



**CARTOGRAFIA DE OCUPAÇÃO DA TERRA COM
IMAGENS LANDSAT PARA O DISTRITO DE
MARRACUENE - MOÇAMBIQUE**

Etelvina da Conceição José Mazalo

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

Nova Information Management School

**CARTOGRAFIA DE OCUPAÇÃO DA TERRA COM IMAGENS LANDSAT
PARA O DISTRITO DE MARRACUENE - MOÇAMBIQUE**

Dissertação orientada por:

Professor Doutor Mário Sílvio Rochinha de Andrade Caetano

Abril de 2018

DECLARAÇÃO DE ORIGINALIDADE

Declaro que o trabalho contido neste documento é da minha autoria e não de outra pessoa. Toda a assistência recebida de outras pessoas está devidamente assinalada e é efetuada referência a todas as fontes utilizadas (publicadas ou não).

O trabalho não foi anteriormente submetido ou avaliado na NOVA Information Management School ou em qualquer outra instituição.

Maputo, Abril de 2018

Estelina da Conceição José Magalo

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter-me dado a sabedoria e persistência para vencer mais esse desafio em minha vida.

Aos meus pais que me guiam onde quer que estejam.

Ao meu supervisor Professor Doutor Mário Caetano pela sua disponibilidade, orientação e transmissão de conhecimentos e conselhos enriquecedores para a concretização deste trabalho.

Meus filhos: Ivan Miguel e Chelsea Rosa, a minha irmã Claudina Mazalo e meu irmão Miguel dos Santos muito obrigada pois em vós busco forças e inspiração. São os meus maiores alcerces.

Especial agradecimento vai para Feliciano Mazuze pelo apoio constante e por manter o ânimo sempre em alta.

Ao Joaquim Viegas pelo apoio e incentivo.

Os meus respeitosos agradecimentos vão também para o MSc Márcio Mathe, dr. Constatino Vidamão, dr. Lúcio Mavundla e dr. Paulo Martinho pela força e apoio incondicional.

Agradeço ainda o CENACARTA pela bolsa e disponibilização de imagens de satélite e outros dados que serviram de suporte para o meu trabalho.

De igual modo agradeço a todos que directa ou indirectamente fizeram-se presente na realização deste trabalho.

E por fim, a todos aqueles que me atrapalharam de alguma forma nesta contenda, por não terem logrado êxito.

CARTOGRAFIA DE OCUPAÇÃO DA TERRA COM IMAGENS LANDSAT PARA O DISTRITO DE MARRACUENE - MOÇAMBIQUE

RESUMO

Analisar espacialmente a cartografia de ocupação da terra do distrito de Marracuene e áreas circunvizinhas a partir de imagens do satélite Landsat 5 significa interpretar as imagens tidas dos sensores a bordo nestes satélites de épocas diferentes.

A metodologia usada baseou-se na revisão bibliográfica, uso de técnicas de Detecção Remota (DR) e Sistemas de Informação Geográfica (SIG), que além da aquisição e análise espacial permitiram a realização da classificação das imagens da área de estudo, o manuseamento da base de dados (BDCOV250) existente do CENACARTA (Centro Nacional de Cartografia e Teledetecção) e da DNTF (Direcção Nacional de Terras e Florestas).

Neste trabalho foi feita a classificação das imagens de Landsat 5 para os anos de 1991 e 2011 seguindo-se da validação (matriz de confusão) que mostra a qualidade do modelo gerado.

Como produto final foram elaborados mapas de uso e cobertura da terra para os dois anos em análise. Com base nestes resultados foi possível posteriormente fazer a detecção de mudanças o que permitiu verificar as classes que com o tempo mudaram e as que se mantiveram inalteradas.

A cartografia de uso e cobertura da terra baseada em imagens de satélite permitirá aos planificadores tomarem conhecimento sobre a situação actual do distrito, para acções que permitam a criação de meios para conservação, uso racional e consciente dos recursos florestais existentes no distrito.

ABSTRACT

Analyzing spatially the land occupation cartography of Marracuene district and surrounding areas from images of Landsat 5 satellite means interpreting the images taken of the sensors on board these satellites of different times.

The methodology used was based on the bibliographic review, the use of Remote Sensing (RS) and Geographic Information Systems (GIS) techniques, which besides the acquisition and spatial analysis allowed the accomplishment of the classification of the images of the study area, the manipulation of the (BDCOV250) of CENACARTA (National Center for Cartography and Remote Sensing) and DNTF (National Direction of Lands and Forests).

In this work the classification of the Landsat images 5, from 1991 and 2011 and the validation (confusion matrix) were done, showing how good the generated model is.

As final product, maps of land use and land cover were generated, illustrating the patented classes that allow the visualization of the cartography containing twelve classes (12) that indicate the existence of a change in land use and land cover, which during the period under analysis disappeared well as the classes that were constant in all the analyzed epochs.

Land-based satellite imagery and land-use mapping will enable planners to become aware of the current situation of the district for actions that allow the creation of means for conservation, rational and conscious use of forest resources in the district.

PALAVRAS-CHAVE

Detecção Remota,
Sistemas de Informação Geográfica,
Imagens Digitais,
Ocupação da terra.

KEYWORDS

Remote Sensing
Geographic Information System
Digital Image
Land Cover

ACRÓNIMOS

AFRICOVER - Land Cover Classification and Mapping for Africa

BTS – Base Topográfica Simplificada

CENACARTA – Centro Nacional de Cartografia e Teledeteccção

CORINE – Coordination of information on the Environment

DINAGECA – Direcção Nacional de Geografia e Cadastro

DNG – Direcção Nacional de Geologia

FAO - Food and Agriculture Organization

IGBP – International Geosphere Biosphere Programme

IGN FI – Instituto Geográfico Nacional France Internacional

IIAM – Instituto de Investigação Agrária de Moçambique

INDER – Instituto de Desenvolvimento Rural

INE – Instituto Nacional de Estatística

INIA – Instituto Nacional de Investigação Agrária

MAE – Ministério de Administração Estatal

MAXVER – Máxima Verossimilhança

MOZ - Moçambique

SIG – Sistemas de Informação Geográfica

TM - Thematic Mapper

USGS. United States Geological Survey

UCT – Uso e Cobertura da Terra

UTM - Universal Transversal de Mercator

ÍNDICE DO TEXTO

	Pág.
DECLARAÇÃO DE ORIGINALIDADE	ii
AGRADECIMENTOS.....	iii
RESUMO	iv
ABSTRACT.....	v
PALAVRAS-CHAVE	vi
KEYWORDS	vi
ACRÓNIMOS.....	vii
ÍNDICE DE TABELAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE ANEXOS.....	xii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Motivação.....	2
1.3. Hipótese de Trabalho	2
1.4. Relevância do estudo.....	3
1.5. Objectivos	3
1.5.1. Geral.....	3
1.5.2. Específicos	3
1.6. Organização do trabalho	4
2. PESQUISA BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1. Detecção Remota	5
2.1.1. Detecção Remota e a Classificação das Imagens de Satélite	5
2.1.2. Detecção Remota na Produção de Mapas de Ocupação da Terra	6
2.2. Sistemas de Informação Geográfica.....	6
2.3. Cartografia	7
2.3.1. Cartografia Digital	8
2.4. Uso e Cobertura da Terra	8
2.4.1. Importância da Cartografia de Ocupação da Terra	8
2.4.2. Sistemas de Classificação do Uso e Cobertura da Terra	9
2.4.3. Detecção de Mudanças no Uso e Cobertura da Terra	9

