

C&S SIG

***Modelação SIG na avaliação do risco
de incêndio na Reserva Nacional do
Niassa***

Márcio Fernando Mathe

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do
grau de Mestre em Ciência e Sistemas de Informação Geográfica

**MODELAÇÃO SIG NA AVALIAÇÃO DO RISCO DE INCÊNDIOS NA
RESERVA NACIONAL DO NIASSA**

Dissertação orientada por:

Professor Doutor Pedro da Costa Brito Cabral

e co-orientada por:

Professora Doutora Natasha Ribeiro

Novembro de 2013

AGRADECIMENTOS

Dirijo-me, nas próximas linhas, às pessoas que contribuíram de forma directa ou indirecta para o trabalho agora finalizado, às quais gostaria de expressar o meu profundo agradecimento. Agradeço, em primeiro lugar, aos Professores Doutores Pedro Cabral e Natasha Ribeiro pela forma rigorosa, solícita e amigável com que orientaram e acompanharam esta dissertação.

Ào Professor Doutor António Alfredo Assane um agradecimento especial por ter sido a primeira pessoa a incentivar e apoiar este trabalho, por me fazer acreditar que era possível levá-lo a bom porto e pela constante disponibilidade para troca de ideias. A minha mãe, Maria António, à Adelaide, Telma, Sílvia, Marcelo e Filipe Júnior pelo apoio, compreensão e força anímica. Sem a Vossa ajuda esta etapa teria sido muito mais complicada.

A todos o meu muito obrigado

MODELAÇÃO SIG NA AVALIAÇÃO DO RISCO DE INCÊNDIOS NA RESERVA NACIONAL DO NIASSA

RESUMO

Como qualquer outro desastre natural, os incêndios tem vindo a influenciar os ecossistemas, provocando constantes mudanças. Nem todos os ecossistemas estão adaptados para o aumento em termos de frequência e tamanho dos incêndios florestais. A incidência de incêndios em termos de tamanho, frequência e intensidade tem aumentado significativamente na Reserva Nacional do Niassa. Os esforços para a prevenção por forma a reduzir a frequência e intensidade do fogo ainda são insuficientes. Além disso, a produção de mapas de risco de incêndio ainda é bastante reduzida em Moçambique.

A capacidade de prever a ocorrência de ignição do fogo constitui um instrumento importante para os gestores, ajudando a definir as prioridades entre as áreas de risco equivalente, e para melhorar a eficácia da prevenção de incêndios bem na alocação de recursos de combate a incêndios.

O objectivo geral deste estudo era o de modelar o risco de incêndio florestal para a Reserva Nacional do Niassa. Nesse sentido, foram consideradas variáveis biofísicas e antropogénicas. Os principais factores que influenciam a ocorrência de incêndios florestais na reserva são: uso e cobertura, a densidade de elefantes, a distância as vias de acesso, o declive e a precipitação.

Os componentes em risco foram identificados e os danos potenciais estimados. Como resultado final foram apresentados dois mapas: um mapa de perigosidade de incêndio florestal e outro de risco. A metodologia utilizada permitiu avaliar onde é mais provável que ocorra um incêndio e o maior potencial para a perda.

GIS MODELING TO ASSESS THE FIRE RISK IN NIASSA NATIONAL RESERVE

ABSTRACT

As any other natural disaster, fires have always influenced ecosystems provoking important abiotic and biotic changes; however, not all the ecosystems are adapted to the increasing frequency and size of forest fires. The incidence of fires in size, frequency and intensity has increased significantly in Niassa Nacional Reserve. Efforts for wildfire prevention are still insufficient to reduce fire frequency and intensity; moreover, the generation of fire risk maps is still lacking in Mozambique.

The ability to predict occurrence of fire ignition constitutes an important tool for managers, helping to define priorities among areas of equivalent fire propagation risk, and to improve the effectiveness of fire prevention and firefighting resources allocation. The general objective of this study is to model wildfire risk for Niassa Nacional Reserve. In order to do this, biophysical and human variables were considered. There are five main factors that influence the occurrence of forest fires in the Niassa National Reserve: land cover, elephant density, distance from roads, precipitation and slope.

Components at risk are identified and the potential damage estimated. As a final result two maps are presented: one hazard map and risk map. The methodology used allowed to evaluate where more likely fire can occurs and the greatest potential for loss.

PALAVRAS-CHAVE

- Sistemas de Informação Geográfica;
- Análise espacial;
- Modelação;
- Risco de Incêndios florestais;

KEYWORDS

- Geographical Information System;
- Spatial Analysis;
- Modelling;
- Wildfire Risk;

ACRÓNIMOS

ASTER- Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer;

AFN – Autoridade Florestal Nacional;

DEM – Digital Elevation Model;

EOS - Earth Observing System;

ESRI - Environmental Systems Research Institute;

FAO – The Food and Agriculture Organization of the United Nations;

IGEO – Instituto Geográfico Português;

GDEM – Global Digital Elevation Model;

GPS – Global Positioning System;

MICOA – Ministério para a Coordenação da Acção Ambiental;

MAXVER – Máxima Verossimilhança;

MODIS - Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer;

MAE – Ministério para Administração Estatal;

MDT – Modelo Digital de Terreno;

NASA - National Aeronautics and Space Administration;

NDVI – Normalized Difference Vegetation Index;

POM – Plano Operador Municipal;

Ph - Potencial Hidrogeniónico;

UN – United Nations;

RNN – Reserva Nacional do Niassa;

ROC - Relative Operating Characteristic;

REDD - Redução das Emissões por Desmatamento e Degradação;

SRN – Sociedade Gestora da Reserva do Niassa;

SIG – Sistemas de Informação Geográfica;

TM – Thematic Mapper;

UIF - Unidade de Inventário Florestal;

ÍNDICE DE TEXTO

AGRADECIMENTOS	iii
RESUMO	iv
ABSTRACT	v
PALAVRAS-CHAVE.....	vi
KEYWORDS	vi
ACRÓNIMOS.....	vii
ÍNDICE DE TABELAS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Objectivos	5
1.3. Definição do Problema	6
1.4. Esboço da organização do Projecto.....	7
2. ÁREA DE ESTUDO.....	8
2.2. Assentamentos humanos e modo de vida	9
2.3. Clima.....	11
2.4. Hidrografia	11
2.5. Vegetação.....	12
2.6. Geologia e Geomorfologia	14
2.7. Causas dos Incêndios Florestais.....	15
2.8. Factores que contribuem para ocorrência de incêndios	16
2.8.1. Topografia	17
2.8.2. Material combustível.....	18
2.9. Factor Climático	19
3.3.3. Presença Humana	21
3.3.4. Herbívora pelos elefantes.....	21
3.4. Florestas de Miombo	22

3.4.1.	Caracterização da floresta de Miombo	22
3.4.2.	O efeito do fogo e dos elefantes nas florestas de Miombo	25
3.4.3.	O valor do Uso da Floresta Miombo	26
3.4.4.	Regime de queimadas das florestas de Miombo.....	27
3.5.	Modelo conceptual e terminologia de risco de Incêndio	30
3.6.	Sistemas de Informação Geográfica (SIG)	34
3.7.	Detecção Remota.....	35
3.8.	SIG e Detecção Remota como ferramentas para a avaliação do risco de incêndio.....	36
3.9.	Metodologias para o Mapeamento de Risco de Incêndio Florestal	39
3.9.1.	Metodologia de Chuvieco e Congalton.....	39
3.9.2.	Metodologia do Instituto Geográfico Português (CRIF).....	40
3.9.3.	Metodologia de Vettorazzi e Ferraz (1998).....	43
3.9.4.	Metodologia da AFN - Autoridade Florestal Nacional	44
4.	MÉTODOS E MATERIAIS.....	46
4.4.	Materiais.....	46
4.4.1.	Histórico das áreas ardidas	46
4.4.2.	Modelo Digital de Elevação	48
4.4.3.	Uso e Cobertura da Terra	52
4.4.4.	Clima	54
4.4.5.	Densidade de Elefantes na Reserva	56
4.4.6.	Proximidade as vias de acesso	58
4.5.	Metodologia de elaboração do Modelo de Risco de Incêndio	59
4.5.1.	Probabilidade anual de ocorrência de incêndios florestais	59
4.5.2.	Susceptibilidade do território aos incêndios florestais	60
4.5.3.	Perigosidade aos incêndios florestais	65
4.5.4.	Dano Potencial	65
4.5.5.	Modelo de Risco de Incêndios Florestais	67
4.6.	Metodologia para validação do Modelo	68

5. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	69
5.1. Mapa de Probabilidade.....	69
5.2. Mapa de Susceptibilidade.....	70
5.3. Mapa de Perigosidade.....	73
5.4. Mapeamento de Risco de Incêndio Florestal	75
5.5. Validação do Modelo	76
6. CONCLUSÃO.....	78
7. RECOMENDAÇÕES	80
BIBLIOGRAFIA	81
ANEXOS	91

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1- Intervalos de correspondência utilizados na reclassificação	64
Tabela 2- Dados de referência para o sequestro de carbono nas florestas de miombo	67
Tabela 3 - Contributo de cada variável no modelo de regressão	71
Tabela 4- Quantificação de ajuste do modelo	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de Localização Geográfica da Reserva Nacional do Niassa.....	9
Figura 2-Triângulo do fogo	18
Figura 3-Distribuição das florestas de miombo	23
Figura 4 - Frequência de queimada na Reserva Nacional do Niassa	29
Figura 5- Componentes de um SIG	35
Figura 6 Imagem digital e seus elementos	36
Figura 7- Metodologia de cálculo de risco de incêndio	40
Figura 8 Metodologia de cálculo de risco de incêndio	42
Figura 9- Metodologia de cálculo de risco de incêndio	43
Figura 10- Metodologia de cálculo de risco de incêndio	44
Figura 11- Grelha sinusoidal MODIS	47
Figura 12- Mapa de área ardida da Reserva Nacional do Niassa	48
Figura 13- Método de recolha de dados do satélite Terra	49
Figura 14- Ilustração da execução da ferramenta <i>Fill</i>	50
Figura 15- Fluxograma de operações para correcção do DEM.	51
Figura 16- Modelo Digital de Elevação AsterGdem da RNN.....	52
Figura 17- Mapa de Uso e cobertura da RNN	54
Figura 18- Mapa de precipitação média da RNN.....	55
Figura 19- Mapa de temperatura média da RNN.....	56
Figura 20- Mapa de densidade dos elefantes na RNN.....	57
Figura 21- Mapa das vias de acesso da RNN.....	58
Figura 22- Diagrama conceptual do modelo de Susceptibilidade.....	63
Figura 23- Diagrama conceptual do mapa de Perigosidade.....	65
Figura 24- Diagrama conceptual do modelo de Risco.....	68
Figura 25- Mapa de Probabilidade anual de Queimada em (%).....	70
Figura 26- Mapa de Susceptibilidade da Reserva Nacional do Niassa	73
Figura 27- Mapa de Perigosidade a Incêndios Florestais	74
Figura 28- Mapa de Risco de Incêndio Florestal	76
Figura 29- Curva ROC do modelo de risco de incêndio.....	77

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1- Área ardida no Início da estação seca	91
Anexo 2- Área ardida no fim da estação seca	92
Anexo 3- Distribuição da Probabilidade de Queimada na RNN	93
Anexo 4- Resultados da análise de regressão.....	94
Anexo 5 – Resultados da análise ROC.....	96
Anexo 6 - Visão geral dos principais tipos de vegetação na RNN	99
Anexo 7- Categorias dos danos causados pelo fogo e pelos elefantes	100
Anexo 8 – Valores de referencia para produção do Mapa de Vulnerabilidade	101

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

Os desastres naturais reduzem o desenvolvimento socioeconómico. Nenhuma estratégia de desenvolvimento sustentável pode ser levada a cabo sem se ter em conta estes fenómenos. A tendência das últimas décadas revela que tanto o número de desastres naturais, como o número de população afectada tem aumentado significativamente (UN,2004).

Por esta razão a declaração de Paris¹ recomenda a integração de medidas preventivas no ordenamento do território e políticas de desenvolvimento.

A avaliação de desastres depois destes ocorrerem é essencial do ponto de vista humanitário, mas não é suficiente quando se pretende reduzir as suas consequências trágicas para a população, economia e ambiente.

É essencial identificar, medir o risco e a vulnerabilidade antes do desastre ocorrer, esta é uma tarefa essencial para a efectiva redução a longo prazo do risco de desastres (Birkmann,2007).

O incêndio florestal representa um risco natural, causando repercussões socioeconómicas. Dependendo da sua natureza e extensão, pode causar grandes danos, tanto as pessoas bem como as infra-estruturas, particularmente quando localizado em áreas de floresta próximas a zonas urbanas.

No entanto no que diz respeito ao ecossistema florestal, o fogo pode ser benéfico para a regeneração da própria floresta, apesar de a sua elevada frequência significar o aumento da vulnerabilidade e consequentemente causar desastres ecológicos (Brugnot,2008).

¹ Conferencia para prevenção de desastres naturais, e desenvolvimento sustentável, Junho 17-19,1999

O efeito do fogo na sociedade, vegetação, solo e atmosfera estão fortemente associados a características do fogo tais como densidade, frequência, severidade, intensidade, sazonalidade, distribuição entre outros.

Além da vegetação, o fogo pode também ser benéfico para os solos quando adaptado as condições naturais. Porém pode ser prejudicial quando os ciclos são encurtados ou as condições do fogo são mais severas. Por esta razão a análise das condições actuais do fogo são muito importantes para perceber o seu potencial efeito, bem como para prever cenários futuros (Chuvieco,2009).

A maioria dos incêndios florestais é causada essencialmente pela actividade humana. São geralmente intencionais, causados pela conversão de terras, extracção de madeira, conflitos socioeconómicos sobre a questão do direito de uso e aproveitamento da terra, actividades de desmatamento (conversão de floresta em terras para agricultura e pastagens), fogos causados por populações que vivem em pequenos assentamentos dentro das florestas, por caçadores furtivos e outros tipos tradicionais de uso do fogo (Rawat,2003).

Os incêndios que ocorrem na estação seca são um factor determinante para o processo de sucessão da vegetação e do solo. A principal fonte de combustível para os incêndios são os estratos herbáceos secos, bem como outro material seco depositado no solo a superfície (Malmer,2007).

Moçambique é um País relativamente rico em florestas naturais e habitats de fauna bravia. A área produtiva florestal, ou seja, com potencial para produção de madeira foi estimada em cerca de 20 milhões de hectares (Marzoli,2007) citando (Saket 1994). O mais extensivo tipo de floresta ocupando aproximadamente 50% do território, é a chamada floresta de miombo (Marzoli, 2007).

Muitas das espécies que constituem a floresta de miombo, estão adaptadas a perturbação causada pelo fogo antropogénico. Estas espécies evoluíram neste contexto de perturbação antropogénica durante milhares de anos. As espécies latentes durante o período seco, são um exemplo de tal adaptação. Quando um ecossistema contém tais espécies tolerantes ao fogo pode ser considerado um ecossistema propenso a incêndios (Käll,2006).

Na maioria dos países do mundo, em particular da África Sub_Sahariana, as queimadas fazem parte do modo de vida das populações rurais como meio de gestão da terra e dos recursos naturais. Muitas destas queimadas acabam tornando-se descontroladas, devido às proporções que atingem, por desconhecimento das melhores práticas para o seu controlo e as vezes por simples negligência dos seus autores.

Em Moçambique o problema de queimadas descontroladas está relacionado com a prática de actividades agrícolas impróprias, caça, necessidade de combustível lenhoso, principalmente em grandes aglomerados populacionais, questões socioculturais, resultando na destruição da biodiversidade e dos habitats, na perda da fertilidade dos solos, entre outros (MICOA,2007).

A combinação de falta de recursos e a necessidade de satisfação das exigências básicas de sobrevivência, têm conduzido à utilização indevida dos recursos naturais disponíveis, com implicações graves para o ambiente provedor e dependente desses mesmos recursos.

É necessária uma abordagem que integre características ecológicas e socioeconómicas para o planeamento e gestão florestal dos fogos. É óbvio que a abordagem global do fenómeno requer o uso de novas tecnologias para obtenção, processamento e apresentação da informação espacial em tempo útil. Este é o objectivo fundamental do uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) no planeamento e gestão florestal dos fogos (Chuvieco & Congalton 1989).

Os SIG têm a vantagem da habilidade computacional no que diz respeito ao armazenamento, processamento e análise de grandes volumes de dados espaciais (Burrough 1987). Portanto, faz com que seja possível actualizar ou recuperar informação espacial, assim como derivar modelos cartográficos pela combinação em diferentes formas das camadas de informação incluídas na base de dados. A investigação dos fogos florestais é uma das principais aplicações dos SIG.

A diversificação dos factores que afectam o início e a deflagração de fogos florestais ditam o uso aproximado de análise integrada (Chuvieco & Congalton, 1989). Considerando o dinamismo intrínseco deste fenómeno, a detecção remota é também válida para este tipo de estudos (Chuvieco & Congalton, 1989). Ela providencia uma rápida avaliação do estado da vegetação assim como uma análise dos efeitos do fogo sobre o ambiente. Os SIG e a detecção remota providenciam ferramentas que nos permitem extrapolar fenómenos no espaço, ou seja simulam o funcionamento de processos ambientais (Skidmore, 2002).

A floresta de Miombo forma uma eco-região, e é de importante destaque para a conservação (Byers,2001). Com uma área superior a 3 milhões de km² (essencialmente constituída pela floresta tropical seca) estende-se desde norte de Angola e sul da República Democrática do Congo, até a mata tropical da África do Sul (Timberlake,2004).

Estas áreas suportam algumas das mais importantes e prósperas populações dos grandes mamíferos tais como rinoceronte negro (*diceros bicornis*), elefante africano (*loxodonta africana*) entre outros. Mais de metade das cerca de 8500 espécies de plantas existentes nesta eco-região são únicas e não se encontram em nenhum outro lugar no planeta (Timberlake & Chidumayo,2011).

Grande parte da eco-região, incluindo a Reserva Nacional do Niassa (RNN), encontra-se no Planalto Central Africano, uma área plana de florestas e

pastagens (Timberlake et al. 2004). Os impactos primários e directos sobre esta eco-região advêm do rápido crescimento populacional e a sua demanda pelas terras agrícolas. A frequência das queimadas dentro da RNN constitui já factor de preocupação. Embora as florestas de miombo tenham características de adaptabilidade ao fogo, a frequência e as extensões abrangidas pelas queimadas dentro da reserva podem a longo prazo afectar a sua estrutura e composição vegetal. Adicione-se ainda o facto de as queimadas serem uma ameaça para a floresta húmida típica do topo da montanha de Mecula que possui espécies florestais únicas e de significativo valor e carisma a nível do continente Africano (SRN,2006)(Ribeiro,2007).

1.2. Objectivos

O objectivo principal deste projecto é desenvolver uma metodologia para a elaboração de um modelo de risco de incêndio para a Reserva Nacional do Niassa, através dos seguintes objectivos específicos:

- desenvolver o modelo usando o efeito combinado dos diferentes factores tais como, combustível, topografia, proximidade as vias de acesso, clima; densidade dos elefantes;
- analisar o peso de cada parâmetro bem como o contributo ou importância no processo de ignição de um incêndio florestal;
- produzir mapas de frequência, probabilidade, susceptibilidade, vulnerabilidade e valor económico dos recursos;
- produzir uma carta de risco que represente a variabilidade espacial do risco de incêndio na Reserva;

1.3. Definição do Problema

A RNN é uma das áreas de conservação mais antigas de Moçambique, com 4.2 milhões de hectares, possui a maior abundância de mamíferos do país, e uma grande diversidade de habitats. Devido à sua impressionante riqueza em termos de biodiversidade, cultura e história, é uma área prioritária para conservação.

As queimadas constituem a prática rural largamente utilizada para diferentes fins. Estas queimadas descontroladas podem ser provocadas pela má gestão do fogo durante a abertura dos campos para agricultura e limpeza dos arredores das residências como forma de protecção contra os animais ferozes, a produção de mel é também umas das principais causas. Importa igualmente referir a existência de caçadores furtivos que durante a sua actividade ilícita usam o fogo como meio para deslocar os animais. As queimadas, especialmente quando desencadeadas durante a época seca e quente, são, a longo prazo, bastante prejudiciais para a maioria dos habitantes e espécies existentes.

No caso específico da RNN (Ribeiro 2007), considerando um período de análise de 5 anos, refere que apenas em 7% do território da Reserva não se registam queimadas. Essas áreas correspondem a áreas montanhosas onde a actividade humana é praticamente inexistente.

Desse modo a elaboração do modelo proposto representando cenários de risco de incêndio florestal visa dar subsídios ao monitoramento e planeamento de acções de controlo e combate a incêndios nesta unidade de conservação, pretende-se que esse seja um instrumento no combate aos incêndios florestais, que se pretende esteja adaptado à realidade local.

1.4. Esboço da organização do Projecto

A dissertação inicia-se com um capítulo introdutório, onde se descrevem os principais objectivos e o problema que serve de base ao desenvolvimento deste trabalho. No segundo capítulo será feita uma descrição da área de estudo incluindo a localização geográfica e a sua caracterização física.

O terceiro capítulo corresponde a revisão de literatura. O quarto capítulo corresponde a descrição dos métodos e materiais. É feita inicialmente uma descrição dos dados utilizados no projecto no que diz respeito a sua origem, caracterização, análise dos benefícios da sua utilização no próprio modelo. É também feito neste capítulo a definição das especificações técnicas necessárias para a sua correcção (caso necessário) com o objectivo de os utilizar em ambiente SIG. São igualmente abordados os métodos usados para a concretização do modelo e respectiva validação.

No quinto capítulo inicia-se a parte prática deste projecto. Desenvolve-se o projecto de modelação, são descritos todos os passos que serão dados desde a criação da base de dados, passando pela modelação propriamente dita até a validação do resultado final. O último capítulo refere-se as conclusões e as recomendações.

2. ÁREA DE ESTUDO

Este capítulo inicia essencialmente com uma caracterização geral da reserva, e consiste numa abordagem relacionada com o espaço físico que caracteriza a RNN. O conhecimento do espaço físico auxilia na selecção das variáveis que farão parte do modelo risco de incêndio, daí a importância da inclusão deste capítulo. Além disso serão igualmente caracterizadas as actividades antrópicas dentro da reserva.

2.1. Localização

A RNN fica situada no norte de Moçambique (figura 1) na fronteira com Tanzânia. É uma das maiores áreas protegidas em África com 42 000 km² (Begg & Begg 2010), considerada uma das "últimas áreas selvagens", é igualmente um dos lugares menos desenvolvidos em África.

A RNN faz parte de uma rede de áreas protegidas em Moçambique que cobre aproximadamente 115 000 km². Representa aproximadamente 36% do total da área que foi formalmente designada para conservação, constituindo um património nacional significativo e contribuindo, por exemplo, para dar forma ao compromisso que o País assumiu com a Convenção da Diversidade Biológica (SRN,2006).

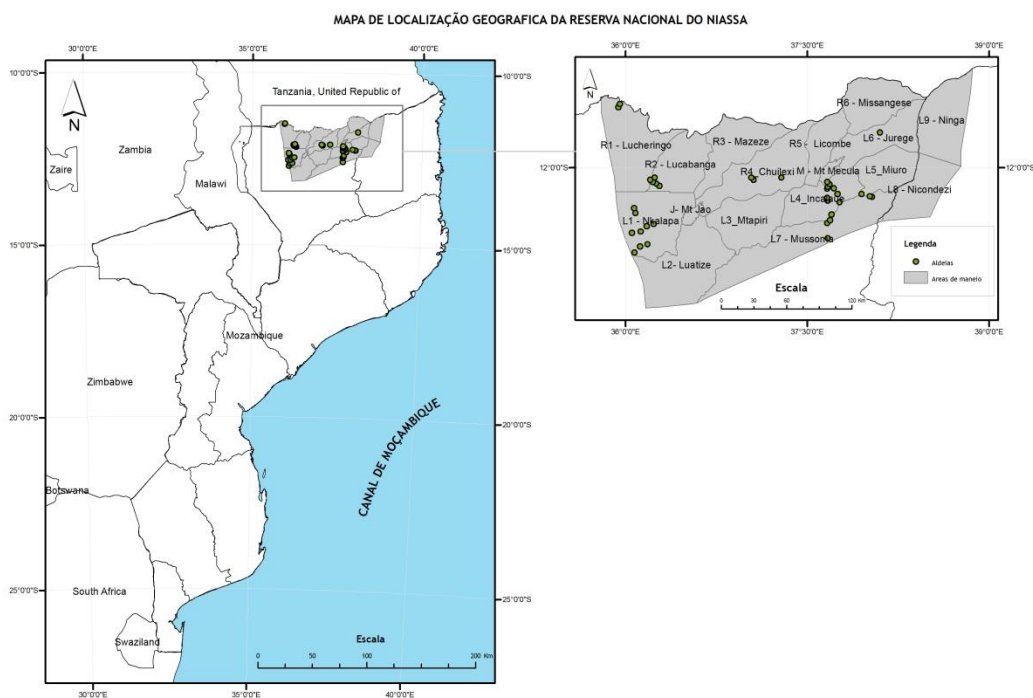


Figura 1 - Mapa de Localização Geográfica da Reserva Nacional do Niassa

2.2. Assentamentos humanos e modo de vida

A população da RNN tem sido deduzida a partir dos registos dos serviços administrativos do distrito de Mecula. Actualmente estima-se em mais de 40.000 pessoas a residirem em mais de 50 aldeias na Reserva Nacional do Niassa (SRN,2013). A distribuição da população é irregular, i.e., Reserva está mais densamente povoada na parte oriental, desde a localidade de Lugenda (Mussoma), seguindo a via que passa por Mecula-Sede até Gomba.

