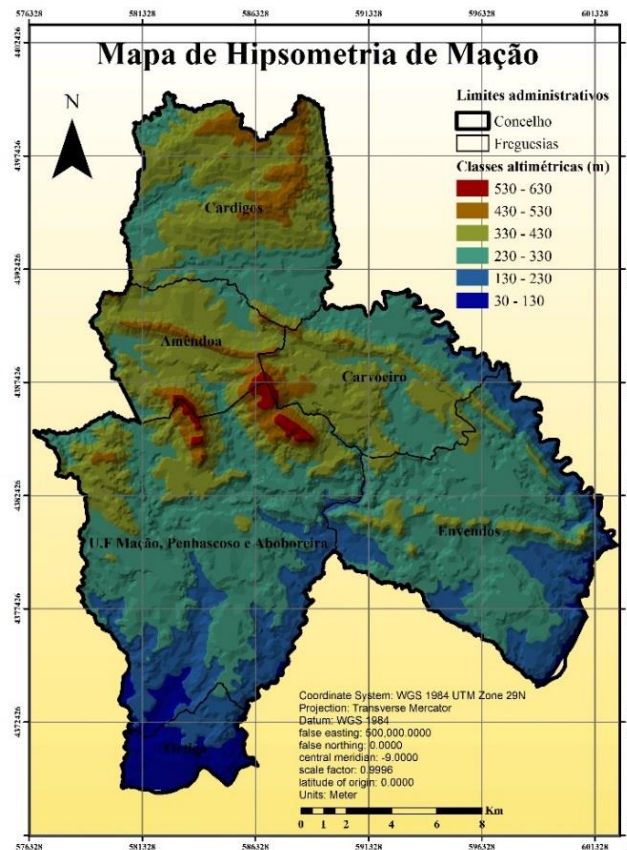


Figura 3.6 Mapa de hipsometria do concelho de Mação.
(Fonte: CMM).

A Figura 3.7 representa o mapa de declives da área de estudo. Verifica-se que na área de estudo predomina o relevo relativamente plano (0% a 2%). Os declives acentuados (3% a 10%) localizam-se no cordão que vai desde a freguesia de Envendos até à freguesia de Amêndoa, que representa uma zona bastante declivosa no sul deste cordão. Os declives moderados (2% a 3%) distribuem-se por todo o concelho.

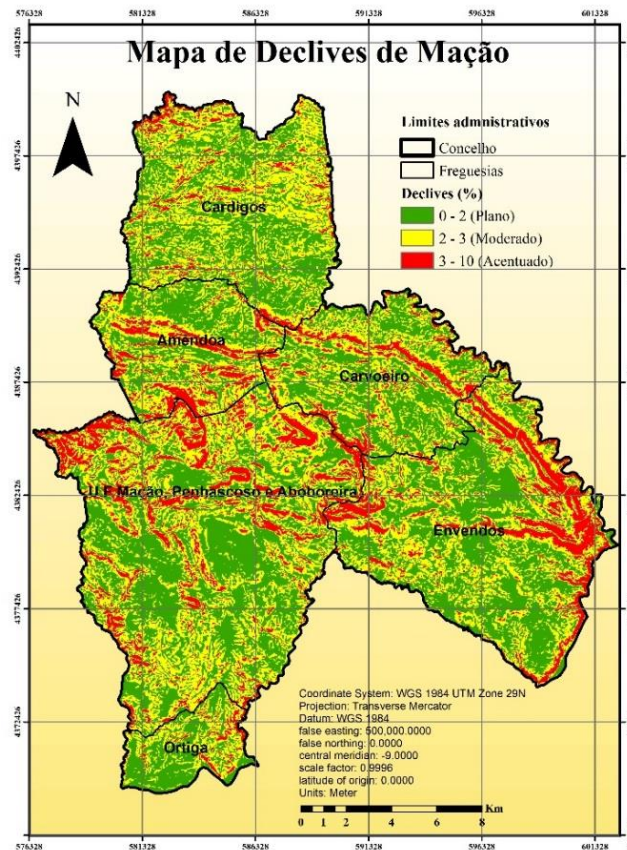


Figura 3.7 Mapa de declives do concelho de Mação.
(Fonte: CMM).

Relativamente à exposição de encostas, é possível observar na Figura 3.8, que o concelho de Mação é dominado por duas cordilheiras:

- (i) a primeira inicia-se na freguesia de Envendos junto à localidade de Vale de Grou, surgindo uma pequena discontinuidade nessa cordilheira que é retomada, novamente, na localidade de Envendos. Este acontecimento orológico segue para sudeste na direção do limite do concelho até ao rio Tejo, sofrendo nesse local uma mudança de direção para noroeste, desenvolvendo-se novamente entre a última freguesia mencionada, passando pela localidade de Ladeira localizada num vertente norte e este, pela freguesia de Carvoeiro, passando pela localidade de Capela localizada no sopé da vertente sul e terminando na freguesia de Cardigos, mais concretamente na localidade de Freixoeiro, exposta numa vertente orientada a norte e este;

- (ii) a segunda cordilheira inicia-se em Maxieira, pertencente à freguesia de Carvoeiro, direcionando-se para a localidade de Vale de Vacas, freguesia de Amêndoa, exposta totalmente num vertente sul, terminando na localidade com a mesma denominação e exposta numa vertente orientada a norte.

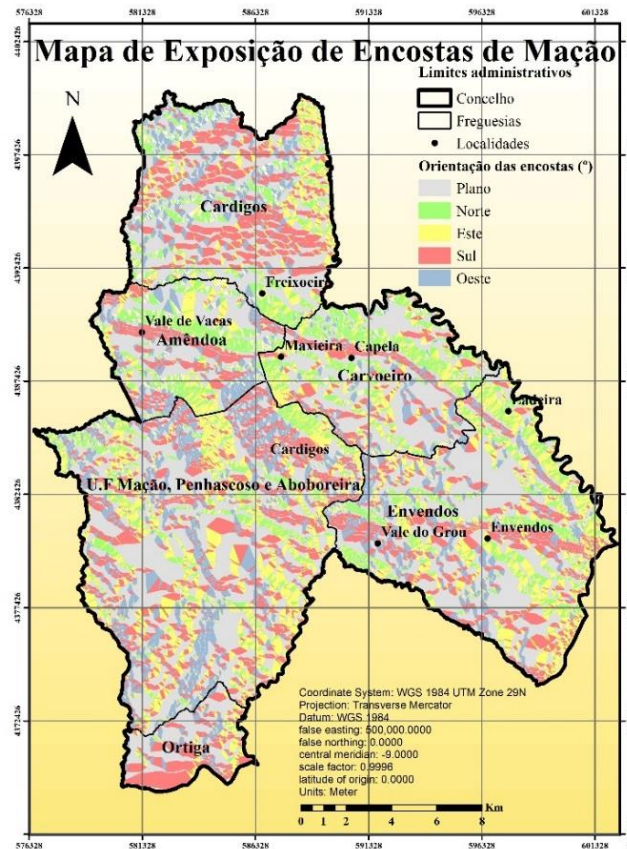


Figura 3.8 Mapa de exposição de encostas do concelho de Mação.
(Fonte: CMM).

Na zona centro do concelho existem dois eventos orográficos de relevância que imprimem o seu caráter único no território. O primeiro inicia-se a norte na zona sul da freguesia de Amêndoa e termina a sul na zona norte da União de Freguesias de Mação, Penhascoso e Aboboreira. O segundo evento orográfico é de maiores dimensões e distribui-se pela confluência das freguesias de Amêndoa, união de freguesias de Mação, Penhascoso e Aboboreira, e de Carvoeiro. Ambos acidentes montanhosos têm a sua linha de fecho orientada no sentido noroeste-sudeste e constituem entre si uma zona de vale. No primeiro caso dominam as vertentes orientadas a norte e este (direção do vale) e no segundo caso a orientação predominante é nas direções sul e oeste (direção do vale).

Em linhas gerais, a área de estudo desenvolve-se, maioritariamente por vertentes orientadas a norte e este, sendo a vertente orientada a oeste aquela que menos predomina. As vertentes sul também predominam no território. Existem, ainda, bastantes zonas planas, evidenciando-se na freguesia de Envendos a maior mancha com esta classificação.

A Figura 3.9 refere-se ao mapa da temperatura média do concelho de Mação produzido com valores baseados nos valores médios da temperatura do ar, apoiados na informação das normais climatológicas de referência correspondentes ao período de 1931-1960 (Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, 1970).

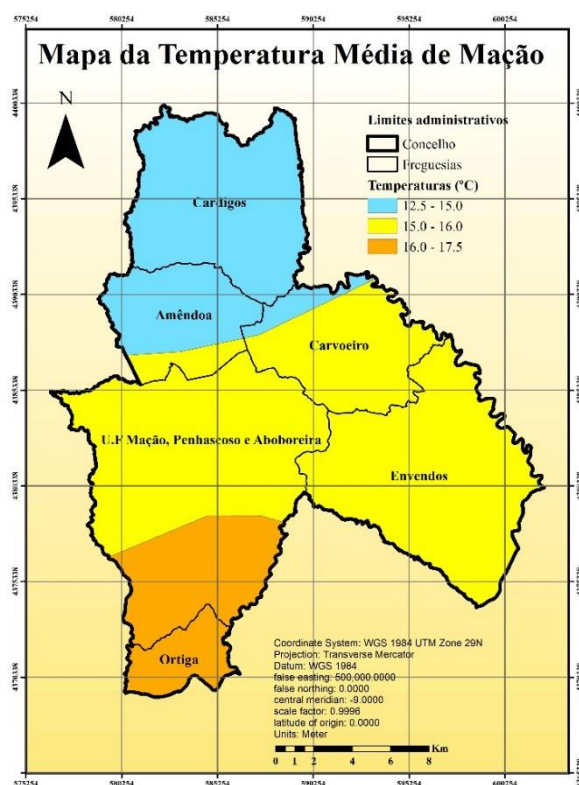


Figura 3.9 Mapa da temperatura média do concelho de Mação do período de 1931 a 1960. (Fonte: Atlas do Ambiente Digital, 2000).

Na época entre as décadas de 30 a 60 o concelho de Mação registou temperaturas médias que oscilaram entre os 12,5°C e os 17,5°C. O norte do concelho era a região que possuía valores médios de temperatura do ar mais baixos, que variavam entre 12,5°C e os 15,0°C. A região mais central do concelho e a parte sul (freguesia de Envendos) possuía nessa época valores médios

de temperatura entre os 15,0°C e 16,0°C, sendo este intervalo de temperaturas aquele que abrangia a maior área do concelho. Uma pequena área, localizada mais a sul do concelho (freguesia de Ortiga) apresentava os valores mais elevados de temperaturas médias do ar, entre os 16,0°C e 17,5°C.

A Figura 3.10 refere-se ao mapa da precipitação média do concelho de Mação produzido com valores médios da quantidade de precipitação baseados nas normais climatológicas de referência correspondentes ao período de 1931-1960 (Serviço Meteorológico Nacional, 1970).

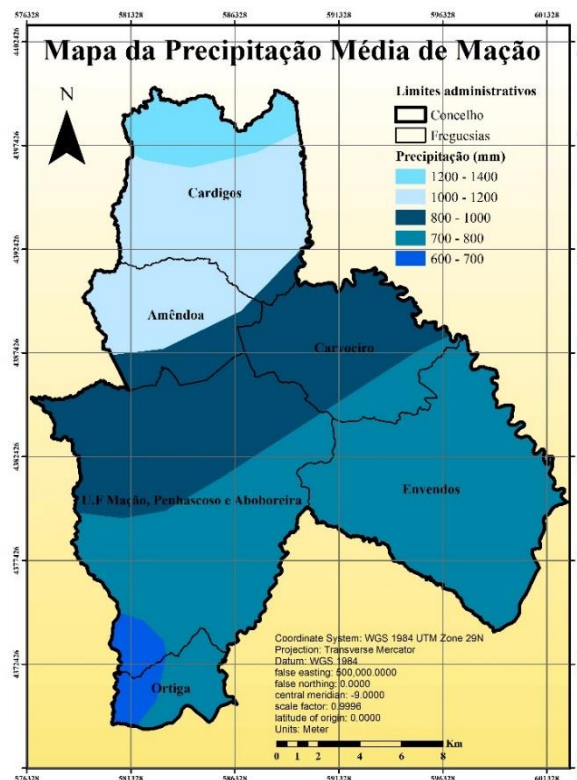


Figura 3.10 Mapa da precipitação média do concelho de Mação do período de 1931 a 1960. (Fonte: Atlas do Ambiente Digital, 2000).

A Figura 3.10 mostra que no período de 1931 a 1960 o concelho de Mação registou valores médios de precipitação que variaram entre os 600mm e os 1400mm, correspondendo a uma amplitude total de 800mm de precipitação média anual. Os valores mais altos de precipitação distribuíam-se na zona norte do concelho, variando entre os 1000mm e os 1400mm, a região onde menos ocorria precipitação era na região sul, registando valores entre os 600mm e os

800mm. A zona centro era aquela que estava caracterizada com valores que variavam entre os 800mm a 1000mm.

Segundo a classificação de Koppen e Geiger o clima de Mação é classificado como Csa, ou seja, um clima quente e temperado, em que o inverno é chuvoso e o verão seco e quente, a temperatura média é de 15,9°C e a precipitação média anual cerca de 840mm.

A Figura 3.11 mostra o gráfico do climograma do concelho de Mação, onde é possível verificar que o volume maior de precipitação surge no mês de janeiro registando valores médios de 122mm e o mês de julho caracteriza-se pelo mês mais seco com valores médios de 7 mm.

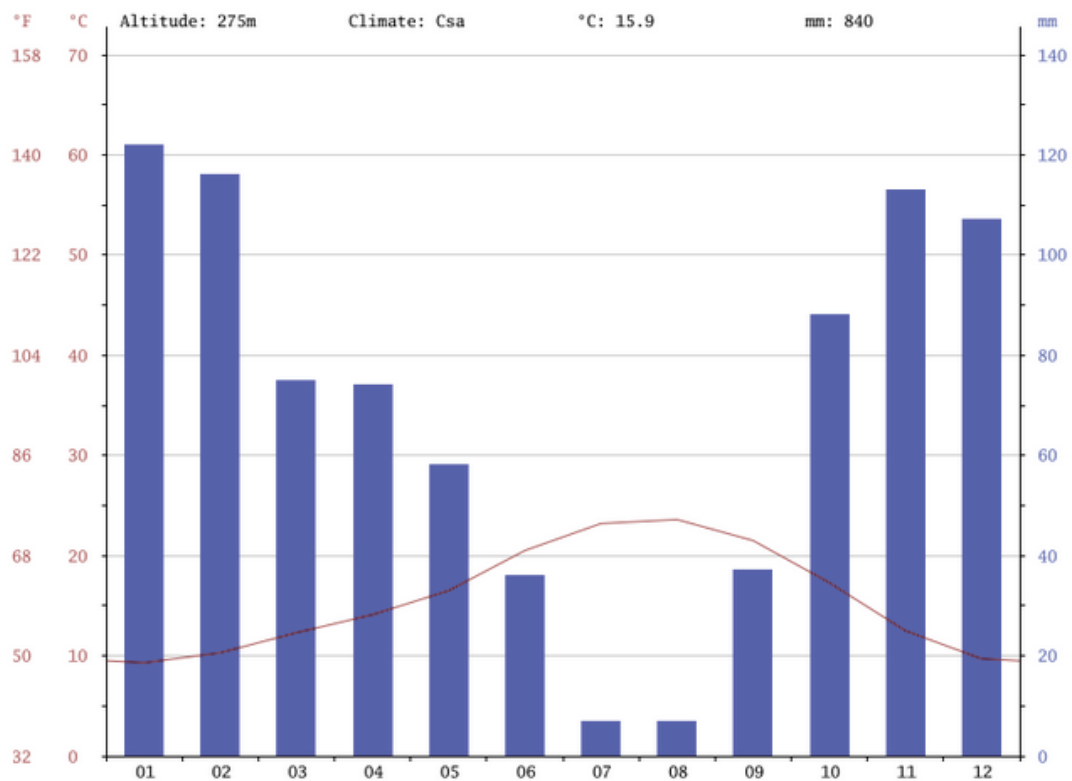


Figura 3.11 Gráfico do climograma do concelho de Mação.
(Fonte: Climate-data.org, 2017).

A Figura 3.12 mostra o gráfico da temperatura média do concelho de Mação com base na informação disponível no *Site Climate-Data.org*, constata-se que o mês de agosto é o mês mais

quente em todo o ano, com uma temperatura média de 23,6°C e o mês de janeiro o mês mais frio do ano com valores de temperatura média de 9,3°C.

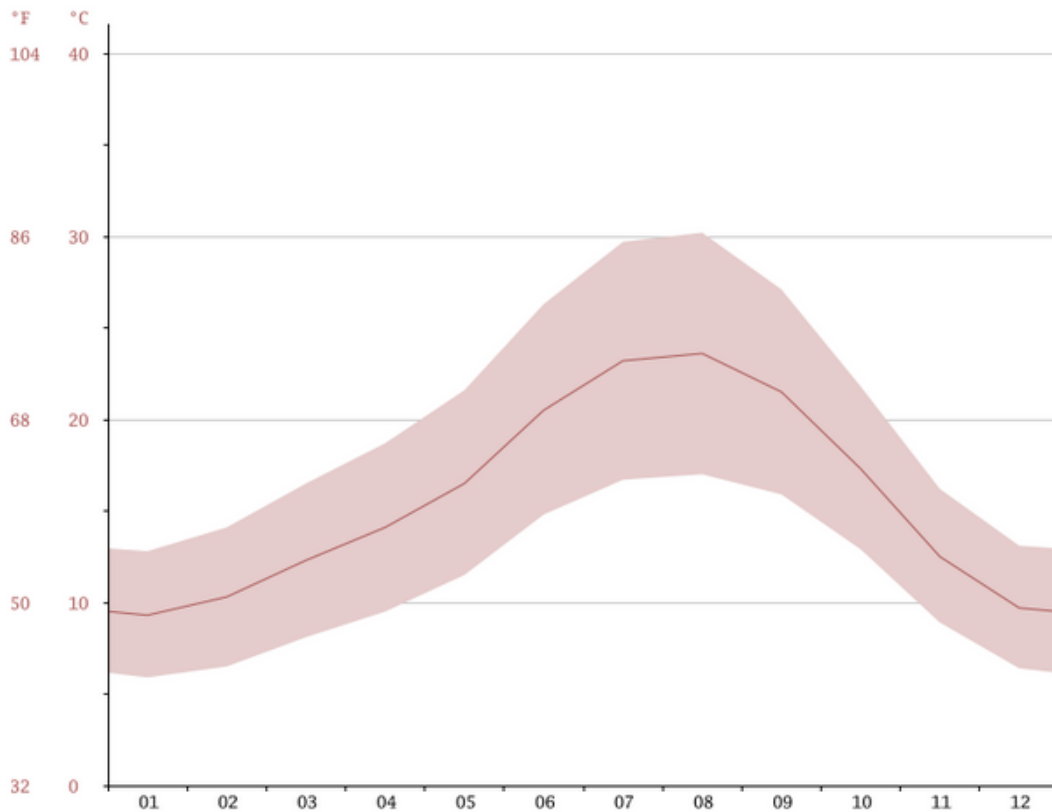


Figura 3.12 Gráfico da temperatura média do concelho de Mação.
(Fonte: Climate-data.org, 2017).

A Figura 3.13 revela que o concelho de Mação é ocupado maioritariamente por vegetação natural e floresta, cerca de 37% e 47% respetivamente, totalizando no seu conjunto aproximadamente 84% de todo o território (Tabela 3.1). Estes valores demonstram a elevada biomassa combustível presente neste território traduzindo-se este facto numa grande fragilidade para o concelho, se tivermos em conta que as espécies vegetais que compõem estas duas classes são, na sua grande maioria, os pinheiros, os matos e os eucaliptos, espécies altamente combustíveis. A floresta distribuiu-se geograficamente mais a norte (Cardigos) e centro (Carvoeiro) do concelho, aparecendo uma mancha maior localizada mais a sul junto às povoações de Penhascoso e Aboboreira.

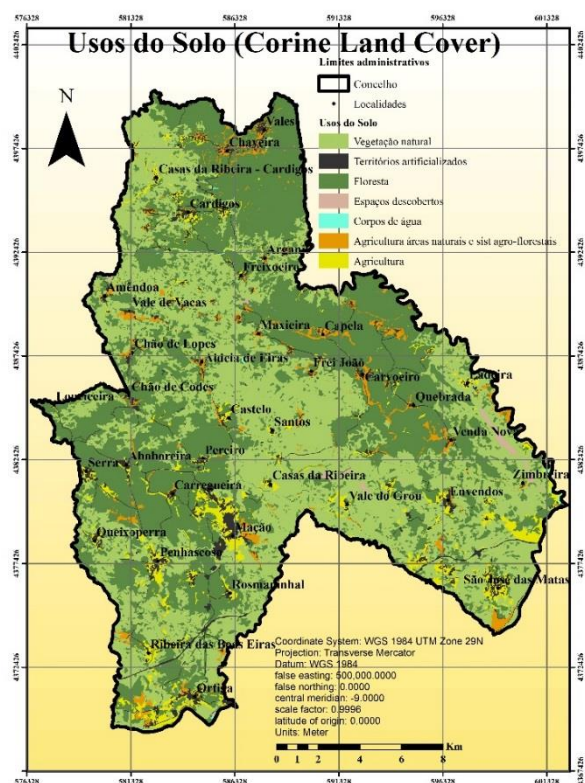


Figura 3.13 Classes de usos do solo do concelho de Mação adaptado do CLC 2006. (Fonte: CMM).

A agricultura também está presente no território, mas com uma expressão muito menor do que a vegetação natural e a floresta, representando aproximadamente 10% da ocupação do solo (Tabela 3.1). A classe agrícola localiza-se especialmente junto aos povoamentos populacionais e junto às linhas de água. É possível observar que as classes de ocupação com mais expressão estão inseridas junto a Mação, vila sede de concelho, a Ortiga, e a sul de Envendos, tendo estas duas últimas povoações uma característica comum, ambas beneficiam da presença do rio Tejo, o que valida a presença de solos mais propícios para a agricultura, maioritariamente de subsistência. Surge nestes dados a agricultura associada a sistemas agroflorestais, representando cerca de 4% dos 10%, localizando-se as manchas mais evidentes junto à zona florestal que envolve as povoações do Carvoeiro, Capela e a sede de concelho de Mação.

Posto isto, evidencia-se que o concelho de Mação está ocupado em aproximadamente 94% com floresta, vegetação natural e usos agrícolas, evidenciando o seu caráter rural. Os restantes 6%

são constituídos por territórios artificializados, espaços descobertos e corpos de água como é possível verificar na Tabela seguinte (Tabela 3.1).

Tabela 3.1 Identificação das classes de ocupação do solo e respetivas áreas de acordo com o CLC 2006.

Classes de ocupação do solo (CLC 2006)	Área total (ha)	Área total (%)	Mega classes	Área total (%)
111- Tecido urbano contínuo	493,0	1,23	Territórios artificializados	2,61
112- Tecido urbano descontínuo	159,9	0,40		
122- Redes viárias e ferroviárias e espaços associados	72,9	0,18		
131- Áreas de extração de inertes	270,9	0,68		
132- Áreas de deposição de resíduos	1,7	0,004		
133- Áreas em construção	8,2	0,02		
141- Espaços verdes urbanos	4,5	0,01		
142- Equipamentos desportivos, culturais e de lazer e zonas históricas	34,6	0,09		
212- Culturas temporárias de regadio	53,3	0,13	Agricultura	6,60
221- Vinhas	36,4	0,09		
222- Pomares	8,3	0,02		
223- Olivais	466,7	1,17		
231- Pastagens permanentes	24,4	0,06		
241- Culturas temporárias e/ou pastagens associadas a culturas permanentes	2051,7	5,13		
243- Agricultura com espaços naturais e semi-naturais	18,1	0,05	Agricultura com áreas naturais e sistemas agro-florestais	4,22
244- Sistemas agroflorestais	1669,5	4,17		
311- Florestas de folhosas	2125,3	5,31	Floresta	47,76
312- Florestas de resinosas	2239,6	5,60		
313- Florestas mistas	14739,4	36,85		
321- Vegetação herbácea natural	55,5	0,14	Vegetação natural	37,37
322- Matos	14891,6	37,23		
331- Praias, dunas e areias	1,0	0,003	Espaços descobertos	0,003
332- Rocha nua	183,2	0,46		0,46
334- Áreas ardidas	189,8	0,47	Floresta	0,47
511- Cursos de água	195,2	0,49	Corpos de água	0,49

A recolha dos dados presentes na Tabela 3.2 permitiu elaborar o estudo demográfico da área em estudo que demonstra estatisticamente o decréscimo da população em Mação ao longo das últimas décadas.

Tabela 3.2 Dados estatísticos da demografia da população residente no concelho de Mação. (Fonte: *Dados consultados em Branquinho, 2011; **Dados obtidos no INE, 2013 em Censos da População; ***Dados obtidos no Pordata, 2015).

Anos	População residente total (nº indivíduos)	Perda de população (nº indivíduos)	Perda de população a cada 10 anos (%)
1950*	21814	-	-
1960*	19045	2769	12,7
1970*	14220	4825	25,3
1981*	12234	1986	14,0
1991**	9956	2278	18,6
1992**	9763	193	16,1
1993**	9568	195	
1994**	9396	172	
1995**	9221	175	
1996**	9050	171	
1997**	8882	168	
1998**	8742	140	
1999**	8598	144	
2000**	8463	135	
2001**	8354	109	
2002**	8270	84	13,4
2003**	8133	137	
2004**	8052	81	
2005**	7927	125	
2006**	7823	104	
2007**	7727	96	
2008**	7599	128	
2009**	7518	81	
2010**	7383	135	
2011**	7235	148	
2012**	7089	146	8,2
2013**	6946	143	
2014***	6870	76	
2015***	6746	124	
2016***	6642	104	

Em termos gerais verifica-se que a população no concelho de Mação tem diminuído desde a década de 50 até aos nossos dias. Na década de 70 foi quando ocorreu a maior perda de população no concelho face às restantes décadas, com uma perda total de 25,3% dos indivíduos residentes, correspondendo a um quarto da população total de todo o concelho. Desde então, este panorama tem vindo a agravar-se, tendo na década de 80 e na década de 90 perdas de população, também importantes, com 14% e 18,6%, respetivamente. Desde o ano 2002 até ao

ano de 2011 deu-se mais 13,4% de diminuição da população residente e a partir do ano de 2012 até 2016 já conta com 8,2% de decréscimo demográfico.

A Figura 3.14 representa a evolução da população residente na área de estudo desde o ano de 1950 até ao ano de 2016, verificando-se nitidamente que houve um decréscimo bastante significativo ao longo deste período temporal.

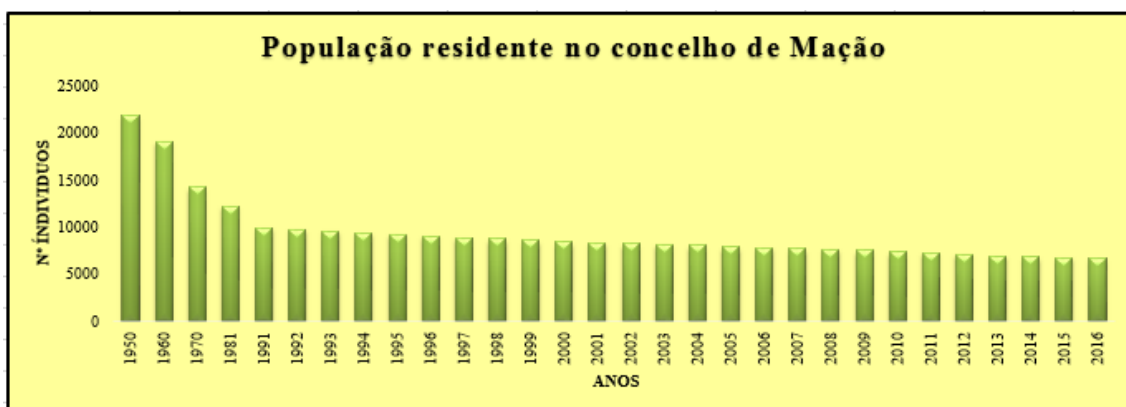


Figura 3.14 Evolução da população residente em Mação ao longo das últimas décadas. (Fonte: Branquinho (2011); INE (2013); Pordata (2015)).

Relativamente à população residente em Mação (Tabela 3.3), verifica-se que em 1991 existiam mais jovens do que idosos. Cerca de 1722 indivíduos estavam inseridos na faixa etária dos 0-19 anos e 725 indivíduos inseridos na faixa dos > 80 anos. Ao analisar o ano de 2013 verifica-se que ocorre o contrário, ou seja, a faixa etária dos 0-19 anos tem apenas 875 indivíduos e a faixa etária de >80 anos tem 1107 indivíduos. É de salientar ainda que a população ativa, que corresponde à faixa etária entre os 20 e os 64 anos, em 1993 era representada por 5065 indivíduos e em 2013 apenas está representada por 3514 indivíduos.

Analisando em termos absolutos estes resultados é possível verificar que a população decresceu em cerca de 30%. Em todas as faixas ocorreram decréscimos, uns mais acentuados do que outros, por exemplo, dos 0-19 cerca de 50%, dos 20-64 cerca de 30% e dos 69-75 cerca de 40%. A faixa etária dos >80 anos foi a exceção, uma vez que apresentou um crescimento de 35%. Estes resultados demonstram que tem havido um êxodo rural por parte da população ativa e uma clara tendência para o aumento da população mais idosa. Estes dois fatores contribuem para o abandono das atividades agroflorestais, o que tem vindo a favorecer a proliferação de comunidades arbustivas de carácter altamente combustível.

Tabela 3.3 Distribuição da população residente no concelho de Mação por faixas etárias.
(Fonte: INE, 2013).

Anos	Faixas etárias				
	0-19anos	20-44anos	45-64anos	65-79anos	>80
1991	1722	2460	2605	2444	725
1992	1655	2424	2503	2408	773
1993	1589	2402	2382	2381	814
1994	1521	2382	2297	2342	854
1995	1462	2336	2216	2340	867
1996	1400	2333	2117	2323	877
1997	1360	2289	2044	2313	876
1998	1337	2239	1981	2313	872
1999	1314	2195	1932	2312	845
2000	1268	2124	1878	2305	888
2001	1235	2141	1803	2279	896
2002	1223	2142	1761	2226	918
2003	1191	2126	1711	2166	939
2004	1169	2096	1690	2102	995
2005	1142	2065	1658	2042	1020
2006	1139	1995	1682	1981	1026
2007	1121	1948	1683	1948	1027
2008	1108	1913	1666	1860	1052
2009	1093	1865	1682	1798	1080
2010	1034	1840	1685	1722	1102
2011	979	1802	1726	1626	1102
2012	925	1773	1747	1564	1080
2013	875	1728	1786	1450	1107

A Figura 3.15 mostra a distribuição percentual das diversas faixas etárias no período temporal de 1991 a 2013. Verifica-se que a população entre os 0-19 anos foi decrescendo. Em 1991 era 17% da população e no ano de 2013 era 13%, representando menos 4% do total da população nesta faixa etária.

Na faixa de idade a partir dos 80 anos acontece exatamente o contrário, ou seja, verifica-se que em 1991 os idosos constituem apenas 7% do total da população, mas à medida que vamos evoluindo temporalmente este valor passa para 16% em 2013, demonstrando que apenas em 22 anos os idosos aumentaram em 9%.

As faixas etárias que representam a população ativa, em termos percentuais, sofreram ligeiras oscilações ao longo do tempo, com valores de cerca de 51%. A faixa etária dos 65-79 anos teve

um decréscimo de 4%, iniciando-se em 25% da população total do concelho em 1991 e terminando nos 21% em 2013.