2.4.4.	Técnicas de Detecção de Mudanças do Uso e Cobertura da Terra	11
2.4.5.	Factores que originam as mudanças do Uso e Cobertura da Terra	12
2.5.	Uso e Cobertura da Terra em Moçambique	12
2.5.1.	Nomenclatura do Uso e Cobertura da Terra.....	14
3.	ÁREA DE ESTUDO.....	21
3.1.	Localização Geográfica da Área de Estudo	21
3.2.	Uso e Cobertura da Terra da Área de Estudo.....	22
3.3.	Geologia e Geomorfologia.....	24
3.4.	Solos e Agricultura.....	25
3.5.	Clima e Hidrografia.....	26
3.6.	Uso e Cobertura da Terra	27
4.	MATERIAL E MÉTODOS	29
4.1.	Material	29
4.2.	Métodos.....	30
4.2.1.	Classificação das Imagens de Satélite.....	31
4.2.1.1.	Classificação Supervisionada.....	31
4.2.1.2.	Classificação Visual	33
4.2.2.	Avaliação da Classificação	34
4.2.2.1.	Classificação Supervisionada.....	34
4.2.2.2.	Classificação Visual	35
4.2.3.	Produção de Mapas Temáticos.....	35
5.	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	36
5.1.	Classificação supervisionada	36
5.1.1.	Análise da classificação supervisionada	39
5.2.	Classificação visual.....	45
5.2.1.	Uso e Cobertura da Terra 1991	45
5.2.2.	Uso e Cobertura da Terra 2011	46
5.2.3.	Análise da Classificação Visual	47
5.3.	Análise Comparativa.....	51
5.3.1.	Classificação Supervisionada e Visual de 1991	51
5.3.2.	Classificação Supervisionada e Visual de 2011	53
5.4.	Mudanças no Uso e Cobertura da Terra entre 1991 e 2011	55

5.5. Vantagens e Desvantagens de Produção de Mapas de Uso e Cobertura da Terra com recurso a Classificação Supervisionada e Classificação Visual.....	57
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	58
6.1. Conclusões	58
6.2. Recomendações.....	59
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
ANEXOS	64

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Classes de uso e cobertura da terra do distrito de Marracuene (CENACARTA, 1999)	23
Tabela 2: Dados usados na realização do trabalho.....	30
Tabela 3: Amostras de treino	32
Tabela 4 : Matriz de Confusão de 1991	40
Tabela 5 : Matriz de Confusão de 2011	41
Tabela 6: Classificação supervisionada do uso e cobertura da terra para 1991 e 2011.....	43
Tabela 7: Classificação visual do uso e cobertura da terra para 1991 e 2011	48
Tabela 8: Análise comparativa da classificação visual e supervisionada do uso e cobertura da terra para 1991	52
Tabela 9: Análise comparativa da classificação visual e supervisionada do uso e cobertura da terra para 2011	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de Localização Geográfica da Área de Estudo	21
Figura 2: Geologia e Geomorfologia da área de estudo (Fonte: DNG, 1996).....	24
Figura 3: Distribuição dos Solos pelo pela área de estudo (Fonte: IIAM, 1990).	26
Figura 4: Hidrografia da área de estudo (Fonte: CENACARTA, 1999)	27
Figura 5: Uso e Cobertura de Terra (CENACARTA, 1999).	29
Figura 6: Uso e Cobertura da Terra com base na classificação Supervisionada para 1991	37
Figura 7: Uso e Cobertura da Terra com base na classificação Supervisionada para 2011	38
Figura 8: variação do uso e cobertura na classificação supervisionada (1999 e 2011)	44
Figura 9: Classificação do uso e cobertura da Terra com base na classificação visual em 1991.....	46
Figura 10: Classificação do Uso e Cobertura da Terra com base na classificação visual em 2011.....	47
Figura 11: variação do uso e cobertura na interpretação visual (1999 e 2011)	49
Figura 12: variabilidade espacial do uso e cobertura da terra com base nas classificações supervisionada e visual (1991)	53
Figura 13: variabilidade espacial do uso e cobertura da terra com base nas classificações supervisionada e visual (2011)	55
Figura 14: Classe de plantações em 1991 a esquerda e surgimento da área habitacional não urbanizada a direita.....	56

Figura 15: Presença de sequeiro em 1991 a esquerda e surgimento da area habitacional
nao urbanizadabem 2011 a direita 56

LISTA DE ANEXOS

Anexos 1: Imagem Landsat 5 de 03 de Fevereiro de 1991, usada para a classificação
supervisionada e interpretação visual. 65

Anexos 2: Imagem Landsat 5 de 04 de Abril de 2011, usada para a classificação
supervisionada e interpretação visual. 66

Anexos 3: Georreferenciação das imagens. 67

Anexos 4: Amostras de treino da imegem de 1991. 68

Anexos 5: Amostras de treino da imagem de 2011. 69

Anexos 6: Base Temática de Moçambique contendo o Uso e a Cobertura da Terra. 70

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

Em Moçambique o uso e ocupação desordenados da terra estão associados a carência de informação espacial georreferenciada e crescimento populacional aliado ao desenvolvimento acelerado que o país vive. Estes factores, levam a população a procurar novas áreas para habitação. O distrito de Marracuene por situar-se próximo da Cidade de Maputo, tem sofrido muita pressão da população a procura de novas áreas para habitação e cortes florestais para produção de combustíveis diversos.

O crescente interesse sobre uso e cobertura da terra desperta interesse em toda a sociedade, pois além de monitorar os possíveis impactos ambientais, pode-se acompanhar o desenvolvimento sócio-económico de um local, tanto em escala local como também em escala regional ou até mesmo global (Montebelo *et al.*, 2005).

O conhecimento e monitoramento da ocupação da terra é primordial para a compreensão dos padrões de organização do espaço, uma vez que permite que as tendências de mudança possam ser analisadas. Este monitoramento consiste em buscar conhecimento de toda sua utilização por parte do homem ou, quando não utilizado pelo homem, a caracterização de tipos de categorias de vegetação natural que reveste o solo, como também suas respectivas localizações. De forma sintética, a expressão “uso da terra ou uso do solo” pode ser entendida como sendo a forma pela qual o espaço está sendo ocupado pelo homem (Rosa, 2007).

Para Forman e Godrom (1986) as paisagens possuem três características principais: a estrutura (as relações espaciais entre os ecossistemas que as compõem); a função (interacção entre os elementos espaciais); e a mudança, que consiste na alteração destas duas primeiras características ao longo do tempo.

Já Houghton (1994) diz que as mudanças de uso da terra estão ligadas de forma complexa com o desenvolvimento económico, crescimento da população, tecnologia e mudanças ambientais, podendo ser mudanças de área ou mudanças de intensidade de uso, reflectindo a história e talvez o futuro da humanidade. Ainda segundo o mesmo autor, essas mudanças ocorreram dispersadas no tempo e no espaço ao longo de mais de 10.000 anos de agricultura, durante os quais grandes mudanças ocorreram na

Mesoamérica, Europa e partes da Ásia e África; em alguns casos acumulando-se ao longo do tempo e em outros declinando conforme o declínio de impérios; nos últimos séculos e mais ainda nas últimas décadas essas mudanças veem tornando-se globais, tanto na distribuição como nos seus efeitos.

Hoje, a detecção de mudanças do uso e cobertura da terra com recurso a imagens de satélite é considerada uma das funções da detecção remota que agrega uma dimensão temporal à análise das informações contidas nas imagens, representando uma importante base para acções de monitorização, estabelecimento de novas políticas ambientais, e a convenção da biodiversidade, que requerem informação detalhada sobre a dinâmica do uso e cobertura da terra (Kiel, 2008).

1.2. Motivação

A crescente influência das actividades do homem no funcionamento e no equilíbrio do ecossistema nos últimos anos, tem merecido cada vez mais atenção por parte da comunidade científica. Por estas razões, ao longo dos anos também se exploraram as possibilidades de levantamento do uso e cobertura da terra a partir de imagens de baixo custo, alta resolução temporal e baixa ou moderada resolução espacial (Novo, 2008).