A agricultura é a actividade económica é subsistência, e são complementares a pesca, a colecta de mel, a caça, a venda de objectos de arte e ainda a construção de casas. O comércio é caracterizado pela venda do excedente agrícola, do peixe e de produtos como o mel e peças de caça e ainda produtos manufacturados (MAE,2005).

Há dois modos de produção de culturas, nomeadamente, a de subsistência (satisfação das necessidades alimentares da família) e a comercial. As parcelas de cultivo situam-se junto às vias de acesso ou nas proximidades. Contudo, a existência de assentamentos dispersos contribui para que estas se situem onde há presença humana e, o tamanho médio das parcelas varia entre 1.5ha e 2ha (Fonseca,1998) .

Ao longo de décadas de tradição, as famílias locais têm vivido em grupos relativamente isolados dedicando-se a uma agricultura itinerante de subsistência. Embora os assentamentos populacionais se tenham tornado mais nuclearizados quer ao longo do período colonial quer nos anos mais recentes do pós-independência, como resultado de políticas específicas de assentamento populacional (aldeamentos forçados e aldeias comunais respectivamente), a agricultura de subsistência continuou a ser a forma primária de uso da terra e a actividade económica de maior relevo (Fonseca,1998).

Existe alguma troca de excedentes de culturas alimentares bem como de tabaco produzido em solos húmidos aluviais, que contudo dificilmente pode ser descrita como actividade de carácter meramente comercial. Embora o algodão seja de grande importância noutras zonas da Província, somente nos anos 70 se produziu e comercializou algodão a Oeste e Sul de Mecula, tendo esta prática desaparecido virtualmente dez anos depois. Actualmente as principais culturas desenvolvidas são o milho, o arroz, a mandioca e o feijão.

Estas culturas alimentares são complementadas pelo plantio de diversos vegetais e frutas e pela colecta de uma gama de recursos naturais e florestais como sejam, o peixe, a carne de caça, o mel, plantas e frutos indígenas, raízes, madeiras e capim.

As populações são maioritariamente do grupo étnico Ajaua (Yao) seguindo-se o grupo étnico Macua, sendo harmonioso o relacionamento entre ambos. As línguas dominantes são o Ajaua e o Macua no Sul e Leste e o Swahili,

particularmente a Norte. A língua portuguesa é mais comum nos assentamentos junto de áreas administrativas e vilas onde existem instituições e funcionários governamentais. Em termos de religião, a maioria é muçulmana com uma minoria cristã, mas ambos se integram nos cultos tradicionais ligados aos espíritos dos antepassados. Os Régulos asseguram o exercício da liderança tradicional e há um relacionamento espiritual forte entre as comunidades locais e o seu meio ambiente. Embora os mapas indiquem assentamentos populacionais nuclearizados, na realidade a extensão das áreas habitadas varia com as estações do ano (Fonseca,1998).

2.3. Clima

O clima do Niassa é de tipo tropical húmido, com precipitações durante a estação quente (Novembro-Abril) sob a forte influência das correntes quentes das Agulhas, no Indico. Prevalecem os ventos costeiros que transportam ar carregado de humidade com as consequentes chuvas características das tempestades do tipo convexo. Este fenómeno é acentuado pela presença de inúmeros *inselbergs* na paisagem circundante que estimulam a humidade orográfica.

As chuvas anuais variam de 1400 mm ou mais na montanha de Mecula até uma precipitação tão baixa quanto os 600 mm, nos vales dos rios Rovuma e Lugenda. A montanha de Mecula é suficientemente grande para causar um aumento de precipitação nas zonas das imediações mais próximas (SRN,2006).

2.4. Hidrografia

A Reserva Nacional do Niassa possui um sistema hidrológico extenso, projecta-se para Norte e para Sul, a partir de uma linha divisória central ao longo da coluna vertebral da Reserva, até à confluência dos rios Rovuma-Lugenda.

Este sistema alimenta um grande número de rios e cursos de água permanentes ou sazonais, assim como uma rede de dambos bem desenvolvida

e que inunda sazonalmente. Os rios principais são o rio Rovuma, com os seus rios tributários Lucheringo, Messinge e Chiulezi; e o rio Lugenda com os seus rios tributários: Luatise, Luambala, Luchimua e Lureco.

Com um caudal médio de 356 m³/seg, as bacias hidrográficas conjuntas do Rovuma-Lugenda, são consideradas as segundas maiores em Moçambique, a seguir à de Marromeu que escoam para o rio Zambeze, com um volume dez vezes superior ao acima mencionado (3 558 m³/seg). O sistema do Rovuma-Lugenda foi também identificado como uma importante zona de captação de água de crucial importância para a conservação da Biodiversidade. Existe na Reserva um conjunto de pequenas zonas de captação, das quais as maiores foram identificadas. A montanha de Mecula representa uma importante faceta na hidrologia da Reserva. Conforme foi referido na secção relacionada com o clima, é suficientemente alta para gerar chuvas orográficas nas áreas circunvizinhas. Isto quer dizer que representa também um recurso de água permanente alimentando cursos de água que escorrem ao longo das suas encostas. Os dois cursos mais importantes são o Ncuti e o Licombe.

O sistema de drenagem da Reserva pode ser subdividido num número de importantes zonas de captação de água ou bacias hidrográficas. Cada uma destas bacias, forma o coração das “unidades ecológicas” que foram utilizadas na definição de unidades de gestão conforme delineadas no Plano de Zoneamento (SRN,2006).

2.5. Vegetação

Segundo (Timberlake,2004) a vegetação da reserva do Niassa pode ser dividida em 4 quatro grupos principais (anexo 6):

- Floresta decídua;
- Bosques ribeirinhos e matagal;
- Vegetação dos Inselbergs;
- Vegetação da Serra de Mecula.

A floresta decídua cobre cerca 95% da área de estudo. Na sua maioria são constituídas por florestas de miombo, dominado por três (3) espécies de *Brachystegia* ou *Julbernardia* com uma camada de capim bem desenvolvida por baixo. No lado oeste da reserva, a floresta de miombo é significativamente mais densa e as árvores possuem uma altura maior em relação ao este. Esta é provavelmente uma indicação de maior pluviosidade, ou de solos com alto teor de argila na parte ocidental.

A floresta de Miombo é mais comum em solos mais arenosos em terrenos mais altos, e é particularmente bem desenvolvida ao longo da bacia Mecula-Mbatamila (Timberlake 2004).

Aqui é intercalada com um número de campos hidromórficos ou dambos. Estas pequenas pradarias aparecem intercaladas no Miombo e o seu estrato graminoso é formado por *Eragrostis sp.*, *Aristida sp.*, *Sporobolus sp.*, *Heteropogon sp.*, *Rhynchelytrum sp.*, e outras (Fonseca 1998).

Em áreas relativamente mais secas (com solos rasos ou com menos capacidade de armazenamento de humidade do solo), a floresta cobre menor área e é mais aberta. Espécies *Combretum* e outras são comuns, com menos *Brachystegia* ou árvores *Julbernardia*. Isto é, representam quase um tipo de transição da floresta.

Nas proximidades do Rio Lugenda ocorre um tipo mais seco de floresta dominada por *Millettia Stuhlmannii*. Esta floresta de *Millettia* é intercalada com vegetação do tipo mais seco - *Acácia Welwitschii*, em áreas arborizadas constituídas essencialmente por argila, e manchas muito pequenas de *Euphorbia* (Timberlake, 2004). Existem pequenas comunidades florestais isoladas que ocorrem nas montanhas, especialmente na montanha de Mecula, e inselbergs encontrados em toda a reserva (Ribeiro, 2007).

2.6. Geologia e Geomorfologia

Segundo (Fonseca 1998) a RNN é abrangida pela “ cinturão de Moçambique, Província de Moçambique – Pré-câmbrico”. Entre Mecula-Sede e Gomba encontra-se uma considerável mancha, pertencente ao período entre o karroo e o recente. Distribuídos por quase toda extensão da Reserva encontram-se os inselbergs, onde se destaca a Serra de Mecula com 441 m de altitude e 45 km de extensão na direcção SW-NE.

Segue-se o monte Jau com 1336 m, o Missinginge com 1002m, o Mbamba com 1105 m, o Matondovela com 1180 m, outros com altitudes variando entre os 500 a 1000 metros constituídos pelos montes Messiringe, Lukwisi, Nopocuro; Depois os baixos planaltos com altitudes que variam dos 200 a 500 metros, essas áreas são de origem vulcânica e pertencem ao pós-karoo.

Identificam-se na RNN planícies de origem de acumulação, depressões erosivo-desnudadas e de acumulação, superfícies aplanadas que cortam as estruturas da plataforma sub-horizontal de origem de acumulação e superfícies de cumes e cristas de origem intrusivo-tectónica e erosivo- desnudada. Os principais agentes de modelação do relevo são os cursos de água através da erosão e deposição.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Fogo e Incêndios florestais

O fogo é um componente natural de muitos ecossistemas florestais, porém os incêndios florestais podem representar ameaças significativas à segurança pública e dos recursos florestais (Martell 1998).

Segundo (Rawat,2003) fogo é uma rápida combinação de combustível, calor e oxigênio. Para (Cochrane & Ryan 2009) numa perspectiva mecânica é simplesmente o calor e a luz gerada pela combustão. A combustão é acompanhada pela libertação de grandes quantidades de calor. No entanto uma fonte externa de calor é necessária para iniciar um fogo (Davis & Byram 1959).

Existe a necessidade de distinção entre os conceitos de fogo e incêndio florestal. Segundo (Morgera & Cirelli 2009) incêndio florestal é portanto, qualquer fogo não planejado e descontrolado, que ocorre em espaços florestais independentemente da fonte de ignição. Um incêndio florestal é definido pela FAO como qualquer ocorrência fogo em áreas naturais, exceptuando fogos controlados (FAO 2012). Na mesma linha (ICMBIO 2010) refere que Incêndio florestal é todo fogo sem controlo que incide sobre qualquer forma de vegetação, podendo tanto ser provocado pelo homem (intencional ou negligência) como por causa natural. Para (Cochrane & Ryan 2009) Incêndios florestais referem-se a todos os fogos não estruturados em regiões com nenhum ou pouco desenvolvimento.

2.7. Causas dos Incêndios Florestais

(Rawat 2003)(Cochrane & Ryan 2009) referem que os fogos florestais podem ser classificados segundo a sua origem e portanto podem ser naturais ou antropogénicos. Quanto aos incêndios de origem natural o clima e a cobertura vegetal são as principais razões para a ocorrência de um incêndio florestal (Rawat 2003). O clima é um componente fundamental neste processo.

(Chuvienco 2009) refere que a seca prolongada e as altas temperaturas na estação de verão são os condutores típicos que demarcam a fronteira temporal e espacial da época dos incêndios. A ignição pode igualmente ser causada por raios antes, durante as tempestades, ou faíscas produzidas pela queda de pedras e deslizamentos de terras (Rawat 2003).

No entanto no que diz respeito a incêndios causados pelo homem (Cochrane & Ryan 2009) afirmam que estes podem ser acidentais ou intencionais.

A prática da queima da vegetação natural, com finalidades diferentes, tem origens muito remotas. Ao longo da história, o fogo tem sido usado em alguns sistemas socioeconómicos como uma forma de regenerar as pastagens, eliminação de espécies de animais nocivos, suprimindo a vegetação natural para transformar em áreas agrícolas (Chuvienco 2009). Os resultados mostram que o padrão espacial dos focos de ignição estão fortemente associados ao acesso humano à paisagens naturais, proximidade a áreas urbanas, e as estradas são os factores causais mais importantes (Romero et al, 2008).

Segundo (MICOA 2007) em Moçambique estas práticas estão relacionadas com práticas de actividades agrícolas impróprias, caça, necessidade de combustível lenhoso principalmente em grandes aglomerados populacionais, questões socioculturais, resultando na destruição da biodiversidade e dos habitats, na perda da fertilidade de solos, entre outros.

2.8. Factores que contribuem para ocorrência de incêndios

Os factores determinantes para a ocorrência de um incêndio são: o material combustível, as variáveis climáticas e o relevo (Onigemo 2007), no entanto (Vega-Garcia et al. 2009)(Chuvienco 2009) referem que a presença humana representa igualmente um factor determinante para ocorrência de incêndios florestais. Para as florestas de miombo a ocorrência de incêndio esta muito associada herbívoros pelos elefantes (Ribeiro 2007) (Mapaure & Moe 2009) (Dublin et al. 1990) (Barnes et al. 1983). No caso específico da RNN (Ribeiro

2007) indica mais dois factores que contribuem para a ocorrência de incêndios são eles a proximidade as vias de acesso e a extracção de mel.

2.8.1. Topografia

Segundo (Kumar et al. 2002) a topografia é um importante factor fisiográfico, que esta relacionado com o comportamento do vento e portanto, afecta a propagação do fogo. Apesar de ser um elemento fixo implica significativas mudanças no perigo de incêndio (Oliveira 2002). Costuma-se dizer que a "topografia faz o clima" e determina o tipo de combustível numa região.

Em encostas mais íngremes, a taxa de propagação do fogo aumenta, uma vez que as chamas descrevem uma trajectória com tendência a inclinarem-se para o solo e portanto o efeito do vento pode fornecer calor ao processo de convecção para o fogo produzido (Adab et al. 2011).

Os impactos da elevação, direcção e o declive no comportamento do fogo têm sido igualmente reportados na literatura (Byram,1959). Entre eles o declive é considerado como sendo o factor crítico. Os declives acentuados aumentam a velocidade de propagação por causa da maior eficiência no pré aquecimento e ignição nos pontos de contacto. O declive tem também maior efeito na supressão do fogo porque afecta os materiais rolantes e segurança (Byram 1959).

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

2.8.2. Material combustível

Material combustível florestal pode ser definido como qualquer material orgânico, vivo ou morto, no solo ou acima deste, capaz de entrar em ignição e queimar (Batista,2000) ou tudo que é susceptível de entrar em combustão (madeira, papel, alguns metais, etc.) (Motta,2008).

O material combustível é um dos elementos fundamentais para a ocorrência e propagação de incêndios, não há possibilidade de ocorrência de fogo se não houver combustível para queimar (Oliveira,2002). É um dos componentes do triângulo do fogo (figura 2).



Figura 2-Triângulo do fogo. Extraído de (Motta 2008)

Segundo (Castro et al. 2003) os combustíveis podem dividir-se em dois grandes grupos: vivos e mortos. Segundo o mesmo autor existem diferenças fundamentais entre uns e outros. Enquanto que nos combustíveis vivos a quantidade de água é elevada e não baixa para além de um certo limite, nos combustíveis mortos o teor em água é muito baixo e, além disso, varia com a humidade do ar. Com efeito, se a humidade do ar é muito baixa, nos combustíveis mortos a humidade também é baixa, e, pelo contrário, se a humidade atmosférica é elevada, então, a humidade dos combustíveis mortos

tem tendência a ser elevada. São exemplos a caruma dos pinheiros, a erva seca, os ramos, os troncos e as folhas mortas caídas das árvores.

(Martins 1998) divide-os em função das suas características nomeadamente: tamanho, quantidade e intensidade.

- Tamanho: Os combustíveis leves constituídos de pastagens de gramíneas, herbáceas, cerrados limpos, pastagens nativas – produzem incêndios de maior velocidade de propagação do que os combustíveis pesados como troncos, tocos e raízes.
- Quantidade: A descontinuidade horizontal da vegetação retarda a propagação do fogo. Já a sua continuidade vertical aumenta a probabilidade de ocorrência de incêndios de copa.
- Intensidade: A velocidade de propagação varia em proporção directa com o peso do combustível disponível. Quando seu peso duplica, a intensidade quadruplica.

Para (Oliveira 2002) os combustíveis são classificados basicamente em função do diâmetro. Com relação ao tipo e periculosidade, os combustíveis florestais são classificados em perigosos (combustíveis mortos com diâmetro menor que 1,0 cm), semi-perigosos (combustíveis mortos com diâmetro maior que 1,0 cm) e verdes (combustíveis vivos).

2.9. Factor Climático

As florestas e os incêndios florestais são fortemente afectados pela variação climática (Batista 2000)(Castro et al. 2003)(Martins 1998)(Tamiozzo & Torres 2006). Elementos meteorológicos, tais como: temperatura, humidade relativa, vento e precipitação (Motta 2008), têm efeitos característicos sobre o comportamento do fogo, influenciando decisivamente a ignição e a propagação dos incêndios (Batista 2000) (Martins 1998)(Motta 2008).

A ocorrência dos incêndios está sempre associada a períodos sem chuva. Existe uma forte correlação entre ocorrência de grandes incêndios e prolongados períodos de seca. Longos períodos de estiagem afectam o potencial de propagação dos incêndios de diversas maneiras, principalmente pela secagem progressiva do material combustível morto, podendo, inclusive, afectar o teor de humidade da vegetação (Leonardo et al. 2011). Sendo assim, a precipitação é factor essencial na redução do potencial de ocorrência e propagação dos incêndios, chegando até mesmo a zero, dependendo da quantidade de água precipitada. (Soares 2003).

O vento afecta o comportamento do fogo de várias maneiras. O vento leva para longe o ar carregado de humidade, acelerando a secagem dos combustíveis. Ventos leves auxiliam certos materiais em brasa a dar início ao fogo (Batista 2000). Uma vez iniciado o fogo, o vento auxilia a combustão pelo aumento do suprimento de oxigénio. O vento alastra o fogo através do transporte de materiais acesos ou aquecidos para novos locais e inclina as chamas para perto dos combustíveis não queimados que estão na frente do fogo. A direcção da propagação é determinada principalmente pelo vento (Byram 1959).

A radiação solar tende a aumentar a temperatura ambiente, com isso há um decréscimo na humidade relativa do ar, visto que pelas leis da termodinâmica, um corpo ao adquirir calor, tende a expandir-se, com o ar não é diferente, com o ganho de calor, ele se expande e com isso abre espaço para uma maior quantidade de humidade. Como a humidade relativa do ar é a diferença entre sua concentração e o total que esse ar comporta, os valores relativos vão diminuir (Tamiozzo & Torres 2006). Com isso, o cenário climático do período de maior ganho energético (12 às 16 h) implica uma maior insolação, maior temperatura e menor humidade relativa do ar, favorecendo às ocorrências de incêndios (Tamiozzo & Torres 2006).

3.3.3. Presença Humana

A prática da queima de vegetação natural com diferentes propósitos tem origens muito remotas (Chuvienco 2009). Actualmente as actividades humanas são responsáveis a nível mundial pela maioria dos focos de ignição relativamente aos incêndios florestais (Garcia et al. 2009). (Novillo 2008) refere que os padrões espaciais dos focos de ignição estão fortemente associados ao acesso humano as paisagens naturais, proximidade as áreas urbanas e as estradas. No relatório da FAO (FAO 2006) o desmatamento e outras actividades agrícolas, juntamente com negligência e fogo posto são apontadas como as causas do fogo antropogénico.

Em Moçambique as queimadas constituem a prática rural largamente utilizada para diferentes fins tais como: i) a limpeza de campos agrícolas, ii) abertura de caminhos para facilitar a circulação das populações, iii) visibilidade da mata, iv) caça, v) colheita de mel, e vi) produção de carvão, vii) renovação das áreas de pastagem, viii) redução de material combustível, ix) controlo de espécies vegetais indesejáveis e x) controlo de pragas e doenças (MICOA 2007).

3.3.4. Herbívoros pelos elefantes

Apesar de muitos anos de pesquisa, o impacto dinâmico do elefante (*Loxodonta africana* (Blumenbach)) sobre o meio ambiente é mal compreendida. A definição de políticas de gestão para lidar com populações excessivas de elefantes tem sido problemática devido à falta de dados (Chafota 1996). Muitas pesquisas de campo e alguns estudos de modelação têm demonstrado que os elefantes podem desempenhar um papel importante na dinâmica da estrutura e composição das florestas em África (Valeix et al. 2007).

Nos últimos 30 anos registou-se um declínio das florestas em parques e reservas (Dublin et al. 1990) citando (Pienaar 1969; Laws 1970; Caughley 1976). (Dublin et al. 1990) refere que a hipótese amplamente suportada, é que a perda de espaços florestais causada pela concentração anormal de elefantes

dentro das áreas de conservação é o resultado da expansão dos assentamentos populacionais e abertura de novas áreas para o cultivo.

Mudanças na paisagem de muitos tipos de floresta em África foram atribuídas directamente ao efeito interactivo de elefantes e fogo (Ribeiro 2007) citando (Buechner and Dawkins, 1961; Laws, 1970; Guy, 1981, 1989; Mapaire and Campbell, 2002; Sukumar, 2003; Walpole et al., 2004).

Segundo (Skarpe et al. 2004) uma das formas mais importantes pelas quais grandes herbívoros interagem com o ambiente é afectando a distribuição e disponibilidade de nutrientes. A probabilidade de morte de uma espécie está muito relacionada com a aridez, tipo de solo, tamanho da árvore, estado nutricional e a resposta de espécies lenhosas aos danos causados pelos elefantes (Chafota 1996).

3.4. Florestas de Miombo

3.4.1. Caracterização da floresta de Miombo

Miombo é um termo usado para descrever as florestas centrais, do sul e leste africano, onde predominam os géneros *Brachystegia*, *Julbernardia* e *Isoberlinia* (White 1983). Esta predominância torna-as distintivas em relação a outros tipos de floresta existentes em África (Frost 1996). O miombo representa um bioma significativo com uma área de cobertura equivalente a 10% da massa do continente (Malmer 2007), e esta representada em 7 países (Figura 3) nomeadamente Angola, Zimbabwe, Zâmbia, Malawi, Moçambique, Tanzânia e a maior parte do sul da República Democrática do Congo (Käll 2006)(Deweese et al. 2010)(Ribeiro et al. 2008).

Com uma cobertura estimada em 2.7 milhões de km² é o tipo de vegetação mais extensivo em África (Giliba et al. 2011), esta integrada na eco-região do miombo com uma cobertura de 3.6 milhões de km² (Timberlake & Chidumayo

2011)(Byers 2001) e suporta das mais importantes e prosperas populações de grandes mamíferos em África (Timberlake & Chidumayo 2011).

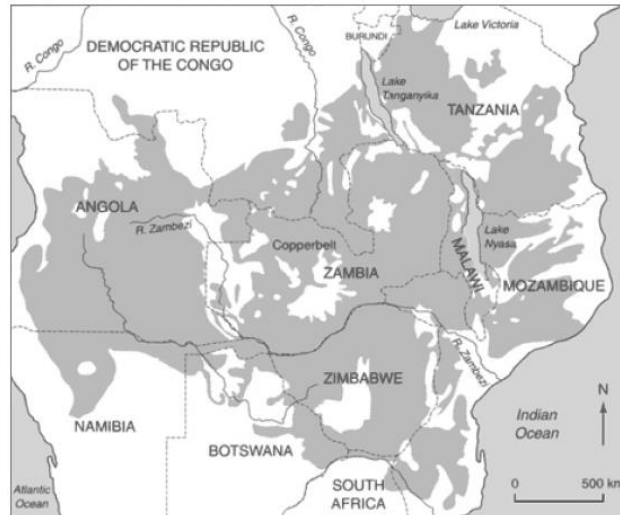


Figura 3-Distribuição das florestas de miombo, Extraído de (Malmer 2007).

(White 1983)(Käll 2006)(Frost 1996)(Ribeiro 2007) dividem as florestas de miombo em dois grupos: florestas de miombo húmidas e Secas. Nas florestas húmidas do miombo a altura do dossel é geralmente maior do que 15 m, reflectindo os solos geralmente profundos e húmidos, que criam condições favoráveis para o crescimento. A vegetação é floristicamente rica e inclui quase todas as espécies características do miombo.

B. floribunda, *B. glaberrina*, *B. longifolia*, *B. wangermeeana* e *Marquesia macroura* são reportadas na literatura (Ribeiro,2007)citando (White,1983) como estando largamente distribuídas. As florestas secas de miombo ocorrem no sul de Malawi, Moçambique e Zimbabwe, a altura do dossel é inferior a 15 m, a vegetação é floristicamente empobrecida (Frost 1996). *Brachystegia spiciformis*, *B. boehmii* e *Julbernardia globiflora* são as espécies dominantes (Ribeiro. et al. 2008).

As florestas de miombo estão situadas na zona subtropical húmida do sul de África. Dois terços (2/3) da região se enquadram no clima Cw classe climática de Köppen² (Frost 1996), código que designa clima quente com inverno seco (Cubasch & Roecknerl 1993). Cerca de 10-90% da precipitação média anual e temperatura média anual é 710-1365 mm e 18,0-23,1 ° C respectivamente como refere (Frost 1996).

Para a RNN estão reportados valores de precipitação média anual na ordem de (900mm) que aumenta a medida que nos deslocamos de este (800mm) para oeste (1200mm) e temperatura média anual de 25o C que oscila entre os 20 e 26 o C durante a época seca (Ribeiro. et al. 2008).

Os solos da floresta miombo são geralmente lixiviados, arenosos e pobres em nutrientes (Backéus et al. 2006) (Walker & Desanker 2004), ocorrem em solos geologicamente velhos com baixa fertilidade, com uma acides (pH 4-6) (Chidumayo 1999), os solos têm uma ampla gama de propriedades minerais, mas meio de pH, capacidade de troca catiónica é baixa (Frost 1996).

Além de secções de inselbergs ou escarpas geomorfológicas são dominadas por superfícies velhas de baixo-relevo. Nessas áreas, o balanço do intemperismo e erosão ao longo tempo produziu solos relativamente profundos com uma profundidade superior a 3 metros (Malmer 2007).

A distribuição da floresta de Miombo é em grande parte coincidente com as paisagens onduladas que formam o planalto Central Africano. Geologicamente o planalto é constituído por rochas do pré-câmbrico (Frost 1996).

² Sistema de classificação climática desenvolvido em 1923 pelo cientista russo Wladimir Köppen baseado no princípio que a vegetação nativa é melhor forma de expressar o clima (Cubasch & Roecknerl 1993).