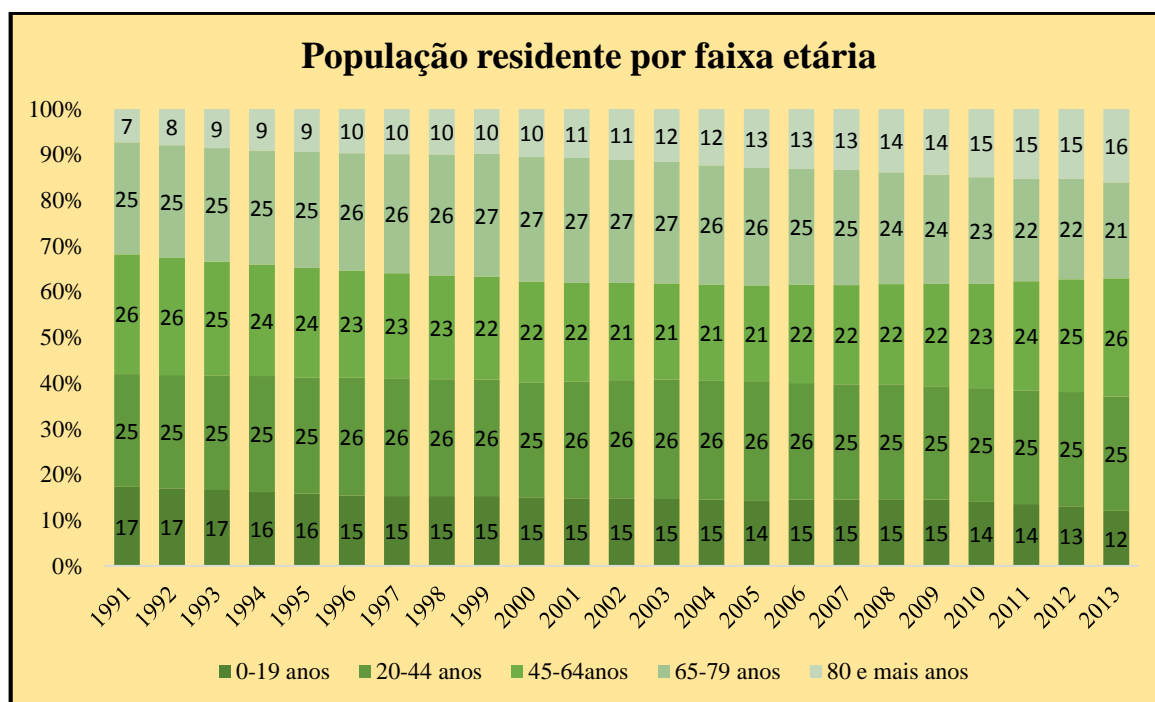


Figura 3.15 Percentagem da população residente em Mação por faixa etária. (Fonte: INE, 2013).

Em relação à caracterização económica do concelho de Mação foi criada a Tabela 3.4 onde estão evidenciados os valores alusivos ao número de indivíduos empregados por setor de atividade desde o ano de 1960, oferecendo uma visão global dos comportamentos evolutivos deste parâmetro social.

Tabela 3.4 População empregada segundo os Censos: total e por setor de atividade económica.

(Fonte: Pordata, 2015).

Anos	Primário (nº ind.)	Secundário (nº ind.)	Terciário (nº ind.)	Total
1960	3946	1373	922	6241
1981	1628	1255	1196	4079
2001	448	1029	1422	2899
2011	71	709	1471	2251

A Tabela 3.4 mostra que nos anos 60 a atividade económica que mais ênfase tinha na população de Mação era o setor primário totalizando 3946 indivíduos. Em contrapartida, a atividade

económica que menos indivíduos ocupava na mesma década era o setor terciário, contando com apenas 922 indivíduos.

No ano 2011, os dados revelam exatamente o oposto, ou seja, a grande maioria da população está empregada no setor terciário, contando esta atividade económica com 1471 indivíduos. Já a atividade económica que emprega menos indivíduos é o setor primário contando com 71 indivíduos.

Em suma, ao longo dos anos o concelho de Mação tem vindo a perder população, tendo sido o setor primário o mais prejudicado face ao setor terciário que tem sido a atividade económica mais beneficiada. Relativamente ao setor secundário, esta atividade também tem vindo a diminuir.

No sentido de facilitar a interpretação dos dados da caracterização económica da área de estudo foi elaborado o gráfico da Figura 3.16, onde é possível comparar em termos evolutivos a percentagem de população empregada nos distintos setores de atividade, setor primário, setor secundário e setor terciário.

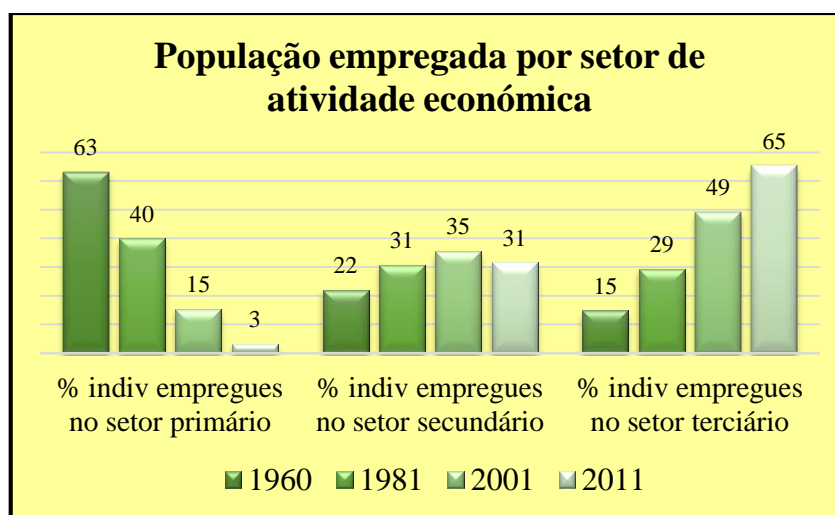


Figura 3.16 Percentagem da população total empregada no concelho de Mação por sector de atividade económica.
(Fonte: Pordata, 2015).

Com base nos resultados obtidos é possível constatar que o setor primário é o setor de atividade que mais foi penalizado desde o ano de 1960, passando 63% da população total empregada para apenas 3% de indivíduos empregados neste setor. Estes resultados levam a concluir que as

atividades relacionadas com a produção através da exploração de recursos naturais como por exemplo a agricultura ou a pecuária tornaram-se uma ocupação residual neste concelho.

Ao contrário do setor primário, o setor terciário foi a atividade que mais aumentou, passando de 15% em 1960 dos indivíduos empregados para 65% da população total ocupada em 2011, o que demonstra a clara evolução e melhoria nas condições de vida, englobando este setor a prestação de serviços, tais como nas áreas da saúde, educação, transportes, turismo, etc.

O setor secundário, relacionado com as atividades industriais, foi o setor em que houve uma flutuação pouco significativa, ocorrendo algumas oscilações durante os anos representados, caracterizando-se em 1960 com um valor de 22%, em 1981 um valor de 31% igualando o ano mais recente. No entanto foi em 2001 que os valores neste setor de atividade foram mais elevados correspondendo a 35% da população total empregada.

Em termos globais pode-se afirmar que em meados do século passado a população de Mação estava empregada maioritariamente no setor primário, ao contrário de hoje, onde o setor de atividade mais representativo direciona-se com a prestação de serviços.

Os dados referentes à população residente no concelho que é cada vez menor, assim como os setores de atividades onde a população se emprega hoje em dia, maioritariamente no setor terciário, demonstram claramente explicação da existência de um abandono das atividades relacionadas com o meio rural que está na origem da ocorrência de incêndios florestais cada vez maiores e mais intensos.

No concelho existem 5 nascentes minerais como se pode observar na Figura 3.17, destacando-se uma estância termal que existe há mais de cem anos, localizada na freguesia de Envendos na localidade de Ladeira. As águas minerais naturais da Ladeira de Envendos têm uma grande tradição popular, pois são indicadas para o uso medicinal, especialmente na melhoria de problemas do aparelho digestivo, da pele e reumáticos. Estas águas têm características hipossalinas silicatadas, tendo um alvará de concessão desde 1967 (*site* Termas de Portugal). Esta instância termal é considerada no concelho como um motor de promoção e desenvolvimento económico.

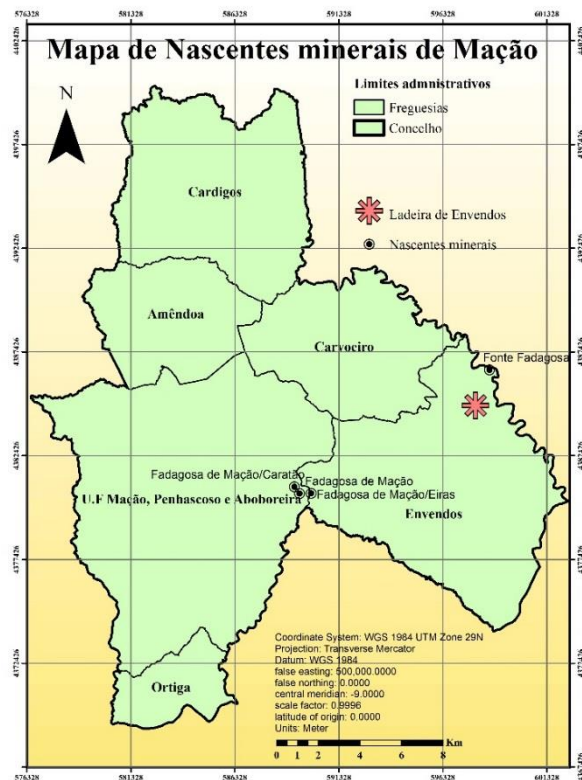


Figura 3.17 Mapa de localização das nascentes minerais no concelho de Mação. (Fonte: Atlas do Ambiente Digital, 2000).

Desde junho de 2003 que a produção de água engarrafada da marca “7 fontes” deslocalizou-se da Covilhã para a aldeia da Ladeira, devido a questões económicas, tendo sido a nova localização uma aposta mais viável economicamente, tanto em termos logísticos como em termos rodoviários contando com muito bons acessos. Além do mais esta empresa já produzia na localidade a água da marca com o mesmo nome da aldeia (Jornal O Mirante, 2003).

A produção de água engarrafada conjuntamente com a estância termal acresce de grandes potencialidades à região, possibilitando o incremento das atividades turísticas relacionadas com o turismo de saúde e termal assim como o alargamento dos horizontes industriais do concelho.

É de notar, que os incêndios florestais constituem uma grande ameaça para estas atividades, nomeadamente nos efeitos relacionados com a contaminação das águas subterrâneas.

4. Metodologia

A investigação proposta teve como base diversas fontes cartográficas, nomeadamente, a Carta Administrativa Oficial de Portugal 2016 (CAOP), demografia e zonas urbanas, áreas ardidas no concelho de Mação, imagens de satélite *Landsat 4 e 5*, *Sentinel 2* e *MODIS*.

A CAOP 2016, produzida pela Direção Geral do Território (DGT), foi a base cartográfica utilizada para o enquadramento da área de estudo, nomeadamente a definição do distrito de Santarém e do concelho de Mação. Os limites presentes na CAOP têm origem em várias fontes de dados como os censos, secções de Cadastro Geométrico da Propriedade Rústica (CGPR) ou limites obtidos no âmbito dos Procedimentos de Delimitação Administrativa (PDA). Os dados constantes na CAOP são administrados e geridos numa base de dados geográfica e a sua disponibilização é de acesso gratuito e em formato de ficheiros *shapefile* (shp). Os atributos dos troços e das áreas administrativas foram harmonizados de acordo com o Projeto *EuroBoundaryMap*, versão 3.0 da *Eurogeographics* (EBM V3.0).

O estudo demográfico e as zonas urbanas foram caracterizadas com base nos dados disponibilizados pelo Instituto Nacional de Estatística (INE) nos anos de 1950 a 2016.

As áreas ardidas foram analisadas com base nos dados disponibilizados pelo ICNF, organismo responsável pela divulgação da cartografia florestal nacional. Foram analisados os anos de 1990 a 2017 de modo a identificar quais os anos em que ocorreram os incêndios de maiores dimensões no concelho de Mação.

A Figura 4.1 mostra o esquema que identifica os anos em que o concelho de Mação foi mais afetado pelos incêndios florestais. A Figura apresenta, ainda, as imagens de satélite utilizadas neste trabalho de investigação para cada época do antes, logo após e anos depois dos incêndios. As imagens *Landsat* e *Sentinel* estão representadas pela cor amarela, as imagens *MODIS* pela cor verde e finalmente a cor laranja representa os anos em que aconteceram os incêndios. Foram considerados três anos (1991, 2003 e 2017), onde os incêndios florestais originaram uma área ardida superior a 30% do total do concelho.

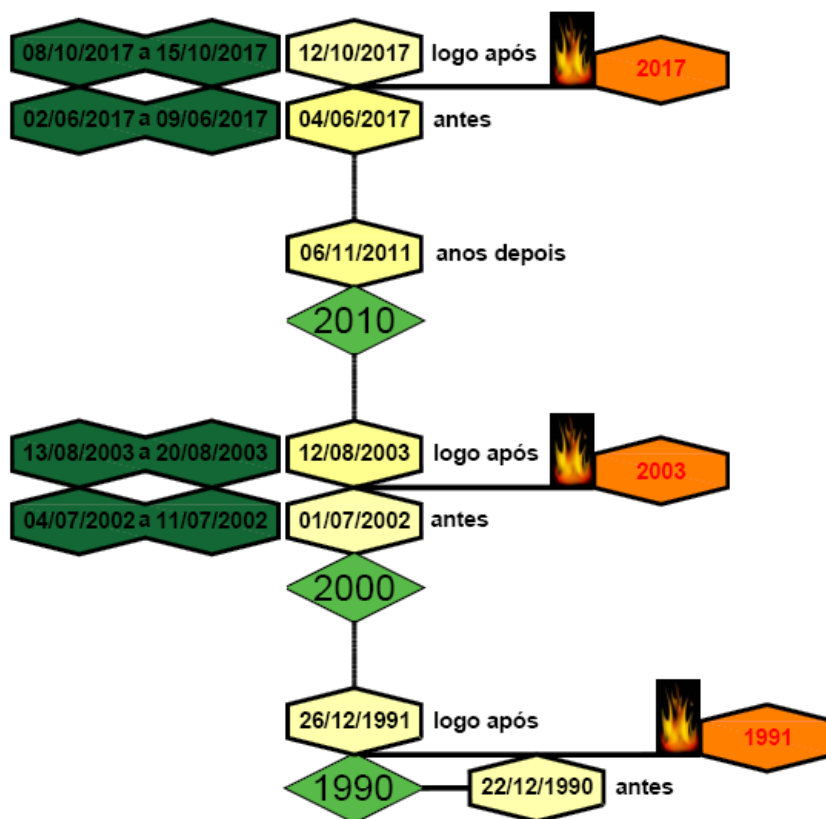


Figura 4.1 Identificação dos anos mais afetados, em Mação, pelos incêndios florestais e respectivas imagens de satélite utilizadas para o estudo dos cenários do antes, logo após e anos depois dos incêndios.
(Fonte: Elaborado pelo autor).

Após a identificação dos anos de ocorrência dos incêndios, as imagens de satélite *Landsat 4* e *5* foram obtidas pelo serviço da *USGS EarthExplorer*, as *Sentinel 2* pelo programa *European Copernicus* disponível pelo serviço *ESA* e as *MODIS MYD17A2H* (estas imagens só existem a partir de 2000) pelo serviço *MODIS Web*.

As bandas que foram utilizadas para as imagens *Landsat 4*, *5* e *Sentinel 2* estão descritas na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 Bandas espectrais necessárias para o cálculo dos diversos índices

Índices	Designação	<i>Landsat</i> (Sensor TM)	<i>Sentinel</i> (Sensor MSI)
NDVI	infravermelho próximo	Banda 4	Banda 8
	vermelho	Banda 3	Banda 4
PRI	verde	Banda 2	Banda 3
	azul	Banda 1	Banda 2
NBR	infravermelho próximo	Banda 4	Banda 8
	infravermelho médio	Banda 7	Banda 12

O efeito da dispersão nas imagens de satélite é muito comum, reduzindo o contraste destas. Isto acontece devido à existência de gases, fumos e poeiras presentes na atmosfera que disseminam as radiações eletromagnéticas.

As imagens *Landsat* apresentam erros de dispersão, por isso foi efetuada uma correção da dispersão das bandas do visível (banda 1, banda 2 e banda 3) porque são as bandas que mais sofrem com o efeito da dispersão devido ao seu comprimento de onda curto.

Para efetuar a correção do efeito da dispersão, nas imagens *Landsat*, foi utilizado o método do ajuste por regressão:

- i. Na imagem foi identificada uma região homogénea que representava água profunda não turva, onde a banda 4 tem valores radiométricos de valor zero;
- ii. Extraíram-se os pixéis correspondentes a essa região para cada banda;
- iii. Representou-se cada pixel, com o seu valor num gráfico de dispersão, em que nas abcissas colocou-se os valores das bandas do visível (bandas 1, 2 e 3) e nas ordenadas o valor da banda não influenciada pela dispersão (banda 4).
- iv. Através do Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) determinou-se para cada gráfico a reta que melhor se ajustava à distribuição dos pontos;
- v. O valor estimado para a dispersão nas bandas do visível foi a interseção da reta de regressão com o eixo das abcissas;
- vi. Este valor foi subtraído a todos os pixéis das bandas do visível, ficando o efeito da dispersão minimizado.

Nas imagens *Landsat* os pixéis são apresentados com níveis digitais, no entanto pretendeu-se trabalhar com valores de refletância. Esta conversão foi realizada com base nas equações 1 e 2. Numa primeira fase foi determinada a radiância (Equação 1), e com base no valor da radiância foi determinada a refletância (Equação 2).

$$L_{\lambda} = \frac{(L_{max} - L_{min})}{255} \times DN + L_{min} \quad \text{Equação 1}$$

Onde, L_λ é a radiância espectral para a banda λ ($\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$), L_{max} e L_{min} são os coeficientes de calibração da respectiva radiância espectral da banda ($\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$) (Tabelados) e DN o nível digital da imagem.

$$\rho_k = \frac{\pi x L_\lambda x d^2}{k x x \cos(\theta)} \quad \text{Equação 2}$$

Em que, ρ_k é a refletância espectral para a banda λ ($\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$), d^2 a distância Terra-Sol em unidades astronómicas (Tabelado), k a medida da radiância solar exoatmosférica ($\text{Wm}^{-2} \mu\text{m}^{-1}$), (Tabelado), θ o ângulo zenital do sol (graus) (Tabelado).

Os valores referidos como tabelados são disponibilizados num ficheiro.txt que vem associado no momento em que as imagens são descarregadas.

Nas imagens do *Sentinel* os pixéis são apresentados com valores de refletância, no entanto, estes valores não estão escalados de 0 a 1. O reescalonamento das refletâncias foi realizado pela Equação 3.

$$\rho_k = \frac{\text{Imagem}}{10000} \quad \text{Equação 3}$$

Todas as *shapefiles* e imagens de satélite que não estavam no mesmo sistema de referência foram projetadas para o mesmo sistema de referência de WGS84/UTM Zone 29N (EPSG:32629), assim como foram recortadas todas as imagens de satélite pelo limite do concelho de Mação, de acordo com a CAOP 2016, como mostra a Figura 4.2.

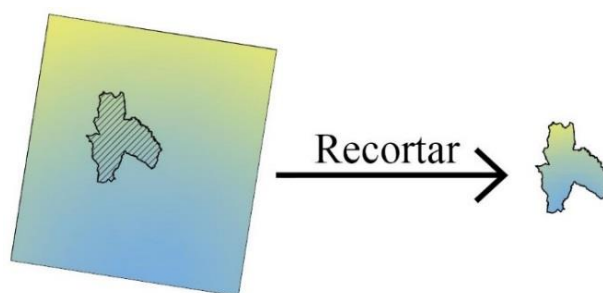


Figura 4.2 Esquema do recorte da imagem de satélite pela área de estudo.
(Fonte: Elaborado pelo autor).

A metodologia adotada neste trabalho de tese consiste na seguinte estrutura:

- Determinação do NDVI;
- Determinação do PRI;
- Determinação do sPRI;
- Determinação do CO_2flux ;
- Extração dos valores de GPP a partir da imagem do *MODIS*;
- Relacionar o CO_2flux com o GPP;
- Determinação do dNBR.

Para concretizar as tarefas acima mencionadas foram utilizados os seguintes procedimentos:

A evolução do coberto vegetal durante o período estudado foi determinada com base no NDVI, índice que foi calculado a partir de valores de refletância nas faixas do espectro eletromagnético do vermelho e o infravermelho próximo e de acordo com Rouse *et al.* (1973) varia entre 1 e -1. A Equação 4 traduz o cálculo do NDVI.

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}} \quad \text{Equação 4}$$

Em que, ρ_{NIR} é a refletância da banda do infravermelho próximo (*Landsat* é a banda b4 e do *Sentinel* a b8), ρ_{RED} é a refletância da banda do vermelho (*Landsat* é a banda b3 e *Sentinel* é a b4).

Após o cálculo do NDVI foi realizada uma reclassificação em seis classes, por forma a produzir um mapa temático relativo ao coberto vegetal. A definição das classes será de acordo com Santos, *et al.* (2015) e está apresentada na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 Definição das classes do mapa de cobertura vegetal a partir dos intervalos de NDVI

NDVI	Reclassificação	Classificação
]0,8;1]	6	Alta
]0,6;0,8]	5	Moderadamente alta
]0,4;0,6]	4	Moderada
]0,2;0,4]	3	Moderadamente baixa
]0,1;0,2]	2	Baixa
< 0,1	1	Inexistente

O PRI expressa a relação entre as bandas do azul e do verde e é utilizado segundo Silva (2015) para estabelecer uma relação entre a fotossíntese e o uso eficiente da radiação, tornando-se o PRI um bom indicador da função fotossintética no nível foliar e do dossel das plantas (Equação 5).

$$PRI = \frac{\rho_{BLUE} - \rho_{GREEN}}{\rho_{BLUE} + \rho_{GREEN}} \quad \text{Equação 5}$$

Onde, ρ_{BLUE} é a refletância para a banda do azul (*Landsat* é a banda b1e no *Sentinel* a banda b2), ρ_{GREEN} é a refletância para a banda do verde (*Landsat* é a banda b2 e no *Sentinel* é a banda b3).

Após o cálculo do PRI foi determinado o sPRI, tendo este o mesmo significado que o índice anterior, alterando apenas a sua escala para valores positivos que passam a integrar-se num intervalo que varia de 0 a 1 (Equação 6).

$$sPRI = \frac{PRI + 1}{2} \quad \text{Equação 6}$$

O CO_2flux é uma variável que mede a eficiência do processo de sequestro de carbono pela vegetação. Este índice é obtido através da relação que existe entre o NDVI e o sPRI (Equação 7).

$$CO_2flux = NDVI \times sPRI \quad \text{Equação 7}$$

O NBR expressa a relação entre as bandas do infravermelho próximo e do infravermelho médio, traduzido na Equação 8, calculada para os cenários de pré e pós o fogo. Após obter os diferentes cenários irá ser calculado o dNBR através da Equação 9 para os pares de datas dos incêndios da Tabela 4.3.

$$NBR = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{MIR}}{\rho_{NIR} + \rho_{MIR}} \quad \text{Equação 8}$$

Onde, ρ_{NIR} é a refletância da banda do infravermelho próximo (*Landsat* é a banda b4 e no *Sentinel* a banda b8) e ρ_{MIR} a refletância da banda do infravermelho médio (*Landsat* é a banda b7 e no *Sentinel* a banda b12).

$$dNBR = NBR_{prefogo} - NBR_{posfogo} \quad \text{Equação 9}$$

Em que, $dNBR$ é a diferença de cenários entre o NBR do pré fogo e o NBR do pós fogo.

A Tabela 4.3 mostra a identificação dos três pares de datas que foram utilizados para o cálculo dos três cenários considerados neste estudo.

Tabela 4.3 Identificação das datas dos pares para cálculo do dNBR

Identificação do Incêndio	Data Pré fogo	Data Pós fogo
Par 1991	22/12/1990	26/12/1991
Par 2003	01/07/2002	12/08/2003
Par 2017	04/06/2017	12/10/2017

Após o cálculo do dNBR foi realizada uma reclassificação dos intervalos obtidos para produzir um mapa temático relativo à severidade do fogo. A definição das classes será de acordo com Delgado (2017) e está apresentada na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 Definição das classes do mapa da severidade do incêndio

dNBR	Reclassificação	Severidade
]-1;0,27]	1	Não queimado/Pouco afetado
]0,27;0,44]	2	Baixa
]0,44;0,66]	3	Média
>0,66	4	Alta

As imagens *Landsat* têm originalmente uma resolução espacial de 30m, enquanto as imagens *Sentinel* têm uma resolução espacial de 10m para as bandas 2, 3, 4 e 8 e de 20m para a banda 12. Depois de obtidos os resultados do NDVI, PRI, sPRI, CO_2flux e NBR, será feito um reescalonamento da resolução espacial, obtendo-se um fator de conversão do pixel através da Equação 10.

$$\text{Fator de conversão do pixel} = \frac{\text{resolução espacial maior}}{\text{resolução espacial menor}}$$

Equação 10

A resolução espacial maior corresponde ao mínimo múltiplo comum entre as resoluções menores (10, 20 e 30), o que corresponde a 60m.

Ao obter o valor de conversão do fator de reescalonamento do pixel, este foi agregado a outros pixels da imagem, obtendo-se no final da conversão a resolução espacial de 60 m para todas as imagens, de acordo com a Figura 4.3.



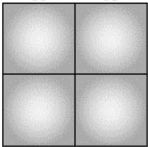


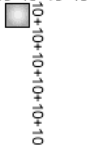
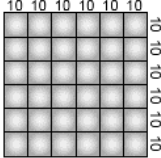


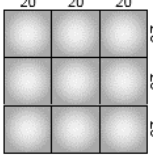
	Resolução espacial inicial	Factor de conversão	Agregação do pixel	Resolução espacial final
Landsat	Todas as bandas 	$60m/30m = 2$ 		
	Banda 2 Banda 3 Banda 4 Banda 8 	$60m/10m = 6$ $10+10+10+10+10+10$ 		
Sentinel	Banda 12 	$60m/20m = 3$ $20+20+20$ 		

Figura 4.3 Descrição das etapas para conversão das resoluções espaciais iniciais para a resolução espacial final.
(Fonte: Elaborado pelo autor).

Os valores de GPP (KgC/m^2) provêm de um dos produtos do Aqua/MODIS (*MYD17A2H*) e estão disponibilizados sob a forma cumulativa de 8 dias com uma resolução espacial de 500m e com um fator de escala de 0,0001. Esta variável baseia-se no conceito de eficiência do uso da radiação solar pela vegetação, sendo os valores diários determinados pela Equação 11.

$$GPP = IPAR \times FPAR \times \varepsilon$$

Equação 11

Onde, *IPAR* é a radiação fotossintética ativa (MJ/m^2) sendo *IPAR* a incidente na superfície da vegetação, *FPAR* a fração que é absorvida pela vegetação e ϵ (g C MJ^{-1}) é a eficiência do uso de luz da vegetação.

As datas das imagens utilizadas estão mencionadas na Tabela 4.5, onde é possível verificar o período temporal a que corresponde cada uma.

Tabela 4.5 Identificação das datas das imagens do sensor *MODIS*

Período temporal da <i>MYD17A2H</i>
04/07/2002 a 11/07/2002
13/08/2003 a 20/08/2003
02/06/2017 a 09/06/2017
08/10/2017 a 15/10/2017

As imagens *MODIS* foram disponibilizadas em formato *HDF* (*Hierarchical Data Format*), pelo que foi necessário realizar uma transformação para o formato *tif*.

Devido à resolução espacial do mapa do CO_2flux ser de 60m e a resolução espacial do mapa do GPP ser de 500m, e não haver uma correspondência direta entre os valores das duas variáveis referentes ao número de entidades, foi realizada a conversão do mapa do GPP em *shapefile* de polígonos, onde cada polígono corresponde à delimitação de cada pixel, como se pode observar no esquema da Figura 4.4.



Figura 4.4 Esquema da conversão do mapa de GPP com resolução de 500m (imagem *raster*) para vetorial (*shapefile*).
(Fonte: Elaborado pelo autor).

Com a *shapefile* de quadrícula da área de estudo, foram geradas Tabelas para os diferentes mapas com as médias das variáveis de GPP e de CO_2flux , através da operação de estatística por zona, como se exemplifica no esquema da Figura 4.5.

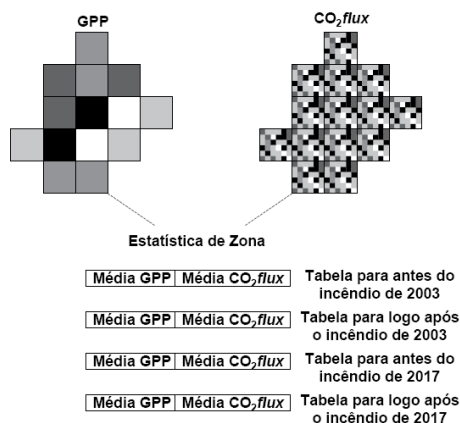


Figura 4.5 Esquema da produção das Tabelas para cada cenário em estudo.
(Fonte: Elaborado pelo autor).

A média do GPP equivale ao valor de cada pixel do mapa do GPP e a média do CO_2flux foi calculada a partir da média do conjunto de pixels que intersejam cada quadrícula da *shapefile* da área de estudo, como se pode observar na Figura 4.6.

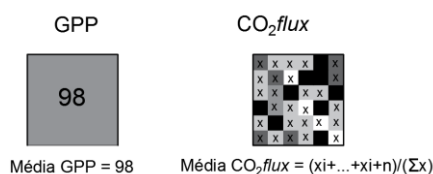


Figura 4.6 Esquema do cálculo da média através da operação de estatística de zona.
(Fonte: Elaborado pelo autor).

Com os valores das médias de GPP e de CO_2flux para os quatro cenários (antes e depois dos incêndios de 2003 e antes e depois dos incêndios de 2017) foi estabelecida uma regressão linear (Equação 12) e analisados estatisticamente os resultados para uma confiança de 95%. Foram analisados, o p-value e o R^2 do modelo e as quatro premissas dos resíduos (normalidade, homogeneidade da variância, independência e a distância de Cook).

$$Média\ GPP = m \times Média\ CO_2flux + b \quad \text{Equação 12}$$

Em que, Média GPP é a variável resposta, o m é o declive da reta, Média CO_2flux é a variável explicatória e o b o *intercept*. Com base nas equações de regressão linear foram obtidos os mapas de GPP para os quatro cenários com uma resolução de 60m. Os resultados obtidos foram os valores de GPP para 8 dias em $KgC/m^2 \times 0,0001$.

5. Resultados e Discussão

A Tabela 5.1 mostra todos os incêndios ocorridos desde o ano de 1990 até ao ano de 2017. Pode-se verificar que no concelho de Mação, 1991 foi o ano em que ocorreram mais incêndios, 30 ocorrências, tendo sido consumidos pelas chamas cerca de 13095ha. No ano de 2003 arderam 19338ha em 13 incêndios e em 2017 foi consumido de área florestal cerca de 26591 ha em 4 incêndios florestais. A 23 de julho de 2017 foram consumidos cerca de 17784ha e a 25 de agosto cerca de 8141ha. Pela análise da Tabela 5.1 constata-se que neste território, de década em década, ocorre um grande incêndio nesta área do território.

Tabela 5.1 Incêndios ocorridos desde 1990 até 2017 no concelho de Mação e respetiva área ardida.

(Fonte: ICNF).

Ano	Área ardida (ha)	Nº incêndios	Área ardida (%)
1990	176	11	0,44
1991	13095	30	33
1992	NENHUM INCÊNDIO IDENTIFICADO		
1993	NENHUM INCÊNDIO IDENTIFICADO		
1994	56	2	0,14
1995	3745	19	9,36
1996	12	1	0,03
1997	NENHUM INCÊNDIO IDENTIFICADO		
1998	4455	10	11,13
1999	853	5	2,13
2000	176	10	0,44
2001	71	3	0,17
2002	112	8	0,28
2003	19338	13	48
2004	23	3	0,05
2005	2333	4	5,83
2006	257	4	0,64
2007	638	6	1,59
2008	NENHUM INCÊNDIO IDENTIFICADO		
2009	NENHUM INCÊNDIO IDENTIFICADO		
2010	1	-	0,002
2011	12	-	0,03
2012	30/julho	3	0,007
	27/agosto	4,6	0,01
	31/agosto	9	0,02
2013	24/julho	60	0,15
2014	NENHUM INCÊNDIO IDENTIFICADO		
2015	NENHUM INCÊNDIO IDENTIFICADO		
2016	10/julho	14	0,03
	16/julho	5,5	0,01
	29/agosto	17	0,04
2017	6/julho	149	0,37
	23/julho	17784	45
	25/agosto	8141	20,35
	23/setembro	517	1,29

Os incêndios que foram alvo deste estudo foram os ocorridos em 1991, 2003 e 2017, estando estes representados geograficamente na Figura 5.1. A Tabela 5.2 resume a área ardida em ha e em % para estes três anos.