Não se conhecendo o grau do uso e cobertura da terra e tendo em conta a grande expansão populacional e conseqüentemente abertura de extensas e novas áreas para fins agrícola, industrial e habitacional que subsidiam a transformação do mesmo, motivou-me a desenvolver um trabalho que visasse analisar a dinâmica do uso e cobertura da área em estudo com recurso a imagens de satélite Landsat 5.

1.3. Hipótese de Trabalho

As imagens de satélite têm sido muito usadas com sucesso noutras áreas para caracterizar dinâmicas de paisagem, pelo que se espera que as imagens também possam ser usadas na minha área de estudo com o mesmo objectivo desde que utilizadas as metodologias adequadas.

Uma hipótese dá referência a um ou vários resultados esperados ou possíveis como resultado da pesquisa, deste modo a hipótese acima colocada sugere resultados obtidos com metodologias de detecção de mudanças usando produtos de sensores orbitais.

1.4. Relevância do estudo

O estudo da dinâmica e da evolução das alterações do ecossistema tem importância económica, social e ambiental para a comunidade. Devido a frequentes alterações que o ecossistema apresenta em climas diversos, a sua monitorização é importante para estudos de evolução da paisagem como também para actividades de planeamento e ordenamento territorial bem como perspectivar acções futuras nas regiões com desflorestamento acentuado ou não.

De um modo geral, os estudos de monitorização das alterações da cobertura vegetal têm-se focado principalmente na detecção de classes particulares, com maior incidência para cortes, queimadas, uso e aproveitamento de terra.

De acordo com Filho (2005) a aplicação de Detecção Remota em várias escalas temporais por meio de mapeamento, servirá de análise nas relações espaciais, obtidas e armazenadas em SIG e para desvendar os processos que resultaram na análise da dinâmica do uso e cobertura da terra.

1.5. Objectivos

1.5.1. Geral

- O presente trabalho tem como principal objectivo, analisar a dinâmica de ocupação da terra no distrito de Marracuene e áreas circunvizinhas, entre os anos de 1991 e 2011, com recurso aos métodos automáticos de classificação, através do uso integrado de Detecção Remota e Sistemas de Informação Geográfica, empregando a nomenclatura de uso e cobertura da terra do Projecto AFRICOVER.

1.5.2. Específicos

- Analisar o uso de imagens de satélite para a produção de mapas de uso e cobertura da terra para o distrito de Marracuene e áreas circunvizinhas;
- Comparar diferentes técnicas de classificação de imagens orbitais do satélite LANDSAT 5 para produção de mapas de uso e cobertura da terra.
- Comparar a classificação automática com a interpretação visual.

1.6. Organização do trabalho

A dissertação inicia com o capítulo um que aborda a introdução, motivação, hipótese do trabalho, a relevância do estudo bem como os objectivos do trabalho;

O segundo capítulo corresponde a revisão bibliográfica;

O terceiro capítulo refere-se à descrição da área de estudo, e sua caracterização física;

O quarto capítulo abrange uma exposição sucinta do material e métodos aplicados para se alcançar os objectivos do trabalho;

No capítulo cinco apresentam-se os resultados bem como as dificuldades encontradas durante a realização do trabalho;

No capítulo seis e último estão expostas as conclusões possíveis da elaboração deste trabalho, assim como recomendações para trabalhos de pesquisa futuros em detecção de mudanças no uso e cobertura da terra em Moçambique.

2. PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

2.1. Detecção Remota

Segundo Lillesand e Kiefer (2003), detecção remota é descrita como a arte e a ciência de obter informação de um objecto, área ou fenómeno através da análise de dados adquiridos por um instrumento que não está em contacto com o objecto, área ou fenómeno analisado. Esta informação obtida refere-se, a maior parte das vezes, à radiação electromagnética emitida pelos objectos (Caetano, 2012). Os sensores para captar as imagens podem estar montados em aviões ou em satélites, adquirindo diferentes tipos de imagens que têm aplicabilidades distintas.

Para Florenzano (2002), detecção remota é a tecnologia que permite obter imagens e outros tipos de dados, da superfície terrestre, mediante a captação e do registo de energia reflectida ou emitida pela superfície incluindo as fotografias aéreas e as imagens de satélite. Já Pinto (2001) refere-se à detecção remota como a utilização conjunta de modernos sensores, equipamentos para o processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados, aeronaves, etc. com objectivo de estudar o ambiente terrestre através do registo e de análise das interacções entre a radiação electromagnética e as substâncias componentes do planeta terra em suas mais diversas manifestações.

2.1.1. Detecção Remota e a Classificação das Imagens de Satélite

A aplicação da detecção remota na classificação de imagens tem sido alvo de pesquisa por parte da comunidade científica, porque os seus resultados são a base de muitos estudos ambientais e socioeconómicos (Lu e Weng, 2007). De facto, a cartografia de ocupação da terra é um instrumento fundamental em estudos ambientais, na tomada de decisão em ordenamento e planeamento do território, e na definição de políticas de gestão de recursos naturais (Caetano *et al.*, 2002).

Deste modo, existem várias abordagens para a classificação de imagens de satélite, que podem ser automáticas ou por interpretação visual de imagem. A vantagem da classificação automática face ao método de análise visual de imagem é a eliminação da parte ou totalidade da subjectividade inerente ao processo de análise visual

introduzido pelo foto-intérprete e a automatização de processos, de forma a tornar a tarefa mais expedita (Lu e Weng, 2007).

2.1.2. Detecção Remota na Produção de Mapas de Ocupação da Terra

Moçambique tem recorrido a fotografia aérea como informação de base para a produção de cartografia de ocupação da terra. Por um lado, embora este suporte de informação resulte em mapas bastante precisos, a sua aquisição e fotointerpretação têm custos muito elevados e consomem muito tempo (Lillesand e Kiefer, 2000).

As imagens de satélite têm vindo a substituir as fotografias aéreas como informação de base para a produção de cartografia. As principais qualidades deste tipo de dados estão relacionadas com a sua forma de aquisição, geralmente de grandes áreas, de forma sistemática, a baixos custos e em formato digital. A substituição do tipo de informação de base permite reduzir o custo da produção de cartografia temática de duas formas: (1) menor custo da informação de base, e (2) possibilitar a utilização de métodos automáticos, em alternativa aos processos morosos e dispendiosos da interpretação visual, o que reduz drasticamente o custo do processo cartográfico propriamente dito. Porém, a produção automática a partir de imagens de satélite pode ser prejudicada por situações como o facto de diferentes classes de uso e cobertura da do solo poderem ter assinaturas espectrais semelhantes ou não serem identificáveis ao nível do *pixel* (Caetano e Santos, 2001).

2.2. Sistemas de Informação Geográfica

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) são recursos de análise. Funções de busca e questionamento no espaço a partir de dados (informações) alfanuméricos, relações topológicas, operações de sobreposição temática, entre outras, são características desses sistemas. O desempenho desses sistemas depende do projecto com objectivos muito bem determinados e da construção de base de dados (gráficos e alfanuméricos).

Um SIG deve possuir prioritariamente quatro funções: aquisição de dados, gerenciamento, análise e exibição de resultados. Uma função que pode ser considerada como a principal de um SIG é a análise, pois possibilita operações de extracção e geração de novas informações do espaço geográfico, a partir de critérios especificados

pelo próprio usuário, sendo extremamente útil para o gerenciamento, o planejamento e execução de projectos quaisquer que seja o âmbito da aplicação (Jacoski, 2006).