3.4.2. O efeito do fogo e dos elefantes nas florestas de Miombo

Os problemas básicos de gestão das grandes manadas de elefantes são devido a uma mudança fundamental no uso da terra e estilos de vida que tiveram lugar em África desde o século passado. A maioria das áreas de conservação em África formam "ilhas ecológicas" assim designadas por (Martin & Taylor, 1983) por estarem completamente cercadas por assentamentos humanos (Chafota 1996).

Numerosos aspectos afectam a estrutura e composição do miombo, por conveniência (Schwartz & Caro 2003) categorizam-nas em dois grupos: factores abióticos incluindo componentes edáficos onde se enquadra o fogo, e factores bióticos onde se enquadra a herbívoros especialmente pelos elefantes.

A gravidade do impacto do elefante sobre a vegetação depende muito do tipo de impacto, uma vez que como refere (Bell, 1985) este pode variar desde o desraizamento, derrube da própria árvore até ao retirar da casca. Os géneros mais susceptíveis são *Acacia*, *Commiphora* e *Adansonia* (Bell, 1985).

O comportamento destrutivo dos elefantes (maioritariamente por parte dos machos, Campbell 1996) aumenta a mortalidade de árvores e pode resultar na conversão de floresta em áreas com maior predominância de gramíneas (Koppel & Prins 1998). Influenciando a estrutura e composição da vegetação bem como o regime do fogo, os elefantes podem alterar a disponibilidade e distribuição de alimentos para outros herbívoros, afectando igualmente a distribuição de nutrientes (Skarpe et al. 2004).

O efeito dos elefantes e do fogo sobre as árvores variam de acordo com o seu tamanho (Vijver et al. 2007), este factor é referido igualmente por (Chafota 1996) como estando relacionado com o aumentando da probabilidade de morte de uma espécie bem como a aridez e o tipo de solo. Estudos demonstram que

áreas com menor densidade de elefantes têm uma maior cobertura vegetal lenhosa em relação a áreas com maior densidade (Kageler 2003).

No entanto o motivo pelo qual os elefantes desencadeiam esse processo destrutivo ainda não é totalmente conhecido uma vez que como refere (Campbell 1996) nem todas as árvores derrubadas são necessariamente para satisfazer as suas necessidades de alimentação. Na RNN pesquisas anteriores revelam apesar da caça ilegal um aumento das estimativas do número de elefantes (Craig 2009). O estudo realizado por (Ribeiro et al. 2008) na RNN revela que os principais factores de distúrbios na floresta (anexo 7) são o fogo e os elefantes, e estes desempenham um papel fundamental na estrutura e composição do ecossistema desta área.

3.4.3. O valor do Uso da Floresta Miombo

Os países da região Sub_Sahariana são caracterizados por ter a maioria de sua população a habitar em áreas rurais (Andrew 2003)(Campbell 2000). Um pouco menos de 80% desses camponeses dependem das florestas de miombo, o uso desses recursos varia desde a utilização da madeira para lenha, postes, frutos silvestres, a medicina e muitos outros produtos florestais não-madeireiros (Andrew 2003) (Malambo & Syampungani 2008).

As florestas de miombo providenciam assentamentos para cerca de 100 milhões de africanos, que usufruem dos seus bens e serviços (Lupala 2009). A deflorestação e o aumento populacional são as principais causas do declínio das florestas de miombo, com graves consequências na disponibilidade de frutos silvestres, plantas medicinais e outros produtos vegetais (Akinnifesi et al. 2006). A situação actual, a qual conduz a degradação florestal, é muito complexa e fortemente influenciada por factores indirectos que são dificilmente endereçados (Hirsiger 2012). As actividades de subsistência incluem a agricultura em pequena escala, a produção de carvão vegetal, criação de animais e colecta de produtos florestais (Kalaba et al. 2012).

Em Moçambique e no Malawi, a área desmatada foi aproximadamente equivalente à área convertida para a agricultura. Na Zâmbia, Tanzânia e Zimbabwe, a área que foi desmatada ao longo do período foi muitas vezes maior área de terras agrícolas novas. Nesses países, enquanto que a expansão agrícola é claramente parte do processo, existem outros factores bastante significativos em jogo (The World Bank, 2008).

Aproximadamente 85% da alimentação humana vem somente de 20 espécies, que estão actualmente em sério declínio genético e cerca de 24% das 250000 espécies estão em grande risco de extinção. No entanto muitos países o sul de África estão a viver problemas sérios de subnutrição, insegurança alimentar, e baixos rendimentos entre a população urbana e peri-urbana, o que culmina com a desflorestação e perda de biodiversidade, no entanto as Florestas de Miombo é conhecida por possuir 75 árvores nativas de frutos, com muita riqueza de minerais e vitaminas, que são vendidas e também constituem uma importante segurança alimentar durante o período de fome e emergência (Akinnifesi, 1998).

3.4.4. Regime de queimadas das florestas de Miombo

Para (Hardy 2005) regime de fogo refere-se ao processo de fogo como agente perturbador. Descreve as condições históricas do fogo em que comunidades vegetais provavelmente evoluíram (Hardy et al. 1998) . Regime de fogo inclui os padrões de frequência, época, tipo, gravidade e extensão dos incêndios em uma paisagem (Bond & Keeley 2005) .

Para (Chuvieco et al. 2008) regime de fogo refere-se a condições médias de incêndio que ocorrem durante um longo período de tempo.

Densidade de fogo é normalmente medida como o número de incêndios dentro de uma determinada área. Frequência do fogo relaciona-se com o intervalo de retorno do fogo, medido numa escala de tempo, a intensidade do fogo e gravidade são associados com características de comportamento do fogo.

Todos estes componentes de incêndio afectam o impacto do fogo na vegetação e no solo (Chuvieco et al. 2008).

O regime de fogo é um componente vital na ecologia do miombo, os incêndios ajudam a manter a estrutura e composição de espécies da floresta, removendo a biomassa acima do solo e criando condições necessárias para a regeneração e para a convivência entre as gramíneas e as árvores (Bond & Keeley 2005).

O regime de fogo é descrito por vários aspectos espaciais e temporais. Os aspectos espaciais são incorporados no tipo de fogo e a extensão / área de fogo, enquanto as componentes temporais incluem frequência do fogo, intervalo de retorno fogo e a época de incêndios. Os aspectos espaciais e temporais são, então, combinados com a propagação do fogo e intensidade para produzir um regime de fogo (Bond & Keeley 2005).

A frequência média do fogo pode ser estimada e positivamente relacionada com a quantidade de cobertura vegetal, por exemplo nas zonas férteis onde se encontram as florestas húmidas de miombo na Zâmbia, as pradarias podem arder anualmente devido às fortes chuvas e as altas taxas de combustível (Chidumayo 1997).

Ao mesmo tempo a frequência de incêndios pode ser negativamente relacionada com a quantidade total de precipitação. Por exemplo, na savana semiárida da Namíbia fogo pode queimar a cada cinco anos, devido à elevada variabilidade inter-anual da precipitação. Em tais regiões, podem passar vários anos antes que haja precipitação suficiente para acumular a carga mínima de combustível necessária para sustentar um incêndio (Hely & Alleaume 2006).

Apesar da escassez de informação acerca da frequência do fogo, o período de retorno do fogo para a eco-região do miombo foi estimada por (Frost 1996) em aproximadamente 3 anos. Outros pesquisadores (Scholes et al. 1996, Barbosa

et al. 1999, Mouillot & Field 2005) obtiveram igualmente uma estimativa similar que foi de 2 anos.

Para compreender o regime do fogo na RNN (Ribeiro, 2007) utilizou dados do sensor MODIS referentes a um período de 5 anos (2001-2005).

Os resultados deste estudo indicam que a actividade de fogo na RNN começa por volta de Abril e regista o pico no final da estação seca (Agosto-Outubro). Mais de 50% da área queima por ano, com um intervalo de retorno de fogo médio de 1,54 anos. O sector nordeste queima durante todo o ano, e portanto é o sector onde a frequência é maior (figura 4), enquanto a região oeste queima principalmente no final da estação seca.

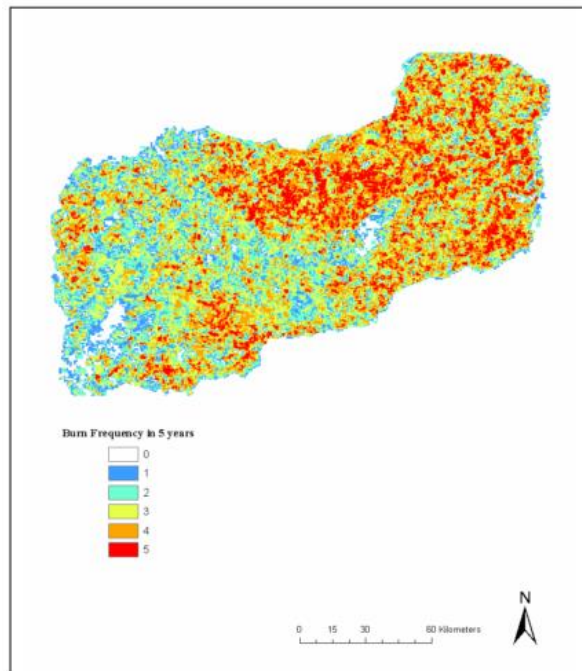


Figura 4 - Frequência de queimada na Reserva Nacional do Niassa, Extraído de (Ribeiro 2007)

3.5. Modelo conceptual e terminologia de risco de Incêndio

O risco é um fenómeno difícil de mensurar, e essa dificuldade estende-se quando se pretende usar a informação relativa ao risco para a tomada de decisão (Kane 1992). A análise do risco constitui o domínio científico e técnico cujo objecto é a identificação e análise dos diferentes factores de risco, e visa a promoção de medidas de prevenção, redução e mitigação de desastres (Tavares 2010). Constitui tema central de muitas disciplinas (Renn 2008), porém este facto faz com que existam múltiplas abordagens na definição do seu conceito e da sua terminologia (Cardona et al 2003). Dentre as áreas em que a análise do risco ganhou enfoque destaca-se a área dos desastres naturais (Renn 2008).

Para (Renn 2008) nas ciências naturais o termo risco parece estar claramente definido, ao contrário do que referem (Sjöberg 1999)(Mccaffrey 1994b) (Hardy 2005)(Schöning et al. 1997)(Verde 2008)(Varnes 1984)(Bachmann & Allgöwer 2001). Segundo (Mccaffrey 1994b) não é inteiramente surpreendente que haja dificuldade na definição de uma terminologia concisa. Segundo o autor a dinâmica da percepção do risco é complicada, uma vez que avaliar a exposição ao risco é uma tentativa de trazer algum nível de certeza para uma situação incerta (Mccaffrey 1994a).

Para (Sjöberg 1999) a incerteza está relacionada com a ausência de dados experimentais e uma compreensão teórica incompleta dos mecanismos por detrás do risco.

(Bostrom 1990)(Finney 2005) referem que as definições formais de risco geralmente abrangem duas dimensões: a probabilidade e magnitude do dano. Desde os anos 1920 que nos Estados Unidos da América os termos risco e perigosidade estão formalmente associados (Hardy 2005). (Wachinger et al. 2010) entendem que o risco refere-se a probabilidade de ocorrência de um efeito adverso resultante de um evento ou actividades.

A perigosidade por sua vez segundo (Varnes 1984) é a probabilidade de ocorrência de fenómenos potencialmente destruidores, num determinado intervalo de tempo e numa dada área. Para (Verde 2008) Esta noção de perigosidade engloba duas dimensões: tempo e espaço. Assim sendo, engloba as duas componentes, a probabilidade, cujo cálculo se pode basear no histórico existente para o evento, e a susceptibilidade, que endereça os aspectos relacionados ao território para o qual se estuda o fenómeno.

Por susceptibilidade entende-se a probabilidade espacial de ocorrência de um determinado fenómeno, numa dada área com base nos factores condicionantes do terreno (Oliveira 2006) citando (Zêzere 1997).

No concernente a tipologia do risco (Varnes 1984) subdivide o termo risco em 3 (três) componentes (risco total, risco específico e elementos em risco). Para o autor risco total seria a estimativa de perdas em termos de vidas humanas, feridos e destruição de infra-estruturas, enquanto risco específico seria o grau de perda durante um fenómeno, por fim designa elemento em risco população, propriedades, actividades económicas em risco numa determinada área.

(Oliveira 2002) citando (Soho 1999) refere que o risco de incêndio representa a chance de um incêndio se iniciar em função da existência de agentes de ignição e o perigo de incêndio é composto pelo risco de incêndio (*fire risk*) e pelas condições de combustível, clima e topografia. Para (Prudente 2010) citando (Castaneda,1997), o risco de incêndio é composto pela vulnerabilidade e pelo factor de ameaça ao qual o ambiente está submetido.

Como se pode observar o risco é um conceito com muitos significados possíveis (Mccaffrey 1994b) porém um passo fundamental para a sua compreensão é a capacidade de medir a vulnerabilidade (Birkmann 2006). Nesse sentido a comunidade científica desenvolveu nas últimas décadas visões pré-analíticas e definições vulnerabilidade. (Birkmann,2007) refere que nas décadas 70 e 80 o conceito de vulnerabilidade era associado a fragilidade

física, actualmente os conceitos de vulnerabilidades vão muito além do âmbito de estruturas físicas.

A vulnerabilidade é muitas vezes vista como uma característica intrínseca de um sistema ou elemento (Cardona 2011), embora a maioria dos analistas reconheçam que a vulnerabilidade depende do nível de risco, por exemplo, em relação à sua frequência e gravidade, ou que é inútil discutir vulnerabilidade independente do seu contexto de risco (Cardona 2003).

A vulnerabilidade é definida por (Cardona 2003) como um factor interno de risco do sujeito ou sistema que está exposto ao perigo e que corresponde à sua predisposição intrínseca de ser afectado. Para (Varnes 1984) a vulnerabilidade expressa o grau de perda associado a um determinado elemento ou a um grupo de elementos em risco resultante da ocorrência de um determinado fenómeno a uma determinada magnitude. Ela pode ser expressa numa escala de 0 (não há danos) até 1 (perda total).

Quanto ao risco de incêndio propriamente dito para (Byram 1959) este está relacionado a probabilidade de um fogo iniciar pela presença e/ou actividade de agentes causadores, enquanto o perigo de incêndio está relacionado ao material combustível definido pelo tipo, arranjo, quantidade, condição e localização que forma uma condição especial de ameaça de ignição ou representa dificuldade na extinção do fogo.

(Hardy 2005) afirma que (Bachmann & Allgöwer 2001) são autores da terminologia mais recente e mais sintetizada sobre o risco de incêndio florestal. Estes definem o risco como sendo a probabilidade de que um incêndio florestal ocorra num local específico, sob determinadas circunstâncias, e as suas consequências esperadas, caracterizadas pelos impactes nos objectos afectados.

Para (Verde 2008) esta definição cumpre o objectivo de cobrir todas as componentes do modelo de risco de incêndio. O risco pressupõe valor e expressa o potencial de perda de elementos em risco em função da perigosidade de um determinado fenómeno e vulnerabilidade desses mesmos elementos em risco. O risco existe sempre que haja perigosidade, vulnerabilidade e valor associados.

Não havendo um destes componentes, o risco é nulo (DGRF,2008). Este conceito traduz-se na fórmula:

$$R = \left[\sum_{i=1}^n p \cdot Epi \right] \times \left[\sum_{j=1}^n v \cdot sj \right] \quad (1)$$

Onde:

p - factor de ponderação das variáveis;

Epi - variáveis de perigosidade;

v – vulnerabilidade;

s – valor

De acordo com esta definição, a perigosidade em si é vista principalmente como externa ao sistema ou elemento em risco, e o termo vulnerabilidade descreve as condições do elemento em risco que também determinar o potencial impacto em termos de perdas e perturbação. Uma vez que o risco é geralmente definido como o produto da probabilidade, perigo e as suas consequências, o risco pode ser visto como uma função do caso da perigosidade e a vulnerabilidade dos elementos expostos.

3.6. Sistemas de Informação Geográfica (SIG)

Os SIG são o resultado da evolução de uma série de ciências afins, incluindo desenho assistido por computador, cartografia assistida por computador, detecção remota, estatística espacial e de tecnologia de bases de dados (Burrough,1987)(Gilberto et al. 1996). É um meio adequado para processar dados espaciais e exibir os resultados. Basicamente, os SIG são uma ferramenta conveniente para lidar com uma variedade de conjuntos de dados, para fornecer uma avaliação eficaz dos controles ambientais, e realizar análise de decisão (Lin et al. 2006).

Para (Meulen, 1992) um SIG é um meio adequado para processar dados espaciais e exibir os resultados. Para (Gilberto et al. 1996) citando (Aronoff, 1989) os SIG são sistemas automatizados usados para armazenar, analisar e manipular dados geográficos, ou seja, dados que representam objectos e fenómenos em que a localização geográfica é uma característica inerente a informação e indispensável para analisa-la. (Longley et al. 2005) referem que na sua anatomia os SIG são constituídos por 6 (seis) componentes (Figura 5).

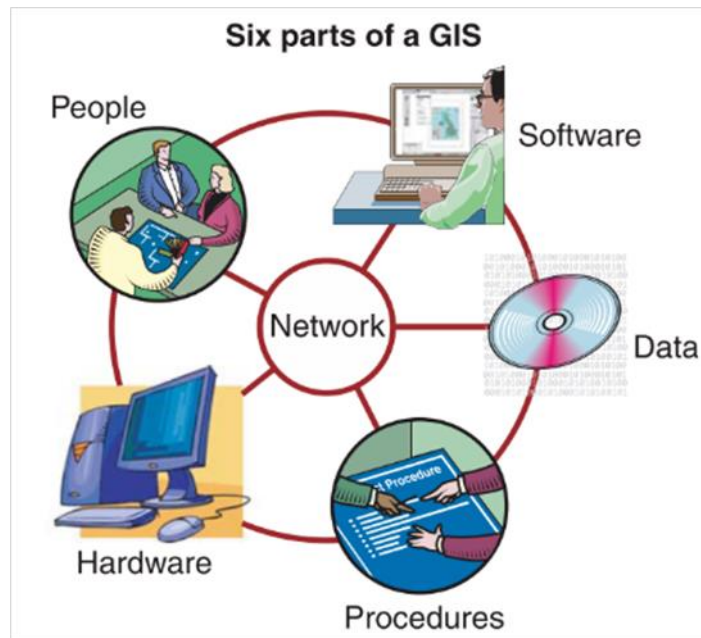


Figura 5- Componentes de um SIG. Extraído de (Longley et al. 2005)

3.7. Detecção Remota

A detecção remota é a ciência ou arte de obter informações sobre um objecto, área ou fenómeno através da análise de dados adquiridos por um dispositivo que não está em contacto com o objecto, área ou fenómeno em investigação (Lillesand et al. 2004).

Uma das principais funções da detecção remota é o processamento de imagens. (Liu & Mason 2009) definem imagem (figura 6) como sendo é uma imagem, fotografia ou qualquer outra forma de representação bidimensional de objectos ou uma cena. A informação é apresentada uma imagem em tons ou cores. A imagem digital é uma matriz bidimensional de números. Cada célula de uma imagem digital é chamado um *pixel* é o número que representa o brilho do *pixel* é chamado um número digital.

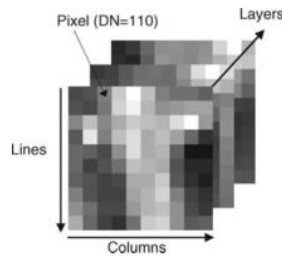


Figura 6 Imagem digital e seus elementos

A tecnologia da detecção remota pode ser usada em diferentes fases do processo de gestão dos incêndios florestais, tais como detecção, avaliação e estimativa do risco (Algani 2010). Dados dos satélites podem fornecer os meios rápidos e económicos necessários de mapeamento e monitoramento das florestas para reduzir danos causados pelo fogo e os riscos potenciais em nível regional (Kunt 1995).

3.8. SIG e Detecção Remota como ferramentas para a avaliação do risco de incêndio

Para melhor apreender e gerir as diferentes componentes do risco, são necessárias a produção, a consulta e exploração de dados cartográficos, para estudar e visualizar os fenómenos e tentar diminuir o seu impacto sobre as áreas vulneráveis (Missoumi et al. 2005). Originalmente, os dados de SIG e detecção remota podem ser considerados complementares, dados de SIG auxiliam os analistas de imagens na classificação de *pixéis* ambíguos, enquanto que as imagens são usadas como pano de fundo no processo de produção de dados vectoriais através do processo de digitalização (Albrecht 2007).

Uma análise integrada das variáveis espaciais é muito valiosa para a investigação de incêndios florestais. A detecção remota é uma fonte de dados de vegetação, enquanto o processamento SIG tornou possível a criação de

modelos de risco de incêndio(Chuvieco & Congalton 1989) (Setiawan et al. 2004). SIG e Detecção Remota têm sido combinados com modelos ambientais para muitas aplicações da qual destaca-se a avaliação e mapeamento de desastres naturais e risco (Skidmore 2002).

Existem muitos modelos de risco de incêndio, sendo que cada um deles reflecte as condições do lugar onde se pretende desenvolver o estudo.

Para avaliar o impacto socioeconómico e ambiental das queimadas descontroladas (Kunt 1995) desenvolveu um modelo de risco de incêndio para península de Halkidini no norte da Grécia usando o SIG e a Detecção Remota.

Este modelo produzido por (Kunt 1995) preconiza as seguintes etapas: i. Interpretação visual da vegetação e o zoneamento das classes de uso e cobertura baseado em imagens multi-temporais do satélite Landsat sensor TM e digitalização do mapa resultante; ii. Classificação das imagens usando a classificação supervisionada algoritmo MAXVER³; iii. Combinação dos dois mapas usando conhecimento adquirido à priori na área de estudo; iv. Combinação dos resultados com dados de NDVI⁴ de dados mais recentes para actualização; v. Produção de modelos de combustíveis e posterior criação do modelo a partir da combinação desta informação com dados de declives, exposição solar e modelo digital de elevação. (Missoumi et al. 2005) por sua vez propõe um índice integrado constituído por 3 sub-índices conforme descritos na fórmula;

$$IR = 5IC + 2IH + IM \quad (2)$$

³ Máxima Verosimilhança - Supõe que as estatísticas de treinamento para cada classe têm uma distribuição normal ou gaussiana, Examina a função de probabilidade de um *pixel* para cada classe e atribui o pixel à classe coma maior probabilidade (CCRS 2013)

⁴ NDVI- Índice normalizado diferenciado da vegetação é um indicador numérico que utiliza as bandas visível e do infravermelho próximo do espectro electromagnético, e é adoptado para analisar medidas de Detecção Remota e avaliar se o alvo a ser observado contém vegetação verde vivo ou não (Holme et al. 1987)

Onde:

IR: índice de risco de incêndio;

IC - índice de vegetação;

IH - índice relacionado a ocupação humana;

IM - índice topo morfológico;

Este índice é concebido de acordo com um modelo de cada um dos parâmetros que afecta um coeficiente de ponderação, em função da sua influência sobre a propagação do fogo. No entanto, a utilização do índice que representa o componente relacionada com as actividades humanas, esta dependente da existência de habitações ou vias de acesso. Neste caso, foram integradas múltiplas fontes de dados, mapear os sectores expostos ao risco de incêndio. Esta caracterização é baseada na variabilidade espacial do perigo de incêndio avaliado iniciando principalmente a partir de parâmetros físicos (exposição, declives e vegetação).

Para estimar danos causados por incêndios florestais usando Detecção Remota e (Algani 2010) utilizou três conjuntos de dados provenientes de dados de satélite, Modelo Digital de Elevação (do sensor Áster a bordo do satélite Terra). Foram produzidos índices de vegetação com base numa análise quantitativa de saúde vegetal e densidade de biomassa usando valores espectrais das imagens de satélite. Foram igualmente classificadas as imagens e posteriormente combinadas para identificação de áreas danificadas pelos incêndios.

3.9. Metodologias para o Mapeamento de Risco de Incêndio Florestal

3.9.1. Metodologia de Chuvieco e Congalton

(Chuvieco & Congalton 1989) apresentaram uma metodologia que assenta numa análise multicritério com o intuito de obter um mapa de susceptibilidade a incêndio florestal da área de estudo. As variáveis seleccionadas para o modelo inclui alguns dos factores que mais afectam os incêndios florestais nas áreas mediterrâneas, sendo elas: a vegetação, a elevação, o declive, a exposição solar e a proximidade à rede viária. Cada uma destas variáveis foi integrada em SIG e a sua sobreposição permitiu definir os níveis de risco de incêndio.

Cada uma das variáveis foi integrada num esquema hierárquico, assumindo que algumas variáveis exercem mais influência do que outras. Em primeiro lugar a cada uma das variáveis foi atribuído um peso, de acordo com a sua contribuição para a susceptibilidade a incêndio florestal. Em segundo lugar cada uma das variáveis foi dividida em classes aos quais foram atribuídos um coeficiente, zero, um e dois, baseado no ranking de alto, médio e baixo de susceptibilidade a incêndio respectivamente (Figura 7).

A fórmula final da equação de cálculo do risco de incêndio pode ser expressa pela seguinte fórmula (Chuvieco & Congalton 1989):

$$H = 1 + 100v + 30s + 10a + 5r + 2e \quad (3)$$

Onde v , s , a , r e e correspondem às variáveis vegetação, declive, exposição solar, distancia à rede viária e elevação com os respectivos coeficientes atribuídos a cada uma das variáveis. O 1 corresponde à constante adicionada ao modelo para evitar pixéis com valor zero.