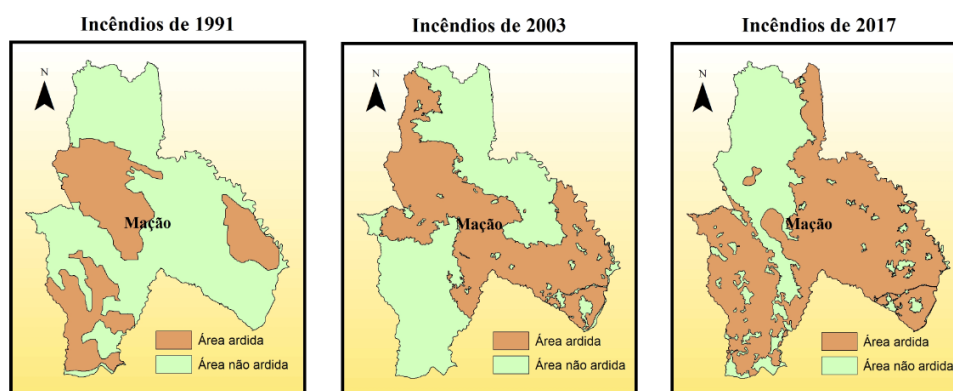


Figura 5.1 Representação dos maiores incêndios ocorridos em Mação nos últimos 30 anos. (Fonte: ICNF).

Tabela 5.2 Identificação dos incêndios alvo deste estudo. (Fonte: ICNF)

Anos dos Incêndios	Área ardida (ha)	Área ardida (%)
1991	13095	33
2003	19338	48
2017	26591	66

A área ardida total referente aos anos de 1991, 2003 e 2017, conjuntamente, foi de 34472ha o que representa em termos percentuais 86% da área total do concelho (Figura 5.2).

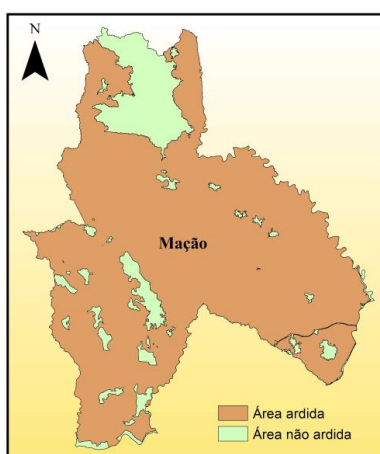


Figura 5.2 Somatório da área ardida nos anos de 1991, 2003 e 2017. (Fonte: ICNF).

A Figura 5.3 mostra em termos esquemáticos os anos mais afetados pelos incêndios florestais no concelho de Mação e as várias imagens de satélite utilizadas, *Landsat 4 e 5*, *Sentinel 2* e *MODIS MYD17A2H* e os respetivos períodos temporais em que cada uma foi aplicada. As imagens *Landsat 4 e 5* estão representadas pela cor amarela e azul respetivamente, as *Sentinel 2* pela cor cinza, as *MODIS MYD17A2H* pela cor verde e os anos dos incêndios estão representados por um grafismo de chamas (laranja).

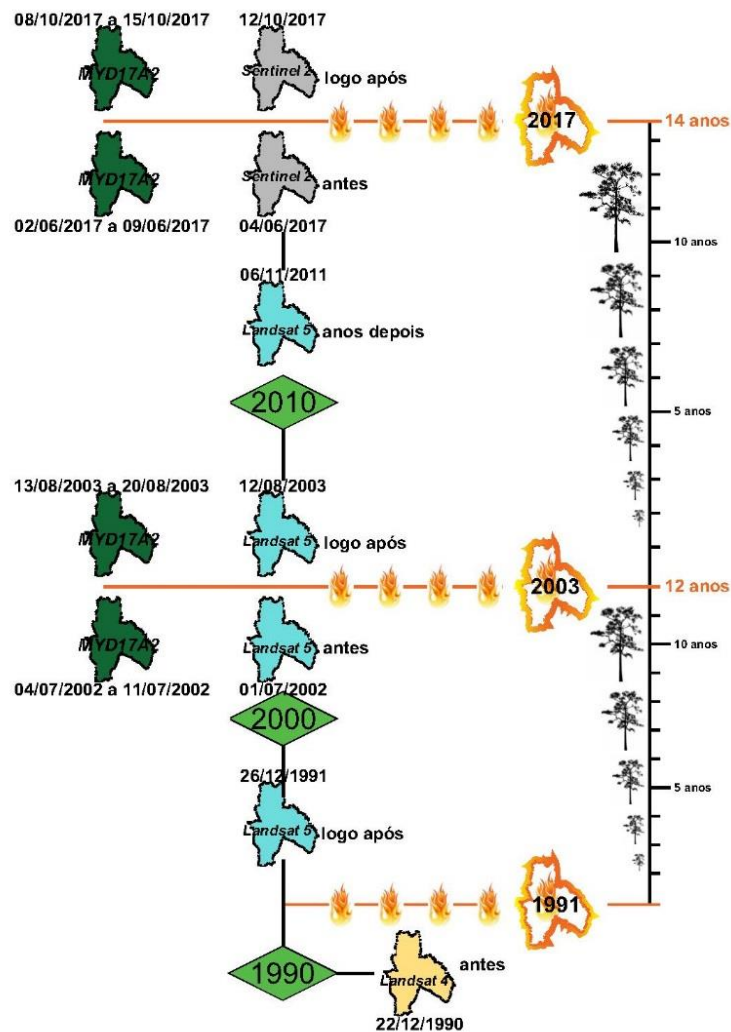


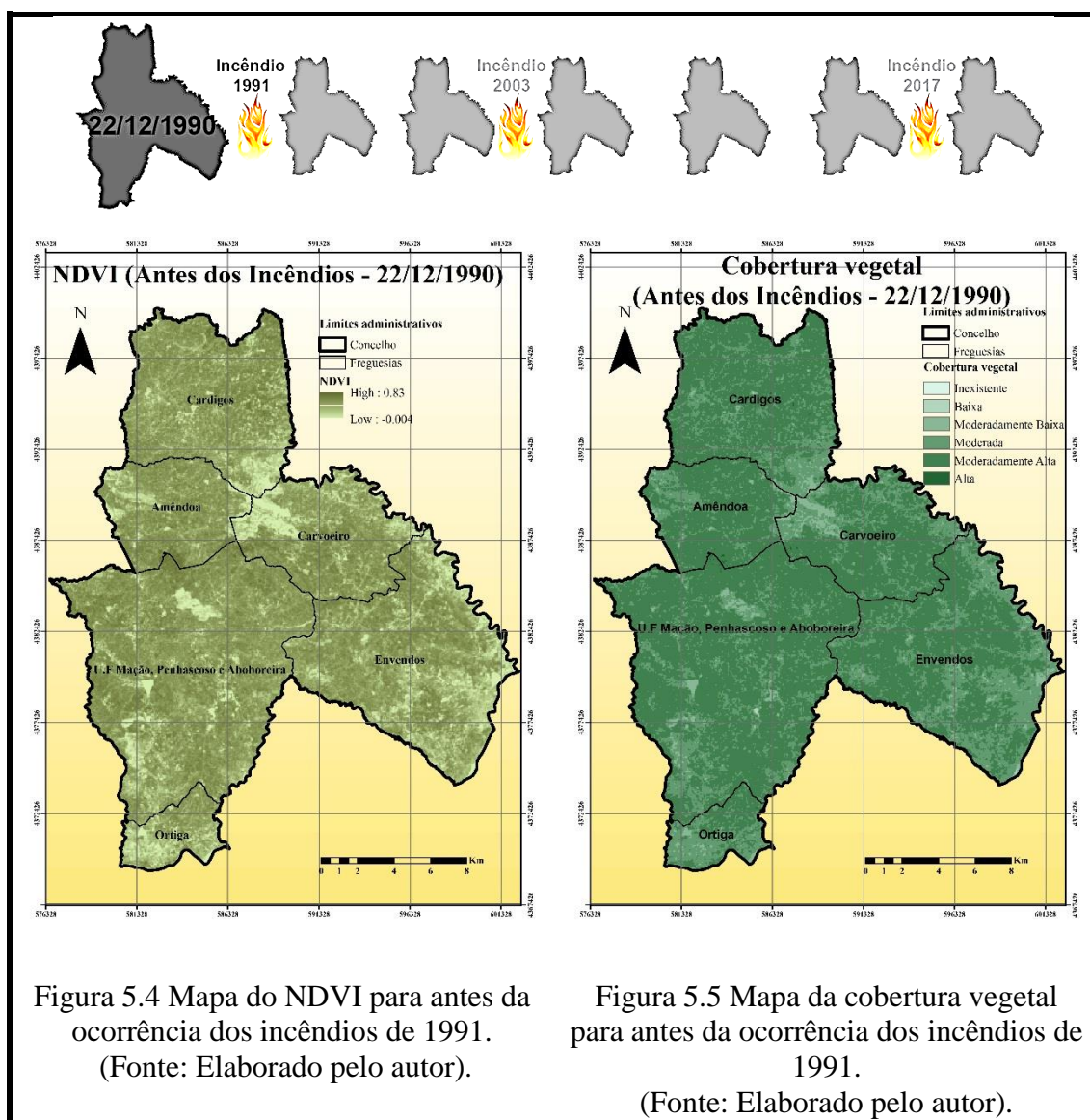
Figura 5.3 Identificação dos anos em que ocorreram os maiores incêndios em Mação, e as datas das imagens aéreas utilizadas para o estudo dos diversos cenários.
(Fonte: Elaborado pelo Autor).

5.1. NDVI e Cobertura vegetal

A Figura 5.4 representa o NDVI obtido a partir da imagem de satélite *Landsat 4* do dia 22 de dezembro de 1990, data “antes da ocorrência dos incêndios” do ano de 1991. Neste mapa de

índice de vegetação é possível observar que o valor máximo de NDVI é de 0,83 e o valor mínimo é de -0,004 tendo uma amplitude de valores de 0,834.

A Figura 5.5 representa a reclassificação do mapa de NDVI. Foram classificadas seis classes de cobertura vegetal: Inexistente, Baixa, Moderadamente Baixa, Moderada, Moderadamente Alta e Alta. As classes com maior representatividade são as Moderada e Moderadamente Alta com 49% e 45,2%, respetivamente.



A Figura 5.6 refere-se ao mapa de NDVI obtido a partir da imagem de satélite *Landsat 5* datada de 26 de dezembro de 1991, data considerada para o estudo do cenário “logo após a ocorrência dos incêndios” de 1991. Este mapa de índice de vegetação revela comparativamente ao anterior, valores de NDVI mais baixos, onde se podem observar valores de 0,59 como os mais elevados

e de -0,22 os valores mais baixos, justificando-se estas alterações de dados devido à ocorrência dos incêndios de 1991, que reduziram a cobertura vegetal.

A Figura 5.7 representa o mapa de cobertura vegetal “logo após os incêndios” do ano de 1991. Neste mapa é possível reportar que as zonas que sofreram maiores alterações no coberto vegetal, incidem na área ardida, ficando esta área com uma classificação de cobertura vegetal Inexistente e Baixa com aproximadamente 30% e 16%, respetivamente. As manchas referentes às classes anteriores estão localizadas, sensivelmente nas freguesias de Envendos, Amêndoa, União de Freguesias de Mação, Penhascoso e Aboboreira e Ortiga. A maior perda de vegetação ocorreu na freguesia de Amêndoa.

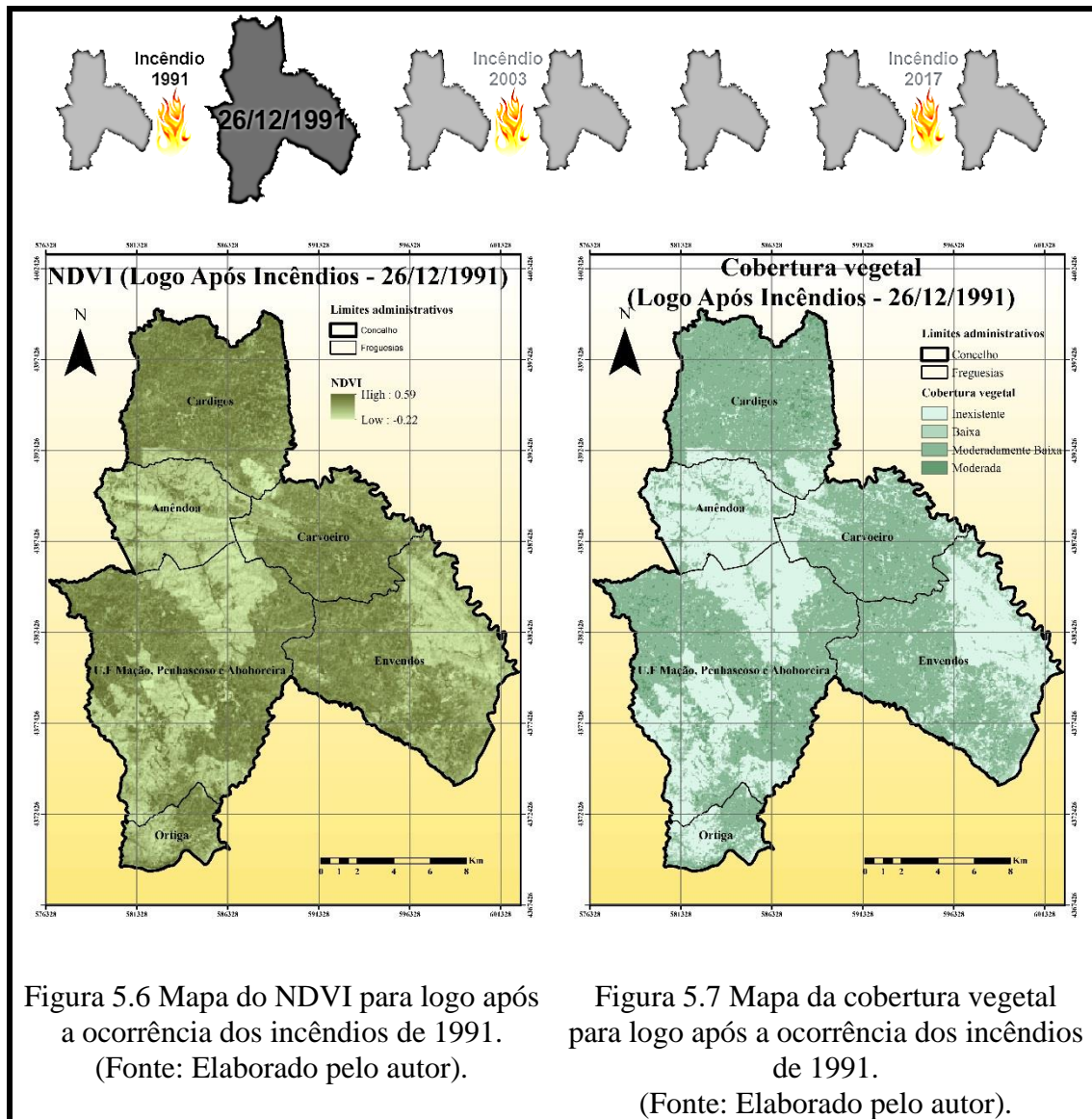


Figura 5.6 Mapa do NDVI para logo após a ocorrência dos incêndios de 1991. (Fonte: Elaborado pelo autor).

Figura 5.7 Mapa da cobertura vegetal para logo após a ocorrência dos incêndios de 1991. (Fonte: Elaborado pelo autor).

O mapa de NDVI de 1 de julho de 2002, data representativa do cenário de “antes da ocorrência dos incêndios” de 2003, obtido através da imagem *Landsat 5* está representado na Figura 5.8. Os valores de NDVI obtidos distribuem-se entre um intervalo de 0,84 e -0,09 o que significa que houve um aumento de biomassa em relação ao mapa de NDVI de 26 de dezembro de 1991. Relativamente ao mapa de cobertura vegetal, de 1 de julho de 2002, evidencia uma clara evolução positiva na biomassa vegetal, pois passados 9 anos as áreas que arderam nos incêndios de 1991 recuperaram para uma classificação de cobertura vegetal Moderadamente Baixa e Moderada, como se pode verificar na Figura 5.9.

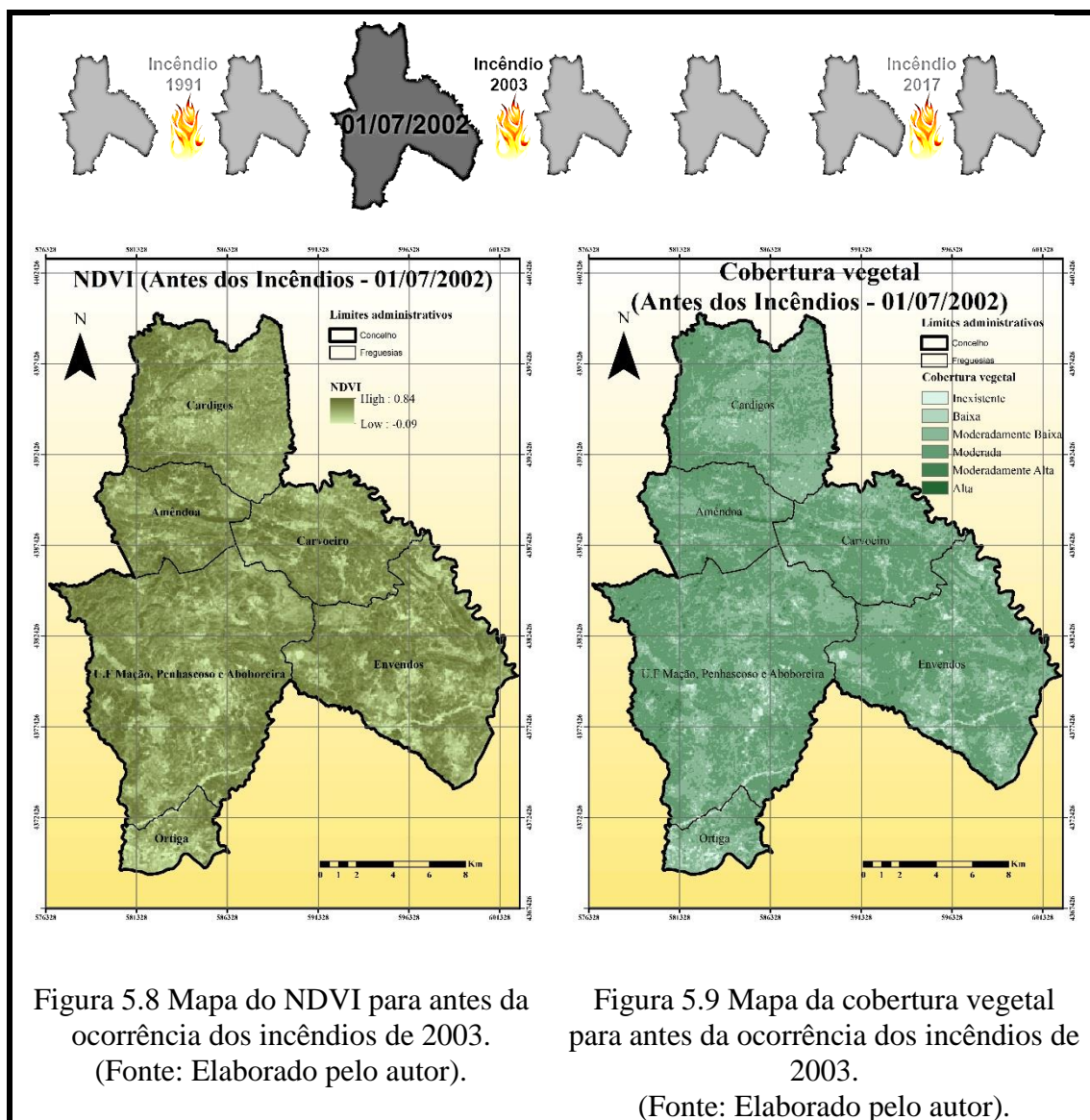


Figura 5.8 Mapa do NDVI para antes da ocorrência dos incêndios de 2003. (Fonte: Elaborado pelo autor).

Figura 5.9 Mapa da cobertura vegetal para antes da ocorrência dos incêndios de 2003. (Fonte: Elaborado pelo autor).

A Figura 5.10 representa o mapa de NDVI de 12 de agosto de 2003 (“logo após a ocorrência dos incêndios” do ano de 2003) obtido a partir de uma imagem de satélite *Landsat 5*. Neste

mapa verifica-se que os valores mais elevados distribuem-se junto às freguesias de Carvoeiro, Cardigos e U. F. de Mação, Penhascoso e Aboboreira, o que significa que nestas zonas existe maior quantidade de biomassa florestal. Em contrapartida, os valores mais baixos de NDVI ocorrem nos 0.18, significando que existe menor presença de biomassa florestal, estes valores vão desde a freguesia de Envendos até à freguesia de Amêndoa, produzindo uma mancha verde clara contínua que indicia a ocorrência dos incêndios.

A Figura 5.11 é o mapa da cobertura vegetal para o dia 12 de agosto de 2003 obtido a partir da reclassificação do mapa anterior (Figura 5.10). Este mapa evidencia 5 classes de cobertura vegetal: Baixa; Moderadamente Baixa; Moderada; Moderadamente Alta e Alta, sendo a mais representativa a classe Moderadamente Baixa, cobrindo quase metade da área de estudo com cerca de 49%. A classe de cobertura de vegetação Moderadamente Alta perfaz aproximadamente 28% da área de estudo, o que significa que em termos de biomassa florestal, este concelho perdeu bastante área com os incêndios de 2003.

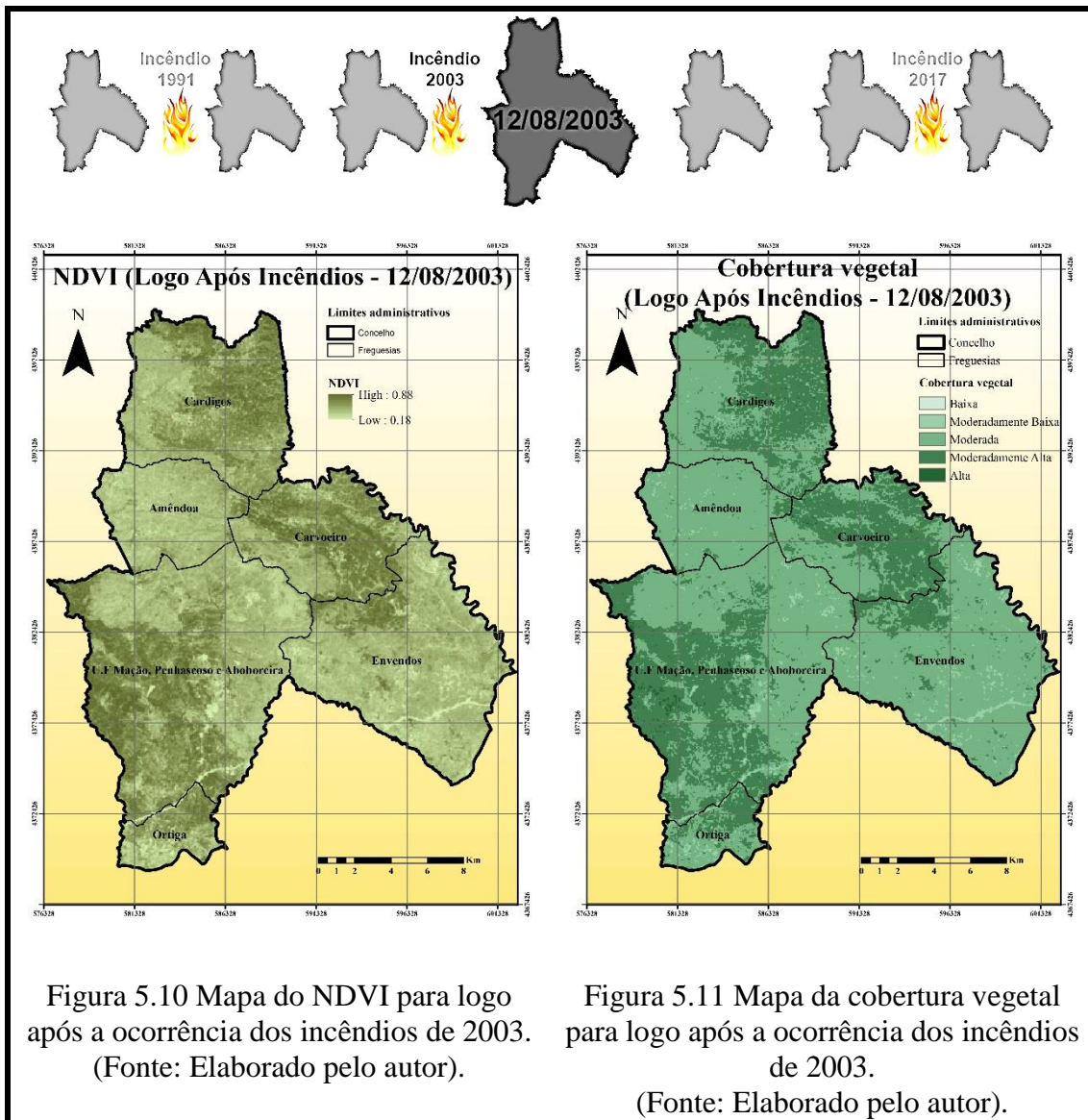
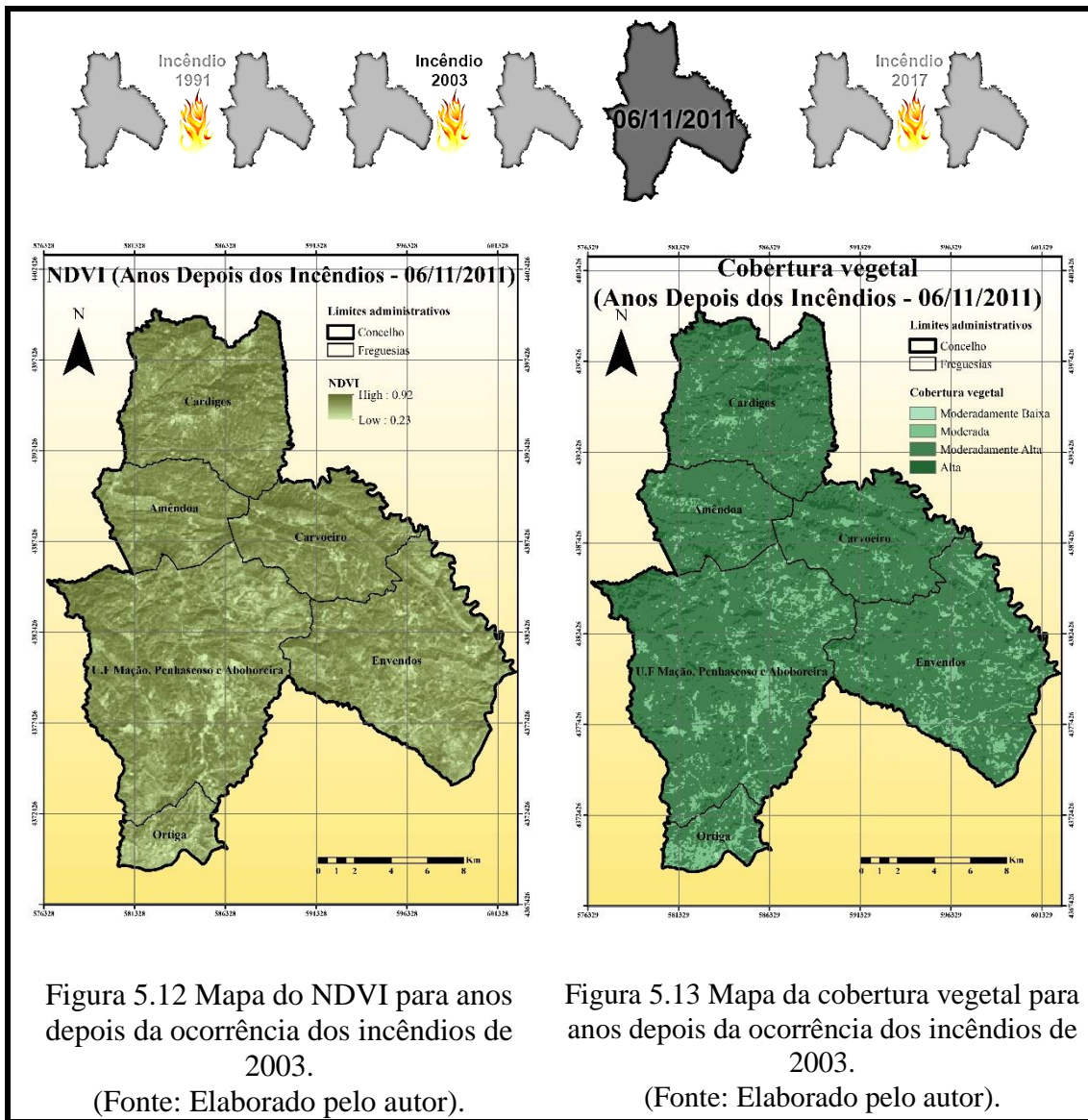


Figura 5.10 Mapa do NDVI para logo após a ocorrência dos incêndios de 2003. (Fonte: Elaborado pelo autor).

Figura 5.11 Mapa da cobertura vegetal para logo após a ocorrência dos incêndios de 2003. (Fonte: Elaborado pelo autor).

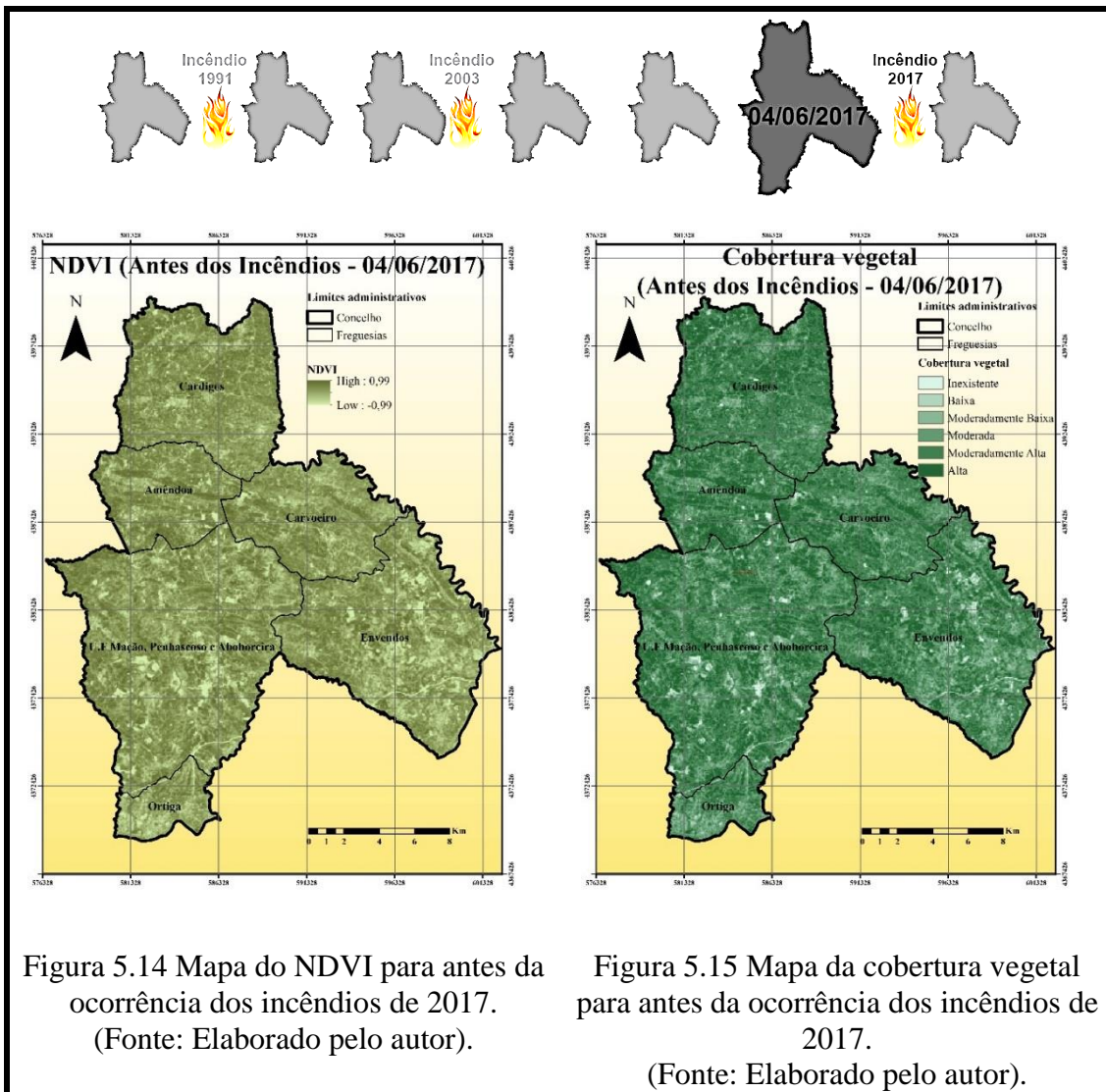
O mapa de NDVI e o mapa da cobertura vegetal obtido com base na imagem *Landsat 5* de 6 de novembro de 2011, “anos depois da ocorrência dos incêndios” de 2003, estão representados nas Figuras 5.12 e 5.13 respetivamente. Na Figura 5.12 pode-se verificar que os valores de NDVI variam entre 0,92 e 0,23. Isto demonstra que a quantidade de biomassa florestal perdida nos incêndios de 2003 recuperou moderadamente em 8 anos.