A utilização de técnicas de geoprocessamento constitui um instrumento de grande potencial para o estabelecimento de planos integrados de conservação do solo e da água. Nesse contexto, os sistemas de informações geográficas (SIGs) se inserem como uma ferramenta capaz de manipular as funções que representam os processos ambientais em diversas regiões de uma forma simples e eficiente, permitindo economia de recursos e tempo. Estas manipulações permitem agregar dados de diferentes fontes (por exemplo: imagens de satélite, mapas topográficos, mapas de solo, etc.) e diferentes escalas. O resultado destas manipulações, geralmente, é apresentado sob a forma de mapas temáticos com as informações desejadas (Mendes, 1997).

2.3. Cartografia

Cartografia é a ciência e a arte de expressar graficamente, por meio de mapas e cartas, o conhecimento humano sobre a superfície da Terra. É ciência porque essa expressão gráfica, para alcançar exactidão satisfatória, procura um apoio científico que se obtém para coordenação de determinações astronómicas e matemáticas com topográficas e geodésicas. É arte quando se subordina às leis estéticas da simplicidade, clareza e harmonia, procurando atingir o ideal artístico da beleza (Bakker, 1965 in Duarte, 1991).

A Cartografia é uma técnica que está ao serviço de várias ciências. Não se pode negar, contudo, que a Cartografia constitui um conjunto de operações que, desde a preocupação fundamental de transformar a superfície curva da Terra sobre uma plana, o papel, até a busca da melhor simbologia para representar os mais variados factos desta superfície (alguns também invisíveis como densidade demográfica, por exemplo) depende de uma sistematização das várias etapas que a constituem, dando-lhe um carácter científico indiscutível (Duarte, 1991).

2.3.1. Cartografia Digital

A cartografia digital veio com a necessidade crescente de informações georreferenciadas e tem motivado um interesse maior pela cartografia sistemática digital. Sato (1996) afirma que a cartografia digital é o processamento digitalizado de dados que envolvem: a imagem digital, a concepção de objectos, a vectorização, a scannerização (varredura), a rasterização (digitalização matricial de imagens), entre outros.

A cartografia digital para além de garantir a revisão continuada da base de dados, possibilita-nos a avaliação dos dados antes da impressão.

2.4. Uso e Cobertura da Terra

Há uma distinção importante entre uso e cobertura da terra. O uso da terra relaciona as actividades humanas, ou funções económicas, que são encontradas no local, ou região de estudo. A cobertura se refere às feições ali presentes, de forma que ambos estão altamente correlacionados, mas não são sinónimos. Inúmeras categorias ou classes podem ser utilizadas para descrever os diferentes usos e as diferentes coberturas da terra, mas o emprego delas sempre dependerá dos objectivos do trabalho, que por sua vez, definem a escala apropriada e a maior importância que será dada aos usos ou as coberturas da terra (Lillesand e Chipman, 2004).

O conceito de uso da terra está ligado à noção de espaço territorial, na medida em que é entendido como uma área perfeitamente referenciada pelo valor que os indivíduos, os grupos sociais ou as actividades económicas lhe atribuem, com o intuito de obterem rendimentos ou satisfações pessoais. São várias as definições que coexistem para designar os termos terra, ocupação da terra, uso da terra e mudanças de uso e ocupação da terra, os quais variam com a finalidade e o contexto em que são utilizados (Briassoulis, 2000). É uma interpretação sócio-económica das actividades que ocorrem e são observadas na superfície da terra (Fisher, Comber e Wadsworth, 2005).

2.4.1. Importância da Cartografia de Ocupação da Terra

O mapeamento das informações é um recurso muito utilizado para tornar mais evidentes os padrões de uso e ocupação dos espaços. A visualização dos factos no espaço, melhora a compreensão das interacções existentes e aponta as acções

necessárias. O conhecimento sobre a ocupação de uma determinada área ajuda aos decisores a tomar decisões.

A cartografia temática de ocupação da terra é uma ferramenta indispensável em estudos ambientais, na tomada de decisão em ordenamento e planeamento do território, e na definição de políticas de gestão de recursos naturais. Com esta cartografia, pode-se medir a extensão e distribuição de classes de ocupação da terra, analisar a interacção com outras classes, identificar locais próprios para certas actividades e planear para o futuro. Simultaneamente, estes dados servem de informação de base para a produção de informação mais complexa sobre outros temas, como erosão da terra, impermeabilização entre outros (Caetano *et al.*, 2008).

2.4.2. Sistemas de Classificação do Uso e Cobertura da Terra

Existem vários sistemas de classificação do uso e cobertura da terra. Em diversos países são utilizados sistemas diferentes de classificação do uso e cobertura da terra, dependendo do tipo de uso para cada região.

O desenvolvimento de um sistema para classificar dados sobre uso da terra, obtidos a partir da utilização de técnicas de detecção remota, tem sido muito discutido. O tipo e a quantidade de informação sobre a cobertura da terra dependem da resolução espacial, radiométrica, espectral e temporal dos diferentes sistemas de sensores. O tamanho da área mínima capaz de ser descrita como pertencente a uma determinada categoria (classe) de uso da terra depende da escala e resolução dos dados originais, além da escala de compilação e da escala final de apresentação (Rosa, 2003).

Dentre vários sistemas de classificação podem-se citar os seguintes USGS, AFRICOVER, CORINE Land Cover, FAO, IGBP Land Cover Units, U.S Geological Survey, Land Use and Land cover e outros (Anderson *et al.*, 1976).

2.4.3. Detecção de Mudanças no Uso e Cobertura da Terra

A detecção de mudanças no uso e na cobertura da terra pode ser considerada a função da Detecção Remota que agrega uma dimensão temporal à análise das informações contidas nas imagens (Kiel, 2008).

A dimensão temporal influencia profundamente os resultados da detecção de duas formas: tanto pelo tempo entre a captura das imagens quanto pela época do ano do

mapeamento. O distanciamento no tempo deve ser entendido como uma função dos objectivos do trabalho, da mesma forma que a escala de trabalho, e por isto deve ser adequado à dinâmica das mudanças. Fenómenos naturais de sucessão podem demandar um distanciamento de décadas entre uma imagem e outra, já os impactos do fogo, poucos meses. Quanto às épocas de aquisição, a importância delas está directamente relacionada à minoração das diferenças na iluminação da cena e dos factores fenológicos que afligem a vegetação, consoantes à variação do clima regional (*i.e.*, época seca e de chuvas, presença de neve queda de folhas) (Coppin *et al.*, 2004; Rogan *et al.*, 2002; Lu *et al.*, 2004).

A análise ponto a ponto, ou instante a instante permite inferir sobre a quantidade e qualidade das mudanças detectadas em uma região, durante um determinado período através do confronto delas para identificar, localizar e quantificar as transformações que ocorreram na cobertura e no uso da terra em determinado espaço de tempo, através de respostas espectrais registadas nos pares de pixel homólogos quando aplicados os limiares que permitam distinguir mudança e a não mudança (Kiel, 2008).

Não há um espaçamento temporal padrão, pois ele se subordina ao tipo de mudança e aos objectivos pesquisados, por exemplo, no caso dos impactos de um desastre natural, o período entre as imagens pode ser exactamente o da duração do fenómeno em estudo envolvendo o desenvolvimento de culturas, que devem ser considerados espaçamentos de uns poucos meses, quando o foco reside em acções antrópicas, como o desmatamento, é usual acumular por um ano, ou por ano agrícola, fenómenos menos dinâmicos como a urbanização. Na maioria dos casos, dependem de alguns anos para uma detecção segura e em casos mais extremos, como a regeneração de florestas, décadas serão necessárias. De uma forma geral a literatura científica apenas alerta para a importância de sua correta determinação, levando em conta os fins e os meios disponíveis e converge para períodos mínimos de três a seis anos, para os casos nos quais as mudanças analisadas possuem algum factor antrópico, ou ocorrem sob taxas médias (Dobson *et al.*; 1995; Coppin *et al.*, 2004; Lu *et al.*, 2004).