<i>Original Classes</i>	<i>Fire Hazard Groups</i>	<i>Coefficient</i>
<i>1.1. Vegetation Layer (Weight 100)</i>		
Dense pine tree	high	0
Medium pine tree	high	0
Sparse pine tree + shrub	medium	1
Dense shrub	medium	1
Medium shrub	medium	1
Sparse shrub	low	2
Almond trees	low	2
Vineyards	low	2
Orange trees	low	2
<i>2.1. Slope Layer (Weight 30)</i>		
0–4%	low	2
5–8%	low	2
9–12%	low	2
13–16%	medium	1
17–20%	medium	1
21–36%	medium	1
27–40%	medium	1
41–44%	high	0
> 44%	high	0
<i>2.3. Aspect Layer (Weight 10)</i>		
Southeast	high	0
Southwest	medium	1
North	low	2
<i>2.4. Proximity to Roads Layer (Weight 5)</i>		
Inside buffered area (< 150 m from any trail or < 50 m from any road)	high	0
Outside buffered area	low	1
<i>2.5. Elevation Layer (Weight 2)</i>		
0–3 m	low	1
3–6 m	low	1
398–400 m	high	0
401–404 m	high	0
405–407 m	high	0

Figura 7- Metodologia de cálculo de risco de incêndio segundo (Chuvieco & Congalton 1989)

3.9.2. Metodologia do Instituto Geográfico Português (CRIF)

Para o cálculo do índice de risco de incêndio foi utilizado um modelo simples aditivo ponderado, criado a partir do modelo proposto por (Chuvieco & Congalton 1989) . A Carta de Risco é produzida através de um modelo que recorre às variáveis fisiográficas que podem explicar de forma mais relevante a variabilidade espacial do risco de incêndio florestal dentro da área de cada concelho (IGEO 2013).

A metodologia utilizada para a produção das cartas de risco é relativamente simples, podendo integrar sem dificuldade os vários tipos de paisagem que ocorrem no interior de cada concelho, e permite a obtenção expedita de

cartografia digital relativa ao risco de incêndio. Considera-se também a possibilidade de eventuais actualizações decorrentes da variação das condições locais e não só, para o que se desenvolveu uma aplicação informática específica (IGEO 2013).

A carta de índice de risco de incêndio é obtida através da sobreposição das diversas cartas temáticas, reclassificadas em função do seu contributo para o perigo potencial de incêndio. O modelo é organizado de modo a que o índice de risco de incêndio varie entre zero (perigo mínimo) e mil (perigo máximo).

A grande amplitude de valores do índice permite reclassificar as cartas temáticas com valores inteiros (sem perda de rigor), e trabalhar os ficheiros em formato Inteiro Binário. O cálculo dos coeficientes a afectar cada variável é ponderado utilizando uma análise de processamento hierárquico.

	Amplitude dos valores	Contribuição de cada classe para o valor de risco de cada critério		Contribuição do critério para o valor do risco de incêndio potencial		
		%	Valor	%	Valor máximo do critério	
Ocupação do solo	Classe 1ª	100%	590	59%	590	
	Classe 2ª	80%	472			
	Classe 3ª	70%	413			
	Classe 4ª	40%	236			
	Classe 5ª	30%	177			
	Classe 6ª	10%	59			
	Classe 7ª	1,5%	9			
Declives	Acima de 40%	100%	210	21%	210	
	30-40%	66,67%	140			
	20-30%	22,38%	47			
	10-20%	11,43%	24			
	0-10%	3,81%	8			
Rede Viária	Proximidade à rede viária	Até 25 m	100%	70	7%	70
		25 -50 m	46,32%	32		
		50 - 100 m	20,58%	14		
		100 - 150 m	9,55%	7		
	Densidade de caminhos agrícolas e florestais	Inferior a 5 m/ha	50%	35		
		5 - 12,5 m/ha	23,52%	16		
		12,5 - 20 m/ha	10,29%	7		
		20 - 30 m/ha	5,14%	4		
		30 - 40 m/ha	5,14%	4		
		40 -65 m/ha	10,29%	7		
65 - 80 m/ha	23,52%	16				
Superior a 80 m/ha	50%	35				
Exposições	135° - 225°	100%	60	6%	60	
	225ª - 315°	57,45%	34			
	45° - 135°	21,28%	13			
	315° - 45°	6,38%	4			
	-1 Plano	0%	0			
Densidade demográfica	Até 250 hab / Km2	100%	40	4%	40	
	Entre 250 e 1500 hab / Km2	21,05%	8			
	Acima dos 1500 hab / Km2	100%	40			
Visibilidade por postos de vigia	Oculto	100%	30	3%	30	
	Visível por 1 posto	11,71%	4			
	Visível por 2 ou mais postos	6,31%	2			

Figura 8 Metodologia de cálculo de risco de incêndio segundo (IGEO 2013)

3.9.3. Metodologia de Vettorazzi e Ferraz (1998)

(Ferreira 2010) na sua análise de metodologias para o cálculo de risco de incêndio em ambiente SIG descreve a metodologia de (Vettorazzi e Ferraz 1998). Segundo o autor esta metodologia é em tudo semelhante à apresentada por (Chuvieco & Congalton 1989), modificando somente alguns dos critérios escolhidos. Neste caso foram escolhidas cinco variáveis para o estudo de susceptibilidade a incêndio florestal, que são a vizinhança (área de 50 metros em redor da área de estudo), a rede viária, a ocupação do solo os declives e a exposição solar.

Variável	Ponderação	Classes	Valor
Estradas	4	0-30	7
		30-60	14
		60-100	20
Vizinhança	5	Mata	8
		Capoeira	13
		Cana do Açúcar	14
		Pasto	17
Ocupação Solo	4	Áreas de serviço	0
		Represas (eucaliptos spp)	12
		Essências Nativas	12
		Mata Nativa	14
		Capoeira	16
		Pinus hondurensis	18
Declives	3	5-15	16
		16-25	17
		26-35	18
		36-45	19
		46-55	20
Exposição (Hemisfério Sul)	2	Oeste/Sul	10
		Norte	20
		Leste	20

Figura 9- Metodologia de cálculo de risco de incêndio segundo (Vettorazzi e Ferraz 1998)

3.9.4. Metodologia da AFN - Autoridade Florestal Nacional

A avaliação da cartografia de risco de incêndio florestal revista até ao momento reforça a necessidade de clarificar os conceitos que determinam o modelo de risco adoptado pela AFN (figura 10), pretendendo estabelecer uma base comum de trabalho para produção desta cartografia, bem como adiantar alguns valores de referência e fontes de informação comuns, que permitam obter a maior homogeneidade possível de resultados, não obstante os naturais e expectáveis efeitos de escala. Esta cartografia destina-se a um zonamento municipal não permitindo comparações intermunicipais nem generalizações para unidades regionais.

Alertam-se os técnicos para o imperativo de respeitar o modelo de risco, do qual resultam dois mapas diferentes que devem ser apresentados: mapa de perigosidade (vulgar e incorrectamente conhecido por mapa de risco) e mapa de risco.

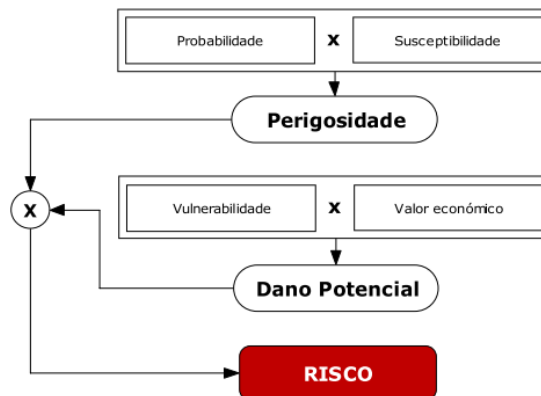


Figura 10- Metodologia de cálculo de risco de incêndio. Modelo proposto pela (AFN 2008)

Segundo esta metodologia o risco é o produto da perigosidade pelo dano potencial, ou, de forma mais desagregada, o produto *probabilidade x susceptibilidade x vulnerabilidade x valor*.

4. MÉTODOS E MATERIAIS

4.4. Materiais

4.4.1. Histórico das áreas aridas

A análise descritiva da ocorrência de incêndios florestais na RNN é baseada na informação histórica para um período compreendido entre os anos 2001-2011. A cartografia das áreas aridas foi obtida através da classificação semiautomática do sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer).

O sensor MODIS da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) constitui um instrumento chave na concepção e desenvolvimento de produtos de observação global e sistemática da superfície terrestre (Roy et al. 2002).

Encontra-se a bordo do satélite *Earth Observing System* (EOS) Terra e também, após 2002, do satélite EOS Aqua, recolhendo informação em períodos diferentes do dia. Este sensor oferece uma cobertura global quase diária (Roy et al. 2002), obtendo quatro observações diárias de um mesmo local em períodos diferentes do dia, o que lhe confere aptidão e pertinência para estudos de dinâmicas ecológicas à escala global.

As áreas aridas são caracterizadas por depósitos de carvão e cinza, remoção da vegetação bem como alteração da sua estrutura (Roy et al. 1999).

Para mapear as áreas aridas o algoritmo do MODIS aproveita estas mudanças espectrais, temporais e estruturais. O algoritmo detecta a data aproximada da queimada numa área de 500*500m, localizando a ocorrência de mudanças rápidas diárias na refletância da superfície.

É uma melhoria dos métodos anteriores uma vez que utiliza um modelo de refletância bidireccional para lidar com as variações angulares encontradas em dados de satélites, bem como permite o uso de medidas estatísticas para

detectar a probabilidade de mudança de um estado previamente observado (Roy et al. 2005).

O algoritmo mapeia a extensão espacial dos incêndios mais recentes excluindo os incêndios que tenham ocorrido em temporadas ou anos anteriores.

A grelha sinusoidal MODIS (figura 11) é dividida por *tiles*, com coordenadas horizontal (h) e vertical (v), e com uma área aproximada de 1200 km por 1200 km ($10^0 \times 10^0$ no equador) (Roy & Boschetti 2008).

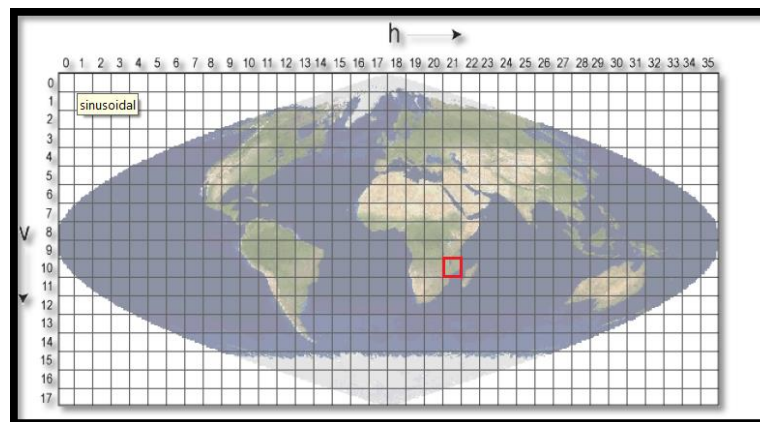


Figura 11- Grelha sinusoidal MODIS com ênfase na janela H-21 V-10 que abrange a Reserva Nacional do Niassa Extraído de: (Roy & Boschetti 2008)

Com recurso a ferramentas SIG, foi necessário fazer o tratamento dos dados do MODIS. Recorrendo a álgebra de mapas foi construída a seguinte expressão em linguagem SQL:

Select from ([], 'Value >= and Value <= ')

Esta expressão permite produzir como resultado uma superfície matricial (figura 12) que mantém em cada *pixel* a data da queimada, e ao mesmo tempo, descarta os valores que representam: a área não ardida (0), neve (999), corpos de água (9998/9999), insuficiência de dados para efectuar a inversão durante todo o período (10000) e áreas sem dados (-32,768).

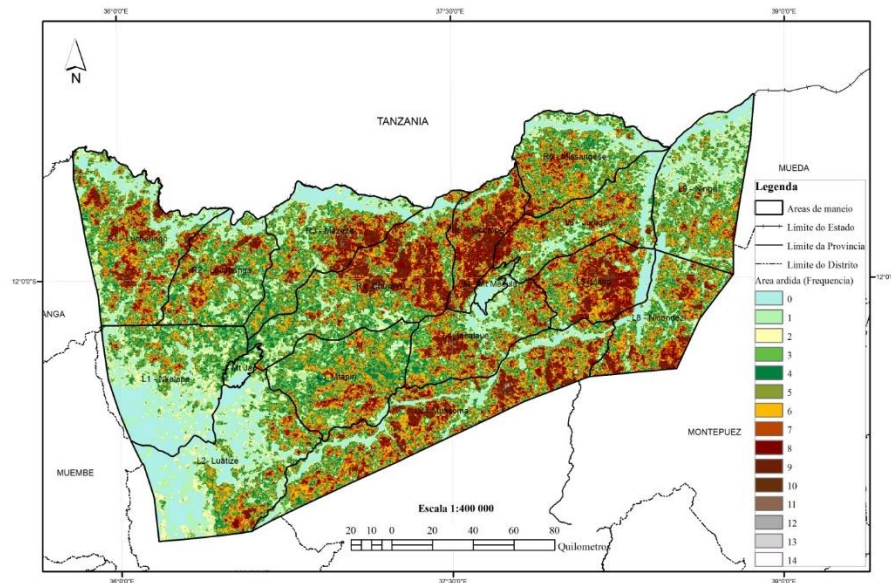


Figura 12- Mapa de área ardida da Reserva Nacional do Niassa. Período compreendido entre os anos 2001-2011. Produto MODIS Burned Área. Dados obtidos em <http://modis-fire.umd.edu/>

4.4.2. Modelo Digital de Elevação

A topografia é um dos principais factores em qualquer sistema de avaliação dos níveis de risco de incêndio. Entre eles, o declive é considerado como sendo o factor crítico. Os declives acentuados aumentam a velocidade de propagação por causa da maior eficiência no pré aquecimento e ignição nos pontos de contacto. A direcção e a exposição são muito referidas na taxa do combustível e do espalhamento do fogo. E por último grandes elevações estão relacionadas a grandes disponibilidades de chuvas. O Declive, a direcção e a elevação, são usualmente obtidos a partir dos modelos digitais de elevação.

O modelo digital a ser utilizado é o *AsterGdem*, o uso dos dados de elevação digital, como o *Global Digital Elevation Map Announcement* (GDEM), só é possível devido ao sensor a bordo do satélite ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*), com capacidade de fotografar a condição do relevo global, tendo assim, um destaque nos estudos que envolvem o uso de parâmetros relacionados com a disposição do relevo.

O *ASTER* é um sensor de alta resolução que cobre todo planeta Terra (Silva et al. 2007), com resolução de 30m em sua topografia (altitude), formatado para um 1 x 1 grau a cada *pixel* de sua imagem (Hannes 2009).

O DEM é gerado a partir de um estéreo-par de imagens adquiridas com nadir e ângulos com uma visada orientada para trás sobre a mesma área (figura 13).

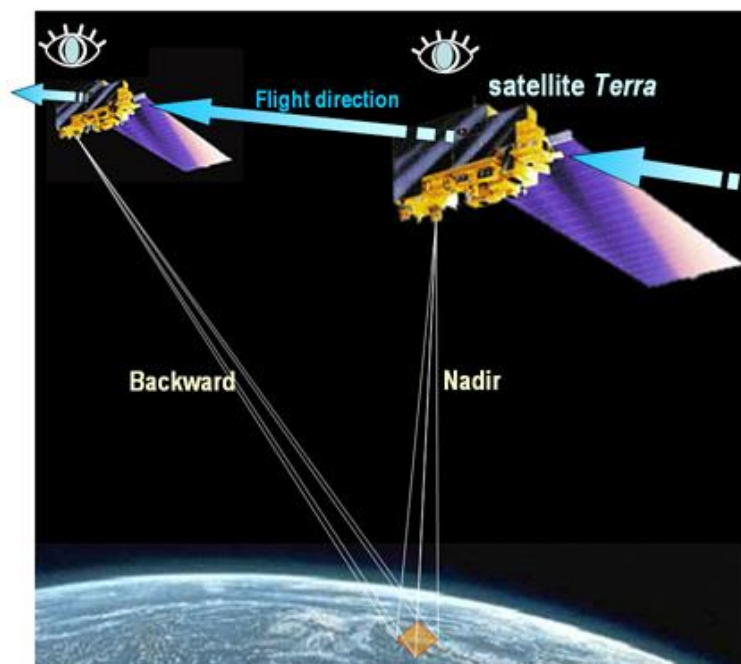


Figura 13- Método de recolha de dados do satélite Terra

Extraído de: <http://www.jspacesystems.or.jp/ersdac/GDEM/E/2.html>

É muito fácil de usar, e bastante preciso, com uma cobertura de toda superfície terrestre, disponível para todos utilizadores, independentemente do tamanho da área pretendida, cobre uma superfície compreendida entre 83°N e 83°S e é composto por 22600 quadrículas. Cada quadrícula contém pelo menos 0.01% de superfície de terra.

O uso confiável de Modelos Digitais de Terreno (MDT), gratuitos, exige que erros de altitude sejam eventualmente corrigidos, como ocorre com dados do

ASTER GDEM, em que aparecem depressões e elevações inexistentes no terreno (Carneiro & Silva 2012a).

O mesmo autor refere ainda que a geração de outros dados usando as ferramentas disponíveis em *softwares* comerciais, pode ter resultados não consistentes com a morfologia do terreno, pois dependem da qualidade geométrica do MDT.

O processo de tratamento do DEM consistiu inicialmente na correcção de erros de altitude por filtros como referem (Schunemann & Novacovski 2011).

Foram realizados testes simples, com a ferramenta *fill*, já existente no *software ArcGIS*. A ferramenta *fill* elimina pequenas imperfeições no modelo digital, como depressões e picos (figura 14) (Carneiro & Silva 2012b).

O valor 0 é usado neste caso para representar pixéis sem dados. Em *Arcgis* a forma mais correcta de pixéis sem dados é usando um valor especial designado NODATA. O primeiro passo para corrigir o DEM é transformar os pixéis com valor 0 em NODATA.

Para tal utilizou-se a ferramenta *Conditional* do *ArcGIS* (PRISM 2013).

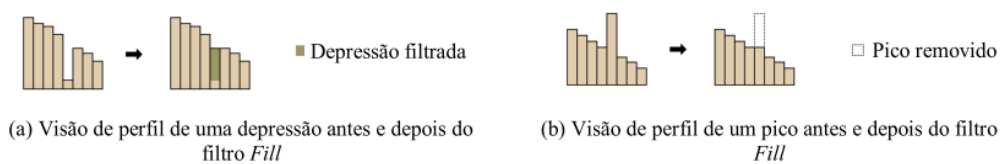


Figura 14- Ilustração da execução da ferramenta *Fill* aplicada a um dado altimétrico (ESRI,2011)

Uma vez feitas as correcções no DEM, é necessário unir todas as imagens que cobrem a área da reserva. Para tal foi necessário recorrer a ferramenta *Mosaic* do *software Arcgis*, no entanto após realizada esta operação o mosaico apresentava uma distorção.

Como refere (Carlos 2013) na montagem de um mosaico digital, a partir de duas ou mais cenas, a junção entre as imagens é geralmente aparente. As bordas aparentes são resultantes de uma má junção e podem conter valores nulos. Assim sendo foi utilizada a ferramenta *Focal Statistics* da ferramenta *(Spatial Analyst)* do software *Arcgis*. Esta ferramenta permite calcular para cada célula de entrada a estatística dos valores considerando as células vizinhas. Finalmente foi aplicada uma mascara usando um ficheiro vectorial em formato *shapefile* da área de estudo.

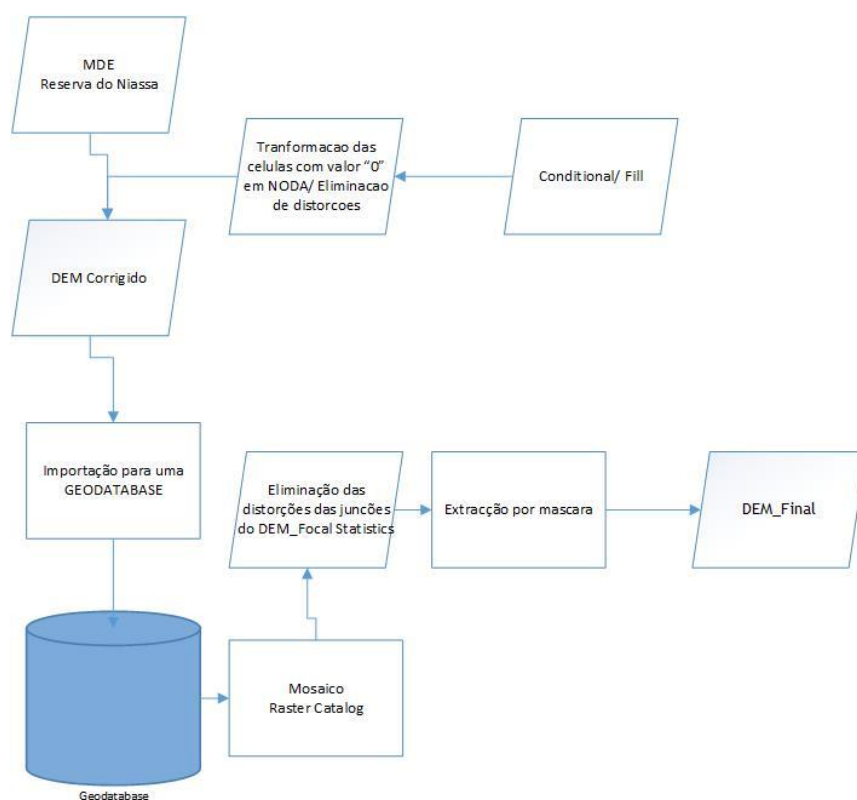


Figura 15- Fluxograma de operações para correcção do DEM.

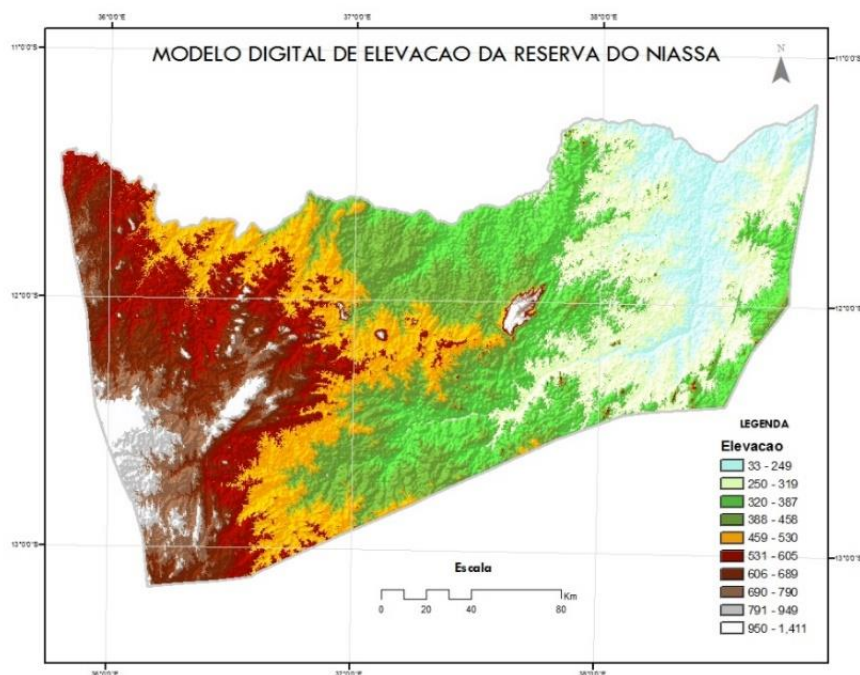


Figura 16- Modelo Digital de Elevação AsterGdem da RNN (30Metros de resolução).

4.4.3. Uso e Cobertura da Terra

(Oliveira 2002) refere que a cobertura vegetal é responsável pelo fornecimento do material combustível para queima. A sua composição química pode influenciar na velocidade e quantidade de calor liberado em um incêndio. A variação na cobertura vegetal implica em mudanças de diversos aspectos relacionados com o comportamento do fogo, principalmente combustível e condições climáticas.

Para esta pesquisa foi utilizado o mapa de uso e cobertura (figura 17) de (Marzoli 2007). O mapeamento da cobertura de terra foi feito com base na interpretação de imagens de satélite (LANDSAT 5) tomadas entre os anos 2004 e 2005, georreferenciadas e em formato digital usando o sistema de sensores remotos. Os detalhes sobre a metodologia usada para a elaboração dos mapas de cobertura de terra são apresentados num relatório técnico produzido para o efeito (Marzoli 2007).

As imagens seleccionadas foram corrigidas usando as rectificações radiométricas, geométricas e geo-codificação dos dados, a fim de permitir a sua projecção no sistema de coordenadas apropriado para o país. A interpretação das imagens de satélite foi feita usando técnicas de processamento digital (combinação de bandas e composição cores falsas) e técnicas de interpretação visual.

Definiu-se uma “escala nominal”, em função da unidade mínima de mapeamento usados para os níveis nacional e provincial. Sendo assim, os mapas têm uma “escala nominal” de 1:1 000 000 (nacional) e a “escala nominal” de 1:250 000 para o nível provincial.

A verificação da interpretação das imagens foi feita a partir de dados de campo (no caso das mapas Provinciais de Manica e Maputo), da interpretação visual de imagens com maior resolução (ASTER), e de imagens de satélite diversas (LANDSAT 5, LANDSAT 7, mosaico de LANDSAT MrSID e MODIS), bem como da informação auxiliar diversa (fotografias aéreas, mapas, relatórios).

Em seguida fez-se o processo de validação com o intuito de fazer a avaliação estatística da certeza da interpretação. De acordo com as especificações técnicas para o projecto AIFM, a precisão mínima requerida para os mapas era de 85%. No entanto, esse valor de precisão foi alcançado uma vez que os mapas apresentam uma precisão de 87% e 86%, respectivamente para os mapas provinciais e nacionais. No fim do processo, os mapas de cobertura de terra foram validados pelos técnicos da UIF⁵, usando o seu conhecimento local do território e todas as mudanças e melhoramentos necessários foram feitos de modo a se obter um produto da melhor qualidade acordados entre ambas as partes.