Na Figura 5.13, podem-se observar que as classes Moderadamente Alta e Alta predominam em toda a área de estudo, ocupando cerca de 86% conjuntamente. É de salientar que comparando a imagem de 6/11/2011 com a imagem de 01/07/2002 (“antes do incêndio de 2003”), verifica-se que a cobertura vegetal em 2011 é mais vigorosa porque se trata de uma imagem de inverno.



A Figura 5.14 representa o mapa de NDVI de 4 de junho de 2017 obtido a partir de uma imagem de satélite *Sentinel 2* com uma resolução de 10m e por isso com pixéis mais “puros”, i.e, com pixéis de valores de NDVI mais reais. Este fator implica uma escala de valores de NDVI a variar entre -1 e 1.

Na Figura 5.15 é possível observar o mapa de cobertura vegetal de 4 de junho de 2017. Nesta data a cobertura vegetal encontra-se bastante vigorosa. A classe de cobertura vegetal Moderada representada por 25,5%, Moderadamente Alta por 44,5% e a classe Alta por 19,5%, perfazendo conjuntamente cerca de 90%. A quantidade de biomassa representada neste mapa é nitidamente a mais elevada comparativamente aos restantes mapas de cobertura vegetal analisados, facto justificado pelo período temporal decorrido de cerca de 14 anos desde os incêndios de 2003.



A Figura 5.16 representa o mapa do NDVI de 12 de outubro de 2017 obtido a partir da imagem *Sentinel 2*. Os valores mais baixos de NDVI distribuem-se pelas freguesias de Carvoeiro, de Envendos, de Ortiga e, de U.F. de Mação, Penhascoso e Aboboreira e por uma faixa a este ao longo de todo o comprimento da freguesia de Cardigos demonstrando a perda acentuada que ocorreu na cobertura vegetal.

O mapa de cobertura vegetal de 12 de outubro de 2017, representado na Figura 5.17, mostra que “logo após os incêndios” de 2017, a paisagem sofreu alterações físicas drásticas na biomassa florestal. Comparativamente com o cenário anterior (mapa da cobertura vegetal “antes da ocorrência dos incêndios” de 2017 – Figura 5.15) torna-se bem visível a diminuição da vegetação, passando a classe de cobertura Baixa de 1,3% para 29,4% e Moderadamente

Baixa de 8% para 43%, sendo estas classes as mais representativas, em termos de perdas de vegetação.

Ao contrário do cenário descrito anteriormente, as classes que eram mais representativas no mapa da Figura 5.15, como a Moderada e a Moderadamente Alta, tiveram uma quebra de cerca de 13,3% e 31,3% respetivamente. A classe de cobertura vegetal Alta, ou seja, a vegetação mais vigorosa neste território, passou a representar apenas 1,7% da área, enquanto que antes da ocorrência das catástrofes esta representava 19,5% das classes de cobertura.

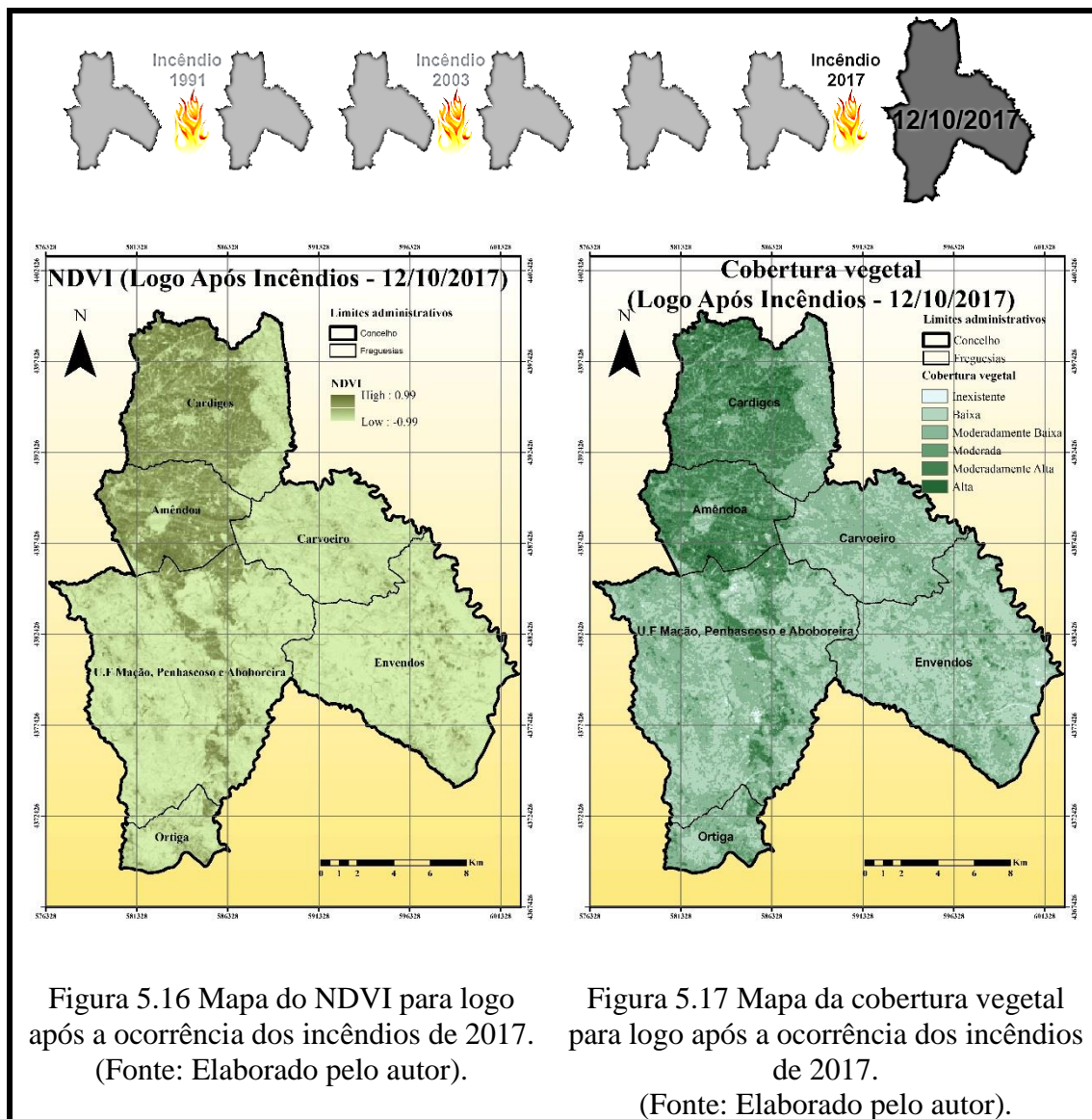


Figura 5.16 Mapa do NDVI para logo após a ocorrência dos incêndios de 2017. (Fonte: Elaborado pelo autor).

Figura 5.17 Mapa da cobertura vegetal para logo após a ocorrência dos incêndios de 2017. (Fonte: Elaborado pelo autor).

5.2. PRI e sPRI

A Figura 5.18 mostra o mapa de PRI para 22 de dezembro de 1990 para “antes da ocorrência dos incêndios” de 1991 obtido a partir da imagem de satélite *Landsat 4*. Neste mapa pode-se observar que o intervalo de valores do índice de vegetação fotossintético varia entre 0,40 e -0,03. De um modo geral, observa-se que este mapa é bastante homogêneo no que diz respeito à distribuição deste índice, verificando-se valores de PRI mais baixos nos aglomerados urbanos.

O mapa de sPRI representado na Figura 5.19 mostra que os valores estão escalados no intervalo de 0,49 a 0,70. Este mapa evidencia melhor as diferenças referidas no mapa do PRI.

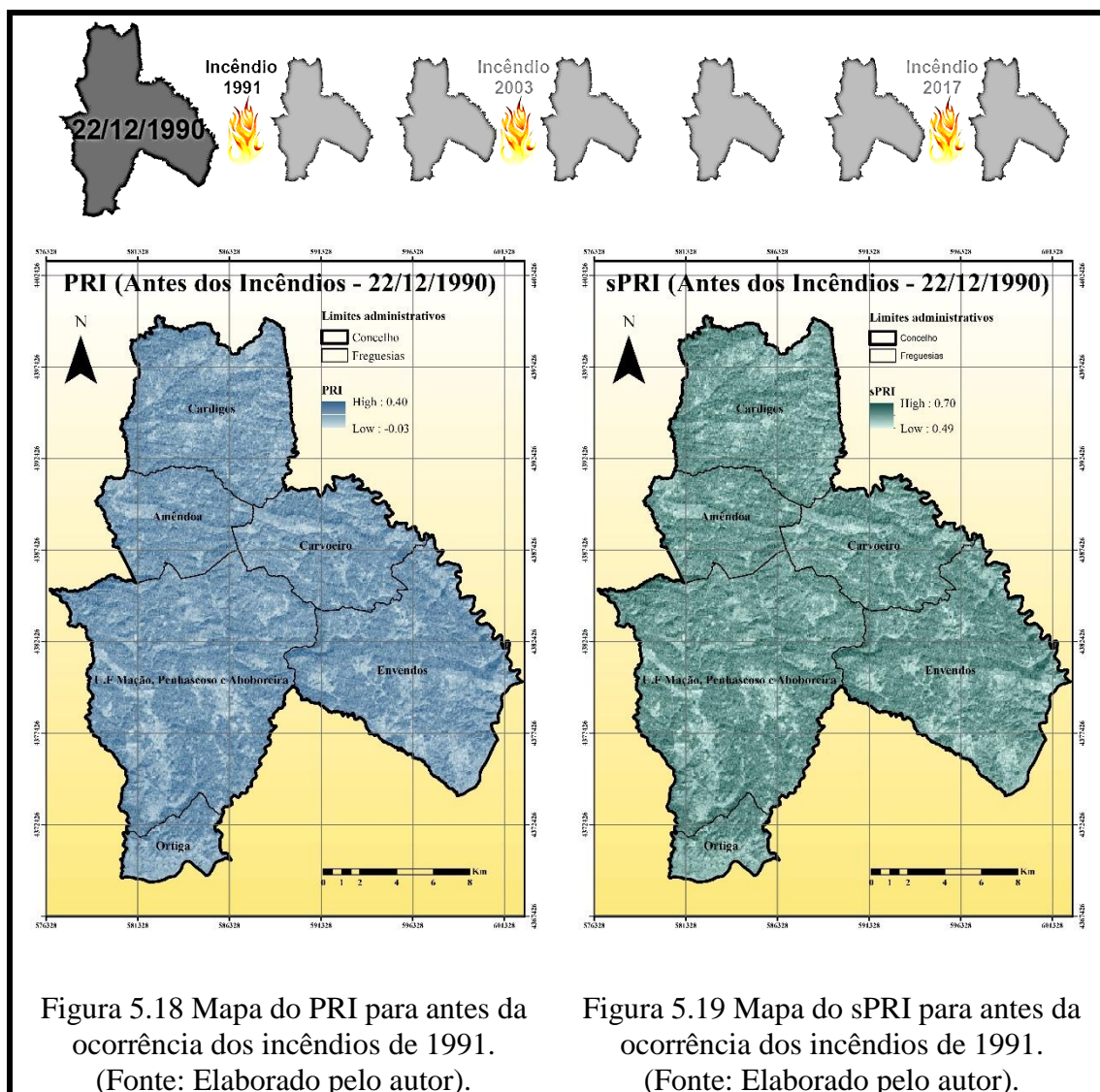


Figura 5.18 Mapa do PRI para antes da ocorrência dos incêndios de 1991. (Fonte: Elaborado pelo autor).

Figura 5.19 Mapa do sPRI para antes da ocorrência dos incêndios de 1991. (Fonte: Elaborado pelo autor).

As Figuras 5.20 e 5.21 representam os mapas do PRI e do sPRI respetivamente, para o dia 26 de agosto de 1991, data “logo após à ocorrência dos incêndios” de 1991 obtidos a partir da imagem de satélite *Landsat 5*.

Nestes mapas é possível observar que existe um ligeiro aumento dos valores mínimos de PRI, principalmente a sudoeste da U.F. de Mação, Penhascoso e Aboboreira e Ortiga. Isto deve-se à ocorrência dos incêndios que aconteceram durante o ano de 1991.

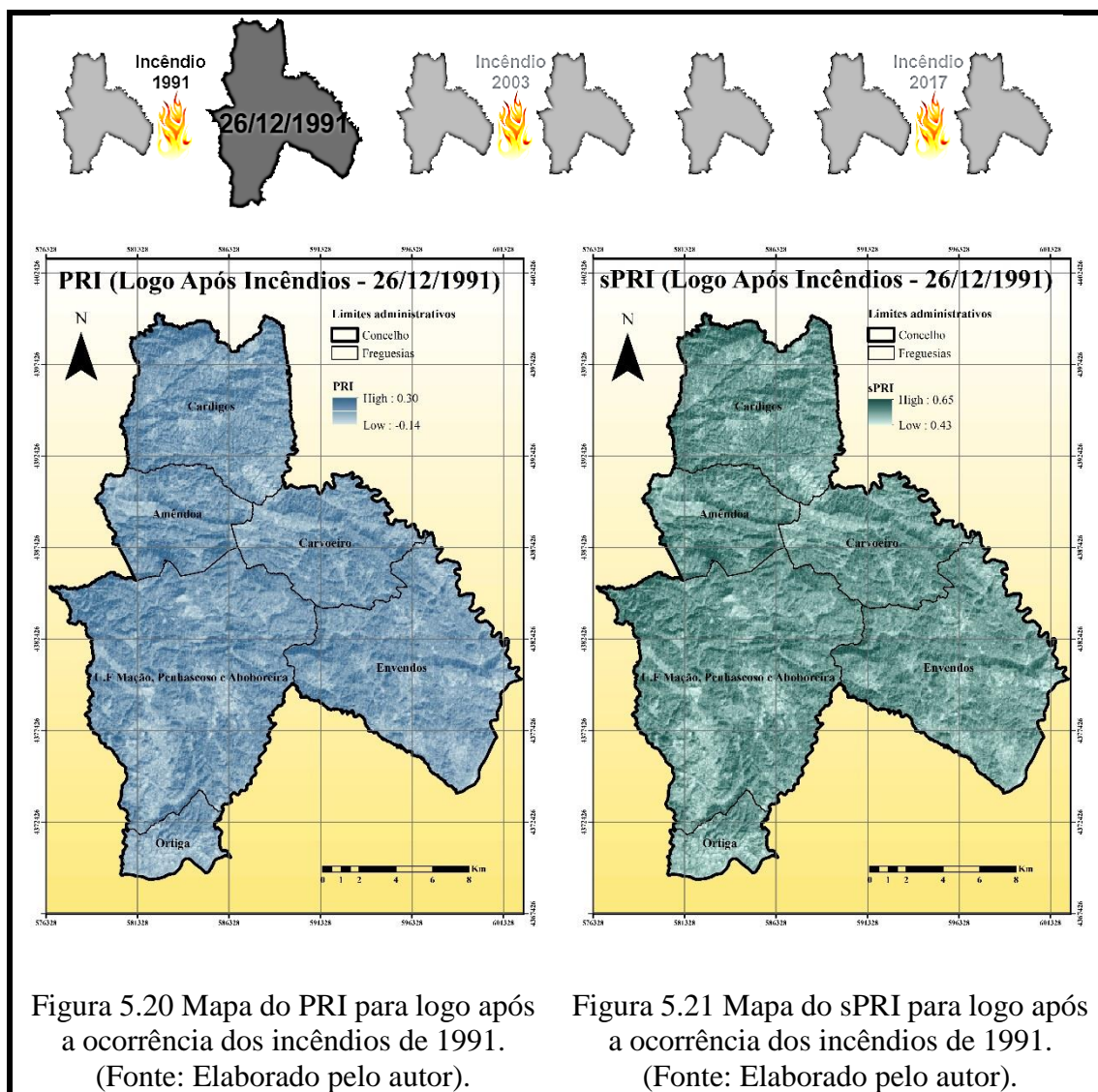


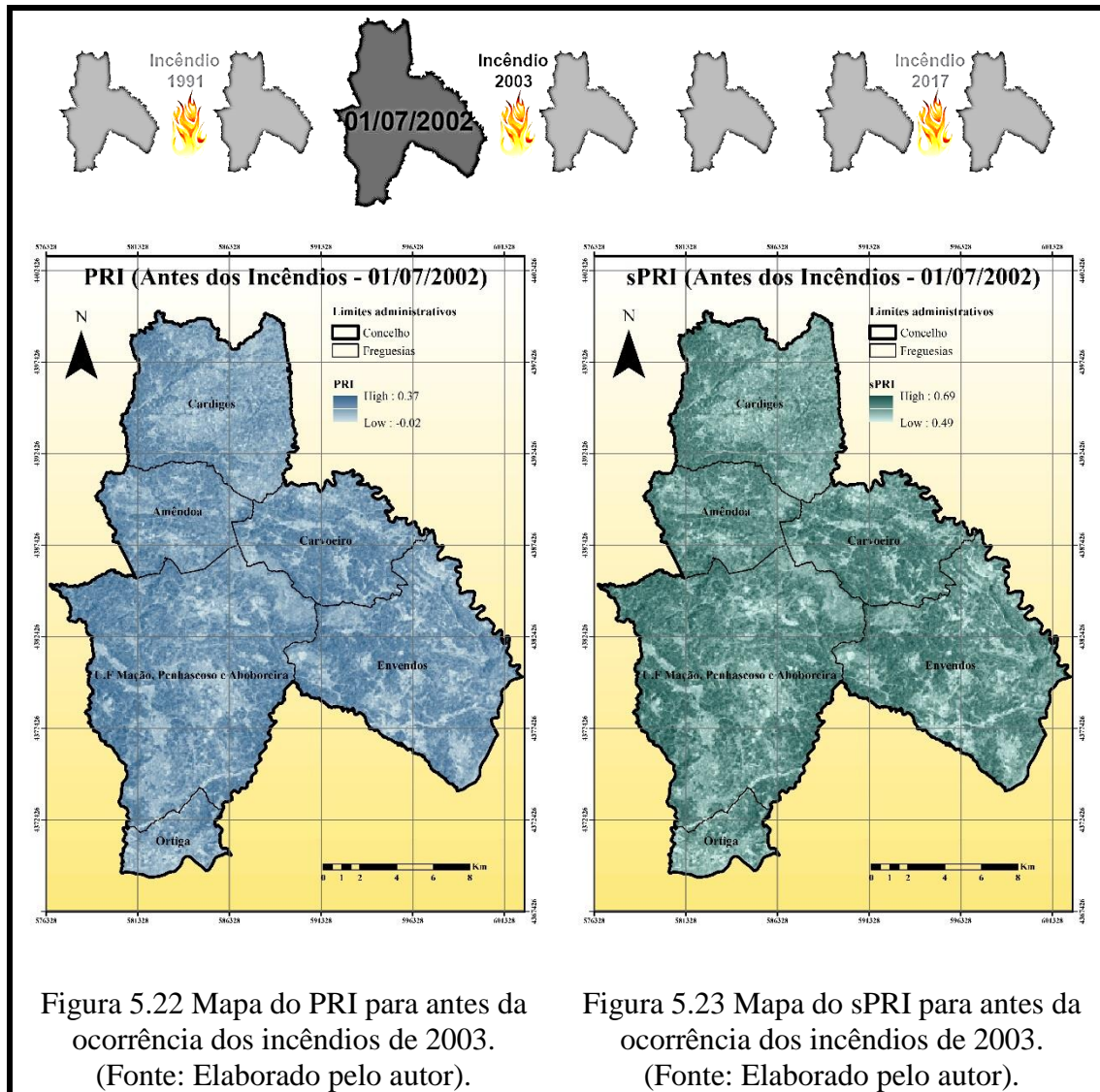
Figura 5.20 Mapa do PRI para logo após a ocorrência dos incêndios de 1991. (Fonte: Elaborado pelo autor).

Figura 5.21 Mapa do sPRI para logo após a ocorrência dos incêndios de 1991. (Fonte: Elaborado pelo autor).

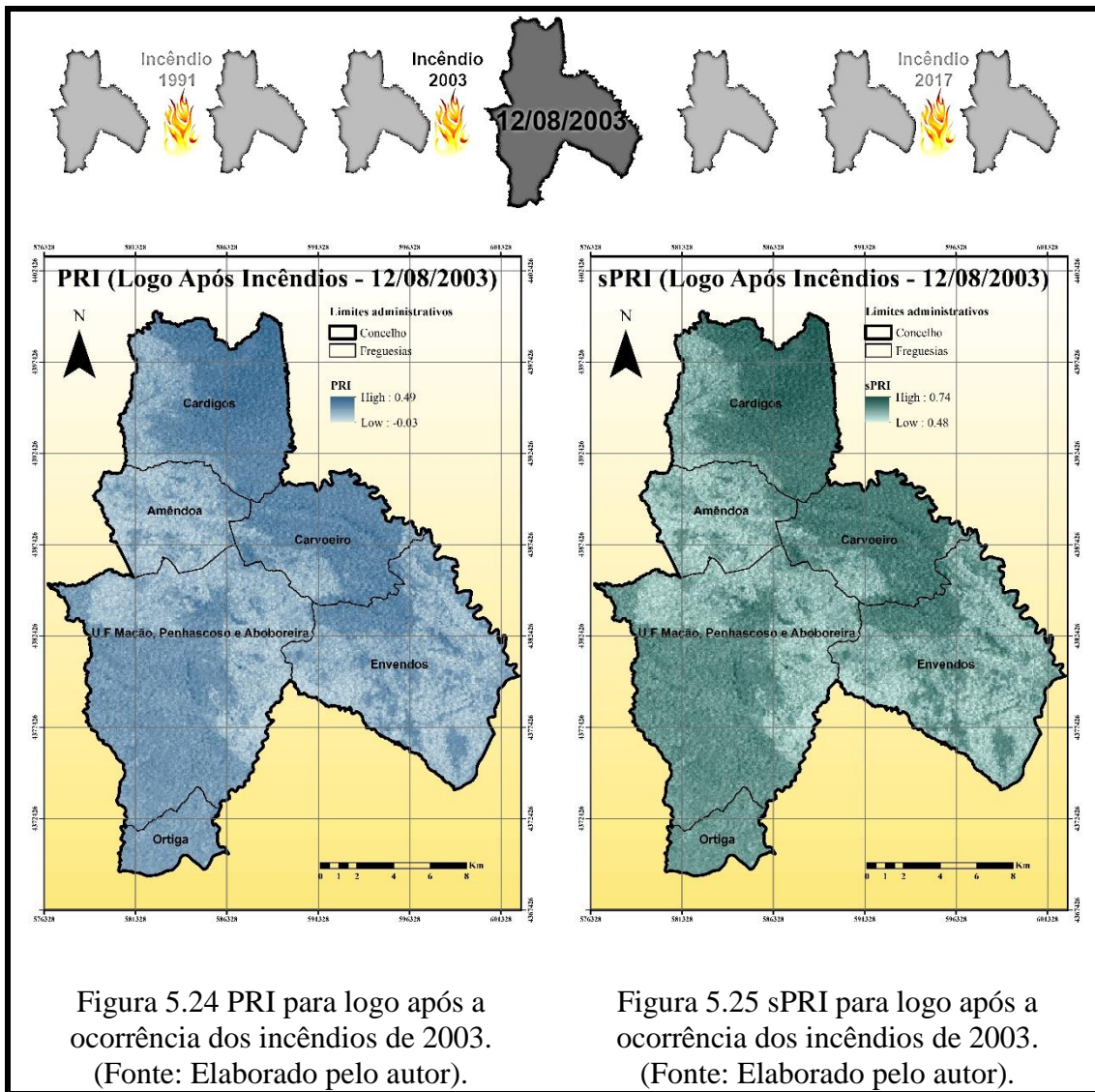
A Figura 5.22 representa o mapa do PRI relativo a 1 de julho de 2002, “anos depois da ocorrência dos incêndios” de 1991, obtido a partir da imagem de satélite *Landsat 5*. É possível observar que o PRI aumenta face aos anos anteriores. Contudo, em termos de área de ocupação

os valores de PRI mais baixos aumentam nas zonas intervencionadas pelo homem. Isto pode ser evidenciado pelo traçado da A23.

O mapa de sPRI está representado na Figura 5.23 e realça a informação expressa pelo PRI.

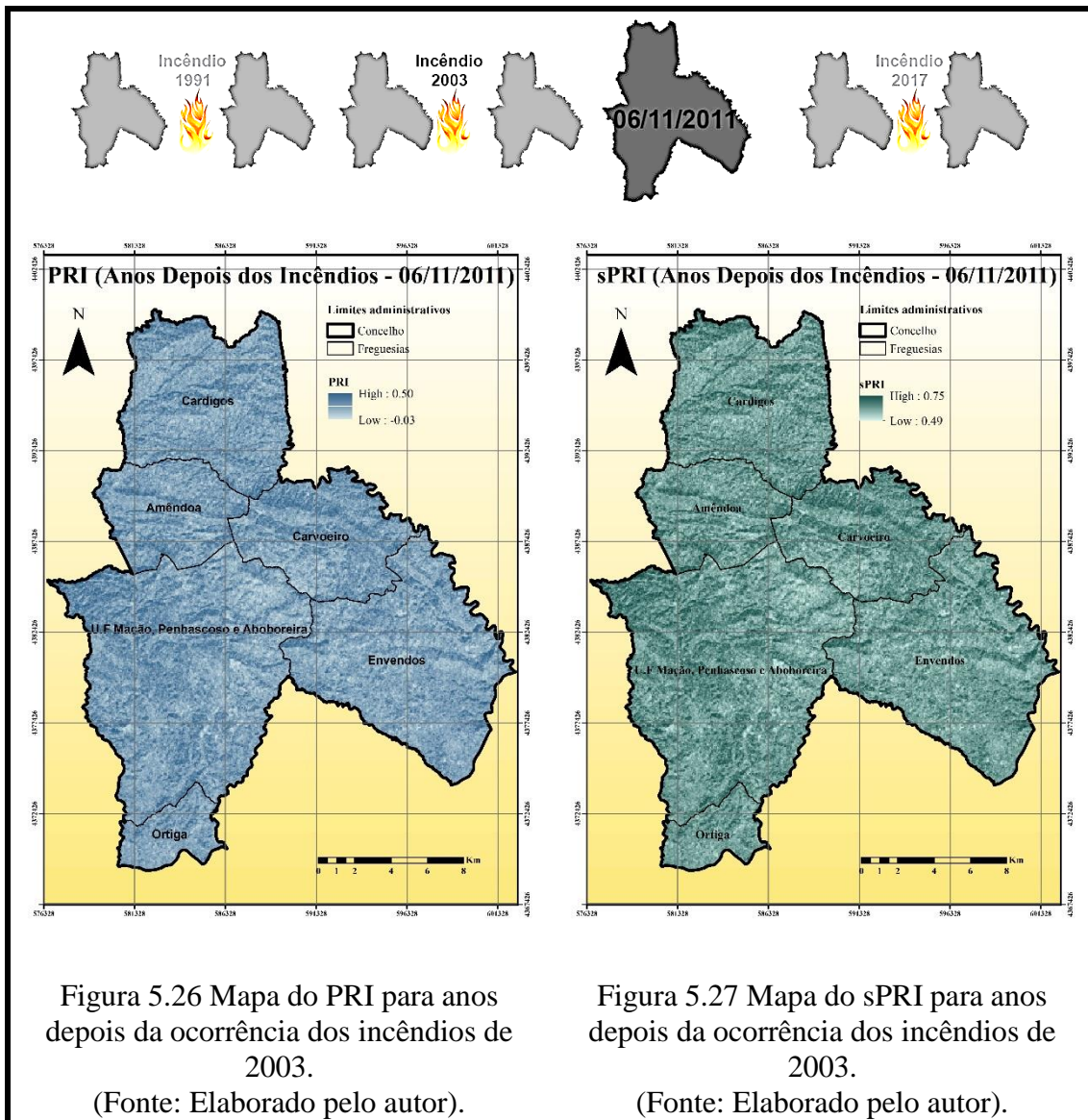


A Figura 5.24 e 5.25 representam os mapas do PRI e do sPRI, respetivamente, obtidos com as imagens de *Landsat 5* de 12 de agosto de 2003, “logo após os incêndios” do ano de 2003. Os valores baixos coincidem com as zonas afetadas pelos incêndios.



As Figuras 5.26 e 5.27 representam o PRI e o sPRI, obtidos com as imagens de *Landsat 5* de 6 de novembro de 2011.

De um modo geral, ambos mapas apresentam um aspeto bastante homogêneo, no que respeita à distribuição dos seus valores. No entanto verifica-se que ocorreu um aumento dos valores, o que se traduz numa maior eficiência fotossintética que mostra a regeneração do coberto vegetal.



A Figura 5.28 e 5.29 do PRI e sPRI, respetivamente, obtidas com o *Sentinel 2* de 4 de junho de 2017, mostram que a escala de valores é mais larga porque estes satélites têm uma resolução espacial de 10m por isso os pixéis são mais homogêneos o que equivale a um desvio padrão de valores de PRI mais pequeno.

Após 14 anos da ocorrência dos incêndios de 2003, verifica-se que a taxa fotossintética melhorou muito, devido à recuperação da vegetação.

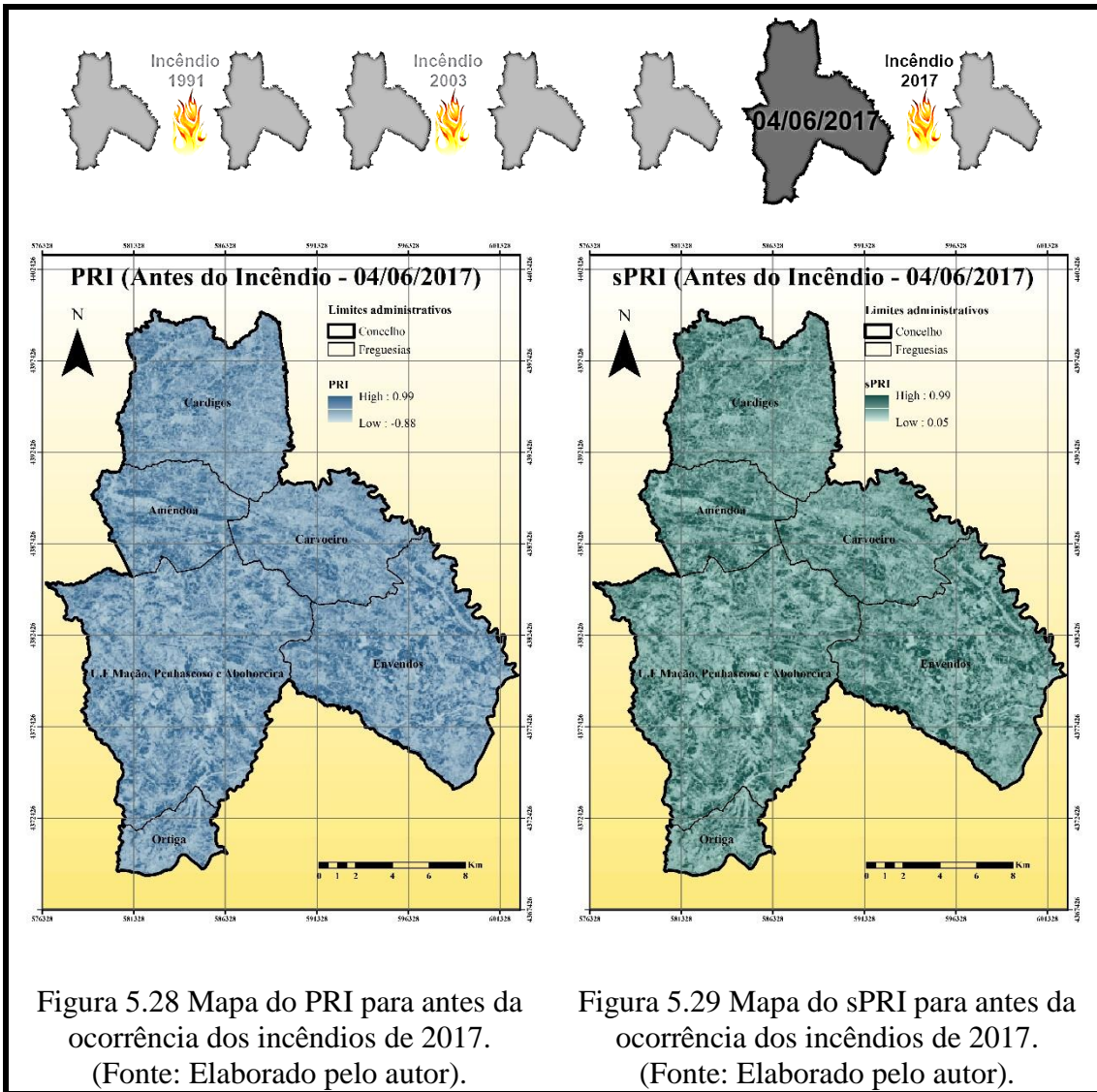


Figura 5.28 Mapa do PRI para antes da ocorrência dos incêndios de 2017. (Fonte: Elaborado pelo autor).