A rigor, além do tempo entre imagens, todos os factores que podem influenciar nos resultados devem ser controlados ao máximo. Independente da metodologia adoptada: a precisão do registro das imagens, a qualidade da calibração ou da normalização dos dados, a disponibilidade de dados de campo, a complexidade do uso e cobertura da

terra na área de estudo, o algoritmo de detecção usado, o esquema de classificação criado, a experiência do analista e seu conhecimento acerca da área em estudo e por fim quais são as restrições de tempo e de recursos (Lu *et al.*, 2004).

2.4.4. Técnicas de Detecção de Mudanças do Uso e Cobertura da Terra

Segundo Foody (2002), para a análise de detecção de mudanças no uso e na cobertura da terra a partir de dados de Detecção Remota são utilizadas várias técnicas, porém não devem ser confundidas como sinónimos, mesmo que a maioria delas se baseie em comparações dos tipos “antes - depois” e “de - para”, porque elas servem a objectivos distintos e seus algoritmos tratam os dados com princípios matemáticos igualmente distintos.

A detecção de mudanças envolve o uso de conjunto de dados multitemporais para discriminar áreas de mudanças de cobertura entre datas de mapeamento, podendo ser desde fenómenos de curta duração como uma cobertura de neve ou uma inundação ou de longa duração como uma frente de urbanização ou desertificação.

O ideal em procedimentos de detecção de mudança é a utilização de dados do mesmo sensor ou similar, de mesma resolução espacial, geometria de visada, bandas espectrais e hora do dia, muitas vezes datas de aquisição são utilizadas para minimizar diferenças sazonais e do ângulo solar mas nem sempre é suficiente para a vegetação pois a reflectância depende de condições meteorológicas.

O registo deve ser apurado dentro de $\frac{1}{4}$ ou $\frac{1}{2}$ pixel, pois numerosos erros advêm da comparação de imagens com erro de registo maior que um pixel (Lillesand e Kiefer, 1999).

Uma separação entre as metodologias da detecção de mudanças pode ser estabelecida pelo número de imagens utilizadas na comparação, se for em apenas duas imagens, a metodologia de detecção de mudanças é bi-temporal, se forem utilizadas três ou mais delas então a metodologia é de análise da trajectória temporal. A escolha das datas de aquisição das imagens é crucial para evitar a contaminação das mudanças por efeitos fenológicos e sazonais, como as diferentes condições de iluminação da cena (Coppin, 2004).

2.4.5. Factores que originam as mudanças do Uso e Cobertura da Terra

De acordo com (Ayash, 2011) é importante lembrar que os ecossistemas estão em permanente fluxo de mudanças, independentemente de as causas serem naturais ou antrópicas.

O entendimento da natureza em relação a mudanças e suas causas são bem mais complexos que sua simples quantificação, localização e categorização. Isto porque as classes de mudança não guardam, necessariamente, uma correspondência com as causas. Elas podem não ser mutuamente exclusivas e os sistemas de classificação podem não ser exaustivos. Além disto, nem todas as mudanças no uso e cobertura da terra são detectáveis, logo suas causas também não o são e mesmo dentre as detectáveis há vários níveis de capacidade de detecção, que por sua vez, dependem de escalas temporais diversas, talvez inacessíveis (Coppin *et al.*, 2004 in Kiel, 2008).

Nesta perspectiva, as mudanças existentes no meio natural podem ser justificadas por várias causas, das quais se distinguem a agricultura mecanizada itinerante, pastorícia, exploração florestal, desenvolvimento industrial e o alastramento das cidades e vilas (FAO, 1985).

2.5. Uso e Cobertura da Terra em Moçambique

Para o mapeamento de uso e cobertura da terra realizado em 1996 em Moçambique, foi usada a classificação AFRICOVER da FAO, cujo os resultados foram publicados oficialmente em 1999, a uma escala de 1:250 000 a partir da interpretação visual de imagens de satélite, que foram ao encontro das necessidades de vários utilizadores locais; este sistema permite que um projecto ou um utilizador específico seja acomodado (Ferrão, 2005).

O mapeamento da cobertura usado em Moçambique foi concebido de tal forma que levou em consideração diferentes (às vezes contraditórias) solicitações dos usuários finais. Tentou-se integrar toda informação temática relevante já recolhida no país, e compatível com a classificação definida pela FAO para toda a África no Projecto AFRICOVER.

No mapeamento de uso e cobertura da terra de 1999 seguiu a metodologia usada para o “Uso da Terra - Inventário Florestal” feito nos anos 80 sob a égide da FAO pelo Instituto de Investigação Agronómica (INIA). Esse mapeamento cobrindo todo o país na escala de 1:500 000 foi feito através da interpretação visual de imagens de satélite Landsat 5 e fotografias aéreas de pequeno porte controlados no campo (CENACARTA, 1999). Este mapeamento foi uma sub-componente financiada pelo Banco Mundial no âmbito do Projecto de Desenvolvimento Rural (crédito 2479 - Moz), sob o então Instituto de Desenvolvimento Rural (INDER).

O projecto foi realizado numa Joint Venture entre o Centro Nacional de Cartografia e Teledeteccção (CENACARTA) e o Instituto Geográfico Nacional da França (IGN FI) em 1996, onde a última instituição participou como Serviços de Consultoria para prestar assistência técnica, equipamento, formação e produção de mapas para a Direcção Nacional de Geografia e Cadastro (DINAGECA).

O principal objectivo do projecto era produzir mapas de uso e cobertura da terra nas escalas 1:250 000 para todo país a partir de imagens Landsat. Foi identificada uma área piloto constituída por 8 distritos sendo eles: Gurué, Alto Molócuè, Búzi, Nhamatanda Angónia, Malema, Magude e Chibuto, onde foram produzidos mapas na escala 1:50 000.

Para além da produção de mapas de uso e cobertura da terra a serem utilizados pelos planificadores, tomadores de decisão em vários projectos de desenvolvimento, um segundo objectivo deste exercício consistiu na transferência de tecnologia e capacitação de pessoal.

O projecto começou com uma fase de teste que durou aproximadamente 4 meses, e que tinha como objectivo explorar as possibilidades oferecidas pelos dados de Detecção Remota para o mapeamento do uso do solo e cobertura da terra. Os parâmetros finais de mapeamento, como aquisição, data ideal de dados de satélite, combinação óptima da banda espectral, efeito das diferenças sazonais, a definição da legenda e do sistema de classificação, também foram avaliadas nesta fase.

Duas categorias de cobertura da terra foram consideradas neste mapeamento: natural e antropogénico.

Natural - refere-se a áreas de um determinado tipo de cobertura da terra delineadas e representado com a sua cor e padrão característico. Consideram-se áreas com uma população pura de objectos da mesma classe. Obviamente, isso é mais fácil na escala 1: 50 000 do que em 1: 250 000.

Antropogénico - a maior parte das áreas terão uma associação de várias classes de cobertura da terra em várias proporções. As áreas delineadas são homogéneas somente em seu tipo de heterogeneidade. Por exemplo, todas as áreas que contêm 20% de classe A, 40% de classe B, sendo o restante da classe C devem ser representadas da mesma maneira.

A fase operacional (Fase I) começou em Novembro de 1996 e o mapeamento de uso e cobertura da terra foi concluído com sucesso em Dezembro de 1997.