⁵ Unidade de Inventário Florestal

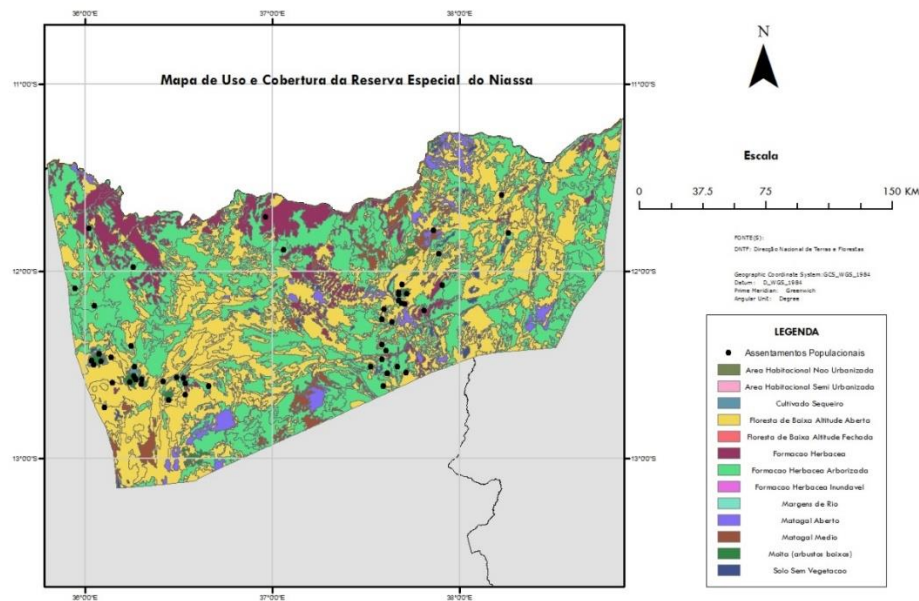


Figura 17- Mapa de Uso e cobertura da RNN (Fonte: DNTF⁶,2007)

4.4.4. Clima

O regime climático determina as características da vegetação numa região, portanto joga um papel importante na criação de áreas propensas a incêndios. Quanto mais seco o clima de uma região em particular, mais propenso a incêndios será.

Para esta pesquisa foram seleccionados dados de clima representados por superfícies *raster* interpoladas, desenvolvidos para toda superfície terrestre com uma resolução espacial de 1km. Como referem (Hijmans et al. 2005) dados climáticos espaciais interpolados, são usados em muitas aplicações, particularmente no ambiente, agricultura e ciências biológicas.

Para esta pesquisa, os elementos climáticos considerados foram precipitação (figura 18) e temperatura (figura 19). Os dados utilizados para gerar as superfícies interpoladas foram recolhidos de uma variedade de fontes, e os

⁶ Direcção Nacional de Terras e Florestas

registos referem-se a um período compreendido entre 1950 e 2000. Segundo (Hijmans et al. 2005) em comparação aos dados climatológicos globais anteriores disponíveis, estes dados tem as seguintes vantagens:

- Possuem uma melhor resolução espacial (400 vezes melhor);
- Foi usado um numero maior estações meteorológicas;
- Mais informações sobre os padrões espaciais de incerteza estão disponíveis;

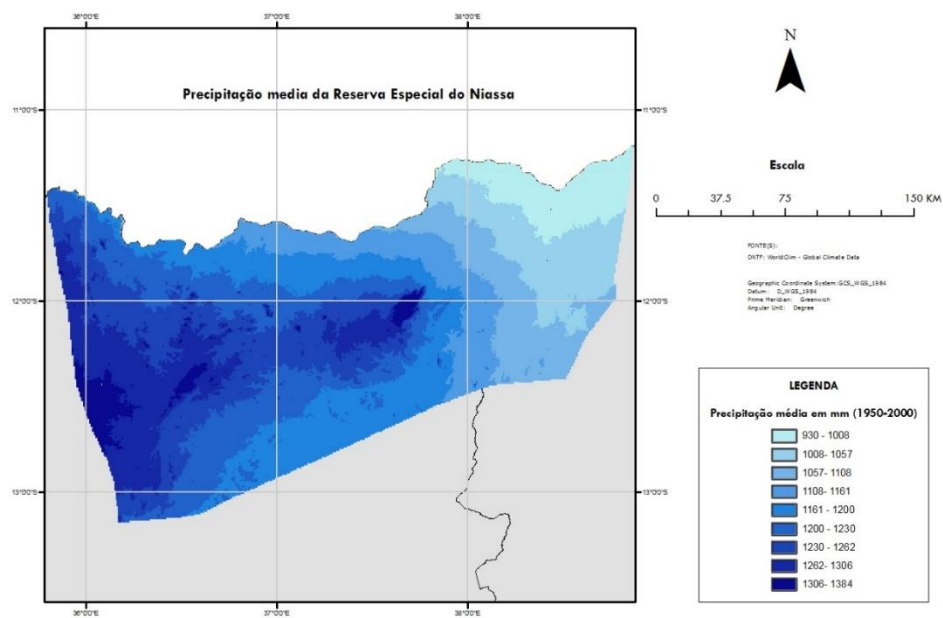


Figura 18- Mapa de precipitação média da RNN Fonte: <http://www.worldclim.org/>

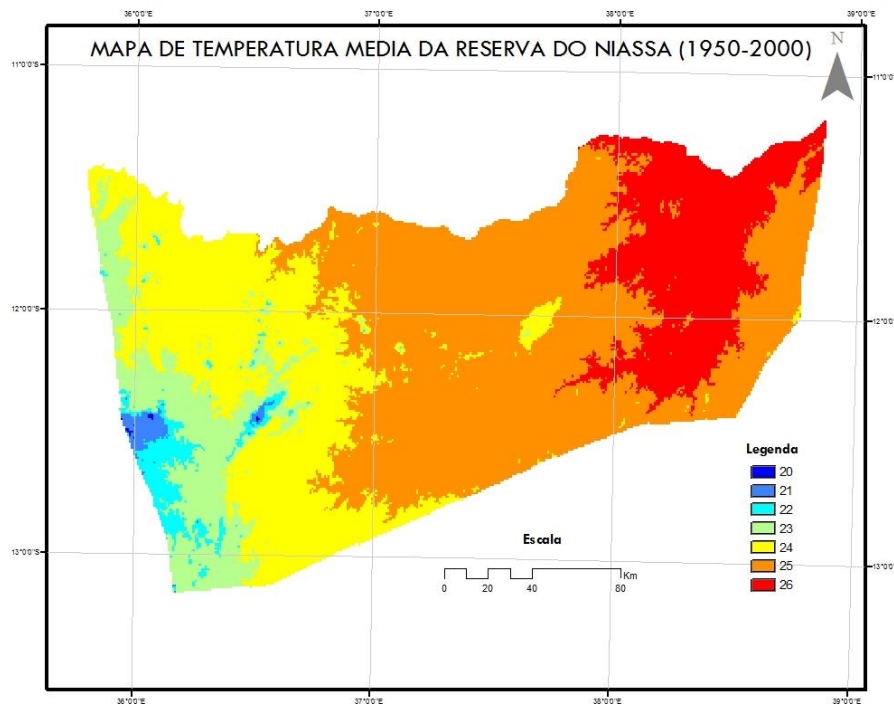


Figura 19- Mapa de temperatura média da RNN

4.4.5. Densidade de Elefantes na Reserva

A influência dos elefantes nos ecossistemas de miombo é largamente reportada na literatura (Guy 1989),(Ben-shahar 1998), (Beuchner & Dawkins 1961), (Skarpe et al. 2004) e (Ribeiro 2007).

Existe efectivamente um consenso quanto ao papel que os elefantes jogam na alteração dos ecossistemas e esta alteração está muito relacionada com a sua densidade. No caso específico da RNN o efeito da densidade dos elefantes pode igualmente ser analisado do ponto de vista do fenómeno da caça furtiva, assumindo portanto que onde se concentrarem as maiores manadas é onde se registam os focos de caça furtiva e conseqüentemente um uso excessivo das queimadas como forma de movimentar os animais.

Em 2009 foi levada a cabo uma contagem aérea da vida selvagem na Reserva do Niassa e áreas adjacentes. Esta foi a sexta pesquisa organizada e

promovida pela Sociedade para a Gestão e Desenvolvimento da Reserva do Niassa (SRN), providenciando mais informação não só sobre o número mas também a tendência da população das espécies mais numerosas.

Os dados que reportam a ocorrência de elefantes (individual ou grupos) foram gerados a partir de observações aéreas e estão representados por pontos (coordenadas colhidas com recurso a um GPS) para cada local de avistamento (Craig 2009)

As superfícies interpoladas (figura 20) têm como objectivo fornecer uma visão geral sobre a densidade dos elefantes nas diferentes áreas da reserva. O mapa com pontos representando os avistamentos não cumpre este papel porque o numero de animais num local não e levado em conta, no entanto da uma visão directa sobre a informação colhida (Craig 2009).

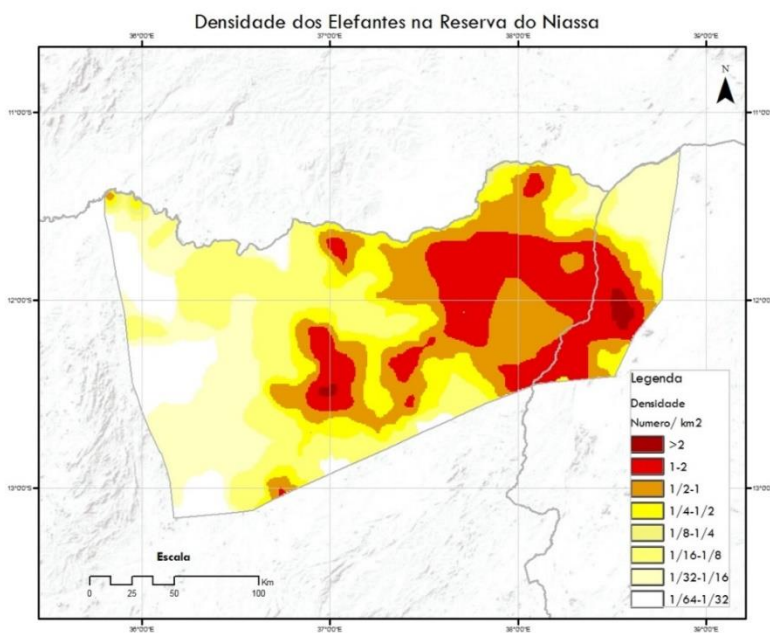


Figura 20- Mapa de densidade dos elefantes na RNN. Contagem efectuada entre 28 Setembro e 19 Outubro do ano 2009. Fonte (Craig 2009)

4.4.6. Proximidade as vias de acesso

As principais causas de incêndio na reserva são as actividades humanas nomeadamente a caça de subsistência, os movimentos comerciais de pedestres para a Tanzânia, a colecta de mel e em menor medida de corte e queima da agricultura (Ribeiro 2007).

Refere ainda que as pessoas se aproveitam das condições climáticas durante a estação seca para aumentar suas actividades, especialmente os movimentos de negociação. De facto, as rotas comerciais (figura 21) começam em torno das principais aldeias para Tanzânia no norte. Durante estas rotas, as pessoas montam acampamento temporariamente ao longo das estradas, onde atizam o fogo para manter os animais selvagens distantes. Incêndios em um ambiente de alta seca em carga de combustível tendem a espalhar-se em grandes áreas.

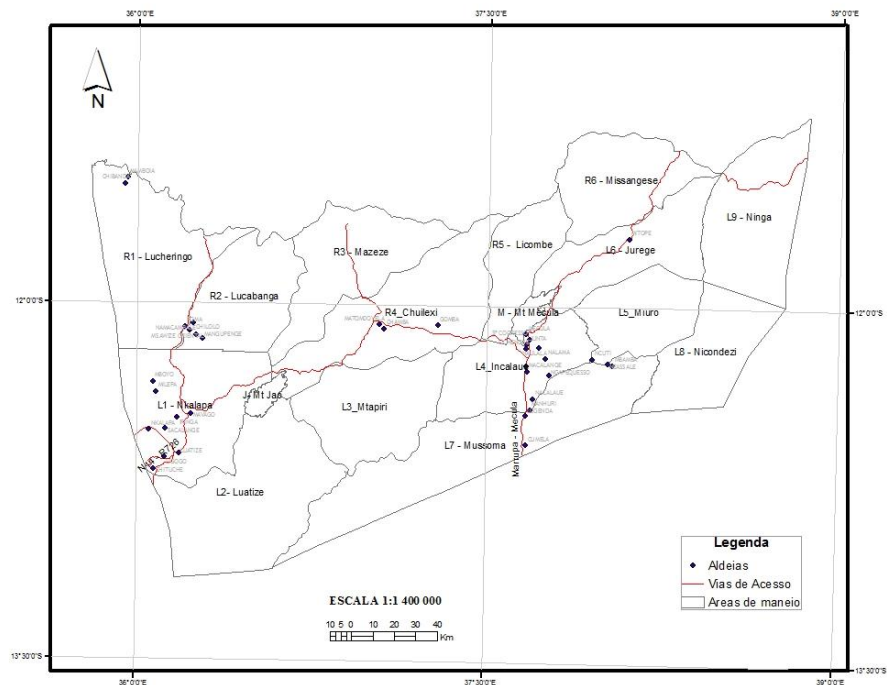


Figura 21- Mapa das vias de acesso da RNN

4.5. Metodologia de elaboração do Modelo de Risco de Incêndio

A metodologia de base aqui apresentada foi proposta pela AFN⁷ e executada com sucesso no POM⁸. A metodologia preconiza o desenvolvimento de um conjunto de modelos de análise espacial que permitam automatizar e auxiliar a produção da cartografia de risco de incêndio florestal. Com base nos normativos constantes em (AFN 2008) o modelo de risco de incêndio florestal é compreendido por dois mapas que devem ser produzidos e apresentados são eles o mapa de perigosidade e de risco.

Combinando a probabilidade e a susceptibilidade, este mapa apresenta o potencial de um território para a ocorrência do fenómeno, permite responder “onde tenho maior potencial para que o fenómeno ocorra e adquira maior magnitude?”. O mapa de perigosidade corresponde a um produto que muitas vezes é chamado directamente de mapa de risco. Esta noção está errada e deve evitar-se. O mapa de perigosidade de incêndio florestal é particularmente indicado para acções de prevenção.

4.5.1. Probabilidade anual de ocorrência de incêndios florestais

A probabilidade traduz a verosimilhança de ocorrência de um fenómeno num determinado local em determinadas condições. A probabilidade far-se-á traduzir pela verosimilhança de ocorrência anual de um incêndio em determinado local, neste caso, um *pixel* de espaço florestal. Para o cálculo da probabilidade atender-se-á ao histórico desse mesmo *pixel*, calculando uma percentagem média anual, para uma dada série de observações, que permitirá avaliar a perigosidade *no tempo*, respondendo no modelo desta forma: *Qual a probabilidade anual de ocorrência do fogo neste pixel?*

⁷ Autoridade Florestal Nacional Portuguesa

⁸ Plano Operacional Municipal

Porque o modelo é multiplicativo, uma probabilidade nula resulta num risco nulo. Esse resultado pode não corresponder à verdade. Uma probabilidade anual, em análise frequencista, será nula se no intervalo de tempo estudado não existir um único registo. Isso não significa que o risco seja nulo, significa apenas que não se consegue determinar um período de retorno ou probabilidade anual por inexistência de observações do fenómeno. Nestes casos, sempre que a probabilidade seja nula, deve, por simplificação, reclassificar o *raster* para que os valores zero (0) passem a um (1) tornando-se neutros no modelo.

Esta probabilidade anual determina-se, para cada *pixel*, dividindo:

$$\frac{f \times 100}{\Omega} \quad (4)$$

Em que f é o número de ocorrências registadas, e Ω o número de anos da série. Dada a necessidade ou vantagem de trabalhar com valores inteiros em SIG, multiplica-se f por 100 podendo usar apenas valores inteiros, ignorando a parte decimal.

4.5.2. Susceptibilidade do território aos incêndios florestais

A susceptibilidade de um território – ou de um *pixel* – expressa as condições que este apresenta para a ocorrência e potencial de um fenómeno danoso (AFN 2008)

Nesta fase, a intenção era integrar as camadas de dados espaciais numa única, por que poderia ser utilizado para o mapeamento mais tarde. Seis camadas de informações estavam disponíveis: uso e cobertura, densidade dos elefantes, declividade, precipitação, temperatura e proximidade as vias de acesso.

A integração destas variáveis foi feita num esquema hierárquico. Em outras palavras, supunha-se que algumas camadas têm uma maior influência sobre a susceptibilidade do local do que outras.

Os procedimentos utilizados neste trabalho para atribuição do sistema de pesagens são apontados na proposta metodológica de (Saturnino 2011). Segundo o autor se o objectivo é explicar uma variável resposta Y (queimada) de natureza nominal ou ordinal, em função de variáveis explicativas X (as seis camadas de informação disponíveis), as quais podem ser nominais, ordinais ou contínuas pode-se portanto recorrer a uma regressão logística, permitindo portanto encontrar a melhor combinação linear de variáveis, que maximize a verosimilhança de obter as frequências observadas na amostra, de forma a fazer previsões e classificar novas situações (Saturnino 2011).

Ao pretender observar a probabilidade de ocorrência de incêndio florestal, a regressão logística estabelece que P é a probabilidade de ocorrência do fenómeno estudado, com um valor entre 0 e 1, sendo Y a variável dependente, as variáveis independentes e os respectivos coeficientes de regressão (Saturnino 2011) citando (Galán e Lopes 2003).

$$P(Y = 1) = \frac{\exp(\sum a + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots \beta_3 X_3)}{1 + \exp(\sum a + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots \beta_3 X_3)} \quad (5)$$

O sistema computacional IDRISI Andes dispõe de um módulo estatístico, o qual disponibiliza uma ferramenta de análise espacial com o modelo de regressão logística. Contudo o sistema apenas desenvolve rotinas de análise com bases cartográficas em formatos IDRISI, sejam ficheiros matriciais ou vectoriais. Portanto, o primeiro passo é a importação de acordo com as especificidades do sistema.

O procedimento pode ser desenvolvido de forma expedita através das ferramentas de importação específicas para ficheiros em formato ESRI. Uma das especificidades do sistema IDRISI relativamente ao sistema ArcGIS implicou que se desenvolvesse uma reclassificação dos ficheiros matriciais. No sistema ArcGIS as células com o valor NoData correspondem ao valor “-9999”, enquanto no sistema IDRISI corresponde a valor “0”, pelo que é absolutamente necessário desenvolver uma reclassificação de todos os temas matriciais envolvidos, de modo a não existirem quaisquer perturbações nas rotinas de cálculo e análise espacial.

O *output* disponibiliza dois parâmetros que pretendem medir o ajuste dos modelos de uma forma mais ou menos expedita, o Pseudo R2 e o Receiver Operating Characteristic (ROC). O Pseudo R2 é o resultado da fracção entre a soma dos erros quadrados do modelo ajustado, com as respectivas variáveis dependentes e independentes e a soma dos quadrados do modelo nulo, ou seja, apenas com a variável dependente e sem qualquer variável independente.

O Pseudo R2 permite avaliar a capacidade do ajuste dos modelos logísticos, varia numa escala de 0 a 1, sendo considerados bons valores de ajuste iguais ou superiores a 0,2 (Saturnino 2011) citando (Hosmer e Lemeshow 2000). A ROC é uma curva representada graficamente por x e y, utilizada para medir e especificar

O desempenho de testes de diagnósticos, em que os valores variam entre 0 e 1. Em gráfico, o x exprime a Especificidade e o y a Sensibilidade, ou seja, a curva ROC informa sobre a variação da sensibilidade e da especificidade de determinado modelo. Valores inferiores a 0,5 indicam ajustes aleatórios, enquanto valores superiores, ajustes perfeitos (Saturnino 2011) citando (Hosmer e Lemeshow 2000).

A equação resultante permitira auferir do contributo de cada um dos factores considerados no fenómeno fogo, e a partir deste desenvolver uma equação

com base no exemplo de (Chuvieco & Congalton 1989). Finalmente, para o cálculo da susceptibilidade, foi considerada a seguinte expressão:

$$Sp = 3C + 2De + Dcl + Dst + Pm \quad (6)$$

Onde:

Sp = Susceptibilidade

C = Uso e cobertura

Dcl = Declividade

De = Densidade dos elefantes

Pm = Precipitação media

Dst = Distancia as vias de acesso

O diagrama do Mapa de Susceptibilidade (figura 22) encontra-se representado na figura a seguir:

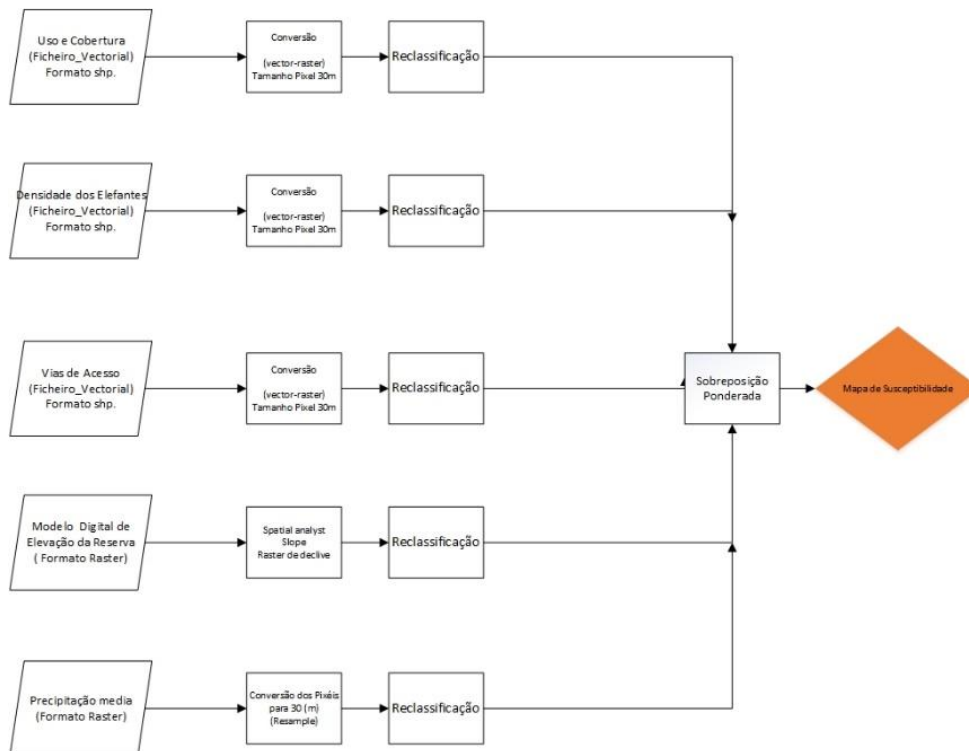


Figura 22- Diagrama conceptual do modelo de Susceptibilidade

Os intervalos de correspondência utilizados na reclassificação são definidos com base na tabela que se segue:

Classe original	Susceptibilidade	Coefficiente
Uso e Cobertura		
Margens de Rio	baixa	2
Solo Sem Vegetação	baixa	2
Matagal Aberto	baixa	2
Cultivado Sequeiro	baixa	2
Formação Herbácea Inundável	baixa	2
Área Habitacional Semi Urbanizada	baixa	2
Área Habitacional Não Urbanizada	baixa	2
Floresta de Baixa Altitude Aberta	media	3
Formação Herbácea	media	3
Matagal Médio	media	3
Formação Herbácea Arborizada	alta	4
Moita (arbustos baixos)	alta	4
Floresta de Baixa Altitude Fechada	alta	4
Densidade dos elefantes (Numero/km2)		
>2	alta	4
1-2	alta	4
1/2-1	alta	4
1/4-1/2	media	3
1/8-1/4	media	3
1/16-1/8	media	3
1/32-1/16	baixa	2
1/64-1/32	baixa	2
Declives (%)		
Classe 0 a 5	muito baixa	2
Classe 5 a 10	baixa	3
Classe 10 a 15	media	4
Classe 15 a 20	alta	5
Classe 20 e superiores	muito alta	6
Precipitação media (Período 1950-2000)		
930-1025	alta	4
1025-1096	alta	4
1096-1165	media	3
1165-1219	media	3
1219-1269	baixa	2
1269-1384	baixa	2
Distancia as vias de acesso (metros)		
0-1000	alta	4
1000-5000	media	3
5000-10000	baixa	2
10000 e mais	baixa	2

Tabela 1- Intervalos de correspondência utilizados na reclassificação para a produção do Mapa de Susceptibilidade. Adaptado de (Chuvieco & Congalton 1989);(AFN 2008);(Kumar et al. 2002);(Kunt 1995) e (Craig 2009).

4.5.3. Perigosidade aos incêndios florestais

A perigosidade resulta do produto da probabilidade e da susceptibilidade, consistindo na probabilidade de ocorrência de um incêndio, num determinado intervalo de tempo e dentro de uma determinada área geográfica. O diagrama deste modelo (figura 23) consiste na multiplicação dos Mapas de Probabilidade e de Susceptibilidade obtidos, respectivamente;

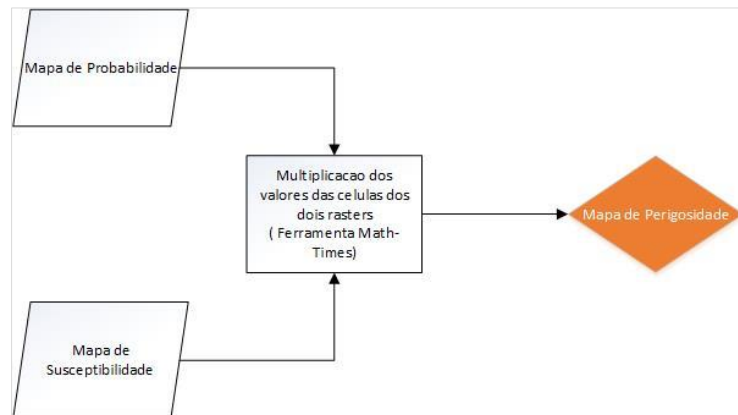


Figura 23- Diagrama conceptual do mapa de Perigosidade

4.5.4. Dano Potencial

O dano potencial de um elemento é o produto do seu valor económico multiplicado pela vulnerabilidade que lhe é intrínseca. Dada a heterogeneidade dos dados necessários ao cálculo dos Mapas de Vulnerabilidade e de Valor Económico o normativo constante em (AFN,2008) não apresenta nenhum processo automático para o seu cálculo.