Figura 5.29 Mapa do sPRI para antes da ocorrência dos incêndios de 2017. (Fonte: Elaborado pelo autor).

As Figuras 5.30 e 5.31 representam os mapas de PRI e sPRI obtidos com o *Sentinel 2* de 12 de outubro de 2017. Os valores mínimos coincidem com as áreas afetadas pelos incêndios.

As freguesias de Amêndoa e Cardigos foram as menos afetadas, por isso mostram valores mais elevados de PRI e sPRI.

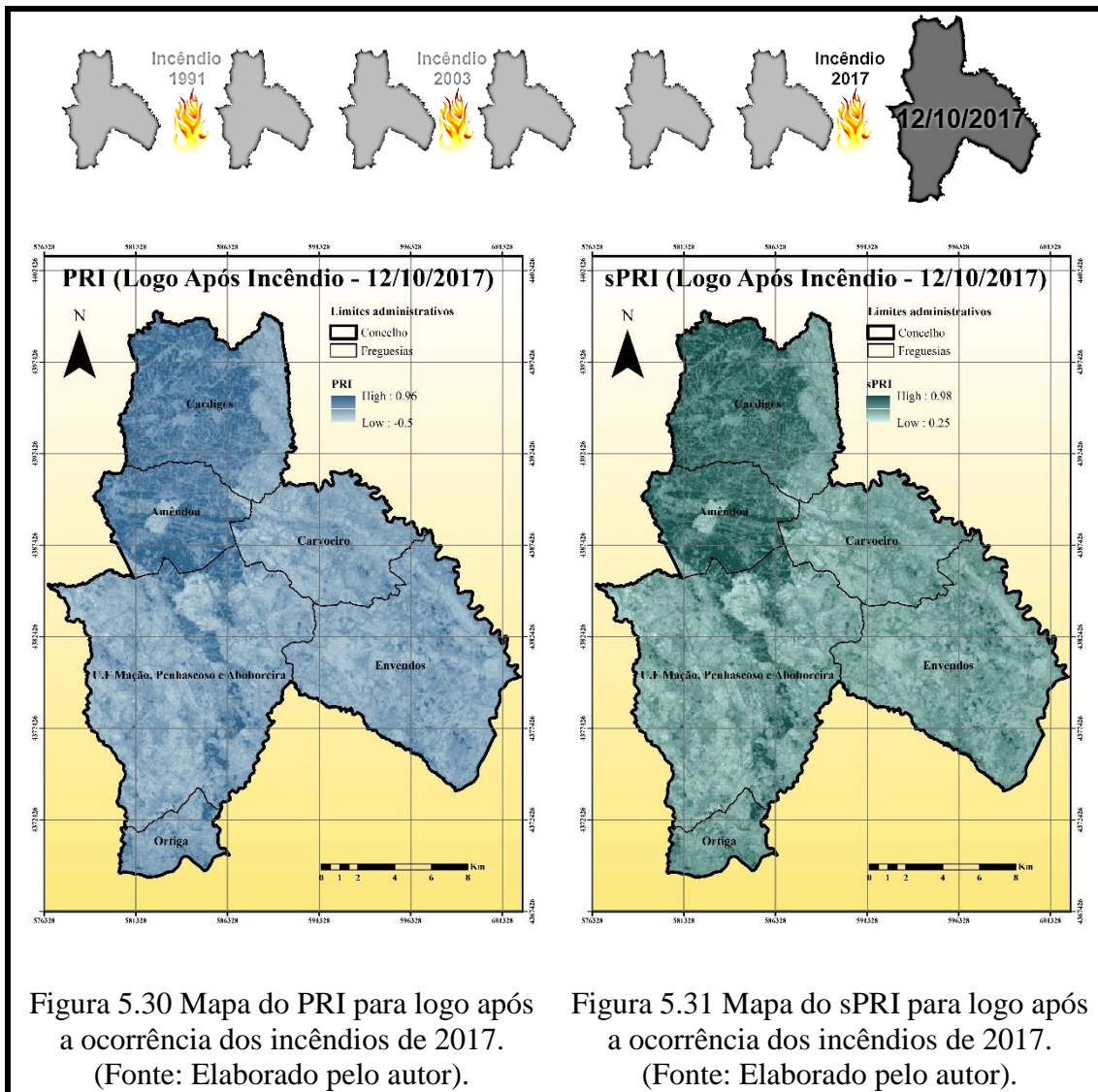


Figura 5.30 Mapa do PRI para logo após a ocorrência dos incêndios de 2017. (Fonte: Elaborado pelo autor).

Figura 5.31 Mapa do sPRI para logo após a ocorrência dos incêndios de 2017. (Fonte: Elaborado pelo autor).

5.3. CO₂flux

A Figura 5.32 mostra o mapa de CO₂flux para a data de 22 de dezembro de 1990. Os valores altos localizam-se nas zonas florestais. Por exemplo, na fronteira entre as freguesias de U.F. Mação, Penhascoso e Aboboreira e Amêndoa.

Os valores baixos localizam-se nas zonas urbanas e noutras zonas onde ocorreram pequenos incêndios em anos anteriores. Por exemplo, junto às fronteiras das freguesias de Carvoeiro, Amêndoa e Cardigos verificam-se valores baixos de CO₂flux devido ao pequeno incêndio ocorrido em 1990.

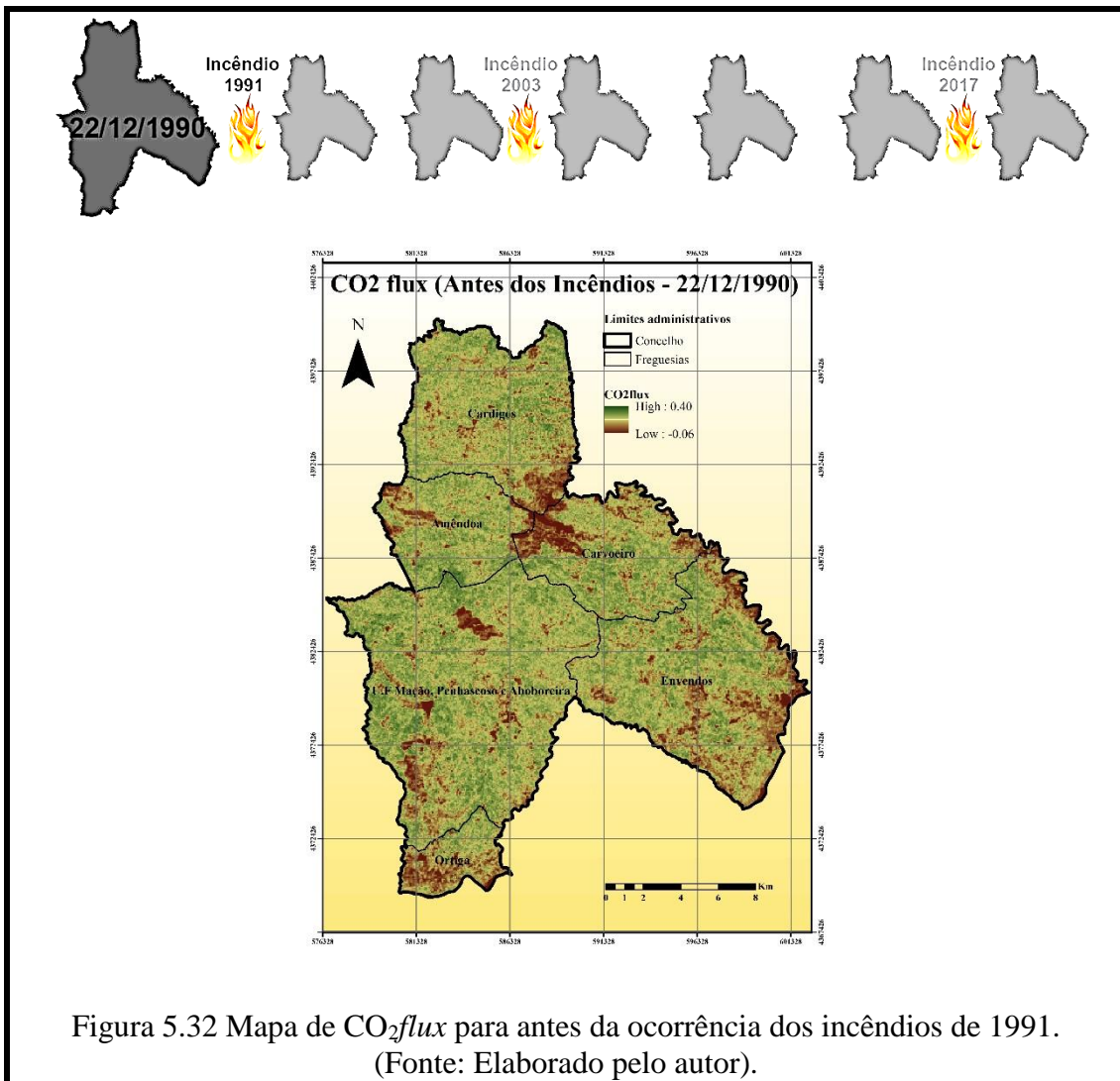


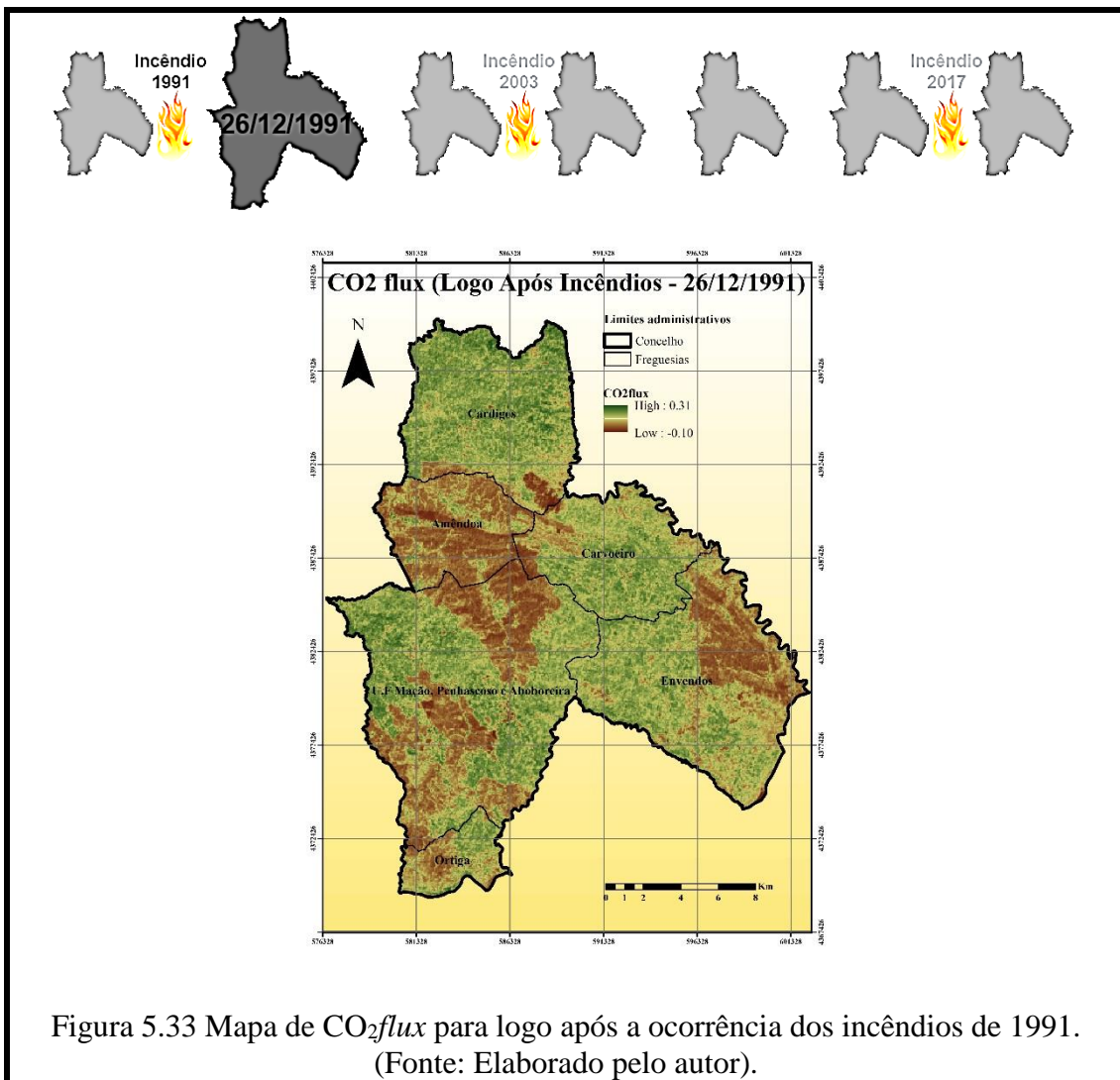
Figura 5.32 Mapa de CO₂flux para antes da ocorrência dos incêndios de 1991. (Fonte: Elaborado pelo autor).

A Figura 5.33 representa, para a data de 26 de dezembro de 1991, o mapa de CO₂flux.

Comparativamente com o mapa anterior (Figura 5.32) os valores máximos e mínimos diminuíram, justificando-se esta diminuição porque este mapa representa o cenário do “logo após os incêndios” de 1991.

Ao ocorrerem os incêndios produziram-se alterações significativas nas áreas afetadas pelo fogo, sendo possível verificar três manchas com maior destaque para os valores mínimos.

A mancha de maior dimensão ocorre na freguesia de Amêndoa, desenvolvendo-se para a U.F. Mação, Penhascoso e Aboboreira. As outras manchas distribuem-se geograficamente, uma pelas freguesias de Ortiga e U.F. Mação, Penhascoso e Aboboreira e a outra pela freguesia de Envendos.



A Figura 5.34 representa o mapa do CO₂ flux para a época de 1 de julho de 2002, “antes da ocorrência dos incêndios” de 2003. A variável CO₂ flux evoluiu positivamente, comparando com os valores expressos pelo mapa da Figura 5.33 (cenário “logo após a ocorrência dos incêndios” de 1991). Estes resultados demonstram que onze anos decorridos após as catástrofes, a vegetação recuperou aumentando o sequestro de carbono.

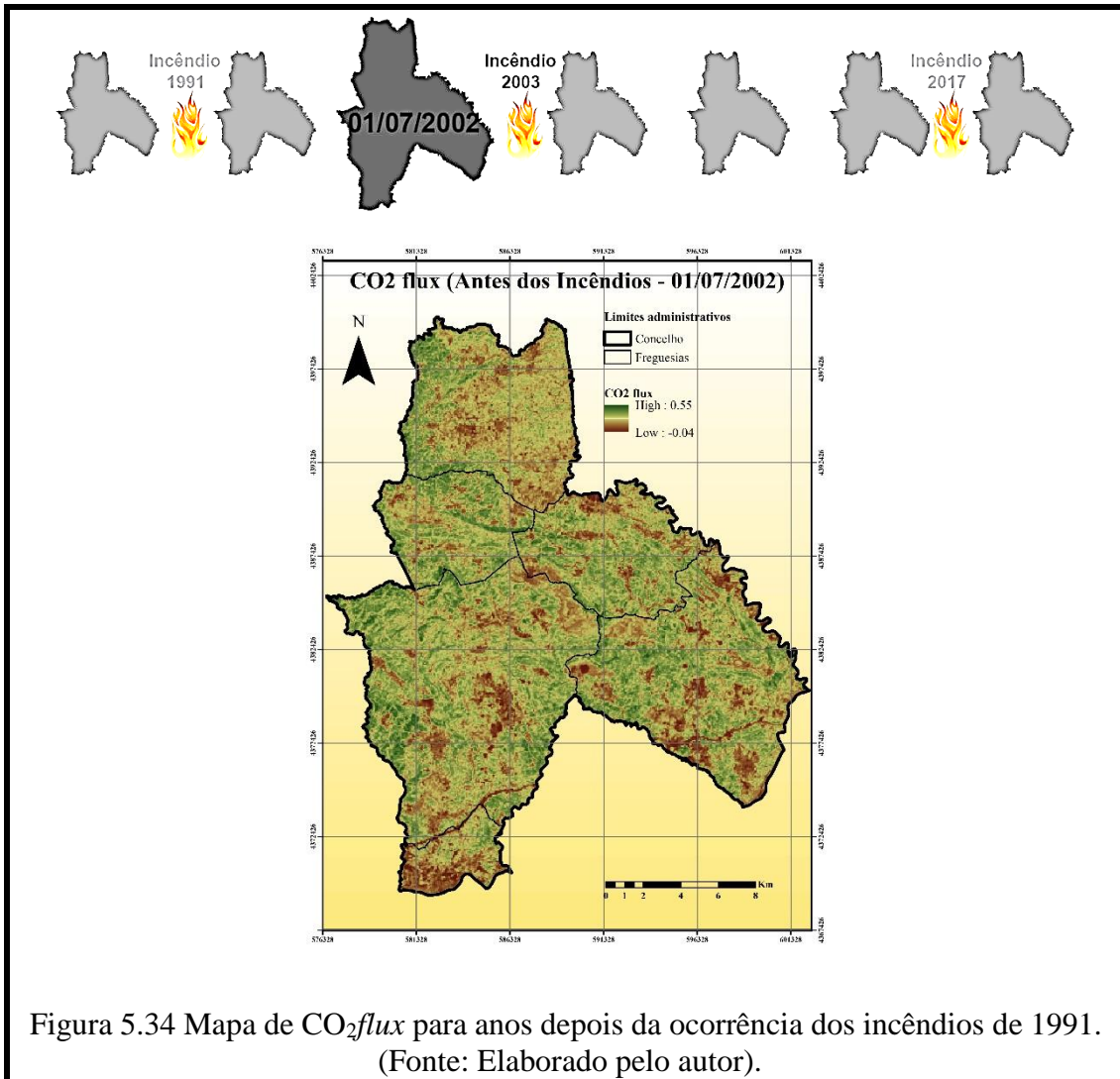
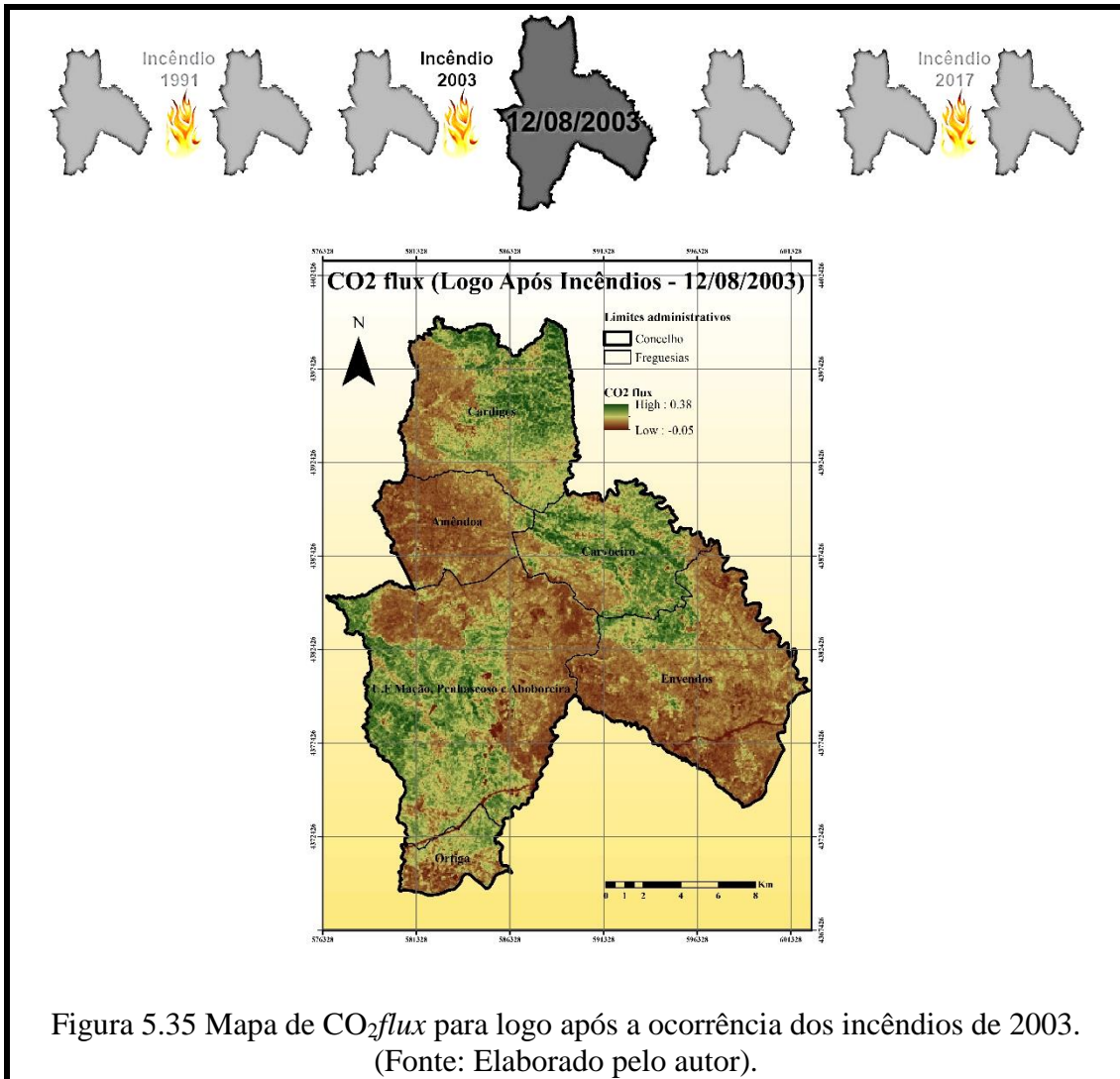


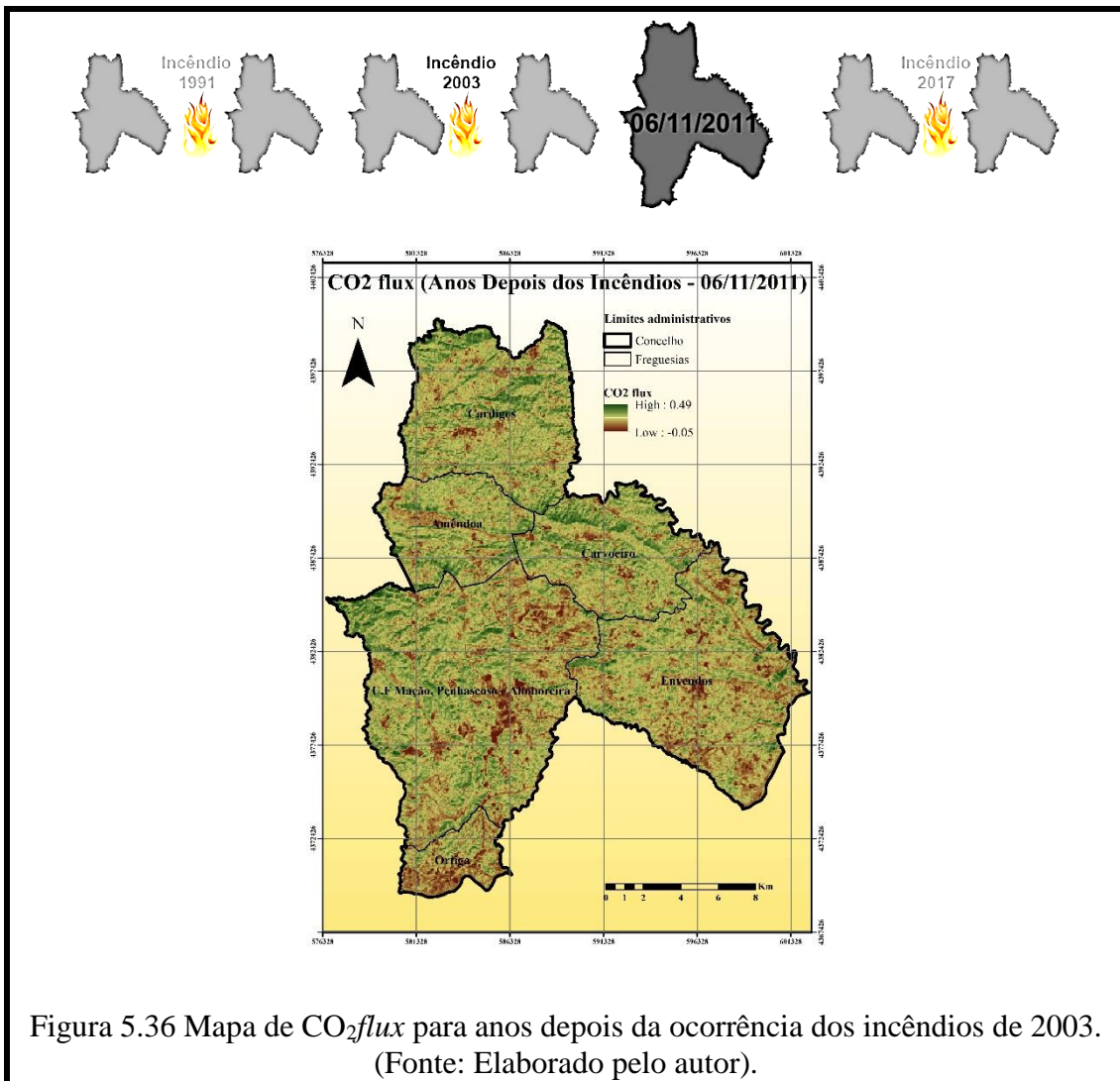
Figura 5.34 Mapa de CO_2flux para anos depois da ocorrência dos incêndios de 1991. (Fonte: Elaborado pelo autor).

A Figura 5.35 apresenta o mapa de CO_2flux “logo após a ocorrência dos incêndios” de 2003 (12 de agosto de 2003).

Os valores de CO_2flux diminuíram, justificando-se este facto devido à ocorrência dos fogos durante o ano de 2003, que devastaram cerca de metade da área do concelho, resultando numa diminuição acentuada da vegetação existente e consequentemente numa diminuição da captação de CO_2 .

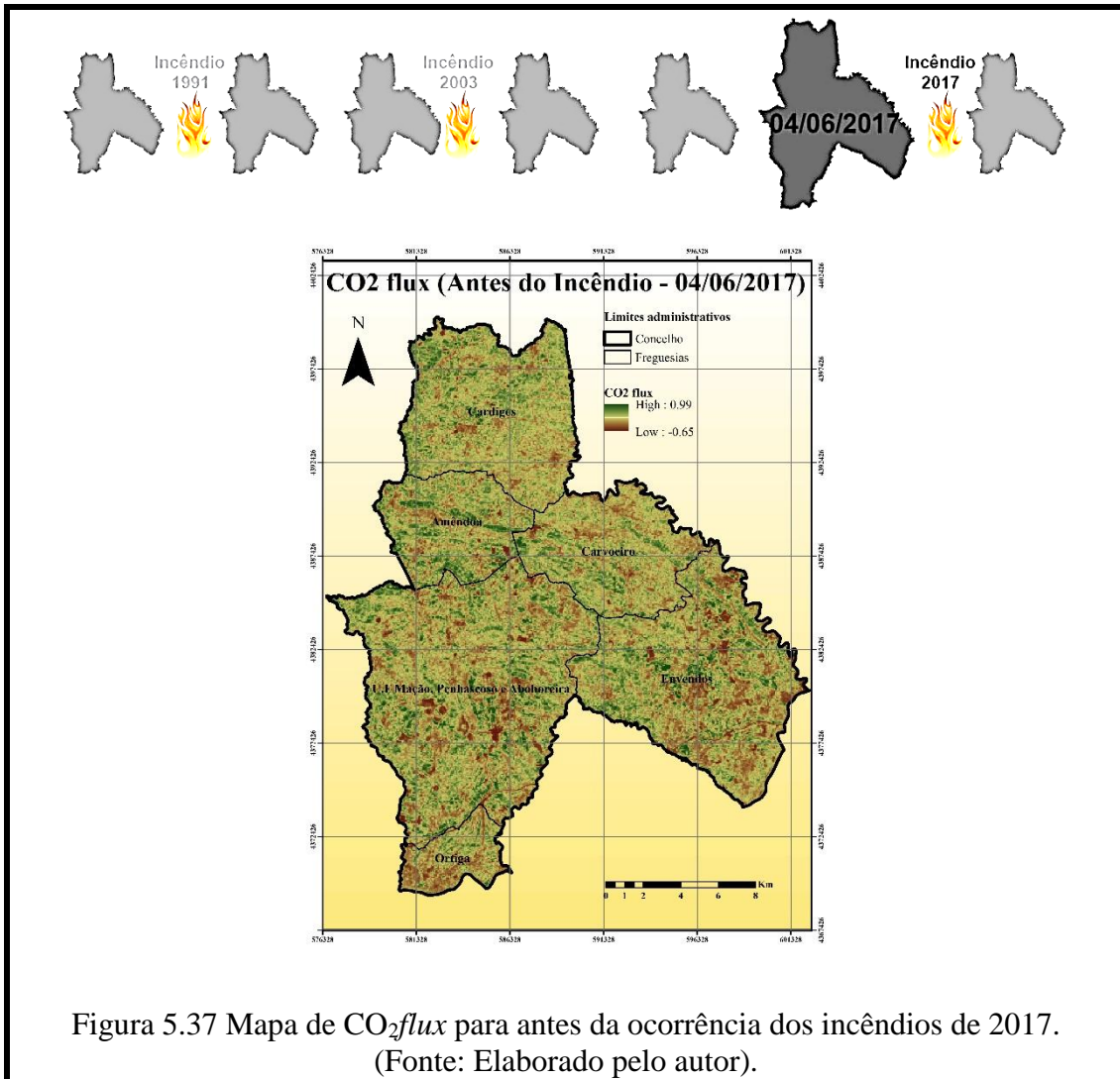


O mapa de CO₂flux para “anos depois da ocorrência dos incêndios” de 2003, datado de 6 de novembro de 2011 está representado na Figura 5.36. Verifica-se que após oito anos da ocorrência dos grandes incêndios de 2003 os valores de CO₂flux aumentaram em toda a área, o que mostra que ocorreu uma recuperação da vegetação. Os valores de CO₂flux são mínimos nos aglomerados populacionais, em particular em Mação, Ervendos e Ortiga.