Investigações realizadas na fase de teste resultaram nas seguintes conclusões:

- As imagens Landsat TM tem um conteúdo temático bastante equivalente a imagens SPOT, apesar de sua resolução mais baixa (30 m. Vs 20 m.);
- Imagens da estação seca (Maio a Setembro) eram mais fáceis de interpretar do que as imagens da estação chuvosa (Outubro a Abril);
- Imagens tiradas tarde demais na estação seca podem mostrar grandes áreas queimadas dificultando assim uma boa interpretação;
- O clássico Landsat TM na composição 4 (Infravermelho Próximo), 3 (Vermelho), 2 (Verde) em combinação com banda de conteúdo temático é comparável ao 5 (Infravermelho médio), 3 (Vermelho), 2 (Verde);
- Imagens SPOT com um ângulo de visão maior do que 10 graus são difíceis de corrigir geometricamente e não deveriam ser adquiridas.

2.5.1. Nomenclatura do Uso e Cobertura da Terra

De acordo com CENACARTA (1999) as principais divisões fisionómicas da classificação foram seleccionadas e definidas de modo a corresponder o mais possível a vegetação no chão. Assim, a floresta, mata nativa, cerrado e pastagem arborizada não são definidos de forma arbitrária, mas de tal forma a acomodar as grandes formações regionais de Moçambique. A maior parte dos tipos de vegetação regionais diferem umas das outras em altura e a densidade das suas formas principais de crescimento, mas muitas vezes há variantes atípicas nestes aspectos, que, no entanto, são típicas na

maioria das outras características. Isto significa que, apesar da altura e densidade terem valor diagnóstico considerável, a sua aplicação deve ser flexível, e, às vezes, eles precisam ser subordinados a outras características fisionómicas.

De acordo com a nomenclatura, os tipos de Cobertura da Terra em Moçambique podem ser:

a) Solos sem vegetação

São os solos lamacentos e salobros das zonas baixas, ou rochosos de montanhas, ou arenosos, ao longo da costa, dos cursos de rios, dos leitos menores dos rios etc.

b) Formações herbáceas

São terras cobertas de capim e outras ervas sendo a primeira formação fisionomicamente dominante. Uma formação herbácea às vezes não têm plantas lenhosas, mas tal pradaria pura é sempre associada em mosaicos ou zonamento com comunidades pouco lenhosas. No mapeamento de 1999, comunidades com menos de 10 por cento de cobertura de plantas lenhosas foram tratadas como formações herbáceas.

Existem dois tipos de formações herbáceas, o primeiro “natural” que é devido às limitações edáficas, associadas a solos alagadiços, temporais ou permanentes, solos superficiais ou oligotróficos. O segundo tipo, “antropogénico”, resulta da influência humana, criada pelo desmatamento para agricultura, pastorícia, queimada, etc.

Quando o capim está sob influência da água durante a maior parte do ano, é classificado como formação herbácea inundável, e inundada quando permanece em água superficial mesmo durante a época da seca. Às vezes, as limitações edáficas (principalmente o conteúdo do sal) são tão severas que mais do que metade da superfície não está coberta pelo capim, algumas manchas aqui e acolá, não contíguas deixando aparecer solo sem vegetação. Neste caso classificamos como um tipo especial de formação herbácea degradada inundável.

c) Mangais

As espécies de árvores de mangais têm pneumatóforas (raízes aéreas). Os mangais estão extensivamente representados nas zonas costeiras das províncias da Zambézia e

Sofala. Em muitos lugares eles estão associados à vegetação holofítica (terrenos alagados, salinos e salobra) ou solos sem vegetação lamacentos.

d) Moita (Arbustos baixos)

Moita é a terra dominada por arbustos baixos que variam de 50 centímetros a 2 ou mais metros de altura. Ocorre onde as plantas lenhosas altas estão excluídas pela exposição ao vento, temperaturas baixas, pouca profundidade ou oligotrofismo dos solos operando só ou em várias combinações. Quando resulta de factores limitantes naturais acima referidos, é designado como moita “natural”.

Em áreas que outrora foram cultivadas, a moita aparece como um estado muito inicial de crescimento para a reconstituição de estrato arbustivo médio. É designado como moita “antropogénica” O superpastoreio pode também ter favorecido à extensão de manchas arbustivas que também resultam em moitas antropogénicas.

e) Matagais e Bosques

Matagais e Bosques mais ou menos cerrados ocorrem em diversas condições climáticas e edáficas não favoráveis para o crescimento de plantas lenhosas altas. Em muitos tipos de matagais abertos, grandes ou pequenas manchas de matas também ocorrem sem mudanças significativas na composição florística. A componente herbácea é sempre presente. Nestes bosques cerrados, os arbustos estão densamente intercalados até formarem uma comunidade impenetrável com excepção ao longo dos corredores feitos pelos animais. Existe um estrato disperso de herbáceos. Quando estas formações parecem resultar de condições adversas, climáticas ou edáficas, designamo-las de matagais “naturais”.

Quando resultam de um processo de degradação por causa de queimadas, exploração excessiva ou superpastoreio, designam-se matagais secundários, que podem ser considerados como fase precoce na reconversão em floresta onde for favorável. São também designados de bosques ou matagais “antropogénicos”.

Para ambos os tipos discriminamos entre:

- I. **Matagal médio**, onde o estrato dominante é uma camada de arbustos de 3 a 5 metros de altura com árvores emergentes até 10 metros de altura, com a cobertura do topo de 10 a 20 %. A extensão do estabelecimento de herbáceos é dependente da densidade da camada de arbustos que pode variar de denso a ligeiramente aberto. Em alguns lugares, principalmente na província da Zambézia, ocorre um crescimento prolongado de bambú que faz um estrato médio de arbustos.
- II. **Matagal alto**, com um estrato de árvores de 8 a 10 metros de altura e uma cobertura do topo de 20 a 40 %. Sempre há uma camada composta de arbustos ou uma regeneração densa natural com altura total de 5 a 7 metros e geralmente existe um estrato herbáceo denso.
- III. **Matagal aberto**: corresponde a uma porção de terra na qual pelo menos 40% da superfície está coberta de arbustos. Neste mapeamento, o arbusto foi definido como planta lenhosa intermediária, em hábito, entre plantas arborescentes rasteiras e árvores. Os arbustos têm geralmente entre 3 e 7 metros de altura, mas podem ser mais baixos ou mais altos. Eles são geralmente compostos de vários caules e os caules principais têm frequentemente 10 ou mais centímetros de diâmetro na base. A mata das árvores é também frequentemente presente no matagal aberto. Eles também têm normalmente menos de 7 metros de altura e embora exista um caule principal, ramifica em baixo de modo que o avanço seja impedido. As árvores altas as vezes ocorrem como emergentes, localizando-se em grupos ou largamente espalhadas.

O capim está presente no matagal aberto e está fisionomicamente subordinado. Onde os arbustos aparecem espalhados numa contínua extensão coberta de capim e cobrem menos que 40% da superfície da terra, porém não se usa o termo “formação herbácea arbustiva”, mas sim um complexo de formação herbácea e matagal aberto. O matagal aberto “natural” ocorre em lugares onde os efeitos adversos de baixa precipitação combinados com solos pobres impedem o crescimento das árvores. Em outros casos, é a presença duma toalha de água superficial que impede o crescimento das árvores. Quando não há limitações devidas aos solos, o matagal aberto parece resultar duma cobertura vegetal outrora influenciada pelas actividades humanas (fogo, pastoreio, cultivos).

Geralmente o pousio é primeiramente colonizado pelas formações herbáceas e depois pelos arbustos, e quando não é mexido por muitos anos, torna-se matagal aberto até atingir o termo mato. As áreas cultivadas abandonadas são miscelâneas de formações herbáceas, matagais abertos e matagais onde queimadas quase anuais e/ou condições edáficas não favoráveis impedem o desenvolvimento da última fase de recrescimento (sucessão). Estas formações são designadas como matagal aberto “antropogénico”.

f) Formações herbáceas arborizadas

É a formação intermédia entre o capim e a floresta aberta quando a cobertura de plantas lenhosas está entre 10 e 40 %. As plantas lenhosas em formações herbáceas arborizadas podem ser árvores, arbustos, árvores anãs, árvores de palmeiras ou arbustos baixos em proporções que variam. As áreas de formações herbáceas arborizadas podem consistir em mosaicos complicados com diferentes variantes de vegetação lenhosa. Por esta razão, utilizou-se uma categoria única que inclui todas as variantes usadas no mapeamento. Quando não existem evidências da intervenção humana nos últimos 40 anos, designamos de formação herbácea arborizada “natural”.