A análise espacial efectuada para o cálculo dos Mapas de Vulnerabilidade e de Valor Económico respeita o mesmo tamanho de *pixel* definido para a restante cartografia de risco (30m de resolução considerando a resolução do DEM) bem como, o mesmo sistema de referência.

A partir das tabelas de referência obtidas em (AFN 2008) foi possível extrair os valores referentes a vulnerabilidade das classes dos espaços florestais e outros

usos. Para o caso do valor económico pretende-se estimar o valor dos bens e serviços a perder no momento e/ou o custo de reposição, no entanto os valores não se ajustam às características do território, sendo uma área de conservação existe sempre mais dificuldade em estimar o valor económico dos recursos. Os recursos florestais nestas áreas não podem ser quantificados tendo como base o seu valor comercial, porque não se destinam a esse fim.

No entanto as florestas apresentam uma elevada taxa de fixação de carbono, quando comparadas com outros tipos de vegetação, desempenhando um papel significativo na actual problemática das alterações climáticas.

São importantes para o equilíbrio do estoque de carbono global, pois armazenam mais carbono do que o existente actualmente na atmosfera. Se as florestas forem destruídas, a maior parte do carbono armazenado será libertado para a atmosfera rapidamente por meio de incêndios florestais ou, mais lentamente, via decomposição.

Deste modo a solução que se adopta nesta pesquisa visa realçar o papel da floresta não como provedora de bens e serviços mas sim como interveniente no processo de sequestro de dióxido de carbono (CO₂).

Segundo (The word Bank, 2012) o desflorestamento e a degradação da floresta representam 20% das emissões globais de gases de estufa. De acordo com o "Relatório Stern sobre a Economia das Mudanças Climáticas" de 2006, a redução do desflorestamento é a "maior oportunidade para reduções lucrativas e imediatas das emissões de carbono". A ideia por trás da REDD⁹ é que é mais barato reduzir as emissões provenientes do desflorestamento do que reduzir as emissões industriais, e isso consegue-se atribuindo um valor financeiro ao carbono retido nas florestas.

⁹ REDD (Redução das Emissões por Desmatamento e Degradação florestal), basicamente, parte da ideia de incluir na contabilidade das emissões de gases de efeito estufa aquelas que são evitadas pela redução do desmatamento e a degradação florestal.

A quantificação económica surge assim como um instrumento de medição dos bens e serviços ambientais e dos impactos da degradação ambiental, de modo a obter os custos e benefícios directos e indirectos que derivam da mudança qualitativa e quantitativa desses mesmos bens e serviços.

Os dados de referência utilizados para quantificar os valores de sequestro de carbono nas florestas de miombo são apresentados na tabela a seguir, e foram obtidos e adaptados de (Chidumayo & Gumbo 2010), (Tomo 2012)

Classes de uso e cobertura	Carbono
	Médio (ton/ha)
Floresta densa	158.54
Floresta aberta	133.05
Outras formações lenhosas	100.36
Áreas de agricultura	62.29

Tabela 2- Dados de referência para o sequestro de carbono nas florestas de miombo

4.5.5. Modelo de Risco de Incêndios Florestais

O mapa de risco combina as componentes do mapa de perigosidade com as componentes do dano potencial (figura 24) de forma a indicar qual o potencial de perda face a um fenómeno (AFN,2008).

Quando o fenómeno passa de uma hipótese a uma realidade, o mapa de risco informa o leitor sobre o potencial de perda de cada lugar cartografado, respondendo à questão “*onde tenho condições para perder mais?*”.

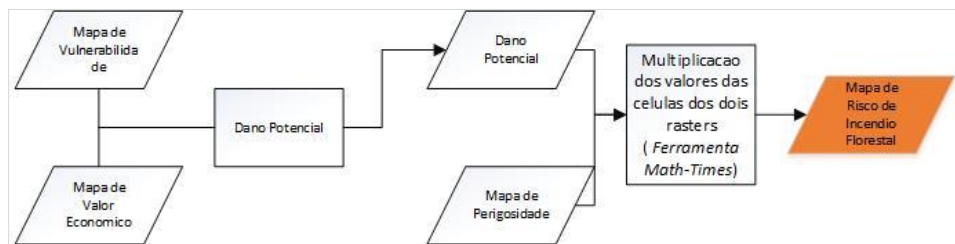


Figura 24- Diagrama conceitual do modelo de Risco

4.6. Metodologia para validação do Modelo

A precisão deste modelo foi validado usando os dados de área ardida, cruzando-os com os resultados obtidos pelo modelo de risco. Isto permitiu comparar os fogos reais com as áreas de risco alto, médio e baixo de fogo do modelo como refere (Orozco 2008).

A coincidência de áreas com elevada frequência de queimadas com as categorias vai mostrar o nível de precisão do modelo. Se uma alta percentagem de área queimada coincide com as categorias de alto risco, o modelo será considerado funcional, foi utilizado para o efeito a análise ROC¹⁰.

A análise ROC é usada para medir o desempenho do modelo e para avaliar a precisão da classificação. Esta análise prevê que o local de ocorrência do fogo, comparando a probabilidade de ocorrência de incêndio e uma imagem que indica onde o fogo realmente existiu.

A análise ROC mostra como os incêndios estão concentrados numa categoria elevada de probabilidade, e a curva ROC é um gráfico da probabilidade de ter um evento de incêndio florestal verdadeiro ou falso.

¹⁰ ROC- do inglês Receiver Operating Characteristic — é um método gráfico para avaliação, organização e seleção de sistemas de diagnóstico e/ou predição.

5. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O capítulo anterior descreve os métodos utilizados neste estudo. Este capítulo apresenta os resultados, e está estruturado de modo que se relaciona com os resultados para a ordem dos objectivos de investigação.

Segundo as indicações constantes no normativo (AFN,2008) alerta-se para o imperativo de respeitar o modelo de risco, do qual resultam dois mapas diferentes que devem ser apresentados: mapa de perigosidade e mapa de risco. O mapa de perigosidade por sua vez segundo refere (Verde,2008) engloba duas dimensões a probabilidade cujo calculo se pode basear no histórico existente para o evento, e a susceptibilidade, que endereça os aspectos relacionados ao território para o qual de estuda o fenómeno.

5.1. Mapa de Probabilidade

O mapa de probabilidade anual (figura 25) obtido através do histórico de cada *pixel*, representa uma percentagem média anual, no caso específico foi considerado o intervalo compreendido entre os anos 2001 e 2011. Em termos gerais, os resultados indicam que as áreas com uma probabilidade Muito Alta (8.58%) localizam-se, predominantemente no sector nordeste e as áreas com a probabilidade alta (20.77%) localizam-se na sua maioria no sector oeste.

As áreas de probabilidade média (27.7 %) e baixa (22.4 %) conjuntamente com as áreas da classe Muito Baixa (20.8%) são as que têm maior representatividade e distribuem-se fragmentariamente por todo a área da reserva.

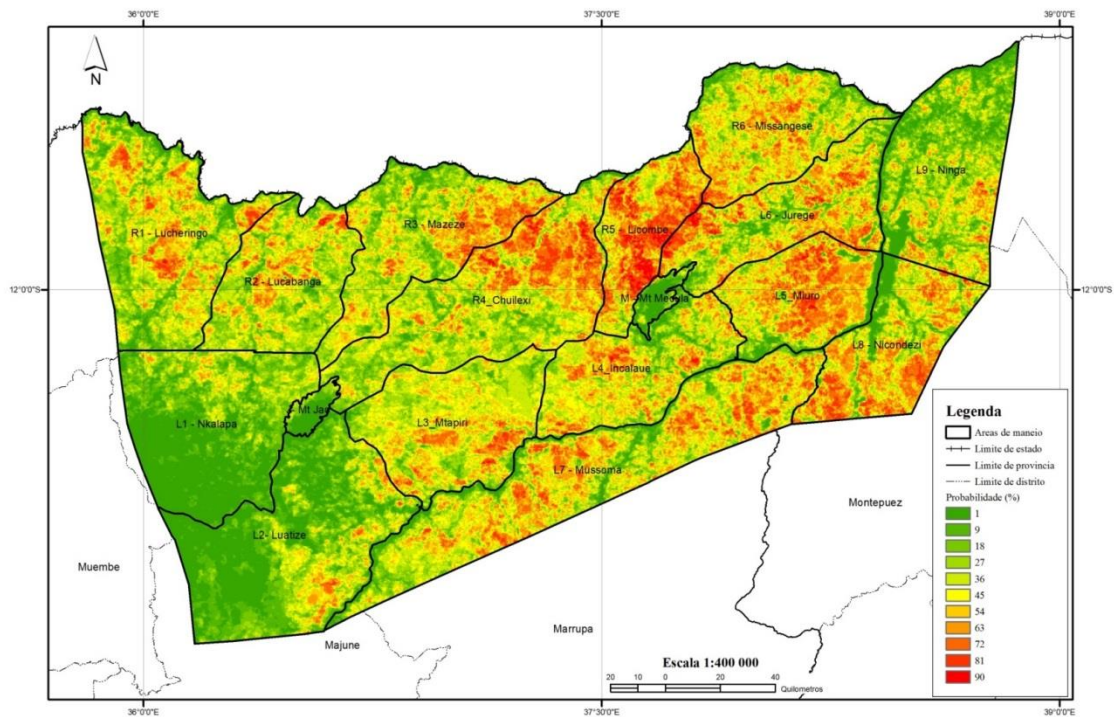


Figura 25- Mapa de Probabilidade anual de Queimada em (%)

5.2. Mapa de Susceptibilidade

Como é referido em (AFN 2008) os principais parâmetros de entrada utilizados na determinação da susceptibilidade do território a incêndios florestais consistem na informação base de declives e de uso e ocupação do solo. Entretanto a mesma fonte refere igualmente que a metodologia adoptada consiste no mínimo absoluto para uma resposta ao problema, podendo ser utilizadas outras variáveis desde que devidamente enquadradas.

Portanto de modo a garantir que o modelo reflecta a realidade da área foram consideradas outras variáveis. Note-se que o modelo original destina-se a um zonamento municipal não permitindo comparações intermunicipais nem generalizações para unidades regionais.

Assim sendo as bases cartográficas utilizadas para produção do mapa de susceptibilidade (figura 26) foram submetidas a rotinas de cálculo com objectivo de encontrar a melhor combinação linear de variáveis, que maximize a verosimilhança de obter as frequências observadas na amostra, de forma a fazer previsões como refere (Saturnino 2011).

A metodologia da regressão logística permitiu o cálculo de uma equação matemática ou modelo de probabilidade (Equação 7) de ocorrência do incêndio florestal. O modelo não é mais que a conjugação dos diversos contributos em formato quantitativo de cada variável independente para o aparecimento do fenómeno fogo. Cada modelo pressupõe uma especificidade regional de acordo com os parâmetros (físicos, ocupação ou origem humana) que possam mais ou menos interferir na ocorrência e propagação do fenómeno.

$$\text{Logit (Área ardida)} = -4.4566 + 0.009829 \cdot \text{Declive} + 0.499331 \cdot \text{Densidade dos Elefantes} + 0.216057 \cdot \text{Distancia as vias de acesso} + 0.884145 \cdot \text{Uso e Cobertura} + 0.147025 \cdot \text{Precipitação} - 0.078454 \cdot \text{Temperatura} \quad (7)$$

A multiplicação dos coeficientes de cada variável pelos valores do desvio padrão da amostra correspondentes permite obter o valor dos coeficientes padrão (tabela 3). De acordo com (Saturnino 2011) citando (Galán e López, 2003), quanto maior o valor absoluto dos coeficientes maior é a importância da variável na solução da equação.

Variáveis independentes	Coefficientes da equação	Desvio padrão da amostra	Coefficiente padrão (cp)
Declive	0.00982855	1.650701	0.016223997
Densidade dos Elefantes	0.49933062	3.031765	1.513853097
Distancia as estradas	0.21605706	1.802863	0.389521279
Uso e Cobertura	0.88414515	1.722236	1.522706607
Precipitação	0.14702539	1.614772	0.237412483
Temperatura	-0.07845378	1.584332	-0.124296834

Tabela 3 - Contributo de cada variável no modelo de regressão

De acordo com a (tabela 4) os valores do Pseudo R² e ROC conseguidos, respectivamente, apresentam resultados superiores a 0.6053, no caso do primeiro parâmetro e acima de 0.9391 para o segundo parâmetro. Valores de Pseudo R² e ROC mais elevados correspondem, supostamente, a modelos mais ajustados à realidade.

Parâmetros de Ajustamento	
Pseudo R ²	0.6053
ROC	0.9391

Tabela 4- Quantificação de ajuste do modelo

Os resultados da regressão logística indicam que o fenómeno incêndio florestal é signitivamente predicto por uso e cobertura ($cp=1.522706607$), densidade dos elefantes ($cp=1.513853097$), distancia as vias de acesso ($cp=0.389521279$), precipitação ($cp=0.237412483$), seguido pela variável declive com ($cp=0.016223997$) e finalmente a temperatura com ($cp=-0.124296834$). Esta provou ser a menos importante e portanto foi retirada da análise. Deste modo foi possível integrar as variáveis num esquema hierárquico resultando no Mapa de Susceptibilidade (figura 26).

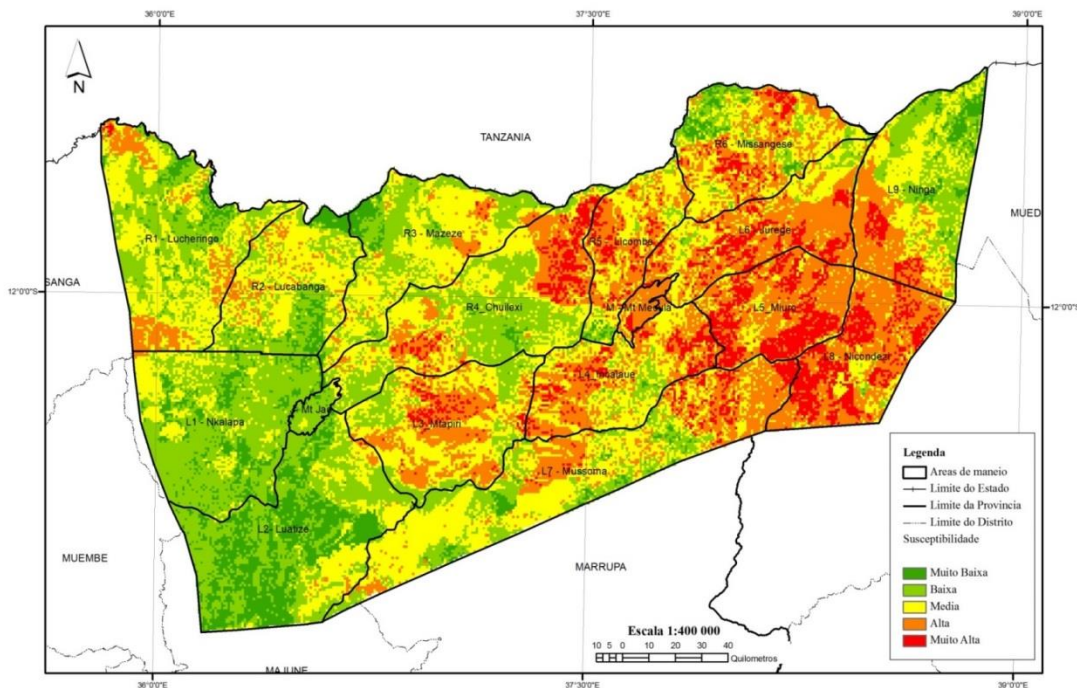


Figura 26- Mapa de Susceptibilidade da Reserva Nacional do Niassa

5.3. Mapa de Perigosidade

O mapa de perigosidade (figura 27) obtido através da integração das variáveis probabilidade e susceptibilidade, indica que, em termos gerais, as áreas de perigosidade alta e muito alta (17,4%) e (17,1%) respectivamente localizam-se, predominantemente, no sector Nordeste da RNN.

Este sector é caracterizado por precipitação média anual inferior (850 mm/ano) e menor densidade lenhosa. O lado norte-leste também apresenta a maior densidade humana e corresponde ao mais pesado corredor da actividade humana (Ribeiro 2007).

De salientar a existência de vias de acesso utilizadas pelas comunidades, bem como a maior concentração de elefantes, acima de 0.5 por quilómetro quadrado (Craig 2009).

No entanto pode-se considerar que de certo modo todas as classes estão distribuídas por toda reserva, mas com as classes de perigosidade muito baixa e baixa a destacarem-se no sector Sudeste com (20.67%) e (22.73%) respectivamente. As classes muito baixa e baixa correspondem a áreas onde a actividade humana é praticamente ausente nomeadamente a áreas montanhosas. Estas áreas correspondem a florestas sempre verdes portanto impróprias para a ocorrência de incêndios. A classe de Perigosidade media com cerca de (22.03%).

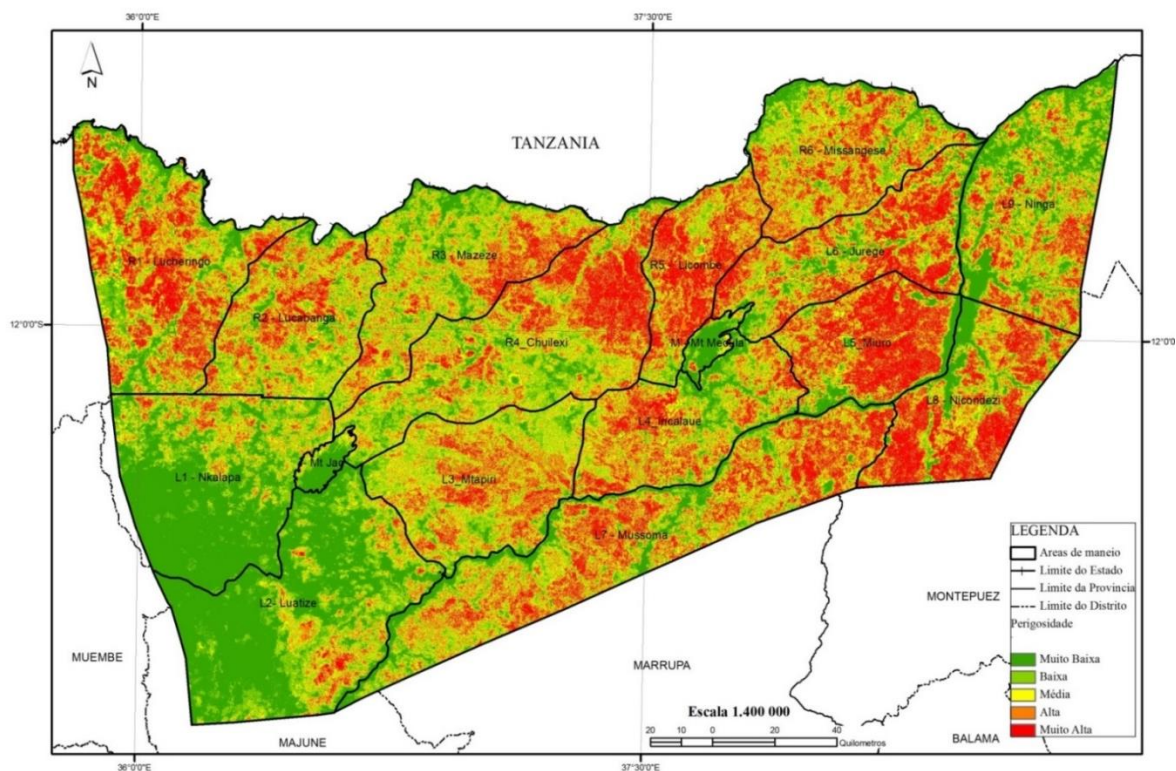


Figura 27- Mapa de Perigosidade a Incêndios Florestais

5.4. Mapeamento de Risco de Incêndio Florestal

Analisando o resultado da incidência dos diferentes graus de risco na RNN constata-se que, a espacialização do risco de incêndios florestais na reserva está intrinsecamente relacionada à importância e influência do coberto florestal.

O mapa de risco de incêndio florestal (figura 28), resultante do produto entre a perigosidade e o dano potencial, evidencia que as classes de risco muito baixo, baixo e médio ou moderado com cerca de (62%) são dominantes na RNN.

Para a prevalência deste cenário contribui o facto de apesar de a frequência de queimada (figura 12) ser elevada em grande parte do território, simultaneamente, as florestas do miombo possuem características de adaptabilidade ao fogo antropogénico, sendo que nalguns casos o fogo faz parte da sua estratégia de sobrevivência. Há que considerar também, que estas áreas detêm o dano potencial mais reduzido, em virtude do seu baixo valor monetário, considerando o valor de mercado dos créditos de carbono destas áreas.

As classes de risco alto e muito alto surgem dispersas pelo território (38%). A metodologia utilizada conferiu perigosidade e dano potencial consideravelmente elevados, para áreas onde a actividade humana é intensa e onde se regista a presença de florestas densas e florestas abertas o que incrementa o risco de incêndio florestal.

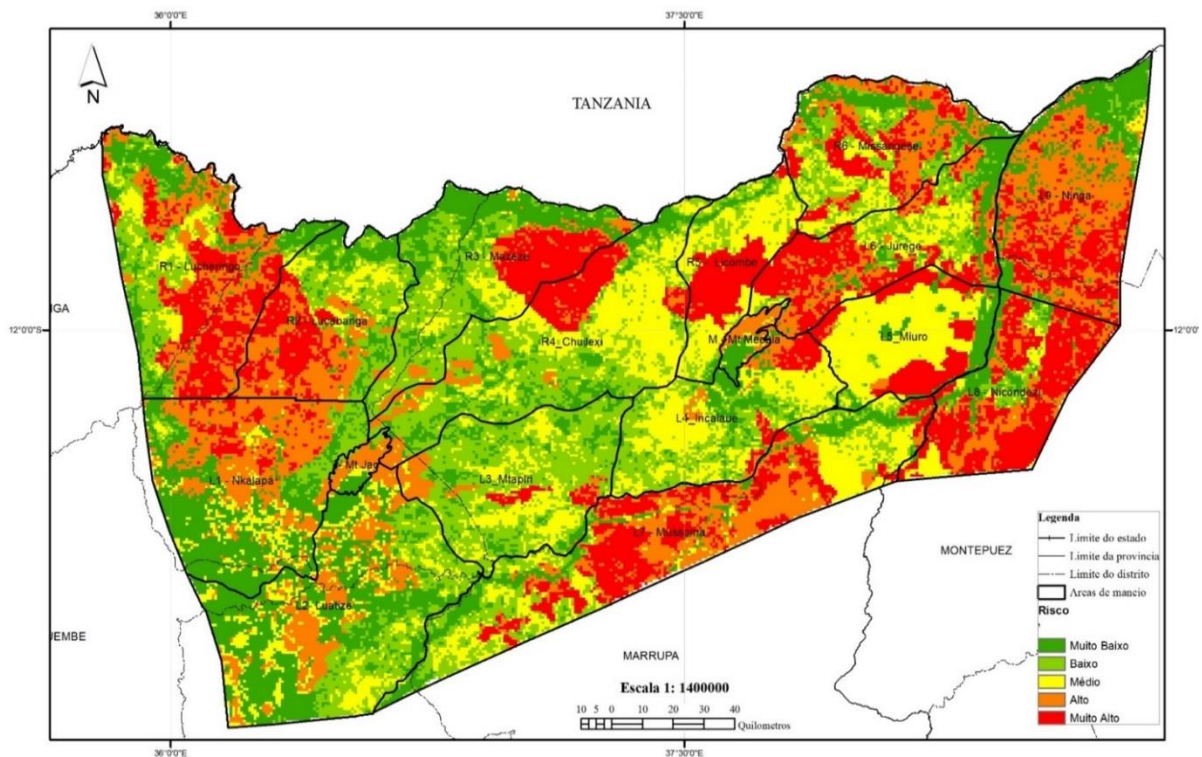


Figura 28- Mapa de Risco de Incêndio Florestal

5.5. Validação do Modelo

Para a validação do modelo de risco foi utilizada a análise ROC . O modelo estático foi muito preciso para classificar as categorias de risco de incêndio. A (figura 29) mostra a curva ROC desenvolvida para este modelo, construída através do cruzamento das taxas dos verdadeiros positivos e os falsos positivos (anexo 5) que correspondem a área ardida real e a área por categoria de risco respectivamente.

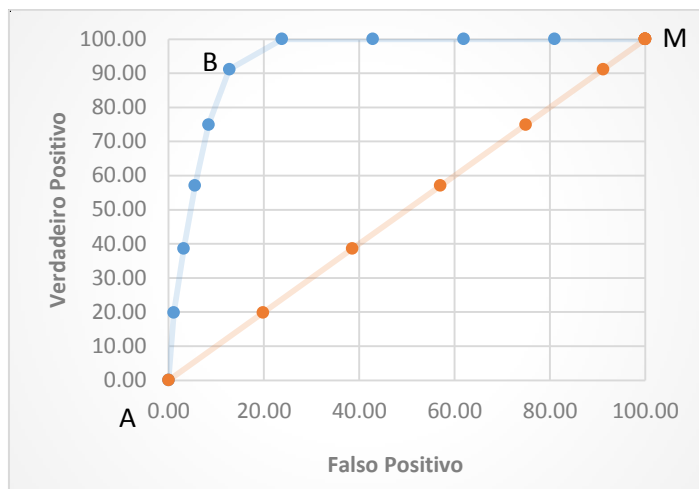


Figura 29- Curva ROC do modelo de risco de incêndio. A curva ABM representa o desempenho do modelo enquanto que a diagonal AM representa o desempenho de um modelo nulo.