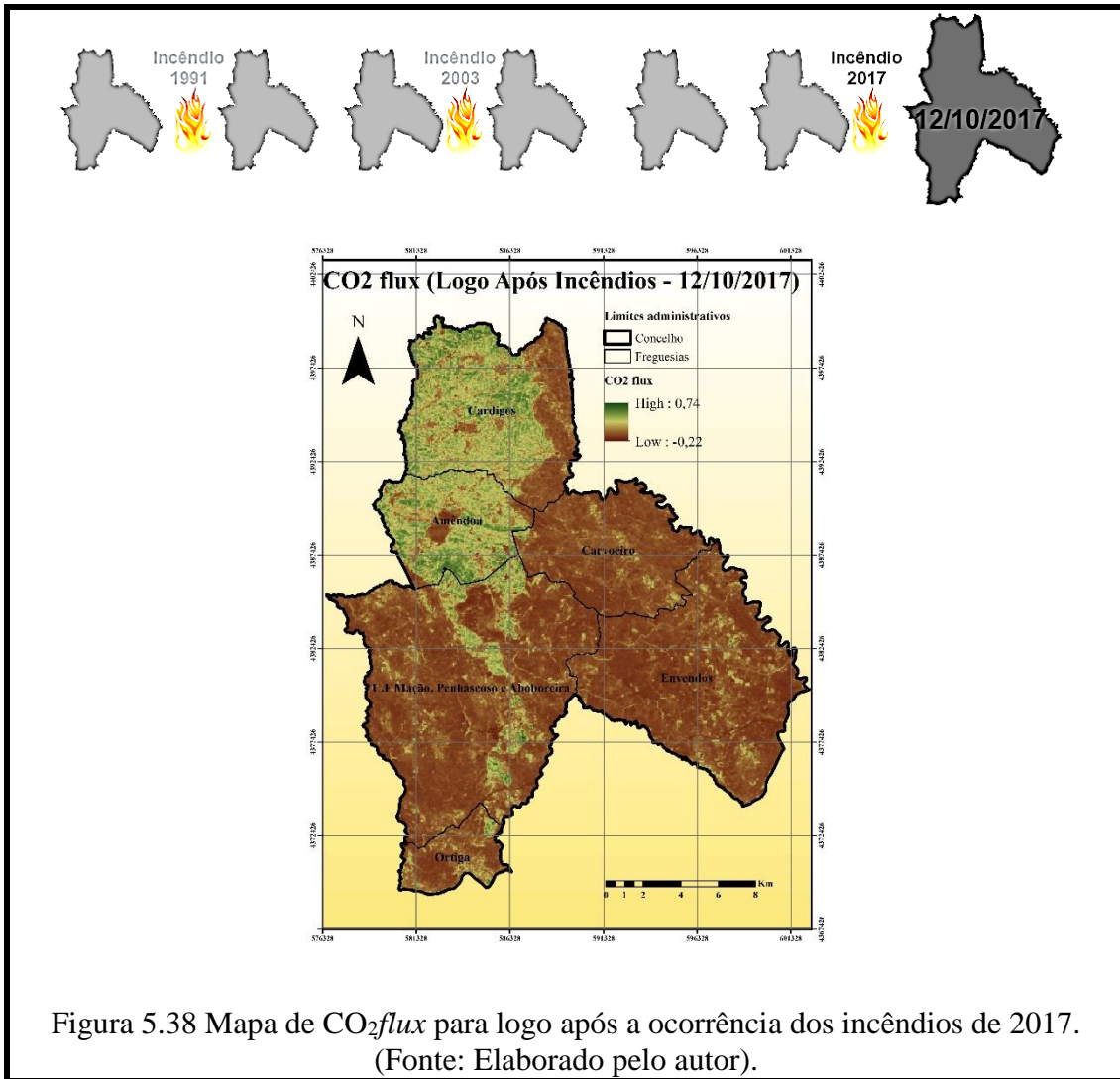


A Figura 5.37 mostra o mapa de CO_2flux para a data de 4 de junho de 2017, período “antes da ocorrência dos incêndios” que caracterizaram o ano de 2017, traduzindo-se em catorze anos desde os incêndios de 2003.

Comparando estes resultados com os obtidos há seis anos atrás (Figura 5.36), verifica-se que não existiram alterações significativas. Contudo, os limites da escala aumentaram porque a resolução espacial das imagens que deram origem ao mapa da Figura 5.37 é maior, e o desvio padrão de cada pixel de CO_2flux é menor.



O mapa da Figura 5.38 mostra que a época “logo após os incêndios” de 2017 tem uma vasta área onde os valores de CO₂ flux são mínimos, correspondendo às áreas afetadas pelos incêndios. Estes valores distribuem-se por todas as freguesias do concelho, exceto as freguesias de Amêndoa e Cardigos, onde são pontuadas por uma mancha central e uma faixa meridional respetivamente. Os valores máximos localizam-se na fronteira de Amêndoa e U.F. Mação, Penhascoso e Aboboreira e a nordeste de Cardigos.



5.4. GPP

Os valores de GPP representados nas Figuras dizem respeito a valores cumulativos de oito dias expressos em $\text{KgC}/\text{m}^2 \times 0,0001$, obtidos a partir do produto *MYD17A2H* do sensor *MODIS*.

A Figura 5.39 representa os valores de GPP obtidos para o período de 4 de julho de 2002 a 11 de julho de 2002, cenário que traduz a época de “antes da ocorrência dos incêndios” de 2003. Os valores máximos observam-se na freguesia da Amêndoa, a este de Cardigos e a nordeste da U.F. Mação, Penhascoso e Aboboreira. Os valores mínimos estão localizados na freguesia de Ortiga, a sul e sudeste de Envendos, a norte do Carvoeiro e sudeste de Cardigos.

A Figura 5.40 representa os valores de GPP para o período de 13 a 20 de agosto de 2003, que corresponde ao cenário ocorrido “logo após a ocorrência dos incêndios” de 2003. Ocorreu uma diminuição dos valores de GPP. Os valores baixos coincidem com as manchas dos incêndios.

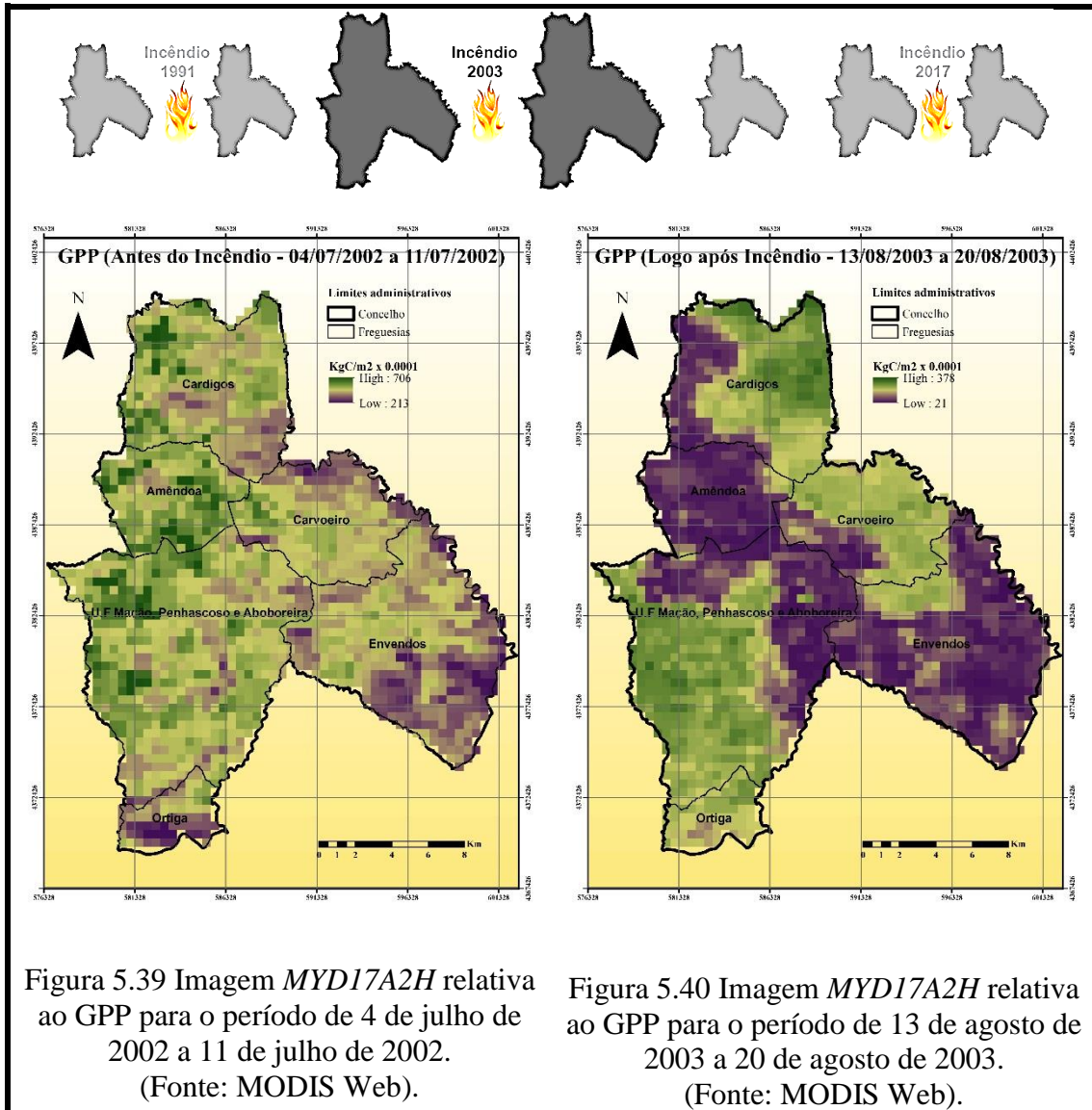


Figura 5.39 Imagem *MYD17A2H* relativa ao GPP para o período de 4 de julho de 2002 a 11 de julho de 2002. (Fonte: MODIS Web).

Figura 5.40 Imagem *MYD17A2H* relativa ao GPP para o período de 13 de agosto de 2003 a 20 de agosto de 2003. (Fonte: MODIS Web).

A Figura 5.41 representa o mapa de GPP para o período de 2 a 9 de junho de 2017 que corresponde ao cenário “antes da ocorrência dos incêndios” de 2017. Ocorreu uma evolução positiva na produção de GPP, ficando a imagem e os valores de GPP semelhantes ao cenário “antes dos incêndios de 2003”.

A Figura 5.42 mostra o mapa de GPP para o período de 8 de outubro a 12 de outubro de 2017, cenário “logo após a ocorrência dos incêndios” de 2017. Verifica-se que ocorreu novamente

um decréscimo de GPP, o que está relacionado com a ocorrência dos incêndios. Os valores mínimos cobrem cerca de 2/3 da área de estudo.

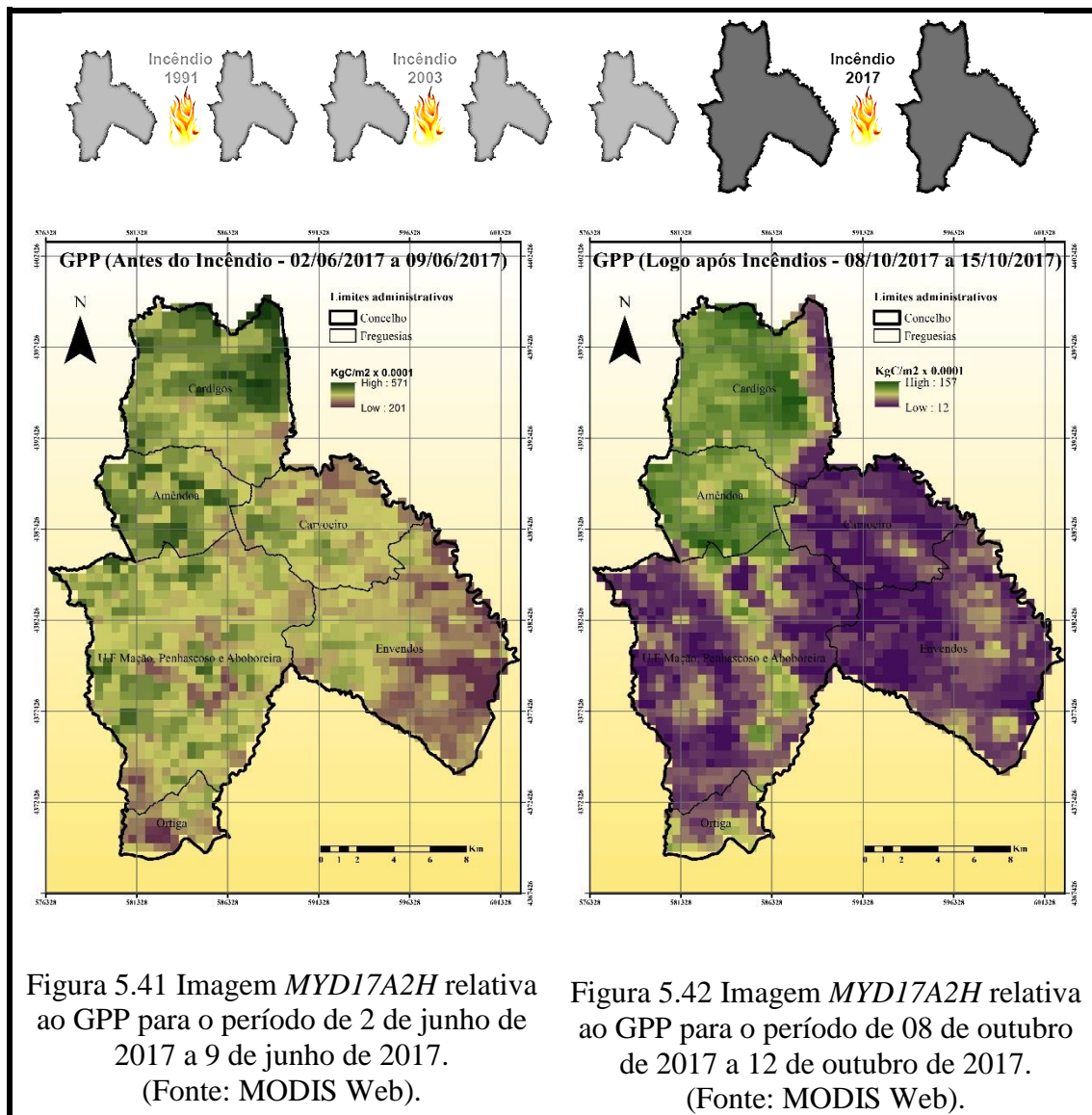


Figura 5.41 Imagem *MYD17A2H* relativa ao GPP para o período de 2 de junho de 2017 a 9 de junho de 2017. (Fonte: MODIS Web).

Figura 5.42 Imagem *MYD17A2H* relativa ao GPP para o período de 08 de outubro de 2017 a 12 de outubro de 2017. (Fonte: MODIS Web).

5.5. Tratamento Estatístico do CO_2flux e do GPP

As Figuras 5.43, 5.44, 5.45 e 5.46 representam os gráficos das regressões lineares produzidos a partir dos valores da média de GPP (variável resposta) e dos valores da média de CO_2flux (variável explicatória) para os quatro cenários.

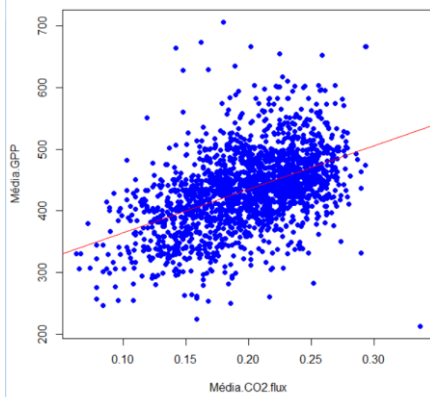


Figura 5.43 Regressão linear para “antes dos incêndios” de 2003.
(Fonte: Elaborado pelo autor).

$$\text{Media GPP} = 705.14 * \text{Media CO2 flux} + 293.55$$

$$R^2 = 0,23$$

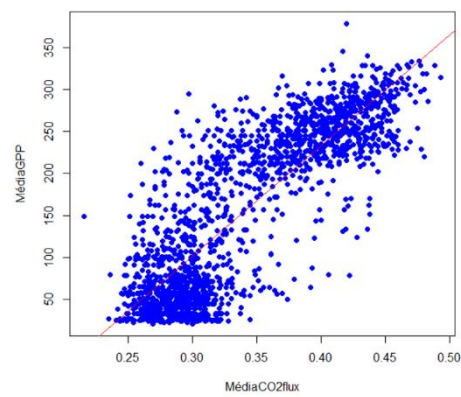


Figura 5.44 Regressão linear para “logo após os incêndios” de 2003.
(Fonte: Elaborado pelo autor).

$$\text{Media GPP} = 1318.393 * \text{Media CO2 flux} - 294.257$$

$$R^2 = 0,71$$

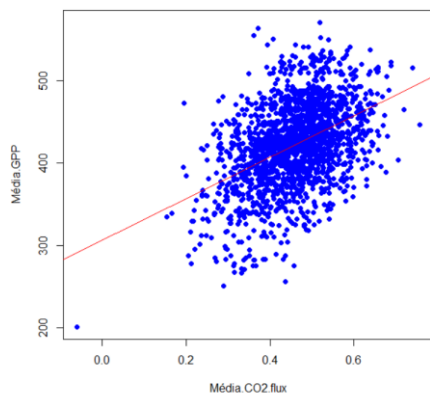


Figura 5.45 Regressão linear para “antes dos incêndios” de 2017.
(Fonte: Elaborado pelo autor).

$$\text{Media GPP} = 253.21 * \text{Media CO2 flux} + 305.84$$

$$R^2 = 0,20$$

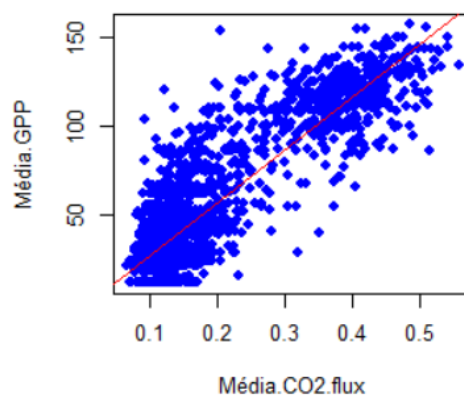


Figura 5.46 Regressão linear para “logo após os incêndios” de 2017.
(Fonte: Elaborado pelo autor).

$$\text{Media GPP} = 296.2756 * \text{Media CO2 flux} - 2.2759$$

$$R^2 = 0,76$$

De acordo com a análise estatística realizada no *software* R verificamos que nos cenários dos “logo após os incêndios” de 2003 e 2017, os modelos determinados apresentam um ajustamento de R^2 de 0,71 e 0,76, respectivamente, para um $p\text{-value} = 2,2 \times 10^{-16}$ (menor do que a significância de 0,05). Isto significa que os modelos encontrados são consistentes. Pela tabela do teste da ANOVA, confirmou-se que o $CO_2\text{flux}$ influencia o GPP ($p\text{-value} < 0,05$) (ver anexo das Tabelas 8.29 e 8.31).

Ao analisar os quatro gráficos dos resíduos constata-se que existe homogeneidade da variância, independência, normalidade e que não existem observações que influenciam outras (Distância de Cook $<0,5$) (ver anexo das Tabelas 8.28, 8.29, 8.30 e 8.31).

Nos cenários que descrevem as épocas “antes dos incêndios” de 2003 e 2017 verifica-se que os modelos obtidos pela regressão linear apresentam R^2 de 0,23 e 0,20 (valores baixos), respetivamente, para um p -value = $2,2 \times 10^{-16}$ (menor do que a significância de 0,05). Apesar dos modelos determinados apresentarem um R^2 baixo, ambos possuem um p -value menor do que a significância de 0,05, o que permitiu considerá-los no GPP. Também se verificou pelo teste da ANOVA, que CO_2flux influencia o GPP (p -value $<0,05$). (ver anexo das Tabelas 8.28 e 8.30).

Pela análise das quatro premissas dos resíduos destes dois cenários verifica-se homogeneidade das variâncias, independência, e a não existência de observações que poderão não influenciar os resultados.

A explicação para o valor de R^2 ser baixo poderá dever-se à grande diferença de resolução espacial das imagens de GPP (500m) e os mapas de CO_2flux (60m). Os pixéis de CO_2flux que se encontram dentro de um pixel de GPP apresentam grande heterogeneidade antes dos incêndios. Depois dos incêndios esta situação ocorre menos porque os valores de CO_2flux nas zonas ardidas são mais homogêneos.

5.6. Modelo do GPP

Os modelos de GPP obtidos têm uma resolução espacial de 60m e estão expressos para oito dias em $KgC/m^2 \times 0,0001$.

A Figura 5.47 representa o mapa do modelo de GPP, para “antes da ocorrência dos incêndios” do ano de 2003. O GPP para oito dias teve como valor máximo $68,3gC/m^2$ o que equivale a um valor médio diário de $8,5gC/m^2$. Os valores altos de GPP estão distribuídos de forma uniforme por todas as freguesias. Os valores de zero e próximos de zero localizam-se nas vias de comunicação e em todas as áreas sem cobertura vegetal. A vila de Mação, os Envendos e a zona mais a sul da freguesia de Ortiga detêm uma mancha acentuada de valores próximos do mínimo.

A Figura 5.48 representa o mapa do modelo de GPP, para “logo após a ocorrência dos incêndios” do ano de 2003. Os valores de GPP para oito dias apresentam um decréscimo, sendo o seu máximo $53,5gC/m^2$ o que corresponde a uma média diária de $6,7gC/m^2$.

Isto ocorreu devido à ocorrência dos fogos de 2003, que reduziram grandemente a biomassa florestal, importante reservatório de Carbono.

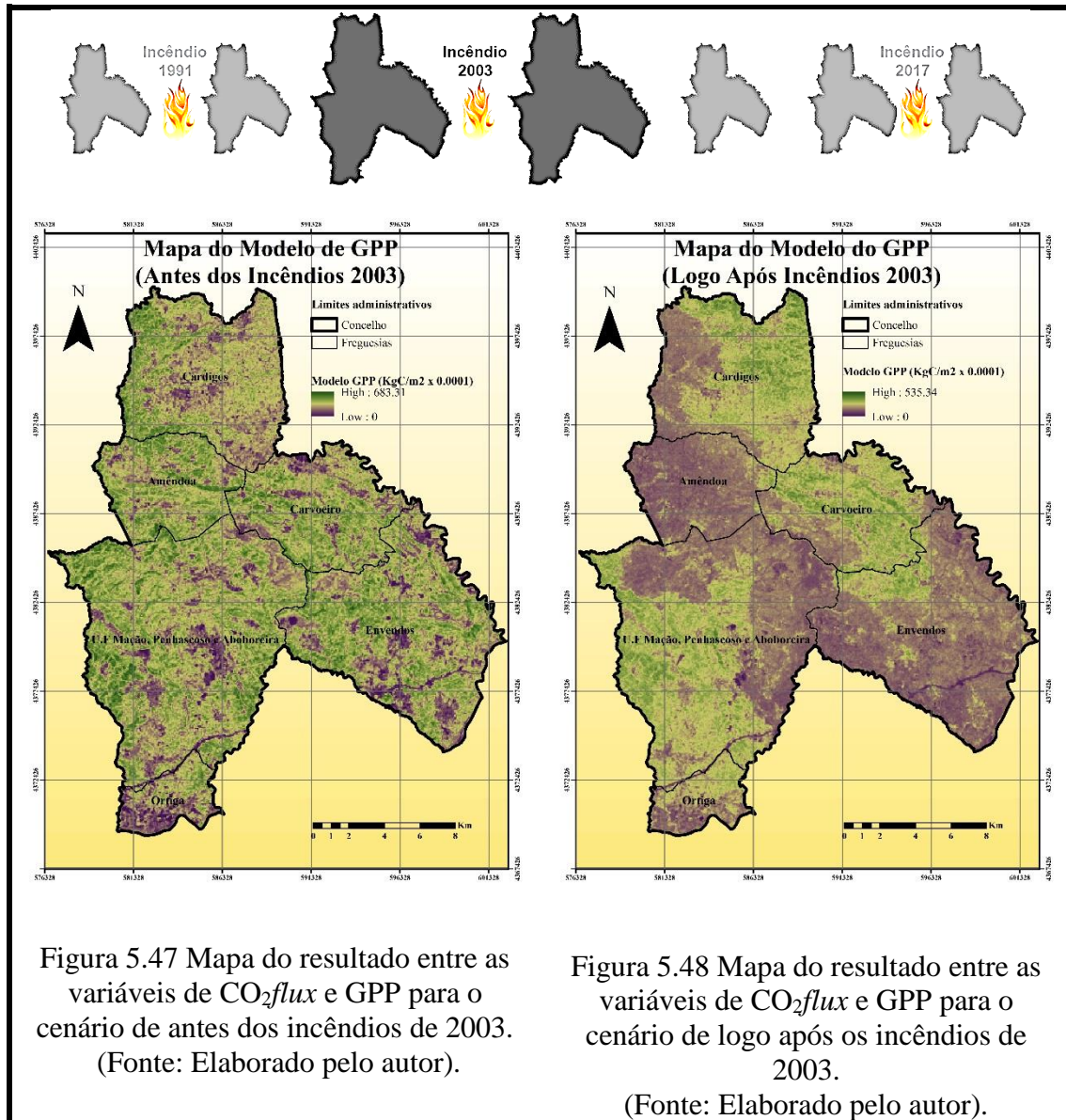


Figura 5.47 Mapa do resultado entre as variáveis de CO_2flux e GPP para o cenário de antes dos incêndios de 2003. (Fonte: Elaborado pelo autor).

Figura 5.48 Mapa do resultado entre as variáveis de CO_2flux e GPP para o cenário de logo após os incêndios de 2003. (Fonte: Elaborado pelo autor).

O mapa do modelo de GPP, para o cenário de “antes dos incêndios” de 2017 encontra-se representado na Figura 5.49. Os valores de GPP e a sua distribuição espacial é idêntica ao cenário “antes dos incêndios” de 2003. Isto mostra que ocorreu uma recuperação do coberto vegetal.

O valor de GPP máximo para oito dias é de $53,9gC/m^2$ o que corresponde a uma média diária de $6,7gC/m^2$.

A Figura 5.50 mostra o mapa do modelo de GPP para o cenário de “logo após os incêndios” de 2017. Verifica-se que houve uma diminuição de GPP muito acentuada neste cenário, motivada pela ocorrência dos incêndios. O valor máximo de GPP para oito dias é de $21,9\text{gC}/\text{m}^2$ o que corresponde a uma média diária de $2,7\text{gC}/\text{m}^2$.

Comparando os dois cenários pós incêndios (2003 e 2017) constata-se que as perdas em termos de sequestro de Carbono foram mais gravosas no último incêndio, não só em termos de área, mas também em termos de reservatório de Carbono.

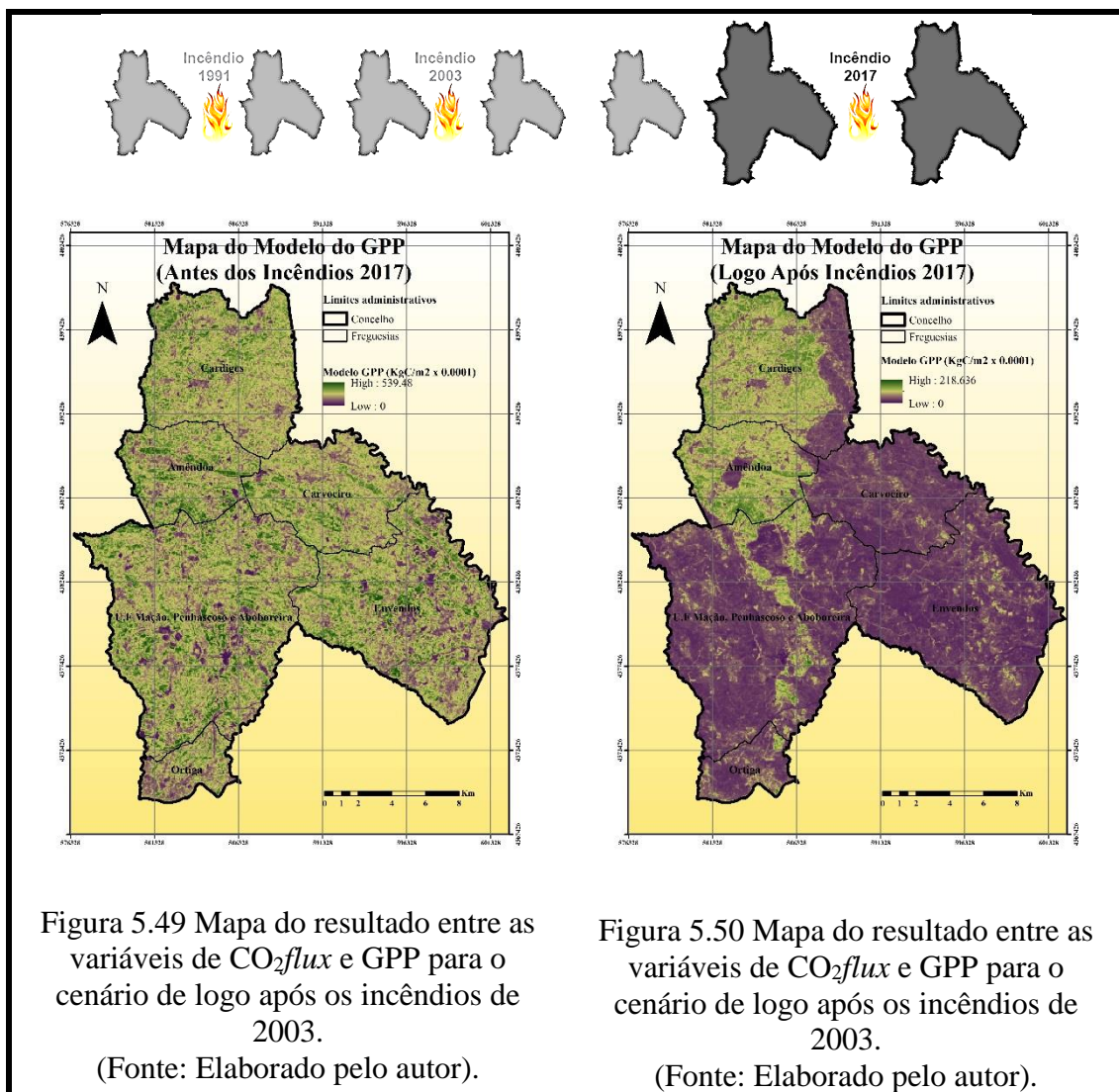


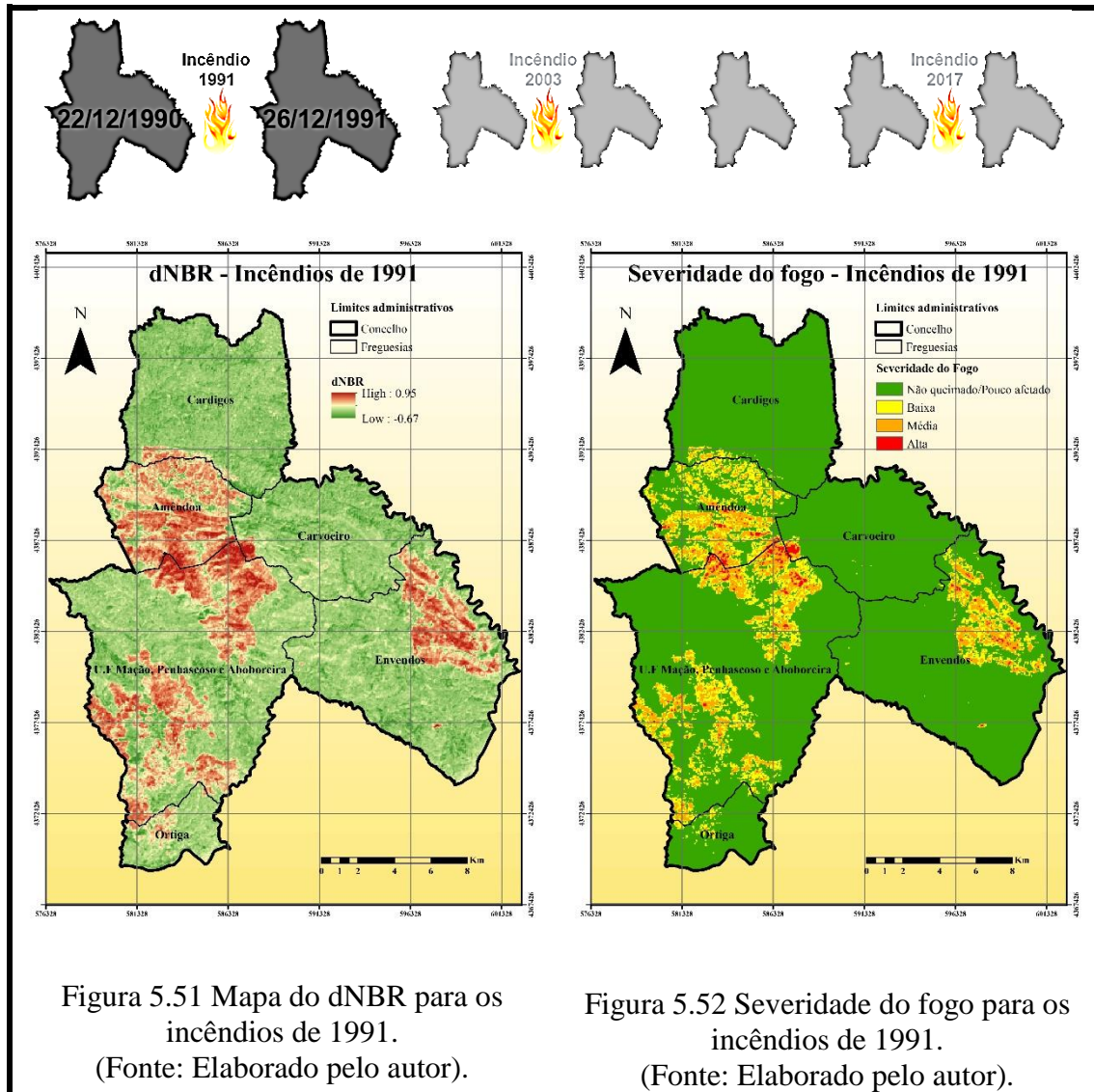
Figura 5.49 Mapa do resultado entre as variáveis de CO_2flux e GPP para o cenário de logo após os incêndios de 2003.
(Fonte: Elaborado pelo autor).