Por outro lado, quando existem evidências de que vários tipos de florestas secas foram substituídas pela formação herbácea secundária seguida de cultivo e queimadas, a cobertura é designada como formação herbácea arborizada “antropogénica”. Esta formação herbácea arborizada secundária é meramente arbitrária, definida em séries de degradação, substituindo outra vegetação ou a sucessão conduzindo-a à restituição.

g) Formações herbáceas com árvores anãs

Nos solos pedregosos superficiais, as limitações edáficas nunca permitiram um crescimento da floresta por completo. Algumas árvores anãs ou arbustos representam o estrato lenhoso. Esta formação, designamos como formação herbácea com árvores anãs “natural”.

Quando as pressões antropogénicas aumentam, o que fica na formação lenhosa arbustiva resulta em formação herbácea com árvores anãs “antropogénica”.

h) Floresta de baixa altitude aberta e fechada

Muitas florestas são decíduas ou semi-decíduas, mas, quase todas contêm algumas espécies sempre verdes. Nas florestas, as árvores têm geralmente mais ou menos caules estreitos não ramificados até pelo menos 2 metros. Se os caules ramificarem abaixo desta altura as ramificações são geralmente ascendentes e o avanço é livre.

- I. Floresta aberta:** frequentemente, as árvores estão largamente espaçadas, este espaço pode atingir o diâmetro dum topo, a cobertura da copa está entre 40 e 70%. A copa projecta pouca sombra e geralmente há uma cobertura terrestre constituída principalmente por um estrato herbáceo de tufo de capim, cuja altura dos colmos atinge 2 metros. É a dominância de árvores com uma copa aberta que permite entrada de luz combinada com a presença quase universal de capim heliófilo que distingue a floresta aberta de outros tipos de vegetação. Em muitos tipos existem estratos incompletos de pequenas árvores ou grandes matas, de densidade muito variável. Os pequenos arbustos também variam grandemente no seu tamanho e densidade. As lianas são maioritariamente escassas e ausentes. A escassez de plantas lenhosas é as vezes devida às queimadas da camada de capim.

Quando a fraca densidade parece resultar de algumas limitações edáficas ou climáticas, designamos a vegetação de floresta aberta “natural”. Um tipo especial de floresta aberta natural ocorre ao sul do perímetro irrigado de Marromeu na província de Sofala. A maioria da cobertura vegetal é composta por árvores de palmeiras (*Borassus*).

A mesma densidade relativamente baixa pode ser devida as acções humanas desencadeadas no passado ou mesmo actuais (exploração das áreas,

queimadas, etc.). Neste caso, designamo-la de floresta aberta “antropogénica”. Em algumas instâncias particulares, a floresta aberta “antropogénica” resulta de rebentos de vegetação em alguns solos férteis outrora cultivados e abandonados há mais de 20 anos.

- II. Floresta fechada:** é uma superfície da terra com árvores em pé, cujo topo forma uma copa de 8 a 20 metros de altura ou mais e cobre pelo menos 70% da superfície. Os topos das árvores adjacentes estão sempre em contacto, mas não entrelaçados. A floresta fechada é sempre natural.

3. ÁREA DE ESTUDO

3.1. Localização Geográfica da Área de Estudo

A área de estudo (figura 1) situa-se no distrito de Marracuene, no extremo oriental da província de Maputo, que se localiza a 30 km a Norte da Cidade de Maputo, entre a latitude de 25° 41' 20'' Sul e longitude de 32° 40' 30'' Este. É limitado a norte pelo distrito de Manhiça, a Sul pela Cidade de Maputo, a Oeste pelos distritos de Moamba e Cidade da Matola, e a Este e banhado pelo Oceano Índico (MAE, 2005).

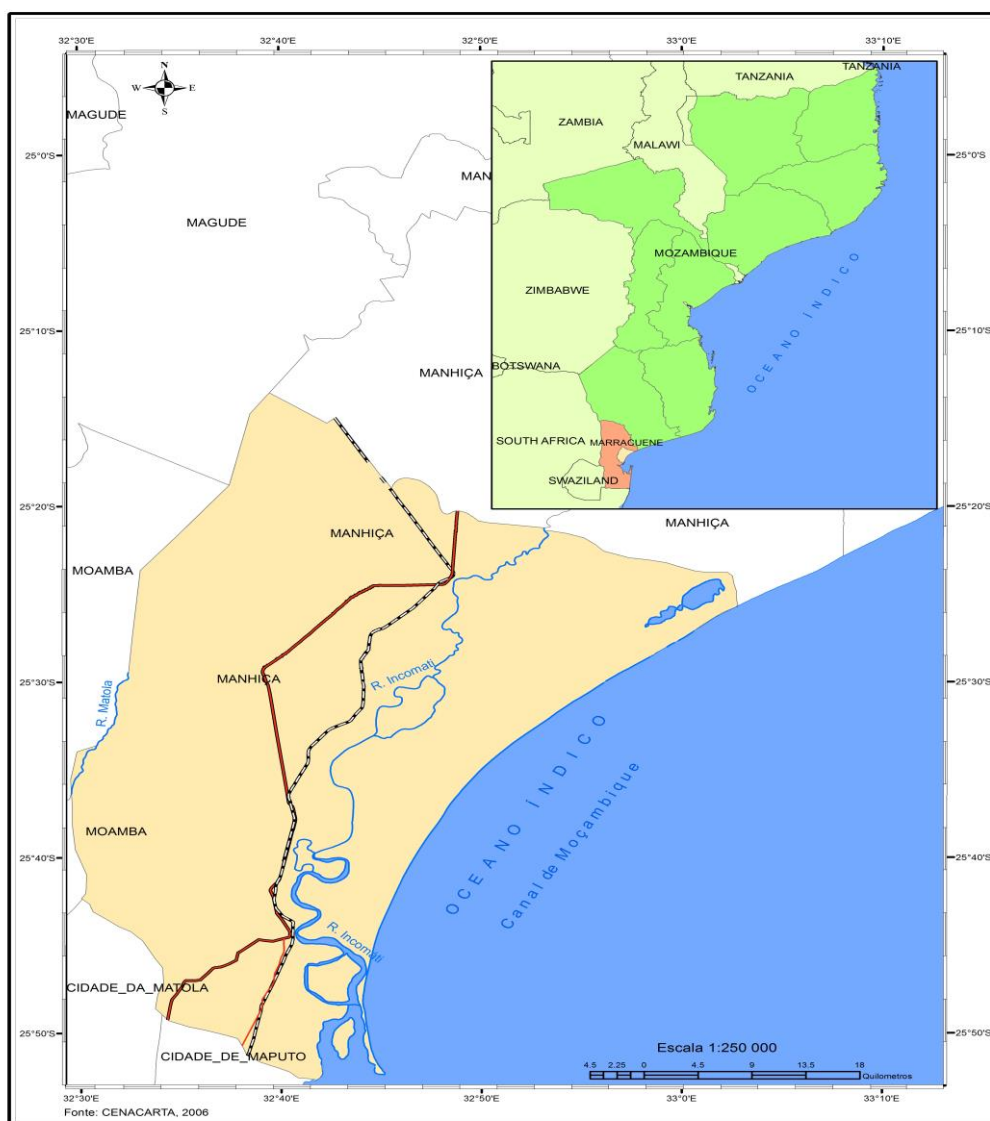


Figura 1: Mapa de Localização Geográfica da Área de Estudo

3.2. Uso e Cobertura da Terra da Área de Estudo

Na área de estudo, predomina a agricultura de sequeiro, denominada cultivado de sequeiro. Para além desta classe, outras classes como cultivado de regadio, plantações, solo sem vegetação, área habitacional semiurbanizada, zona herbácea inundável, mangal (localmente degradado), arbustos ($0.5\text{m} < \text{altura} < 3\text{m}$), matagal médio ($3\text{m} < \text{altura} < 7\text{m}$) e corpos de água também ocorrem nesta região. A tabela abaixo (tabela 1) e o (anexo 6) indicam os tipos de ocupação da terra mais predominante no distrito de Marracuene de acordo com o Mapeamento de Uso e Cobertura da Terra (CENACARTA, 1999).