De acordo com o gráfico, a análise ROC para a estatística do modelo de risco mostra que a *performance* do modelo é muito boa uma vez que 94% da área abaixo da curva ABM está sobre a diagonal AM. Este resultado está de acordo com a expectativa. Finalmente, deve ser mencionado que, em geral, a precisão do modelo foi consideravelmente alta, já que quase todas as cicatrizes de queimadas foram localizados na classe de alto risco (cerca de 90%).

6. CONCLUSÃO

O objectivo geral deste estudo era o de criar um modelo de risco de incêndio para a Reserva Nacional do Niassa. Este objectivo foi alcançado uma vez que o modelo de risco indentifica de forma acurada as áreas de alto, médio e baixo risco de incêndio. Por forma a desenvolver o modelo de risco, quatro objectivos especificos foram considerados. As conclusões de cada um destes objectivos estão sumarizadas nos parágrafos abaixo.

- O primeiro objectivo era o de desenvolver o modelo usando o efeito combinado dos diferentes factores tais como, combustível, topografia, proximidade as vias de acesso, precipitação; densidade dos elefantes;

O Modelo de risco foi desenvolvido usando as variáveis acima mencionadas porém alguns destes dados estão bastante desactualizados tais como as vias de acesso. Existe a necessidade de actualizar a informação cartográfica do parque por forma a que os modelos usados reflectam ainda mais a realidade.

- O segundo objectivo era analisar o peso de cada parâmetro bem como o contributo ou importância no processo de ignição de um incêndio florestal;

Uma das etapas mais importantes quando se pretende criar este tipo de modelos é a utilização de um sistema de pesagens adequando para o mapa de susceptibilidade. Esta necessidade sai reforçada para o caso da Reserva Nacional do Niassa uma vez que informação acerca desta temática é muito escassa. Entretanto a metodologia da regressão logística cumpriu os objectivos inicialmente propostos.

- O terceiro objectivo era produzir mapas de probabilidade, susceptibilidade, vulnerabilidade e valor económico dos recursos;

Este objectivo foi satisfatoriamente alcançado. Porém é importante referir que os valores de referência fornecidos para a produção da carta de valor económico não se adequam a área de estudo. A solução proposta que passou

por enquadrar a pesquisa no âmbito do mecanismo REDD constituiu um mínimo aceitável para a resposta ao problema.

- O último objectivo passava por produzir uma carta de risco que representa a variabilidade espacial do risco de Incêndio na Reserva;

Finalmente o objectivo de produzir uma carta de risco de incêndio foi alcançado e o resultado posteriormente validado estatisticamente tendo obtido bons resultados. No entanto apesar dos resultados alcançados serem positivos a metodologia utilizada tem algumas limitações. Essas limitações são sumarizadas a seguir:

- a metodologia proposta pela AFN apresenta uma nova abordagem comparativamente as metodologias existentes até então, desse modo uma parte da informação requerida ainda não esta disponível (ex. dados de vulnerabilidade, dados de valor económico dos espaços florestais). A informação deve ser produzida pela entidade que pretende produzir o mapa de risco, sendo que os critérios não estão muito claros;
- Na produção do mapa de valor económico algumas questões podem ser levantadas. Com efeito será possível atribuir valor económico a todas as componentes do risco? A floresta pode ser usada de diversas maneiras: para recreação, pesquisa e aprendizagem. Mas isso não é tudo. A floresta também nos proporciona serviços; assegura o abastecimento de água por meio da preservação de bacias hídricas e lençóis freáticos; fornece meios de subsistência aos povos que residem nas suas proximidades; insumos para a produção de medicamentos e cosméticos; regula o clima global mediante o sequestro de carbono; conserva a biodiversidade; e protege o solo contra erosão. Como refere (Nogueira et al. 2000) o problema prático com a valoração económica é obter estimativas plausíveis a partir de situações reais onde não existem “mercados aparentes” ou existem “mercados muito imperfeitos”. Conflitos surgem no processo de valoração em decorrência do facto de que certos

bens ou serviços florestais não se encontram a venda no mercado. E mesmo aqueles bens florestais comercializados possuem preços que não reflectem a sua escassez.

A cartografia de risco proposta pela AFN destina-se a um zoneamento municipal não permitindo comparações intermunicipais e nem generalizações regionais, apesar de este tipo de comparações representar sempre uma mais-valia.

7. RECOMENDAÇÕES

Recomendações para trabalhos futuros:

- É altamente recomendado que os dados de uso e cobertura ou coberto florestal sejam o mais actualizado possível caso não, esta deve ser acompanhada de informação sobre a biomassa ou NDVI que pode ser obtida a partir de imagens de satélite (ex. Landsat ou Spot);
- A incorporação de variáveis tais como humidade do ar, direcção e velocidade dos ventos é igualmente recomendável;
- É recomendada a actualização da informação espacial existente como as vias de acesso, assentamentos populacionais e o acréscimo de informação relativa aos locais de colheita de mel na RNN.

Recomendações para as autoridades gestoras da reserva:

- Uma vez que a actividade humana foi identificada como a maior causa dos incêndios florestais na RNN é recomendado que sejam intensificadas as estratégias de prevenção sempre envolvendo as comunidades locais;
- As áreas identificadas como sendo de alto risco devem estar devidamente sinalizadas e na época alta dos incêndios não deve ser permitida qualquer actividade turística nesses locais;
- Finalmente devem ser incentivadas as acções de fiscalização por forma a controlar as actividades ilegais dentro da reserva muitas delas causadoras de incêndios.

BIBLIOGRAFIA

- ADAB, H., Kanniah, K.D. & Solaimani, K., 2011. GIS-based Probability Assessment of Fire Risk in Grassland and Forested Landscapes of Golestan Province , Iran. , 19, pp.170–175.
- AFN, 2008. *Guia técnico para elaboração do Plano Operacional Municipal*, Available at: agricultura.pt/portal/dudf/gtfs/planeamento-dfci-municipal/guia-tecnico-para-elaboracao-do-pom-2008.
- AKINNIFESI, F.K. et al., 2006. Towards the Development of Miombo Fruit Trees As Commercial Tree Crops in Southern Africa. *Forests, Trees and Livelihoods*, 16(1), pp.103–121.
- ALBRECHT, J., 2007. *Key Concepts & Techniques in GIS*, Los Angeles: SAGE.
- ALGANI, U., 2010. Forest Fire Damage Estimation Using Remote Sensing and GIS. *Remote Sensing for Science, Education, and Natural and Cultural Heritage*.
- ANDREW, W.D., 2003. Management and Utilisation of Miombo Biodiversity Impact of Refugees influx in Kasulu , CBM MASTER THESES SERIES. , (23).
- BACHMANN, A. & Allgöwer, B., 2001. *A CONSISTENT WILDLAND FIRE RISK TERMINOLOGY IS NEEDED*, Washington, DC.
- BACKÉUS, I. et al., 2006. Tree communities and structural dynamics in miombo (Brachystegia–Julbernardia) woodland, Tanzania. *Forest Ecology and Management*, 230(1-3), pp.171–178.
- BARNES, R.F.W., Journal, T. & Aug, N., 1983. Effects of Elephant Browsing on Woodlands in a Tanzanian National Park : Measurements , Models and Management EFFECTS O F ELEPHANT BROWSING ON WOODLANDS IN A TANZANIAN NATIONAL PARK : MEASUREMENTS , MODELS AND MANAGEMENT *. , 20(2), pp.521–539.
- BATISTA, A., 2000. *Mapas de risco : uma alternativa para o planeamento de controle de incêndios florestais*,
- BEGG, C.M. & BEGG, K.S., 2010. *Niassa Carnivore Project ANNUAL REPORT THE YOUNGEST NIASA CARNIVORE PROJECT SUPPORTER AT THE MBAMBA VILLAGE LION FUN*,
- BEN-SHAHAR, R., 1998. Changes in structure of savanna woodlands in northern Botswana following the impacts of elephants and fire. , pp.189–194.
- BEUCHNER, H.K. & DAWKINS, H.C., 1961. Vegetation Change Induced by Elephants and Fire in Murchison Falls National. , 42(4), pp.752–766.

- BIRKMANN, J., 2006. Measuring vulnerability to promote disaster-resilient societies : Conceptual frameworks and definitions. , 01, pp.9–54.
- BIRKMANN, J., 2007. Risk and vulnerability indicators at different scales:Applicability, usefulness and policy implications. *Environmental Hazards*, 7(1), pp.20–31. Available at: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1016/j.envhaz.2007.04.002> [Accessed February 28, 2013].
- BOND, W.J. & KEELEY, J.E., 2005. Fire as a global “herbivore”: the ecology and evolution of flammable ecosystems. *Trends in ecology & evolution*, 20(7), pp.387–94. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16701401> [Accessed August 7, 2013].
- BOSTROM, A., 1990. RISK PERCEPTIONS : “ EXPERTS ” vs . “ LAY PEOPLE . ” , 6, pp.101–113.
- BRUGNOT, G., 2008. Spatial Management of Risks. In London: John Wiley & Sons, Inc.
- BURROUGH, P., 1987. *Principles of geographical information systems for land resources assessment*, London: Oxford Clarendon Press.
- BYERS, B., 2001. *Conserving the Miombo Ecoregion_ Final Reconnaissance Summary Report*, Harare.
- BYRAM, M., 1959. *Combustion of Forest Fuels in: Davis,K (ed) FOREST FIRE CONTROL AND USE*, New York.
- CAMPBELL, 2000. Miombo woodlands – opportunities and barriers to sustainable forest management. , p.41.
- CAMPBELL, B., 1996. *The Miombo in Transition : Woodlands and Welfare in Africa*,
- CARDONA et al, 2003. *INFORMATION AND INDICATORS PROGRAM FOR DISASTER RISK MANAGEMENT: Indicators for Disaster Risk Management Indicators for Disaster Risk Management*, Manizales.
- CARDONA, O.D., 2003. The Need for Rethinking the Concepts of Vulnerability and Risk from a Holistic Perspective : A Necessary Review and Criticism for Effective.
- CARDONA, O.D., 2011. Updating the Indicators of Disaster Risk and Risk Management for the Americas. , 1, pp.1–21.
- CARLOS, A., 2013. Procedimentos e algoritmos simples para construir mosaicos de imagens digitais de sensoriamento remoto utilizando. , (031), p.13. Available at: <http://www.carto.eng.uerj.br/fgeorj/segeo1996/125/index.htm>.

- CARNEIRO, D. & SILVA, D.A., 2012a. Correção de erro de altitude em mds aster-gdem , pp.1–9.
- CASTRO, C.F. De, Serra, G. & Parola, J., 2003. *Combate a incêndios florestais*,
- CCRS, 2013. Natural Resources Canada. Available at: <http://www.nrcan.gc.ca/earth-sciences/about/organization/organization-structure/canada-centre-for-remote-sensing/11740> [Accessed October 12, 2013].
- CHAFOTA, J., 1996. Effects of Changes In Elephant Densities On the Environment and Other Species — How Much Do We Know ? , (1988), pp.1–21.
- CHIDUMAYO, E., 1999. I S S U E S ' I N A F R I C A N B I O D I V E R S I T Y Using Natural Fertilizers in Miombo Woodlands. , (May).
- CHIDUMAYO, E. & GUMBO, D., 2010. The Dry Forests and Woodlands of Africa. In London: Earthscan.
- CHUVIECO, E. 2009. *Earth Observation of Wildland Fires in Mediterranean Ecosystems*, London: Springer.
- CHUVIECO, E. & CONGALTON, R.G., 1989. Application of remote sensing and geographic information systems to forest fire hazard mapping. *Remote Sensing of Environment*, 29(2), pp.147–159.
- CHUVIECO, E., GIGLIO, L. & JUSTICE, C., 2008. Global characterization of fire activity: toward defining fire regimes from Earth observation data. *Global Change Biology*, 14(7), pp.1488–1502. Available at: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1365-2486.2008.01585.x> [Accessed August 7, 2013].
- COCHRANE & RYAN, 2009. *Fire and fire ecology: Concepts and principles In: Cochrane, Mark A., ed. Tropical fire ecology: Climate change, land use, and ecosystem dynamics*, Chichester: Praxis Publishing.
- CRAIG, G., 2009. *AERIAL SURVEY OF WILDLIFE IN THE NIASSA RESERVE AND ADJACENT AREAS*,
- CUBASCH, U. & ROECKNERL, E., 1993. The Koppen climate classification as a diagnostic tool for general circulation models. , 3, pp.177–193.
- DAVIS, K.P. & Byram, G.M., 1959. FOREST FIRE CONTROL AND USE.
- DEWEES, P. a. et al., 2010. Managing the Miombo Woodlands of Southern Africa: Policies, Incentives and Options for the Rural Poor. *Journal of Natural Resources Policy Research*, 2(1), pp.57–73.

- DGRF, 2008. *GUIA TÉCNICO PARA ELABORAÇÃO DO PLANO OPERACIONAL MUNICIPAL_Direcção-Geral dos Recursos Florestais*,
- DUBLIN, H.T. et al., 1990. Elephants and Fire as Causes of Multiple Stable States in the Serengeti-Mara Woodlands ELEPHANTS AND FIRE AS CAUSES OF MULTIPLE STABLE STATES IN THE SERENGETI-MARA WOODLANDS. , 59(3), pp.1147–1164.
- FAO, 2006. Global forest resources assessment 2005: progress towards sustainable forest management. Available at: <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Global+forest+resources+assessment+Progress+towards+sustainable+forest+managment#0> [Accessed March 2, 2013].
- FAO, 2012. No Title. Available at: www.fao.org [Accessed December 3, 2012].
- FERREIRA, A., 2010. *Sistema de Informação Geográfica e Susceptibilidade a Incêndio Florestal_Análise de Metodologias em Ambiente SIG*. Universidade do Porto.
- FINNEY, M. a., 2005. The challenge of quantitative risk analysis for wildland fire. *Forest Ecology and Management*, 211(1-2), pp.97–108. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378112705000563> [Accessed March 7, 2013].
- FONSECA, A., 1998. *Participação Comunitaria na Gestão da Reserva do Niassa. Uma contribuição para análise espacial*. Universidade Eduardo Mondlane.
- FROST, P., 1996. *The ecology of miombo woodlands In: Campbell, B. (ed.) The Miombo in Transition: Woodlands and Welfare in Africa*,
- GILBERTO et al., 1996. *Anatomia de Sistemas de Informação Geografica* 1st ed., Rio de Janeiro: INPE/IBM/CPqD/UNICAMP.
- GILIBA, R.A. et al., 2011. Species Composition , Richness and Diversity in Miombo Woodland of Bereku Forest Reserve , Tanzania. , 2(1), pp.1–7.
- GUY, P., 1989. The influence of elephants and fire on a *Bvachystegia-Julbernardia* woodland in Zimbabwe. , 5(2), pp.215–226.
- HANNES, R., 2009. A FIRST ASSESSMENT OF ASTER GDEM TILES FOR ABSOLUTE ACCURACY , RELATIVE ACCURACY AND TERRAIN PARAMETERS § IES - European Commission - DG JRC , Via Fermi 1 , I - 21020 Ispra (VA) Italy , ‡ International Center for Tropical Agriculture (CIAT) and Intern. , pp.240–243.

- HARDY, C.C. et al., 1998. *MAPPING HISTORIC FIRE REGIMES FOR THE WESTERN UNITED STATES : INTEGRATING REMOTE SENSING AND BIOPHYSICAL DATA*,
- HARDY, C.C., 2005. Wildland fire hazard and risk: Problems, definitions, and context. *Forest Ecology and Management*, 211(1-2), pp.73–82. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S037811270500040X> [Accessed February 28, 2013].
- HIJMANS, R.J. et al., 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25(15), pp.1965–1978. Available at: <http://doi.wiley.com/10.1002/joc.1276> [Accessed March 3, 2013].
- HIRSIGER, E., 2012. Implication of current land use for Miombo woodland and its management from different stakeholders ' perspectives. , (April).
- HOLME, A., BURNSIDE, D. & MITCHELL, A., 1987. The development of a system for monitoring trend in range condition in the arid srublands of western australia. *Australian Rangeland Journal*, 9, pp.14–20.
- ICMBIO, 2010. *Manual para Formação de Brigadista de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais*, Brasília.
- IGEO, 2013. Instituto Geografico Português_Rede de Informações e Situações de Emergencia. Available at: <http://scrif.igeo.pt/default.htm#>.
- KAGELER, S., 2003. Large mammalian herbivores and woody plant species diversity in Zimbabwe. , (Cumming 1982), pp.703–715.
- KALABA, F.K., QUINN, C.H. & DOUGILL, A.J., 2012. Contribution of forest provisioning ecosystem services to rural livelihoods in Copperbelt ' s Miombo woodlands , Zambia. , (41).
- KÄLL, K., 2006. *The role of fire in the Miombo forest- - And the adaptation of the Community-based forest management to meet local needs*,
- KANE, D., 1992. *Science & Risk : How Safe is Safe Enough*.
- KOPPEL, J. VAN De & PRINS, H.H.T., 1998. The importance of herbivore interactions for the dynamics of African savanna woodlands: an hypothesis. *Journal of Tropical Ecology*, 14(5), pp.565–576.
- KUMAR, R. et al., 2002. Forest fire risk zone mapping from satellite imagery and GIS. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 4(1), pp.1–10.
- KUNT, S., 1995. Fire risk modelling based on satellite remote sensing and GIS.

- LEONARDO, B., WHITE, A. & RIBEIRO, A.D.S., 2011. Análise da precipitação e sua influência na ocorrência de incêndios florestais no Parque Nacional Serra de Itabaiana , Sergipe , Brasil Rainfall analysis and its influence in forest fire occurrence in the Serra de Itabaiana National Park , Sergipe , Brazi. , (12).
- LILLESAND, T.M., Kiefer, R.W. & Chipman, J.W., 2004. *Remote Sensing and Image Interpretation* R. Flahive, ed., Las Vegas: John Wiley & Sons, Inc.
- LIN, P. et al., 2006. Hazard Assessment of Debris Flows by Statistical Analysis and GIS in Central Taiwan. , pp.165–187.
- LIU, J.G. & MASON, P.J., 2009. *Essential Image Processing and GIS for Remote Sensing* 1st ed., Oxford: John Wiley & Sons, Inc.
- LONGLEY, P.A. et al., 2005. *Geographical Information Systems and Science* 2nd ed. John Wiley & Sons Inc, ed., London.
- LUPALA, Z.J., 2009. The impact of participatory forest management on Miombo woodland tree species diversity and local livelihoods. , (63).
- MAE, 2005. *PERFIL DO DISTRITO DE MECULA PROVÍNCIA DE NIASSA Edição 2005*,
- MALAMBO, F.M. & Syampungani, S., 2008. Opportunities and challenges for sustainable management of miombo woodlands : the Zambian perspective. , pp.125–130.
- MALMER, A., 2007. General ecological features of miombo woodlands and considerations for utilization and management. , (February), pp.34–42.
- MAPAURE, I. & Moe, S.R., 2009. Changes in the structure and composition of miombo woodlands mediated by elephants (*Loxodonta africana*) and fire over a 26-year period in north-western Zimbabwe. , pp.175–183.
- MARTELL, D.L., 1998. *FOREST FIRE MANAGEMENT Current practices and new challenges for operational researchers*, Ontario.
- MARTINS, E., 1998. *Manual de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais* Instituto ., Brasília.
- MARZOLI, A., 2007. *Inventário Florestal Nacional Relatório Final*, Maputo.
- MCCAFFREY, S., 1994a. Understanding Public Perspectives of Wildfire Risk.
- MCCAFFREY, S., 1994b. What Does “ Wildfire Risk ” Mean to the Public ? 1. , pp.33–45.

- VAN der MEULEN, G.G., 1992. Geographical information and decision support system. *Computers, Environment and Urban Systems*, 16(3), pp.187–193. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/019897159290030U>.
- MICOA, 2007. *Plano de acção para a prevenção e controlo as queimadas descontroladas*, Maputo.
- MISSOUMI, A., TADJEROUNI, K. & CHIKH, M., 2005. Remote Sensing and GIS , Two Major Tools for the Environment Management and Protection : Case of the Cartography of the Natural Disasters Remote Sensing and GIS , Two Major Tools for the Environment Management and Protection : Case of the Cartography of t. *From Pharaohs to Geoinformatics*.
- MORGERA & CIRELLI, 2009. *Forest fires and the law A guide for national drafters based on the Fire Management Voluntary Guidelines*, Rome.
- MOTTA, D.S., 2008. *IDENTIFICAÇÃO DOS FATORES QUE INFLUENCIAM NO COMPORTAMENTO DO FOGO EM INCÊNDIOS FLORESTAIS*. UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO.
- THE WORD BANK. 2012. Boletim sobre o processo político em Moçambique_.
- NOGUEIRA, J.M. et al., 2000. VALORAÇÃO ECONÔMICA DO MEIO AMBIENTE : CIÊNCIA OU EMPIRICISMO? *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, 17, pp.81–115.
- NOVILLO, J.D.A.M.C.J., 2008. Spatial modelling of the influence of human activity on wildfire ignition risk in a Mediterranean landscape. , 10.
- OLIVEIRA, C., 2006. *Susceptibilidade de Incêndio Florestal no concelho de Valongo . Implicações no Planeamento de Áreas Periurbanas Carla Isabel Pinto Oliveira*. [s. n.].
- OLIVEIRA, D.D.S. DE, 2002. *ZONEAMENTO DE RISCO DE INCÊNDIOS EM POVOAMENTOS FLORESTAIS NO NORTE DE SANTA CATARINA*. Universidade Federal do Paraná.
- ONIGEMO, A., 2007. *Avaliação de índices de risco de incêndio em áreas com predominância de gramíneas cespitosas na sub-região da nhecolândia, pantanal, ms*. UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL/ INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS.
- OROZCO, S.J., 2008. *FOREST FIRE RISK MODEL FOR MICHOACAN, MEXICO*. International Institute for Geo-information Science and Earth Observation.

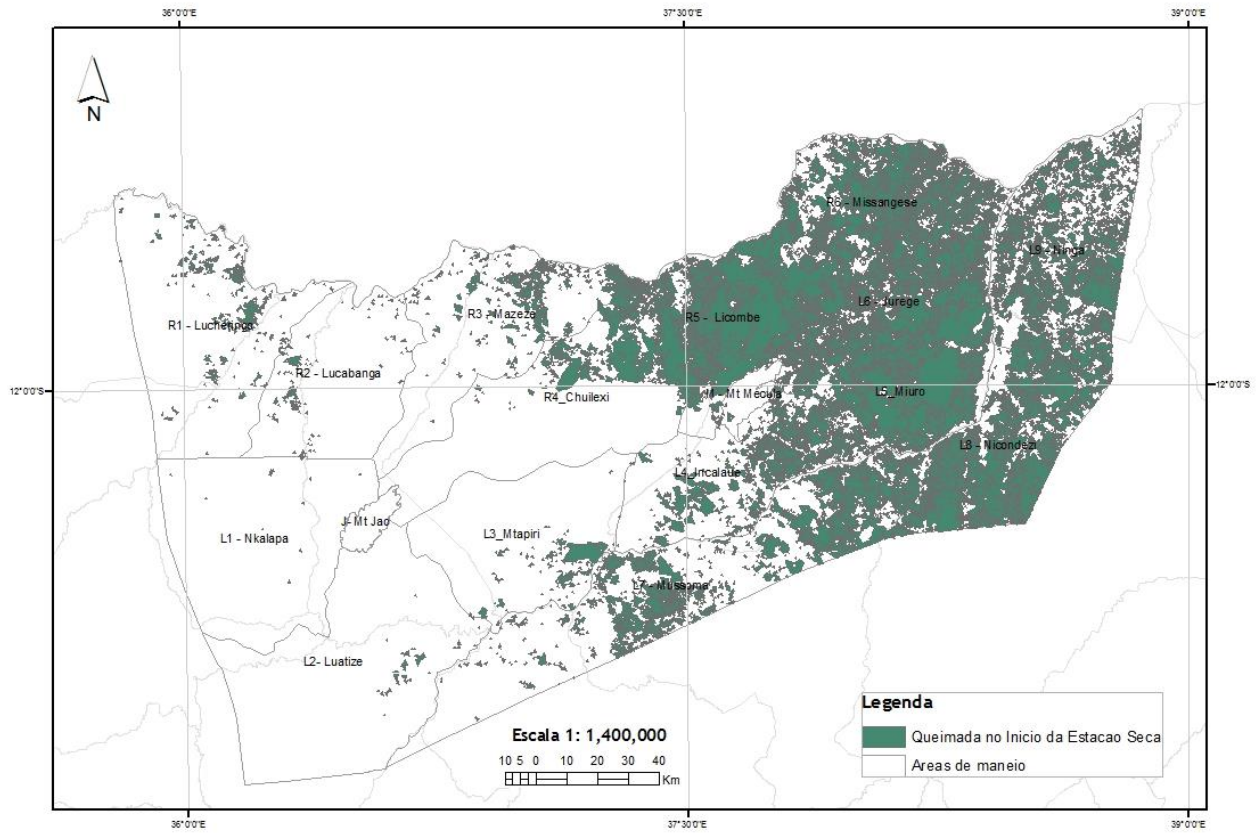
- PRISM, 2013. Introduction to Hydrologic Modeling in ArcGIS. Available at: www.prism.washington.edu/.../laboratory_exercise.
- PRUDENTE, T.D., 2010. *GEOTECNOLOGIAS APLICADAS AO MAPEAMENTO DE RISCO DE INCÊNDIO FLORESTAL NO PARQUE NACIONAL DA CHAPADA DOS VEADEIROS E ÁREA DE ENTORNO*. Universidade Federal de Uberlândia.
- RAWAT, G.S., 2003. Fire Risk Assessment For Forest Fire Control Management In Chilla Forest Range Of Rajaji National Park Uttaranchal (India). , (November).
- RENN, O., 2008. Concepts of Risk : An Interdisciplinary Review 1. , (September), pp.1–18.
- RIBEIRO, N., 2007. *Interactions between fires and elephants in relation to vegetation composition and structure of miombo woodlands in northern Mozambique*. University of Virginia, Charlottesville.
- RIBEIRO, N.S., SHUGART, H.H. & WASHINGTON-Allen, R., 2008. The effects of fire and elephants on species composition and structure of the Niassa Reserve, northern Mozambique. *Forest Ecology and Management*, 255(5-6), pp.1626–1636. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378112707008912> [Accessed July 31, 2013].
- RIBEIRO. et al., 2008. Aboveground biomass and leaf area index (LAI) mapping for Niassa Reserve, northern Mozambique. *Journal of Geophysical Research*, 113(G3), p.G02S02. Available at: <http://doi.wiley.com/10.1029/2007JG000550> [Accessed July 31, 2013].
- ROY, D. et al., 2005. Prototyping a global algorithm for systematic fire-affected area mapping using MODIS time series data. *Remote Sensing of Environment*, 97(2), pp.137–162.
- ROY, D. & BOSCHETTI, L., 2008. MODIS Collection 5 Burned Area Product User ' s Guide. , (September), pp.1–12.
- ROY, D., KENDALL, L. & JUSTICE, C., 1999. Multi-temporal active-® re based burn scar detection algorithm. , 20(5), pp.1031–1038.
- ROY, D., LEWIS, P. & JUSTICE, C., 2002. Burned area mapping using multi-temporal moderate spatial resolution data—a bi-directional reflectance model-based expectation approach. *Remote Sensing of Environment*, 83(1-2), pp.263–286. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0034425702000779>.
- SAKET, M., 1994. *Forest mapping at 1: 250 000 vegetation classification*. Ministry of Agriculture. National Directorate of Forestry and Wildlife., Maputo.