Figura 5.50 Mapa do resultado entre as variáveis de CO_2flux e GPP para o cenário de logo após os incêndios de 2003.
(Fonte: Elaborado pelo autor).

5.7. dNBR e Severidade do fogo

A Figura 5.51 representa a diferença de NBR entre 22 de dezembro de 1990 (“antes dos incêndios” de 1991) e 26 de dezembro de 1991 (“logo após os incêndios” de 1991). A Figura

5.52 mostra o mapa de reclassificação produzido a partir do mapa da Figura 5.51 intitulado-se como severidade do fogo para os incêndios de 1991.



No mapa da Figura 5.51 observa-se que existem três manchas de valores de dNBR altos que se destacam relativamente à restante área de estudo. Uma mancha localiza-se na freguesia de Envidos, a outra vai desde a freguesia de Ortiga até ao centro da U.F. Mação, Penhascoso e Aboboreira, e por último encontra-se a mancha que se distribui por entre as freguesias de U.F. Mação, Penhascoso e Aboboreira e toda a freguesia de Amêndoa.

A Figura 5.52 representa a reclassificação do dNBR em quatro classes: Não queimado/Pouco afetado; Baixa; Média e Alta. Verifica-se que a classe da Alta severidade localiza-se na fronteira

ente U.F. Mação, Penhascoso e Aboboreira e a freguesia de Amêndoa. Estas áreas foram aquelas que sofreram um grau mais elevado de mudança no solo e na vegetação provocada pelo fogo.

No entanto se for feita uma comparação entre todas as classes de severidade identificadas na Figura 5.52, pode-se afirmar que a classe de severidade Alta é aquela que menor expressividade tem em relação às classes Baixa e Média.

A Figura 5.53 é o resultado da diferença de dNBR entre o dia 1 de julho de 2002, cenário “antes da ocorrência dos incêndios” de 2003, e o dia 12 de agosto de 2003, cenário resultante do “logo após os incêndios” de 2003. A Figura 5.54 representa a severidade do fogo para o mesmo período. Os valores altos de dNBR encontram-se nas freguesias da Amêndoa, dos Envendos e na U.F. Mação, Penhascoso e Aboboreira.

Pela Figura 5.54 verifica-se que neste período a classe de Severidade Alta aumentou. No entanto continua-se a verificar que as classes Média e Baixa são mais representativas nas áreas queimadas.

Comparando os cenários de 1991 com 2003 verifica-se que proporcionalmente a classe Alta tem a mesma representatividade, mas a classe Média apresenta um aumento ligeiro em 2003 face aos incêndios de 1991.

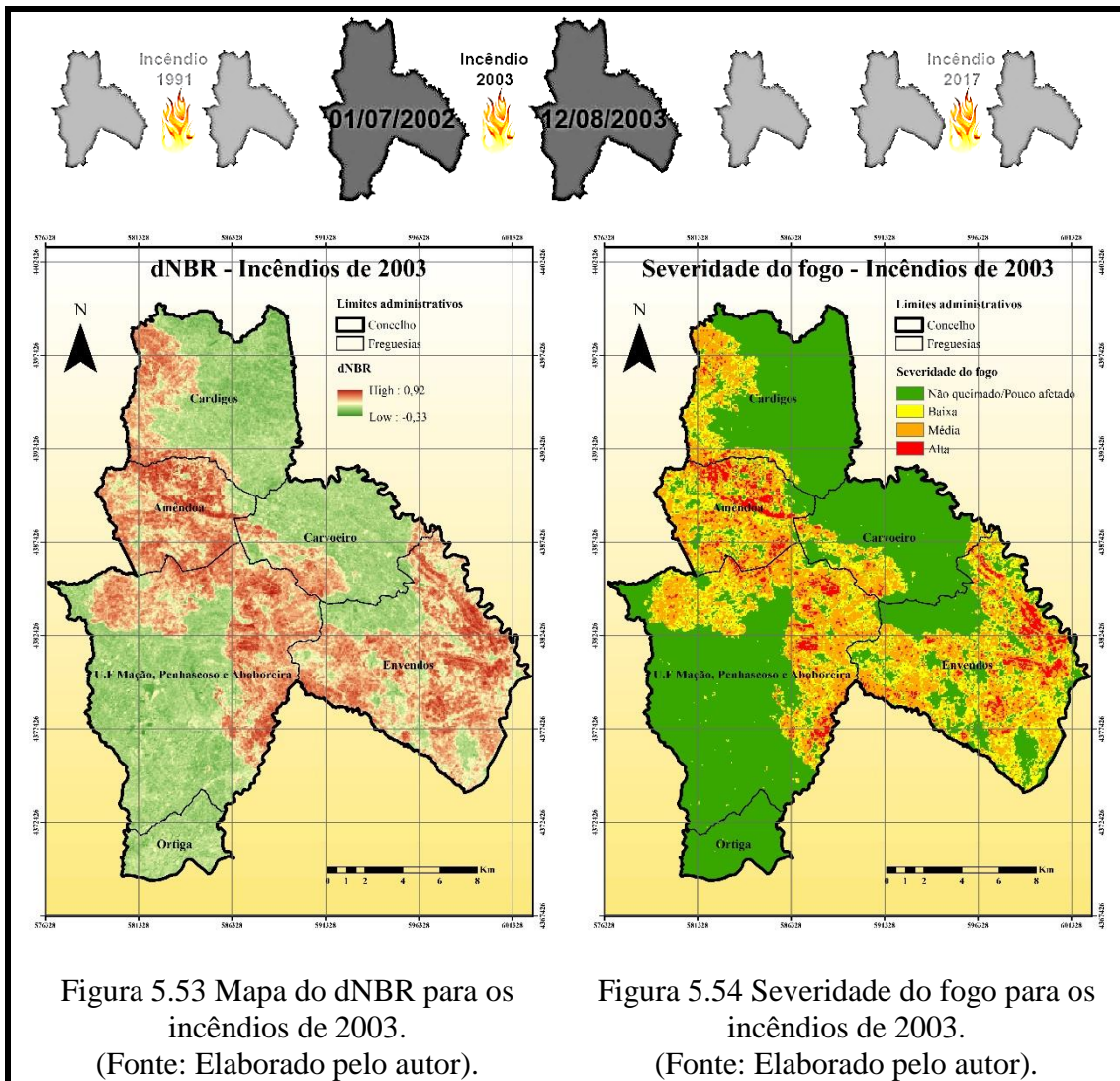


Figura 5.53 Mapa do dNBR para os incêndios de 2003.
(Fonte: Elaborado pelo autor).

Figura 5.54 Severidade do fogo para os incêndios de 2003.
(Fonte: Elaborado pelo autor).

A Figura 5.55 é o resultado da diferença de dNBR entre o dia 4 de junho de 2017, cenário “antes da ocorrência dos incêndios” de 2017 e o dia 10 de outubro de 2017, cenário “logo após os incêndios” de 2017. Os valores de dNBR mais elevados localizam-se na U.F. Mação, Penhascoso e Aboboreira, nas freguesias do Carvoeiro e Envendos.

O mapa da Figura 5.56 que representa a severidade dos incêndios para o mesmo período mostra que proporcionalmente a classe severidade Alta aumentou relativamente aos incêndios de 1991 e 2003. Esta classe passa a ser mais representativa face às classes Baixa e Média.

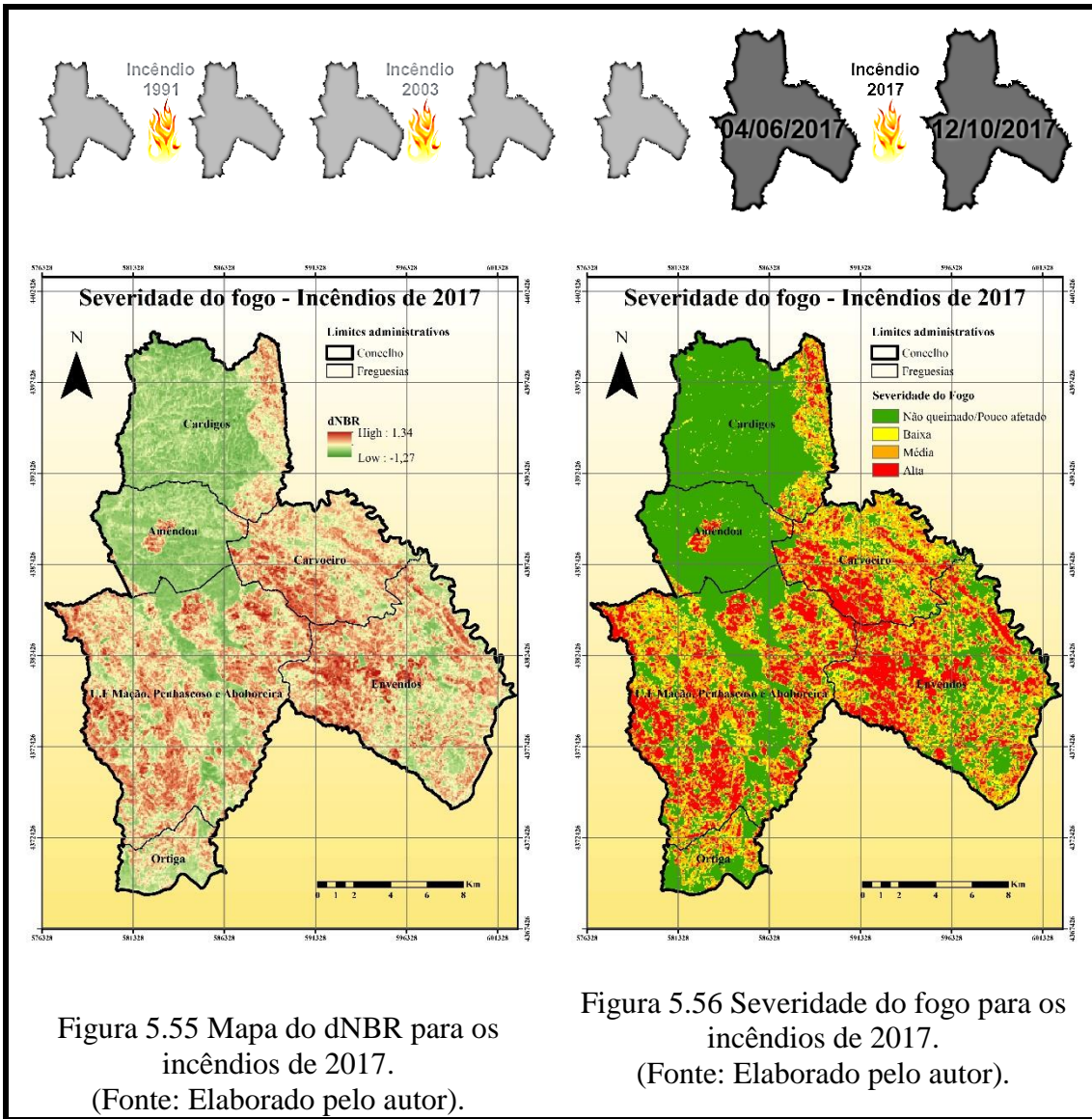


Figura 5.55 Mapa do dNBR para os incêndios de 2017.
(Fonte: Elaborado pelo autor).

Figura 5.56 Severidade do fogo para os incêndios de 2017.
(Fonte: Elaborado pelo autor).

A Figura 5.57 mostra a percentagem da área ardida segundo as classes de severidade dos incêndios.

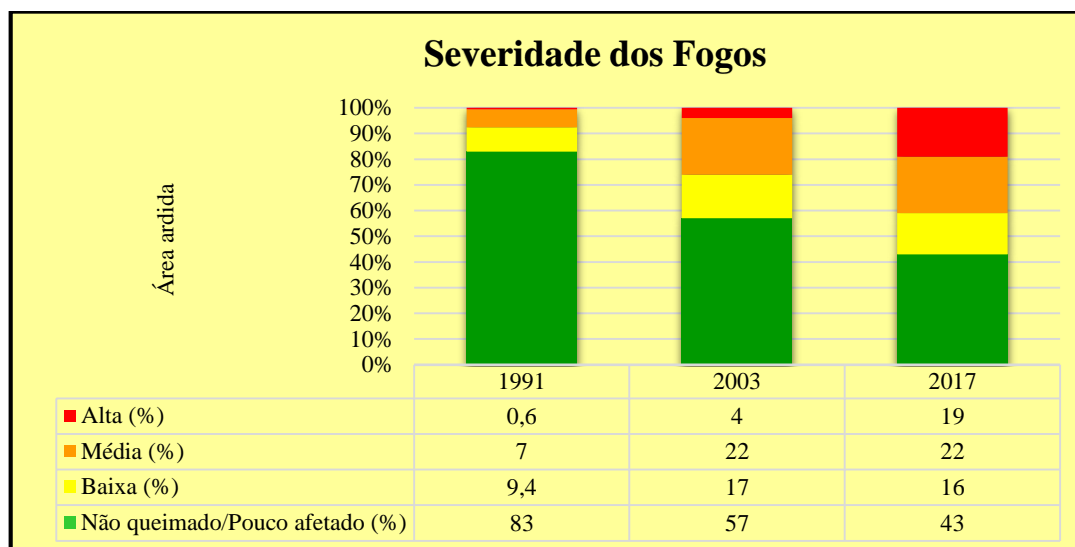


Figura 5.57 Gráfico da percentagem de área ardida segundo as classes de severidade do fogo. (Fonte: Elaborado pelo autor).

Verifica-se que foi no ano de 1991 que ardeu menos área no concelho de Mação, com 83% de classe Não queimada ou Pouco afetada. No ano de 2003 a classe Não queimada/Pouco afetado teve um decréscimo para 57% e no ano de 2017 esta classe ainda diminuiu mais, chegando a um valor de 43%. Isto demonstra que a cada década os fogos consomem mais área.

A classe de severidade Baixa foi a classe que em 1991 ocupou menor área, cerca de 9,4%, 2003 cerca de 17%, e de 2017 com 16%.

Nos incêndios de 1991 a classe de severidade Média teve apenas 7%. Nos incêndios dos anos de 2003 e 2017 esta classe teve um aumento, correspondendo a uma área de 22% de ocupação para as duas datas.

Foi no ano de 2017 que a classe de severidade Alta teve maior expressão, cerca de 19%. O ano de 2003 apresentou cerca de 4% de área classificada como severidade Alta. No ano de 1991 teve uma representatividade insignificante, cerca de 0,6%.

Esta análise mostra que desde 1991 até 2017, a gravidade dos fogos têm vindo a aumentar no concelho de Mação, destruindo cada vez mais solo e vegetação.

6. Conclusão

Após a utilização de diferentes tipos de imagens de satélite neste trabalho de tese, constatou-se que comparativamente com as imagens *Landsat 4* e *5*, as imagens *Sentinel 2* possibilitam a sua utilização direta, na medida em que estas vêm apresentadas em valores de refletâncias, poupando assim tempo e recursos informáticos.

As imagens *Landsat* têm o efeito da dispersão e são disponibilizadas em níveis digitais o que implica muitos cálculos auxiliares para que estas se apresentem com valores de refletâncias, nomeadamente a correção do efeito da dispersão e o cálculo preliminar da radiância e só depois o cálculo final da refletância, de modo a que estas estejam no formato adequado para realizar estudos no âmbito da resposta espectral.

Quanto às imagens de satélite captadas através do sensor *MODIS*, no caso os mapas de GPP, também são de utilização direta, uma vez que estas são disponibilizadas sem necessidade de executar cálculos auxiliares para obter os valores desta variável.

A deteção remota aliada com os sistemas de informação geográfica, nomeadamente as imagens obtidas do sensor *MODIS*, concretizam análises em tempo quase real, de cenários de catástrofes como os ocorridos com os incêndios florestais. Ao interpretar o que está a ocorrer num dado momento e num determinado local viabiliza a tomada de decisões mais rápidas e acertadas na área da gestão florestal e ordenamento territorial.

O facto de terem sido utilizadas imagens de satélite oriundas de diferentes sensores e épocas (desde 1990 até 2017) surgiram diversas questões relacionadas com as resoluções espaciais das diversas fontes aéreas, nomeadamente no que concerne às imagens mais antigas utilizadas para a caracterização dos primeiros cenários (anos 1990 e 2000) com resoluções espaciais maiores (*Landsat* com 30m). As imagens de satélite mais recentes têm resoluções espaciais menores (*Sentinel 2* com 10m e 20m), mas só para algumas bandas o que origina o mesmo problema direccionado com a conversão destas, para se poder trabalhar sempre com a mesma escala. Assim sendo o problema da resolução espacial implicou uma perda de precisão nas imagens, uma vez que foi necessário converter todos os mapas obtidos para uma mesma resolução espacial de 60m, implicando uma maior escala e por consequência um menor pormenor.

Posto isto, pode-se afirmar que as imagens de satélite são fontes fiáveis e de acesso fácil e gratuito que servem como bases cartográficas para estudar, através da detecção remota e dos SIG, este tipo de fenómenos que tanto afeta o nosso território.

As imagens de satélite constituem ferramentas necessárias para efetuar estudos de mapeamento, monitorização e mitigação ao alcance dos usuários com conhecimentos nestas novas tecnologias, como é exemplo este estudo de investigação feito ao nível de um município.

Ao mesmo tempo, as imagens de satélite são registos de épocas passadas e presentes que possibilitam um reconhecimento quase imediato do território, mesmo em locais de difícil acesso em termos de relevo ou de inexistência de rede viária, antes e após o acontecimento de algum evento dramático no terreno, cobrindo grandes áreas, poupando assim tempo e recursos económicos que poderão ser canalizados para resolver mais rapidamente as situações de catástrofe.

Os mapas de índices de vegetação são uma boa forma de mostrar como é possível, através da cartografia temática, realizar de forma rápida uma análise visual e comparativa, de sete momentos temporais distintos ao longo de 30 anos, para um município que assiduamente é palco de grandes incêndios florestais.

A reclassificação dos mapas de índices de vegetação, como o mapa do NDVI reclassificado para cobertura vegetal e o mapa do dNBR reclassificado para severidade do fogo, possibilitam uma interpretação rápida e eficaz do fenómeno incendiário.

Os mapas de severidade dos fogos mostram graficamente e de uma forma muito intuitiva as manchas das zonas queimadas e não queimadas, permitindo quantificá-las. Nas zonas queimadas esta cartografia facilita a localização das zonas onde o fogo foi mais agressivo, possibilitando a recomendação de medidas mitigadoras primárias para dar resposta logo após a ocorrência do fogo, que irão facilitar a recuperação mais rápida e eficaz destas áreas, de modo a evitar situações semelhantes no futuro.

A análise realizada para o período temporal de 30 anos aponta que o NDVI foi um índice que evoluiu positivamente, após cada ocorrência de um grande incêndio, podendo-se referir que este indicador registou os valores mais altos para todos os cenários de “antes da ocorrência dos

incêndios” dos anos de 1991, 2003 e 2017, correspondentes às datas de 22 de dezembro de 1990, 1 de julho de 2002 e 4 de junho de 2017, respectivamente. Estes valores manifestam-se através da cobertura vegetal, que nos cenários anteriormente mencionados, detêm uma cobertura vegetal bastante desenvolvida, indicando a existência de uma elevada quantidade de biomassa florestal no território.

As alterações na cobertura vegetal influenciam a variável de CO_2flux . Nos cenários onde a cobertura vegetal diminuiu drasticamente, ou seja, nos cenários do “logo após a ocorrência dos incêndios” de 1991, 2003 e 2017, com datas de 26 de dezembro de 1991, 12 de agosto de 2003 e 12 de outubro de 2017, respectivamente, observou-se uma diminuição na eficiência do processo de sequestro de carbono pela vegetação, nas zonas afetadas pelos incêndios. Em contrapartida, nos momentos em que a cobertura vegetal se encontra em pleno desenvolvimento, a variável CO_2flux registou valores próximos de um, indicando a boa eficiência da vegetação através do processo de fotossíntese no sequestro do Carbono.

Os modelos de GPP alcançados neste trabalho permitiram, obter valores da média de GPP com uma resolução espacial de 60m para o concelho de Mação. Os mapas dos modelos de GPP das épocas de “antes da ocorrência dos incêndios” de 2003 e 2017 evidenciam que o concelho de Mação era, nestas datas, um grande reservatório de Carbono, pois ambos mapas possuíam valores máximos altos. Os mapas dos modelos de GPP que definem os cenários de “logo após os incêndios” de 2003 e 2017 revelam que o concelho de Mação deixou de ser um bom reservatório de Carbono, baixando os valores máximos nas áreas ardidas. Verificou-se, ainda, que os incêndios ocorridos em 2017 foram mais nefastos do que os incêndios de 2003, isto porque “logo após a ocorrência dos incêndios” de 2017 os valores do modelo de GPP obtidos foram os mais baixos de todos os cenários estudados.

Os resultados obtidos para os três mapas de severidade dos fogos, permitiram afirmar que os incêndios do ano de 1991 foram os menos gravosos dos três anos estudados, tendo em conta a área total ardida, assim como a severidade dos fogos. Os incêndios ocorridos no ano de 2003 foram caracterizados por aumentarem a área ardida e a severidade dos fogos relativamente ao ano de 1991. Os incêndios que tiveram lugar recentemente, ano de 2017, foram classificados como os mais gravosos de todos, na medida em que ardeu mais de 2/3 do concelho e a severidade dos fogos foi mais elevada, comparativamente com qualquer um dos outros anos estudados. Isto leva a concluir que a cada década aproximadamente (entre 10 a 15 anos) ocorre

um grande incêndio, coincidente com valores de NDVI, cobertura vegetal, CO_2flux e modelo de GPP mais elevados.

O estudo demográfico realizado neste trabalho aponta para o concelho de Mação como um território que está sendo palco de um decréscimo acentuado de população e um grande envelhecimento desta, ao longo das últimas décadas. Agravando este padrão social surge a alteração da atividade económica, que tinha a maioria da população empregue no setor primário, setor que está relacionado diretamente com as atividades desenvolvidas em meio rural, passando atualmente a ter a maioria da população empregue no setor terciário, direcionado com as atividades relacionadas com a prestação de serviços, o que revela a perda de importância da propriedade em meio rural, não sendo esta neste momento uma fonte direta de rendimento para a população existente.

O concelho de Mação, de acordo com o mapa de usos do solo (CAOP, 2016), surge como um território que está densamente povoado por floresta e vegetação natural. A floresta é constituída maioritariamente por eucaliptos e pinheiros e a vegetação natural por matos, espécies altamente combustíveis. A agricultura, apenas, representa uma pequena porção de ocupação do território, demonstrando, mais uma vez o abandono e perda de importância do meio rural. A elevada fonte de biomassa vegetal que este concelho detém, aliada às mudanças climáticas que ocorrem a nível global, constituem um elevado fator de risco para o surgimento de grandes incêndios florestais, no entanto em termos de reservatório de Carbono, este território soma pontos positivos, embora não com as espécies vegetais mais adequadas.

Pode-se concluir que as componentes sociais, nomeadamente, a demográfica e a socioeconómica, juntamente com as componentes territoriais e meteorológicas, como a ocupação do solo, o relevo acidentado, o clima quente e seco agravado pelas alterações climáticas conduziram à ocorrência, nos anos de 1991, 2003 e 2017, dos últimos três grandes incêndios florestais que devastaram este território interior do nosso País.

7. Referências bibliográficas

- Almeida, C. T. D. (2016). Produtividade primária bruta na Amazônia legal: relação com variáveis meteorológicas e validação do produto mod17A2. (Tese de Mestrado Não Publicada). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.
- Branquinho, C. M. P. L. (2011). Caracterização económica e demográfica do Pinhal Interior Sul (Tese de Mestrado Não Publicada), Faculdade de Economia da Universidade de Coimbra. Coimbra.
- Celes, C. H. S., Shimabukuro, Y. E., Campos, M. A. A., & Higuchi, N. (2013). Estimativa de biomassa em uma floresta tropical no município de Maués-AM, Brasil. *Revista Brasileira de Cartografia*, 65(3), 541-554.
- Chuvieco, E., Martin, M. P., & Palacios, A. (2002). Assessment of different spectral indices in the red-near-infrared spectral domain for burned land discrimination. *International Journal of Remote Sensing*, 23(23), 5103-5110.
- Chuvieco, E., Aguado, I., Yebra, M., Nieto, H., Martín, M., & Vilar, L. (2007). Generación de un Modelo de Peligro de Incendios Forestales mediante Teledetección y SIG. In: En Rivas, R., Grisotto, A., Sacido, M. (Eds.), *Teledetección: hacia un mejor entendimiento de la dinámica global y regional*. Mar del Plata. Editorial Martin, 19-26.
- CLC 2006. Corine Land Cover 2006, Copernicus Europe's eyes on Earth. Disponível em <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc-2006>. [Acedido a 5 de Julho de 2018].
- Climate-Data. org. (2017). Dados climáticos para cidades mundiais. Disponível em <https://pt.climate-data.org/>. [Acedido a 5 de Julho de 2018].
- Delgado Sánchez, A. (2017). Detección de incendios (Tese de Bacharelato Não Publicada). Universidade Politècnica da Catalunya. Catalunya
- do Vale, D. M. M. (2014). Sequestro de carbono pela floresta portuguesa: possíveis cenários de valorização económica. (Tese de Mestrado Não Publicada). Faculdade de Economia da Universidade do Porto. Porto
- Dias, A. P., Franco, A., Araújo, A. P. R., Ferreira, C., Santos, E., Silva, E., & Faria, J. (2013). Adaptação das florestas às alterações climáticas. Disponível em <http://www.icnf.pt/portal/florestas/ppf/resource/ficheiros/alt-clima/rel-florest-enaac>. [Acedido a 15 de Julho de 2018].
- Direção Geral do Ambiente. (2000). Atlas do Ambiente digital. Disponível em <http://geored.dge.mec.pt/informacao-geografica/atlas-digital-do-ambiente>. [Acedido a 10 de Julho de 2018].
- Escuin, S., Fernández-Rebollo, P., & Navarro, R. M. (2002). Aplicación de escenas Landsat a la asignación de grados de afectación producidos por incendios forestales. *Revista de Teledetección*, 17, 77-87.

Escuin, S., Navarro, R., & Fernández, P. (2007). Fire severity assessment by using NBR (Normalized Burn Ratio) and NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) derived from LANDSAT TM/ETM images, *International Journal of Remote Sensing*, 29 (4), 1053-1073.

Ferreira F. F., Bento_Gonçalves, A., & Lourenço, L. (2011). Grandes incêndios florestais em Portugal Continental. Da história recente à atualidade. *Cadernos de Geografia*, 30/31, 81–86.

Fonseca, A. D., & Fernandes, J. C. (Eds). (2004). *Detecção remota 1ª. ed.* Editora Lidel. Lisboa

Forestis – Associação Florestal de Portugal. (2007). Estudo do Caso: Riscos na Serra da Aboboreira. Relatório Final. Projeto Littorisk. Porto. Disponível em http://forestis.pt/forestis/multimedia/File/Relatorio_Proj/Littorisk.pdf [Acedido a 10 de Março de 2017].

Gerhardt, A. R. (2010). Mapeamento do Fluxo de CO₂ em Lavouras de Soja usando Imagens Orbitais. Salão de Iniciação Científica. Livro de resumos. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Giner, C., Martínez, B., Gilabert, M. A., & Alcaraz-Segura, D. (2012). Tendencias en el verdor de la vegetación y en la producción primaria bruta de las áreas forestales en la España peninsular (2000-2009). *Revista de Teledetección*, 38, 51-64.

Grancho, N. (2006). Origem e evolução recente dos Sistemas de Informação Geográfica em Portugal. Quimera (Eds). Lisboa.

INE, I. (2013). Anuário estatístico de Portugal 2012, I. P. Lisboa.

Jornal O Mirante. (2003) Disponível em: <https://omirante.pt/semanario/2003-04-03/economia/2003-04-02-unicer-reforca-investimento-em-macao> [Acedido a 2 de maio de 2018].

Lira, C., Amorim, A., Silva, A. N., Taborda, R. (2016). Sistemas de Informação Geográfica: Análise de Dados de Satélite. In J. Abreu; J. Souza; J. Paraíba, J. T. Marques, P. Ribeiro, R. Farinha, R. Oliveira (Eds), *Guia Técnico*. Lisboa. DGRM - Direção-Geral de Recursos Naturais, Segurança e Serviços Marítimos.

Lourenço, L. (2004). Risco dendrocaustológico em mapas. Núcleo de Investigação Científica de Incêndios Florestais (FLUC) (Eds) (201). Coimbra.

Maccherone B. (2014). MODIS Web. MODIS Web. Disponível em: <http://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct/> [Acedido a 10 de maio de 2018].

Map, O. S. (2014). Open street map. Disponível em:

<https://www.openstreetmap.org/#map=6/39.602/-7.839>. [Acedido a 18 de março de 2018].

Martín, I. M. P., Chuvieco, S. E., Oliva P. P., Rodríguez-Verdú, F., Nieto S. H., & Padrón P. D. (2007). Un ejemplo práctico de aplicación operativa de la Teledetección a la gestión de riesgos naturales: Cartografía y evaluación urgente de áreas quemadas en Galicia. *Cuadernos de Cuadernos de investigación geográfica*, 33, 19-37.

Matos, J. (2008). Fundamentos de Informação Geográfica. 5ª Edição Atualizada e Aumentada. LIDEL - Edições técnicas, Lda. Portugal: Lisboa.

Mattar, C., Santamaría-Artigas, A., & Durán-Alarcón, C. (2012). Estimación del área quemada en el Parque Nacional Torres del Paine utilizando datos de teledetección. *Revista de teledetección*, 38(1), 36-50.

MundoGEO. (2004). Disponível em: <http://mundogeo.com/blog/2004/05/23/o-sensor-MODIS-a-bordo-das-plataformas-terra-e-acqua/> [Acedido a 3 de maio de 2018]

Pordata, & Pordata. (2015). Base de Dados Portugal Contemporâneo. Disponível em: <https://www.pordata.pt/Portugal>. [Acedido a 24 de março de 2018].

Quiroga, H.S. (2009). *Validação dos fluxos atmosféricos de carbono por deteção remota*. (tese de mestrado). Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 48 p.

Rahman, A. F., Gamon, J. A., Fuentes, D. A., Roberts, D., Prentiss, D., & Qiu, H. (2000). Modeling CO₂ flux of boreal forests using narrow-band indices from AVIRIS imagery. In R. O. Green, (Ed.), Ninth Airborne Earth Science Workshop, NASA's Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, California.

Rouse Jr, J., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1973). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In S.C. Freden, E.P. Mercanti, M. Becker (Eds.), 3rd Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, Washington, DC: National Aeronautics and Space Administration (SP-351, NASA), section A(1), 309-317.

Santos, F. D. A., & de Aquino, C. M. S. (2015). Análise da dinâmica do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), dos aspectos econômicos e suas relações com a desertificação/degradação ambiental em Castelo do Piauí, Piauí, Brasil. *Revista Electrónica de Investigação e Desenvolvimento*, 4, 1-17.

Shimabukuro, Y. E., & Rudorff, B. F. (2006). Dados do sensor MODIS para o mapeamento e monitoramento da cobertura vegetal e uso da terra. *Simposio de Geotecnologias no Patanal*, 1, 929-238.

Silva, S. C. P. D. (2014). Modelagem espectral para determinação da concentração e fluxo de CO₂ em paisagens naturais e antrópicas na região amazônica. (tese de doutoramento). Universidade de Brasília. Brasília, 173 p.

Sousa, A., & Marques da Silva, J. (2011). Fundamentos Teóricos de Deteção Remota. Departamento de Engenharia Rural, Universidade de Évora, 57.

8. Anexos

Tabela 8.1 Características específicas das bandas espectrais, utilizadas para o cálculo das equações presentes na metodologia, do sensor TM (*Thermal Mapper*) e suas principais aplicações

Bandas espectrais	Resolução espectral (μm)	Resolução radiométrica (bits)	Resolução espacial (m)	Aplicações
B1 - Azul	0,45–0,52	8	30	Estudos de áreas costeiras, diferenciação solo/vegetação
B2 - Verde	0,52-0,60			Identificação do estado sanitário da vegetação, através da medição da refletividade do verde da vegetação
B3 - Vermelho	0,63-0,69			Diferenciar os tipos de vegetação
B4 – Infravermelho próximo	0,76-0,90			Determinação do conteúdo de biomassa e identificar corpos de água
B7 – Infravermelho médio	2,08-2,35		30	Diferenciação de tipos de rochas e fazer cartografia hidrotérmica

Tabela 8.2 Características das bandas espectrais do sensor *MODIS* para o estudo da superfície da terra

Bandas espectrais	Resolução espectral (nm)	Aplicações
B1	620-670	Terra/Nuvens/Limites de aerossóis
B2	841-876	
B3	459-479	Terra/Nuvens/Propriedade de aerossóis
B4	545-565	
B5	1230-1250	
B6	1628-1652	
B7	2105-2155	

Tabela 8.3 Características específicas das bandas espectrais, utilizadas para o cálculo das equações presentes na metodologia, do sensor MSI (*Multispectral Imager*).

Bandas espectrais	Resolução espectral (nm)	Resolução espacial (m)
B2 - Azul	490	10
B3 - Verde	560	
B4 - Vermelho	665	
B8 – Infravermelho próximo	842	
B12 – Infravermelho médio	2190	20

Tabela 8.4 Dados a utilizar relativos aos incêndios de 1991 para o cálculo da radiância e da refletância

		Bandas	L_{max}	L_{min}	d	k	Θ (°)	Θ (rad)
Landsat 4	Antes do incêndio (22/12/1990)	B1	171	-1,52	0,9837	1957	69,045	1,2045
		B2	336	-2,84		1825		
		B3	254	-1,17		1557		
		B4	221	-1,51		1033		
		B7	16,6	-0,15		80,72		

Landsat 5	Logo após incêndio (26/12/1991)	B1	169	-1,52	0,9834	1957	34,5	1,1871
		B2	333	-2,84		1826		
		B3	264	-1,17		1554		
		B4	221	-1,51		1036		
		B7	16,5	-0,15		80,67		

Landsat 5	Anos depois (01/07/2002)	B1	193	-1,52	1,0166	1957	28,1	0,4902
		B2	365	-2,84		1826		
		B3	264	-1,17		1554		
		B4	221	-1,51		1036		
		B7	16,5	-0,15		80,67		

Tabela 8.5 Dados a utilizar relativos aos incêndios de 2003 para o cálculo da radiância e da refletância

		Bandas	L_{max}	L_{min}	d	k	Θ (°)	Θ (rad)
Landsat 5	Antes do incêndio (01/07/2002)	B1	193	-1,52	1,0166	1957	28,1	0,4902
		B2	365	-2,84		1826		
		B3	264	-1,17		1554		
		B4	221	-1,51		1036		
		B7	16,5	-0,15		80,67		
	Logo após incêndio (12/08/2003)	B1	193	-1,52	1,0133	1957	34,5	0,6021
		B2	365	-2,84		1826		
		B3	264	-1,17		1554		
		B4	221	-1,51		1036		
		B7	16,5	-0,15		80,67		
	Anos depois (06/11/2011)	B1	193	-1,52	0,9913	1957	58,9	1,0285
		B2	365	-2,84		1826		
		B3	264	-1,17		1554		
		B4	221	-1,51		1036		
		B7	16,5	-0,15		80,67		

Tabela 8.6 Recorte das bandas da imagem *Landsat 4* de 22 de dezembro de 1990

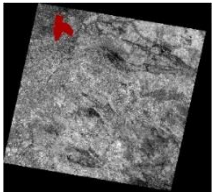


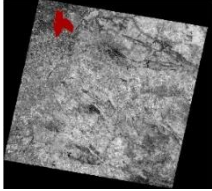

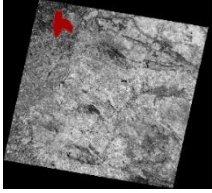
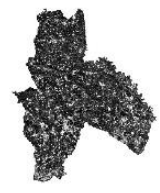
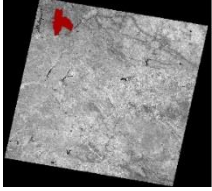
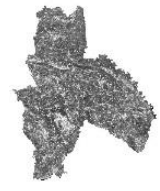
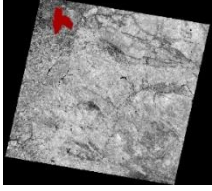

Banda espectral completa		Máscara de Recorte (Área de Estudo)	Banda espectral recortada
B1 - Azul			
B2 - Verde			
B3 - Vermelho			
B4 – Infravermelho próximo			
B7 – Infravermelho médio			

Tabela 8.7 Recorte das bandas da imagem *Landsat 5* de 26 de dezembro de 1991

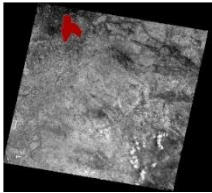

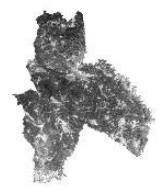
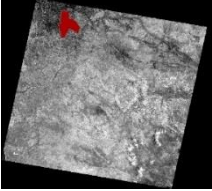

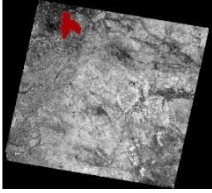
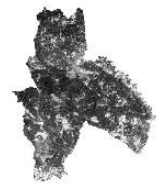
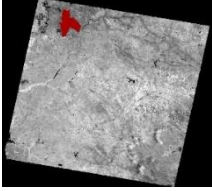

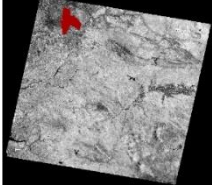

Banda espectral completa		Máscara de Recorte (Área de Estudo)	Banda espectral recortada
B1 - Azul			
B2 - Verde			
B3 - Vermelho			
B4 – Infravermelho próximo			
B7 – Infravermelho médio			

Tabela 8.8 Recorte das bandas da imagem *Landsat 5* de 1 de julho de 2002

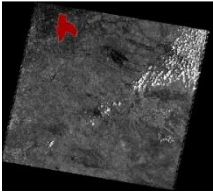


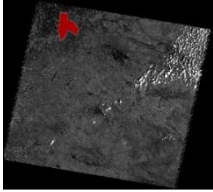

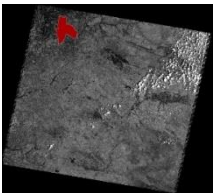
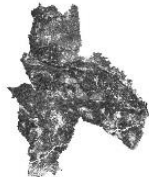
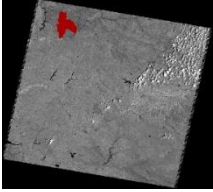

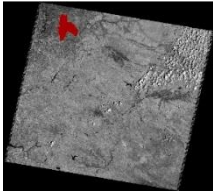

Banda espectral completa		Máscara de Recorte (Área de Estudo)	Banda espectral recortada
B1 - Azul			
B2 - Verde			
B3 - Vermelho			
B4 – Infravermelho próximo			
B7 – Infravermelho médio			

Tabela 8.9 Recorte das bandas da imagem *Landsat 5* de 12 de agosto de 2003

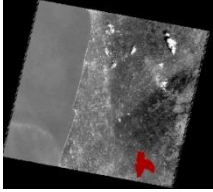


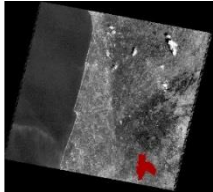

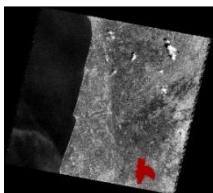

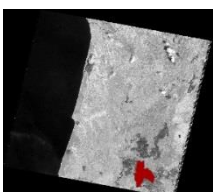

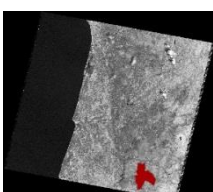

Banda espectral completa		Máscara de Recorte (Área de Estudo)	Banda espectral recortada
B1 - Azul			
B2 - Verde			
B3 - Vermelho			
B4 – Infravermelho próximo			
B7 – Infravermelho médio			

Tabela 8.10 Recorte das bandas da imagem *Landsat 5* de 6 de novembro de 2011

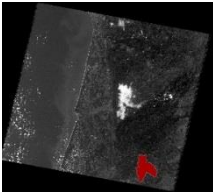




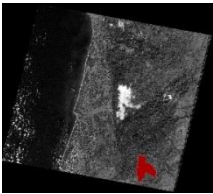

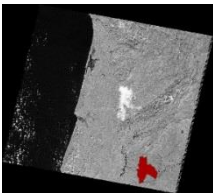

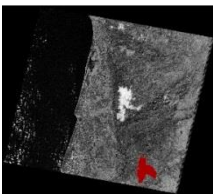

Banda espectral completa		Máscara de Recorte (Área de Estudo)	Banda espectral recortada
B1 - Azul			
B2 - Verde			
B3 - Vermelho			
B4 – Infravermelho próximo			
B7 – Infravermelho médio			

Tabela 8.11 Recorte das bandas da imagem *Sentinel 2* de 4 de junho de 2017

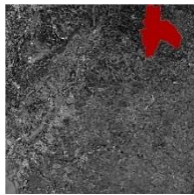


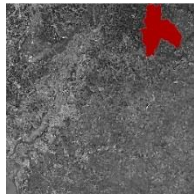
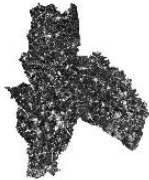
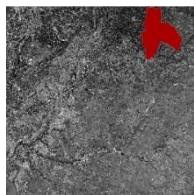

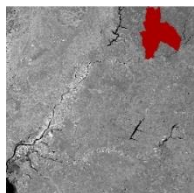
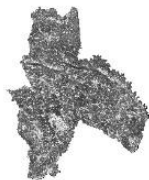
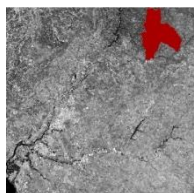
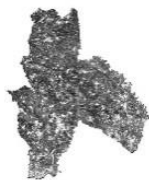
Banda espectral completa		Máscara de Recorte (Área de Estudo)	Banda espectral recortada
B2 - Azul			
B3 - Verde			
B4 - Vermelho			
B8 - Infravermelho próximo			
B12 - Infravermelho médio			

Tabela 8.12 Recorte das bandas da imagem *Sentinel 2* de 12 de outubro de 2017

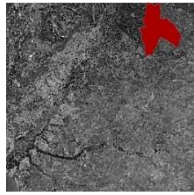


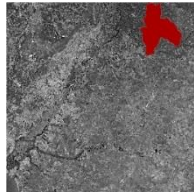

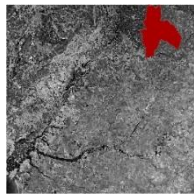

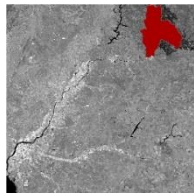

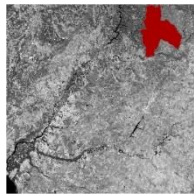
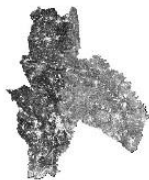
Banda espectral completa		Máscara de Recorte (Área de Estudo)	Banda espectral recortada
B2 - Azul			
B3 - Verde			
B4 – Vermelho			
B8 – Infravermelho próximo			
B12 – Infravermelho médio			

Tabela 8.13 Recorte das imagens do sensor *MODIS* (GPP)









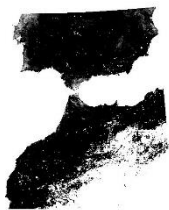




Período temporal	Imagem completa	Máscara de Recorte (Área de Estudo)	Imagem recortada
 <p>04/07/2002 a 11/07/2002</p>			
 <p>13/08/2003 a 20/08/2003</p>			
 <p>02/06/2017 a 09/06/2017</p>			
 <p>08/10/2017 a 15/10/2017</p>			

Tabela 8.14 Conversão dos níveis digitais em refletâncias para a imagem *Landsat 4* de 22 de dezembro de 1990











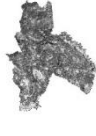

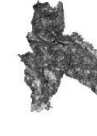

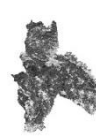

					
Banda espectral	Nível digital (DN)	Cálculo da Radiância	Radiância (L_λ)	Cálculo da Refletância	Refletância (ρ_k)
B1 - Azul		$L_\lambda = \frac{(L_{max} - L_{min})}{255} \times DN + L_{min}$		$\rho_k = \frac{\pi \times L_\lambda \times d^2}{k \times \cos(\theta)}$	
B2 - Verde					
B3 - Vermelho					
B4 - Infravermelho próximo					
B7 - Infravermelho médio					

Tabela 8.15 Conversão dos níveis digitais em refletâncias para a imagem *Landsat 5* de 12 de agosto de 1991



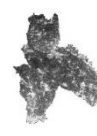
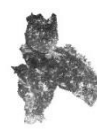


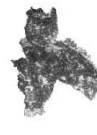
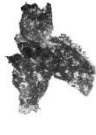
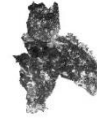

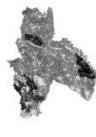

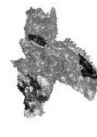


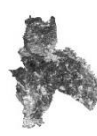
					
Banda espectral	Nível digital (DN)	Cálculo da Radiância	Radiância (L_λ)	Cálculo da Refletância	Refletância (ρ_k)
B1 - Azul		$L_\lambda = \frac{(L_{max} - L_{min})}{255} \times DN + L_{min}$		$\rho_k = \frac{\pi \times L_\lambda \times d^2}{k \times \cos(\theta)}$	
B2 - Verde					
B3 - Vermelho					
B4 - Infravermelho próximo					
B7 - Infravermelho médio					

Tabela 8.16 Conversão dos níveis digitais em refletâncias para a imagem *Landsat 5* de 1 de julho de 2002

Banda espectral	Nível digital (DN)	Cálculo da Radiância	Radiância (L_λ)	Cálculo da Refletância	Refletância (ρ_k)
B1 - Azul		$L_\lambda = \frac{(L_{max} - L_{min})}{255} \times DN + L_{min}$		$\rho_k = \frac{\pi \times L_\lambda \times d^2}{k \times \cos(\theta)}$	
B2 - Verde					
B3 - Vermelho					
B4 - Infravermelho próximo					
B7 - Infravermelho médio					

Tabela 8.17 Conversão dos níveis digitais em refletâncias para a imagem *Landsat 5* de 12 de agosto de 2003


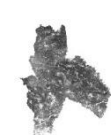


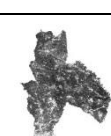
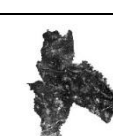

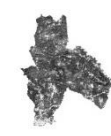



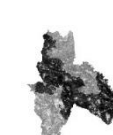




					
Banda espectral	Nível digital (DN)	Cálculo da Radiância	Radiância (L_λ)	Cálculo da Refletância	Refletância (ρ_k)
B1 - Azul		$L_\lambda = \frac{(L_{max} - L_{min})}{255} \times DN + L_{min}$		$\rho_k = \frac{\pi \times L_\lambda \times d^2}{k \times r^2 \times \cos(\theta)}$	
B2 - Verde					
B3 - Vermelho					
B4 - Infravermelho próximo					
B7 - Infravermelho médio					

Tabela 8.18 Conversão dos níveis digitais em refletâncias para a imagem *Landsat 5* de 6 de novembro de 2011

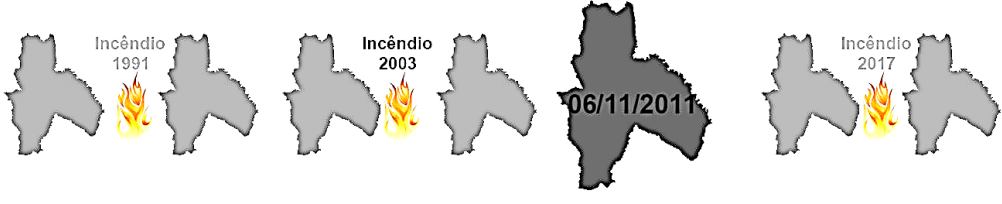















					
Banda espectral	Nível digital (DN)	Cálculo da Radiância	Radiância (L_λ)	Cálculo da Refletância	Refletância (ρ_k)
B1 - Azul		$L_\lambda = \frac{(L_{max} - L_{min})}{255} \times DN + L_{min}$		$\rho_k = \frac{\pi \times L_\lambda \times d^2}{k \times \cos(\theta)}$	
B2 - Verde					
B3 - Vermelho					
B4 - Infravermelho próximo					
B7 - Infravermelho médio					

Tabela 8.19 Reescalonamento níveis digitais para a imagem *Sentinel 2* de 4 de junho de 2017











Banda espectral	Nível digital em refletância (DN)	Reescalonamento do Nível digital	Refletância (ρ_k)
B2 - Azul		$\rho_k = \frac{DN}{10000}$	
B3 - Verde			
B4 – Vermelho			
B8 – Infravermelho próximo			
B12 – Infravermelho médio			

Tabela 8.20 Reescalonamento níveis digitais para a imagem *Sentinel 2* de 12 de outubro de 2017











Banda espectral	Nível digital em refletância (DN)	Reescalonamento do Nível digital	Refletância (ρ_k)
B2 - Azul		$\rho_k = \frac{DN}{10000}$	
B3 - Verde			
B4 – Vermelho			
B8 – Infravermelho próximo			
B12 – Infravermelho médio			

Tabela 8.21 Conversão do NDVI com resolução espacial de 30m para 60m nas imagens *Landsat* e resolução espacial de 10m para 60m nas imagens *Sentinel*






















Datas das imagens <i>Landsat</i>	NDVI (res. espacial 30m)	Fator de agregação do pixel	NDVI (res. espacial 60m)
 22/12/1990		$\frac{60}{30} = 2$	
 26/12/1991			
 01/07/2002			
 12/08/2003			
 06/11/2011			
Datas das imagens <i>Sentinel</i>	NDVI (res. espacial 10m)	Fator de agregação do pixel	NDVI (res. espacial 60m)
 04/06/2017		$\frac{60}{10} = 6$	
 12/10/2017			

Tabela 8.22 Conversão do PRI com resolução espacial de 30m para 60m nas imagens *Landsat* e resolução espacial de 10m para 60m nas imagens *Sentinel*










Datas das imagens <i>Landsat</i>	PRI (res. espacial 30m)	Fator de agregação do pixel	PRI (res. espacial 60m)
 22/12/1990		$\frac{60}{30} = 2$	
 26/12/1991			
 01/07/2002			
 12/08/2003			
 06/11/2011			
Datas das imagens <i>Sentinel</i>	PRI (res. espacial 10m)	Fator de agregação do pixel	PRI (res. espacial 60m)
 04/06/2017		$\frac{60}{10} = 6$	
 12/10/2017			

Tabela 8.23 Conversão do sPRI com resolução espacial de 30m para 60m nas imagens *Landsat* e resolução espacial de 10m para 60m nas imagens *Sentinel*






















Datas das imagens <i>Landsat</i>	sPRI (res. espacial 30m)	Fator de agregação do pixel	sPRI (res. espacial 60m)
 22/12/1990		$\frac{60}{30} = 2$	
 26/12/1991			
 01/07/2002			
 12/08/2003			
 06/11/2011			
Datas das imagens <i>Sentinel</i>	sPRI (res. espacial 10m)	Fator de agregação do pixel	sPRI (res. espacial 60m)
 04/06/2017		$\frac{60}{10} = 6$	
 12/10/2017			

Tabela 8.24 Conversão do NBR com resolução espacial de 30m para 60m nas imagens *Landsat*


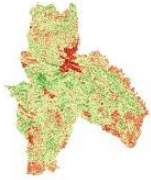
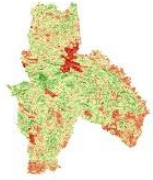

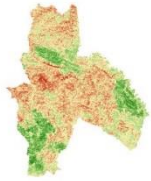
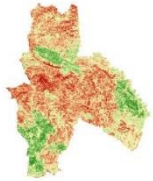




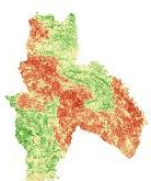
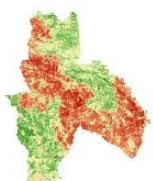
Datas das imagens <i>Landsat</i>	NBR (res. espacial 30m)	Fator de agregação do pixel	NBR (res. espacial 60m)
 <p>22/12/1990</p>		$\frac{60}{30} = 2$	
 <p>26/12/1991</p>			
 <p>01/07/2002</p>			
 <p>12/08/2003</p>			

Tabela 8.25 Conversão das refletâncias da imagem *Sentinel* para obter o NBR com resolução espacial de 60m












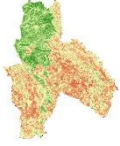
						
Refletância Banda 8 (10m)	Fator de agregação do pixel	Refletância Banda 8 (60 m)	Refletância Banda 12 (20m)	Fator de agregação do pixel	Refletância Banda 12 (60m)	NBR (60m)
	$\frac{60}{10} = 6$			$\frac{60}{20} = 3$		
						
Refletância Banda 8 (10m)	Fator de agregação do pixel	Refletância Banda 8 (60m)	Refletância Banda 12 (20m)	Fator de agregação do pixel	Refletância Banda 12 (60m)	NBR (60m)
	$\frac{60}{10} = 6$			$\frac{60}{20} = 3$		

Tabela 8.26 Conversão do CO₂flux com resolução espacial de 30m para 60m nas imagens Landsat e resolução espacial de 10m para 60m nas imagens Sentinel











Datas das imagens Landsat	CO ₂ flux (res. espacial 30m)	Fator de agregação do pixel	CO ₂ flux (res. espacial 60m)
 22/12/1990		$\frac{60}{30} = 2$	
 26/12/1991			
 01/07/2002			
 12/08/2003			
 06/11/2011			
Datas das imagens Sentinel	CO ₂ flux (res. espacial 10m)	Fator de agregação do pixel	CO ₂ flux (res. espacial 60m)
 04/06/2017		$\frac{60}{10} = 6$	
 12/10/2017			

Tabela 8.27 Identificação dos pares de NBR para cálculo do dNBR para os três anos dos incêndios

1° Par - Incêndios 1991			
NBR _{prefogo}	NBR _{posfogo}	Fórmula	dNBR
		$dNBR = NBR_{prefogo} - NBR_{posfogo}$	
2° Par - Incêndios 2003			
NBR _{prefogo}	NBR _{posfogo}	Fórmula	dNBR
		$dNBR = NBR_{prefogo} - NBR_{posfogo}$	
3° Par - Incêndios 2017			
NBR _{prefogo}	NBR _{posfogo}	Fórmula	dNBR
		$dNBR = NBR_{prefogo} - NBR_{posfogo}$	

Tabela 8.28 Resultado do estudo estatístico para o cenário de “antes dos incêndios” de 2003

Processo	Resultados
Tabela de correlação	<p>Média.CO2.flux Média.GPP</p> <p>Média.CO2.flux 1.0000000 0.4790263</p> <p>Média.GPP 0.4790263 1.0000000</p>
Regressão Linear	<pre>Call: lm(formula = Média.GPP ~ Média.CO2.flux) Residuals: Min 1Q Median 3Q Max -318.18 -33.55 -3.18 31.91 285.53 Coefficients: Estimate Std. Error t value Pr(> t) (Intercept) 293.55 6.10 48.12 <2e-16 *** Média.CO2.flux 705.14 30.06 23.46 <2e-16 *** --- Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1 Residual standard error: 55.75 on 1848 degrees of freedom Multiple R-squared: 0.2295, Adjusted R-squared: 0.229 F-statistic: 550.3 on 1 and 1848 DF, p-value: < 2.2e-16</pre>
A expressão que traduz a regressão linear	<p><i>Media GPP = 705,14 * Media CO2 flux + 293,55</i></p>
ANOVA	<pre>Analysis of Variance Table Response: Média.GPP Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F) Média.CO2.flux 1 1710735 1710735 550.34 < 2.2e-16 *** Residuals 1848 5744547 3109 --- Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1</pre>
Análise dos resíduos	<p>The figure displays four diagnostic plots for the linear regression model:</p> <ul style="list-style-type: none"> Residuals vs Fitted: A scatter plot showing residuals on the y-axis (ranging from -300 to 300) against fitted values on the x-axis (ranging from 350 to 500). The points are randomly distributed around a horizontal line at zero, indicating a good fit. Normal Q-Q: A plot of standardized residuals on the y-axis (ranging from -6 to 6) against theoretical quantiles on the x-axis (ranging from -3 to 3). The points follow a straight diagonal line, suggesting the residuals are normally distributed. Scale-Location: A plot of the square root of the absolute value of standardized residuals on the y-axis (ranging from 0.0 to 2.0) against fitted values on the x-axis (ranging from 350 to 500). The points are scattered around a horizontal line, indicating constant variance. Residuals vs Leverage: A plot of standardized residuals on the y-axis (ranging from -6 to 6) against leverage on the x-axis (ranging from 0.000 to 0.006). The points are scattered around a horizontal line, with a dashed line representing Cook's distance.

Tabela 8.29 Resultado do estudo estatístico para o cenário de “logo após os incêndios” de 2003

Processo	Resultados
Tabela de correlação	<pre> MédiaCO2flux MédiaGPP MédiaCO2flux 1.0000000 0.8430886 MédiaGPP 0.8430886 1.0000000 </pre>
Regressão Linear	<pre> Call: lm(formula = MédiaGPP ~ MédiaCO2flux) Residuals: Min 1Q Median 3Q Max -184.105 -36.462 -3.452 32.984 197.694 Coefficients: Estimate Std. Error t value Pr(> t) (Intercept) -294.257 6.758 -43.54 <2e-16 *** MédiaCO2flux 1318.393 19.562 67.39 <2e-16 *** --- Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1 Residual standard error: 52.35 on 1848 degrees of freedom Multiple R-squared: 0.7108, Adjusted R-squared: 0.7106 F-statistic: 4542 on 1 and 1848 DF, p-value: < 2.2e-16 </pre>
A expressão que traduz a regressão linear	<p style="text-align: center;"><i>Media GPP = 1318,393 * Media CO2 flux – 294,257</i></p>
ANOVA	<pre> > anova(r1) Analysis of Variance Table Response: Média.GPP Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F) Média.CO2.flux 1 1710735 1710735 550.34 < 2.2e-16 *** Residuals 1848 5744547 3109 --- Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1 </pre>
Análise dos resíduos	<p>The figure displays four diagnostic plots for the linear regression model:</p> <ul style="list-style-type: none"> Residuals vs Fitted: A scatter plot showing the relationship between fitted values (x-axis, 0 to 300) and residuals (y-axis, -200 to 200). The points are scattered around zero, indicating a good fit. Normal Q-Q: A plot of standardized residuals (y-axis, -2 to 4) against theoretical quantiles (x-axis, -3 to 3). The points follow a straight line, suggesting the residuals are normally distributed. Scale-Location: A plot of the square root of the absolute value of standardized residuals (y-axis, 0.0 to 2.0) against fitted values (x-axis, 0 to 300). The points are scattered around a horizontal line, indicating constant variance. Residuals vs Leverage: A plot of standardized residuals (y-axis, -4 to 4) against leverage (x-axis, 0.000 to 0.003). The points are scattered around zero, with a Cook's distance line shown for reference.

Tabela 8.30 Resultado do estudo estatístico para o cenário de antes dos incêndios de 2017

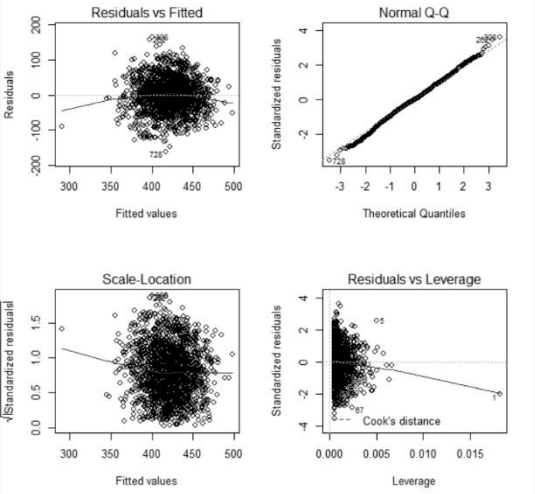
Processo	Resultados
Tabela de correlação	<pre> Média.CO2.flux Média.GPP Média.CO2.flux 1.0000000 0.4492203 Média.GPP 0.4492203 1.0000000 </pre>
Regressão Linear	<pre> Call: lm(formula = Média.GPP ~ Média.CO2.flux) Residuals: Min 1Q Median 3Q Max -160.488 -27.850 0.398 29.410 163.970 Coefficients: Estimate Std. Error t value Pr(> t) (Intercept) 305.84 5.47 55.92 <2e-16 *** Média.CO2.flux 253.21 11.71 21.61 <2e-16 *** --- Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1 Residual standard error: 45.62 on 1848 degrees of freedom Multiple R-squared: 0.2018, Adjusted R-squared: 0.2014 F-statistic: 467.2 on 1 and 1848 DF, p-value: < 2.2e-16 </pre>
A expressão que traduz a regressão linear	<p style="text-align: center;"><i>Media GPP = 253,21 * Media CO2 flux + 305,84</i></p>
ANOVA	<pre> > anova(r11) Analysis of Variance Table Response: Média.GPP Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F) Média.CO2.flux 1 972359 972359 467.21 < 2.2e-16 *** Residuals 1848 3846096 2081 --- Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1 </pre>
Análise dos resíduos	 <p>The figure displays four diagnostic plots for the linear regression model:</p> <ul style="list-style-type: none"> Residuals vs Fitted: A scatter plot showing residuals on the y-axis (ranging from -200 to 200) against fitted values on the x-axis (ranging from 300 to 500). The points are randomly distributed around zero, indicating a good fit. Normal Q-Q: A plot of standardized residuals on the y-axis (ranging from -2 to 4) against theoretical quantiles on the x-axis (ranging from -3 to 3). The points follow a straight line, suggesting the residuals are normally distributed. Scale-Location: A plot of the square root of the absolute value of standardized residuals on the y-axis (ranging from 0.0 to 1.5) against fitted values on the x-axis (ranging from 300 to 500). The points are scattered around a horizontal line, indicating constant variance. Residuals vs Leverage: A plot of standardized residuals on the y-axis (ranging from -4 to 4) against leverage on the x-axis (ranging from 0.000 to 0.015). A Cook's distance line is shown, and most points are within the acceptable range.

Tabela 8.31 Resultado do estudo estatístico para o cenário de logo após os incêndios de 2017

Processo	Resultados
Tabela de correlação	<pre> MEAN Média.GPP MEAN 1.0000000 0.8701645 Média.GPP 0.8701645 1.0000000 </pre>
Regressão Linear	<pre> Call: lm(formula = MédiaGPP ~ MEANCO2FLUX) Residuals: Min 1Q Median 3Q Max -68.235 -13.647 -3.202 11.283 94.836 Coefficients: Estimate Std. Error t value Pr(> t) (Intercept) -2.2759 0.9132 -2.492 0.0128 * MEANCO2FLUX 296.2756 3.9028 75.913 <2e-16 *** --- Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1 Residual standard error: 19.56 on 1848 degrees of freedom Multiple R-squared: 0.7572, Adjusted R-squared: 0.7571 F-statistic: 5763 on 1 and 1848 DF, p-value: < 2.2e-16 </pre>
A expressão que traduz a regressão linear	<p><i>Media GPP = 296,2756 * Media CO2 flux – 2,2759</i></p>
ANOVA	<pre> > anova(r11) Analysis of Variance Table Response: Média.GPP Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F) Média.CO2.flux 1 2204460 2204460 5762.8 < 2.2e-16 *** Residuals 1848 706924 383 --- Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1 > </pre>
Análise dos resíduos	<p>The figure displays four diagnostic plots for the linear regression model:</p> <ul style="list-style-type: none"> Residuals vs Fitted: A scatter plot showing the relationship between fitted values (x-axis, 50 to 150) and residuals (y-axis, -50 to 100). The points are scattered around zero, indicating a good fit. Normal Q-Q: A plot of standardized residuals (y-axis, -2 to 4) against theoretical quantiles (x-axis, -3 to 3). The points follow a straight line, suggesting the residuals are normally distributed. Scale-Location: A plot of the square root of absolute standardized residuals (y-axis, 0.0 to 2.0) against fitted values (x-axis, 50 to 150). The points are scattered around zero, indicating constant variance. Residuals vs Leverage: A plot of standardized residuals (y-axis, -4 to 4) against leverage (x-axis, 0.000 to 0.004). The points are scattered around zero, indicating no influential observations.