- SATURNINO, H., 2011. *DE INCÊNDIO FLORESTAL Hugo Manuel dos Santos Saturnino*. Instituto Politécnico de Castelo Branco.
- SCHÖNING, R., BACHMANN, A. & ALLGÖWER, B., 1997. GIS-based Framework for Wildfire Risk Assessment Final Report. , (February).
- SCHUNEMANN, F. & NOVACOVSKI, C., 2011. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.5737. *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto* -, 15, pp.5737–5744.
- SCHWARTZ, M.W. & CARO, T.M., 2003. Effect of selective logging on tree and understory regeneration in miombo woodland in western Tanzania. , pp.75–82.
- SETIAWAN, I. ET AL., 2004. GIS-grid-based and multi-criteria analysis for identifying and mapping peat swamp forest fire hazard in Pahang, Malaysia. *Disaster Prevention and Management*, 13(5), pp.379–386. Available at: <http://www.emeraldinsight.com/10.1108/09653560410568507> [Accessed August 13, 2013].
- SILVA, A., BRISTOT, G. & PINHEIRO, J.U., 2007. Uso de Imagens do Satélite ASTER – GDEM na Estimativa da Temperatura Média Anual do Ar para o Rio Grande do Norte. , pp.1–5.
- SJÖBERG, L., 1999. Risk Perception by the Public and by Experts : A Dilemma in Risk Management 1. , 6(2), pp.1–9.
- SKARPE, C. ET AL., 2004. The return of the giants: ecological effects of an increasing elephant population. *Ambio*, 33(6), pp.276–82. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15387059>.
- SKIDMORE, A., 2002. Environmental Modelling with GIS and Remote Sensing A. Skidmore, ed. Available at: <http://www.ebookstore.tandf.co.uk>.
- SOARES, R.V., 2003. *Novas tendências no controle de incêndios florestais*,
- SRN, 2013. Desenvolvimento Social - Aproximação a Comunidade. Available at: <http://www.niassareserve.org/drupal/pt-pt/desenvolvimento-social/aproximacao-comunidade>.
- SRN, 2006. *Plano de manejo da reserva nacional do niassa, Sociedade para a Gestão e Desenvolvimento da Reserva do Niassa Moçambique*
- TAMIOZZO, F. & TORRES, P., 2006. Relações entre fatores climáticos e ocorrências de incêndios florestais na cidade de juiz de fora (mg) 1. *Caminhos de Geografia*, 7(18), pp.162–171.

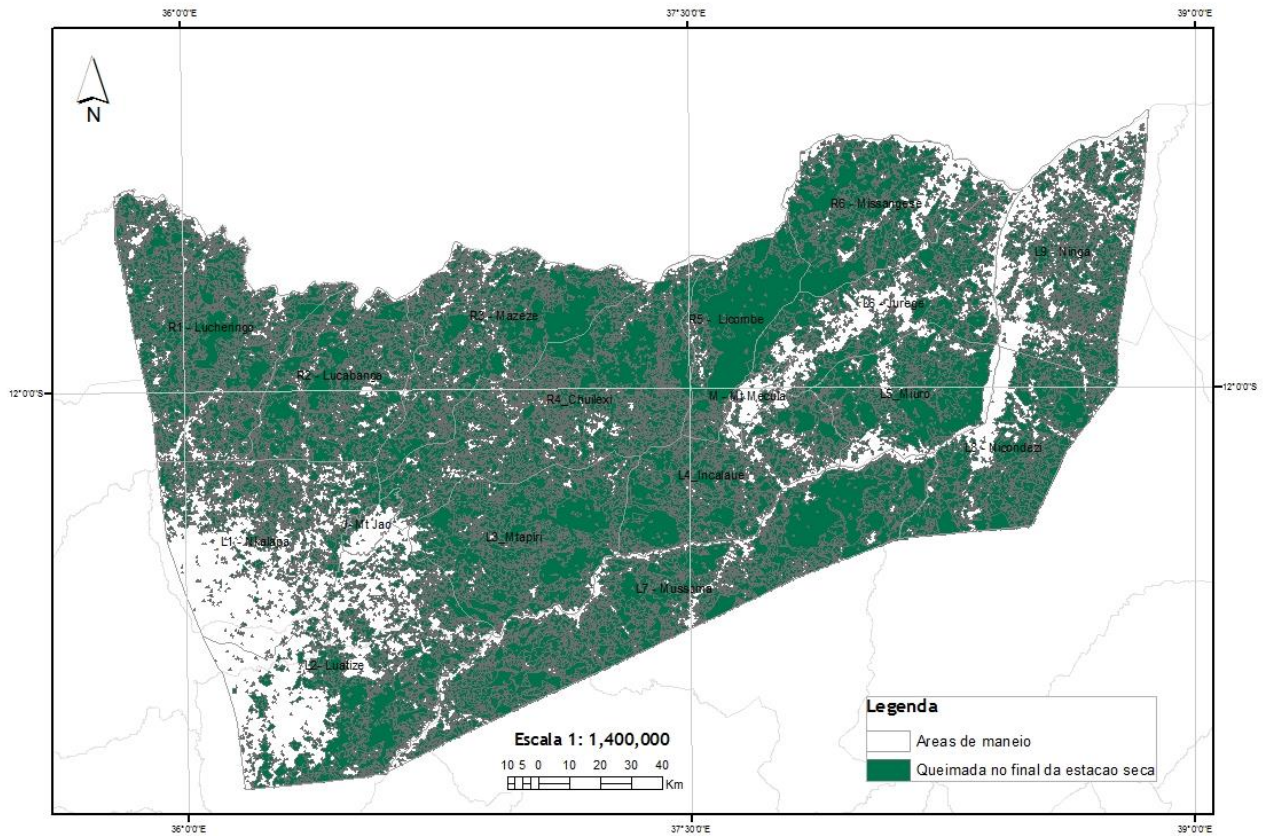
- TAVARES, A.O., 2010. Riscos Naturais e Ordenamento do Território – Modelos , práticas e políticas públicas a partir de uma reflexão. , 17.
- TIMBERLAKE, J., 2004. *Botanical Survey of the Niassa Reserve, Mozambique; Prepared for Sociedade para a Gestão e Desenvolvimento da Reserva do Niassa Moçambique,*
- TIMBERLAKE, J. & CHIDUMAYO, E., 2011. MIOMBO ECOREGION VISION REPORT. , 2001(20).
- TIMBERLAKE, J., GOLDING, J. & CLARKE, P., 2004. NIASSA BOTANICAL EXPEDITION JUNE 2003. , (12).
- TOMO, F.A., 2012. *ESTIMATIVAS DE STOCK DE CARBONO NAS FLORESTAS DE MIOMBO EM GONDOLA.* Universidade Eduardo Mondlane.
- UN, 2004. Living with risk A global review of disaster reduction initiatives. *The Review of Economic Studies*
- VALEIX, M. ET AL., 2007. Vegetation structure and ungulate abundance over a period of increasing elephant abundance in Hwange National Park, Zimbabwe. *Journal of Tropical Ecology*, 23(01), p.87.
- VARNES, D., 1984. *Landslide hazard zonation: a review of principles and practise,* Paris. UNESCO.
- VEGA-GARCIA, C., CHUVIECO, E. & MARTÍNEZ, J., 2009. Human-caused wildfire risk rating for prevention planning in Spain. *Journal of environmental management*, 90(2), pp.1241–52. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18723267> [Accessed March 10, 2013].
- VERDE, J.C., 2008. *Avaliação da Perigosidade a Incêndio Florestal.* Universidade de Lisboa Faculdade de Letras.
- VETTORAZZI E FERRAZ, 1998. Mapeamento do risco de incêndios florestais por meio de sistema de informações geográficas (SIG). *Scientia Florestalis*, 53, pp.39–48. Available at: <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr53/cap4.pdf>.
- VIJVER, C.A.D.M. VAN DE ET AL., 2007. Changes in the woody component of an East African savanna during 25years. , 15(5), pp.545–564.
- WACHINGER, G. ET AL., 2010. Risk perception and natural hazards. , (09), pp.1–111.
- WALKER, S.M. & DESANKER, P. V., 2004. The impact of land use on soil carbon in Miombo Woodlands of Malawi. *Forest Ecology and Management*, 203(1-3), pp.345–360.

ANEXOS

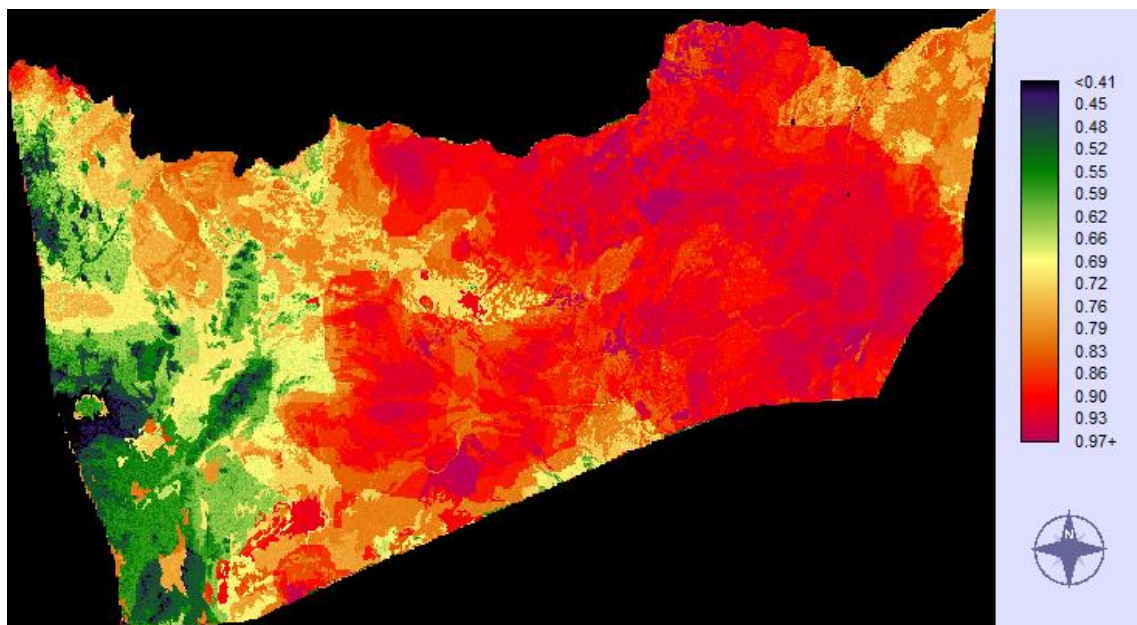
Anexo 1- Área ardida no Início da estação seca período de 10 anos (2001-2010)



Anexo 2- Área ardida no fim da estação seca período de 10 anos (2001-2010)



Anexo 3- Distribuição da Probabilidade de Queimada na RNN, estimada a partir das variáveis uso e cobertura, densidade dos elefantes, declive, distancia as vias de acesso e precipitação.



Anexo 4- Resultados da análise de regressão

Logistic Regression Results:

Regression Equation:

$$\begin{aligned} \text{logit}(\text{Area ardida}) = & -4.4566 + 0.009829*\text{Declive} + \\ & 0.499331*\text{Densidade} \\ & + 0.216057*\text{Dist}_R\text{oads} + 0.814145*\text{LCover} + \\ & 0.147025*\text{Precipitação} \\ & - 0.078454*\text{Temperatura} \end{aligned}$$

Individual Regression Coefficient

Variables	Coefficient
Intercept	-4.45664107
Declive	0.00982855
Densidade	0.49933062
Dist_Roads	0.21605706
LCover	0.81414515
Precipitação	0.14702539
Temperatura	-0.07845378

Regression Statistics :

Number of total observations	= 79016000
Number of 0s in study area	= 41470850
Number of 1s in study area	= 37545150
Percentage of 0s in study area	= 52.4841
Percentage of 1s in study area	= 47.5159
Number of auto-sampled observations	= 7554278
Number of 0s in sampled area	= 3965137
Number of 1s in sampled area	= 3589141
Percentage of 0s in sampled area	= 52.4886
Percentage of 1s in sampled area	= 47.5114
-2logL0	= 10453730.9635
-2log(likelihood)	= 4125864.7478
Pseudo R_square	= 0.6053
Goodness of Fit	= 5747913.1554
ChiSquare(6)	= 6327866.2157

Means and Standard Deviations

	Mean	Standard Deviation
Declive	1.548618	1.650701
Densidade	3.103542	3.031765
Dist_Roads	1.611506	1.802863

LCover	1.991826	1.722236
Precipitação	1.712986	1.614772
Temperatura	1.636684	1.584332
Area ardida	0.475114	0.499380

Classification of cases & odds ratio

Observed	Fitted_0	Fitted_1	Percent Correct
0	3236549	728588	81.6251
1	147881	3441260	95.8798

Odds Ratio = 103.3726

Reclassification of cases & ROC (Sample-based computation when applicable):

(1) Select a new threshold value such that, after reclassification, the number of fitted 1s matches the number of observed 1s in the dependent variable

New cutting threshold = 0.6392

Classification of cases & odds ratio by using the new threshold

Observed	Fitted_0	Fitted_1	Percent Correct
0	3482781	482356	87.8351
1	481309	3107832	86.5899

Adjusted Odds Ratio = 46.6221
 True Positive = 99.9993%
 False Positive = 12.1649%

(2) ROC* Result with 100 thresholds (Sample-based computation when applicable):

ROC = 0.9391

* ROC=1 indicates a perfect fit; and ROC=0.5 indicates a random fit.

Anexo 5 – Resultados da análise ROC

Result of ROC**

=====

ROC = 0.941

 The following section list detailed statistics for each threshold.

With each threshold, the following 2x2 contingency table is calculated

		Reality (reference image)	
		1	0
Simulated by threshold			
1	A(number of cells)		B(number of cells)
0	C		D
For the given reference image:		A+C=37545150	B+D=41470850

No. True posi.(%)	Exp. Thrhlds(%) B	Act. Thrhlds(%) False posi.(%)	Act. raw cuts	A
1	0.0000	0.0000	0.0000	0
0.0000	0	0.0000		
2	10.0000	10.0000	0.9337	7445398
19.8305	456203	1.1001		
3	20.0000	20.0000	0.8961	14482159
38.5727	1321042	3.1855		
4	30.0000	30.0000	0.8513	21406948
57.0165	2297853	5.5409		
5	40.0000	40.0000	0.7764	28128406
74.9189	3477995	8.3866		
6	50.0000	50.0000	0.6422	34221739
91.1482	5286262	12.7469		
7	60.0000	60.0000	0.0008	37536288
99.9764	9873313	23.8078		
8	70.0000	70.0000	0.0008	37536485
99.9769	17774716	42.8607		
9	80.0000	80.0000	0.0008	37537815
99.9805	25674986	61.9109		
10	90.0000	90.0000	0.0008	37537820
99.9805	33576581	80.9643		

```

11          100.0000          100.0000          0.0000  37545150
100.0000  41470850          100.0000
-----
-----

```

** For the given reference image, the following seven statistics are the same for all thresholds. The unit of each statistic is the proportion correct attributable to a combination of information of location and quantity.

```

-----
-----
No info of location and no info of quantity:          N(n) =
0.5000
Perfect info of location and perfect info of quantity:  P(p) =
1.0000
Perfect info of location and no info of quantity:      P(n) =
0.9752
No info of location and perfect info of quantity:     N(p) =
0.5012

```

```

No info of location and no info of quantity:          PerfectChance =
0.5000
No info of location and perfect info of quantity:    PerfectQuantity =
0.0012
Perfect info of location given no info of quantity: PerfectLocation =
0.4988
-----
-----

```

No.	M(m)	N(m)	P(m)	M(p)	M(n)
1	0.5248	0.5248	0.5248	0.5012	0.5000
2	0.6133	0.5199	0.6248	0.9451	0.9229
3	0.6914	0.5149	0.7248	0.9206	0.8995
4	0.7667	0.5099	0.8248	0.9079	0.8874
5	0.8368	0.5050	0.9248	0.8954	0.8755
6	0.8910	0.5000	0.9752	0.9117	0.8910
7	0.8749	0.4950	0.8752	0.9997	0.9749
8	0.7749	0.4901	0.7752	0.9996	0.9748
9	0.6750	0.4851	0.6752	0.9995	0.9747
10	0.5750	0.4801	0.5752	0.9990	0.9742
11	0.4752	0.4752	0.4752	0.5012	0.5000

No.	Kno	Klocation	Kquantity	Kstandard
1	0.050	0.000	20.128	0.000
2	0.227	0.890	-13.918	0.195
3	0.383	0.841	-9.870	0.364
4	0.533	0.815	-5.894	0.524
5	0.674	0.790	-1.947	0.670
6	0.782	0.823	0.000	0.782
7	0.750	0.999	-4.026	0.752

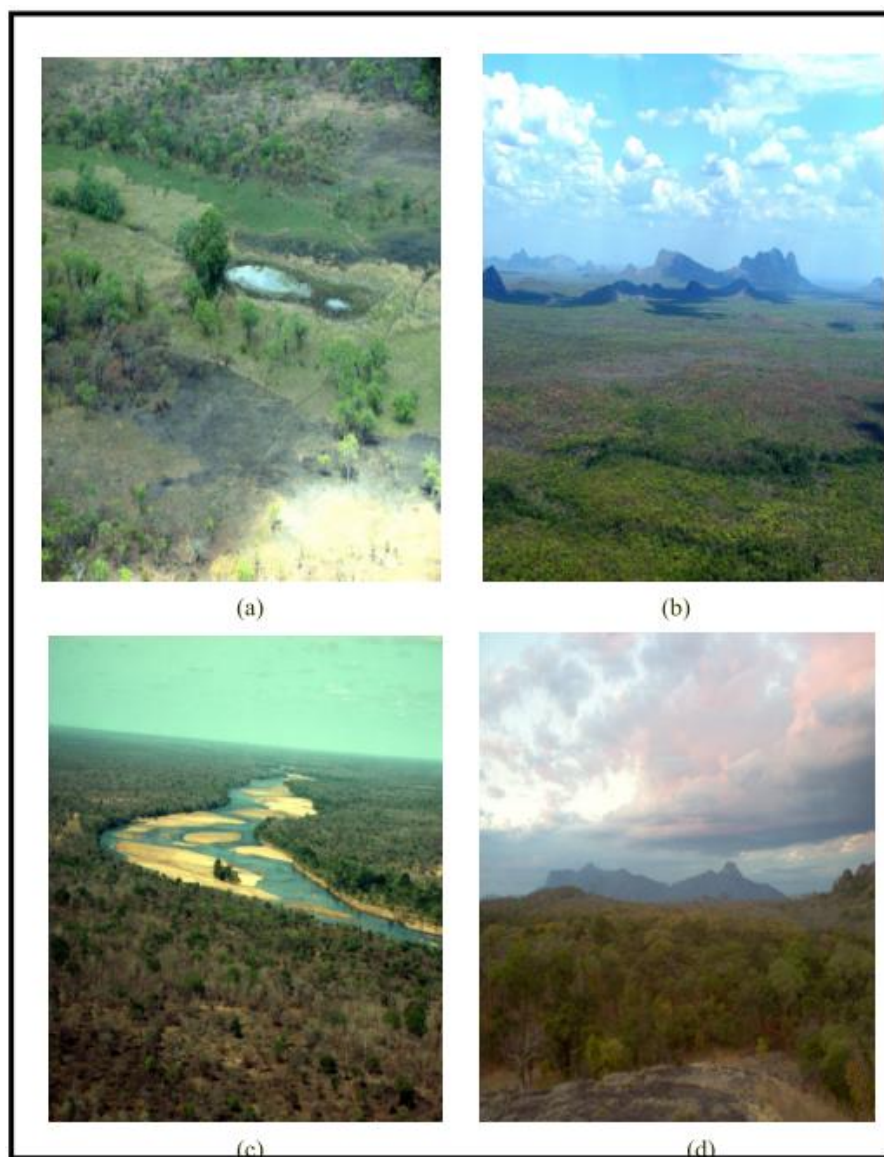
8	0.550	0.999	-8.051	0.559
9	0.350	0.999	-12.077	0.369
10	0.150	0.998	-16.102	0.182
11	-0.050	0.000	-20.128	0.000

No.	CorrectChance	CorrectQuantity	CorrectLocation	ErrorLocation
-----	---------------	-----------------	-----------------	---------------

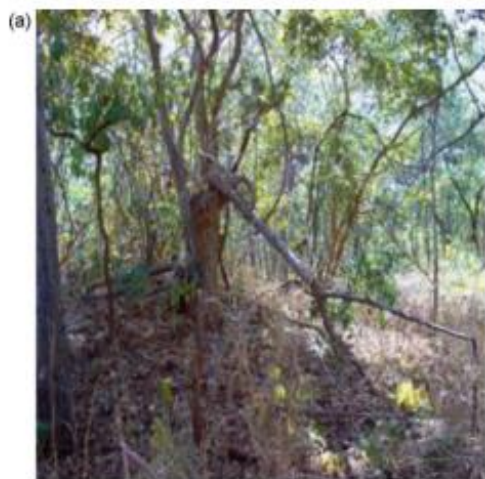
1	0.500	0.025	0.000	0.000
0.475				
2	0.500	0.020	0.093	0.012
0.375				
3	0.500	0.015	0.176	0.033
0.275				
4	0.500	0.010	0.257	0.058
0.175				
5	0.500	0.005	0.332	0.088
0.075				
6	0.500	0.000	0.391	0.084
0.025				
7	0.495	0.000	0.380	0.000
0.125				
8	0.490	0.000	0.285	0.000
0.225				
9	0.485	0.000	0.190	0.000
0.325				
10	0.480	0.000	0.095	0.000
0.425				
11	0.475	0.000	0.000	0.000
0.525				

** : A ranked image (Tmp\$Rank_tmp009) based on the input image was created in the working directory.
 In addition, a percentile map(Tmp\$percentile_tmp009) based on the threshold bands user specified was also created in the working directory.

Anexo 6 - Visão geral dos principais tipos de vegetação na RNN. a) Dambo b) floresta de miombo c) floresta ribeirinha d) floresta de miombo e serra de Mecula, Extraído de (Ribeiro, 2007).



Anexo 7- Categorias dos danos causados pelo fogo e pelos elefantes: a) Parcialmente quebrado b) Árvores descascadas c) Árvores derrubadas ainda com vida d) Tronco e copa queimada. Extraído de (Ribeiro. et al. 2008)



Anexo 8 – Valores de referencia para produção do Mapa de Vulnerabilidade

Elemento em risco	Vulnerabilidade	Valor
Produção Lenhosa		
Pinheiro bravo		€ 91 /ha
- Nascedio/Novedio	1,00	
- Bastio/Fustadio/Alto Fuste	0,75	
Outras resinosas	1,00	€ 84 /ha
Eucalipto	0,75	€ 136 /ha
Multifuncional		
Sobreiro	0,50	€ 618 /ha
Azinhaira	0,50	€ 112 /ha
Pinheiro manso	0,70	€ 494 /ha
Castanheiro	0,70	€ 830 /ha
Medronheiro	0,50	€ 191 /ha
Alfarrobeira	0,70	€ 781 /ha
Conservação		
Carvalhos	0,60	€ 87 /ha
Outras folhosas	0,50	€ 1507 /ha
Acácia e incenso	0,30	€ 0 /ha
Matos	0,40	€ 52 /ha
Edificado para Habitação		
Zona I	0,75	€ 721,28 /m ²
Zona II	0,75	€ 630,50 /m ²
Zona III	0,75	€ 571,22 /m ²
Edificado para Indústria, Serviços e Comércio	0,75	Ver Portaria n.º 982/2004, de 4 de Agosto.
Estradas	0,25	Consulte os proprietários ou deduza os valores a partir de, por exemplo, concursos públicos.
Ferrovias	0,75	
Rede Eléctrica	0,50	
Outros...		