Nome da Classe	Descrição	Imagem	Ilustração
Cultivado sequeiro	Técnica agrícola para cultivar terrenos onde a pluviosidade é diminuta. O plantio de sequeiro é intensivo e desenvolve-se nos planaltos da África, com pouca rotação de culturas e aproveitamento do estrume.		
Cultivado regadio	Técnica utilizada na agricultura que tem por objectivo o fornecimento controlado de água para as plantas em quantidade suficiente e no momento certo, assegurando a produtividade e a sobrevivência da plantação.		
Plantações	O conjunto de todas as plantas cultivadas, geralmente caracterizadas pela mesma espécie.		
Área habitacional semiurbanizada	Esta classe, pode conter uma categoria intermediária entre o rural e o urbano		
Solo sem vegetação	São os solos lamacentos e salobros das zonas baixas, ou rochosos de montanhas, ou arenosos, ao longo da costa, dos cursos de rios, dos leitos menores dos rios etc.		
Zona herbácea inundável	Quando o capim está sob influência da água durante a maior parte do ano		
Mangal (localmente degradado)	As espécies de árvores de mangais têm pneumatóforas (raízes aéreas). Os mangais estão extensivamente representados nas zonas costeiras.		
Arbustos (0.5m<altura<3m)	É uma continuidade de árvores em pé, com uma altura inferior a 0,5 metros e não superior a 3 metros. A densidade relativamente baixa pode ser devida as acções humanas desencadeadas no passado ou mesmo actuais (exploração das áreas, queimadas, etc.).		
Matagal médio (3m <altura<7m)	O estrato dominante é de arbustos de 3 a 5 metros de altura com árvores emergentes até 10 metros de altura.		
Corpos de água	Designação atribuída a rios com uma largura igual ou superior a 500 metros		

Tabela 1: Classes de uso e cobertura da terra do distrito de Marracuene (CENACARTA, 1999)

3.3. Geologia e Geomorfologia

A zona alta do distrito é constituída principalmente por sedimentos arenosos eólicos (a ocidente e ao longo da costa), com ocorrência e areias siliciosas. A planície aluvionar, ao longo do rio Incomati e de solos argilosos, estratificados e turfosos.

A faixa litoral de dunas de areia na separação entre o mar e o rio Incomati, na zona de Macaneta, correm o risco de desaparecimento, o que ao acontecer, teria consequências ecológicas graves para os distritos de Marracuene, Manhiça, e Magude vide (figura 2).

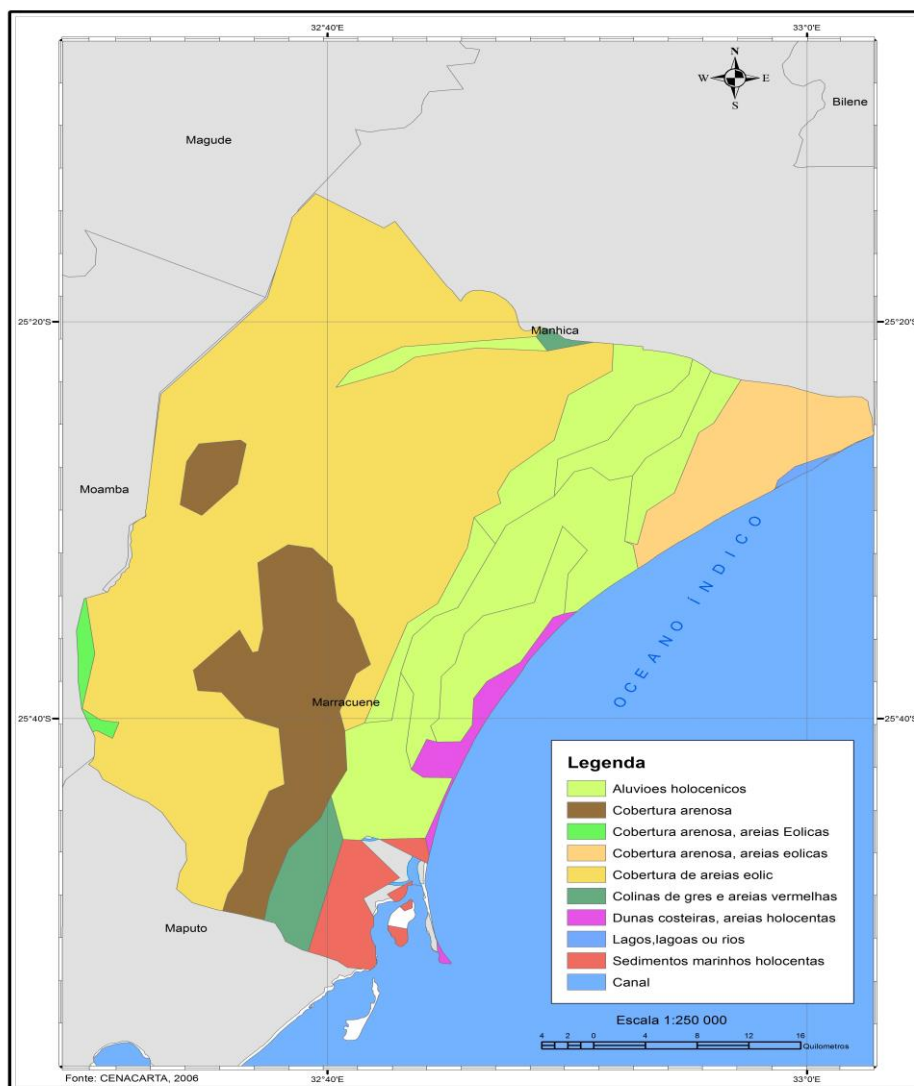


Figura 2: Geologia e Geomorfologia da área de estudo (Fonte: DNG, 1996).

3.4. Solos e Agricultura

A zona alta da área de estudo (figura 3) é constituída principalmente por sedimentos arenosos eólicos (a ocidente e ao longo da costa), com ocorrência de areias siliciosas, com uma planície aluvionar ao longo do rio Incomati e de solos argilosos estratificados e turfosos.

O vale de Incomati, ao longo de uma faixa de 40 km de comprimento, tem solos de bom potencial agrícola e pecuário, que são explorados por um vasto tecido de agricultura privada e familiar.

A prática agrícola na área de estudo é a actividade que garante a subsistência do sector familiar no regime de consociação de culturas com destaque para a produção de arroz em áreas de cerca de 1ha por família com recurso a tracção animal. O sector agrícola familiar está em expansão, sendo que as explorações privadas ocupam uma parte significativa das terras férteis e absorvem cerca de 36% da mão-de-obra assalariada do distrito.

A totalidade das zonas baixas do Posto Administrativo de Machubo, de Hobjana e Matsinhane, propensas a cheias e com solos férteis são usados pelas populações para o cultivo de milho, amendoim, arroz, feijões, mandioca, banana, cana-de-açúcar e hortícolas.

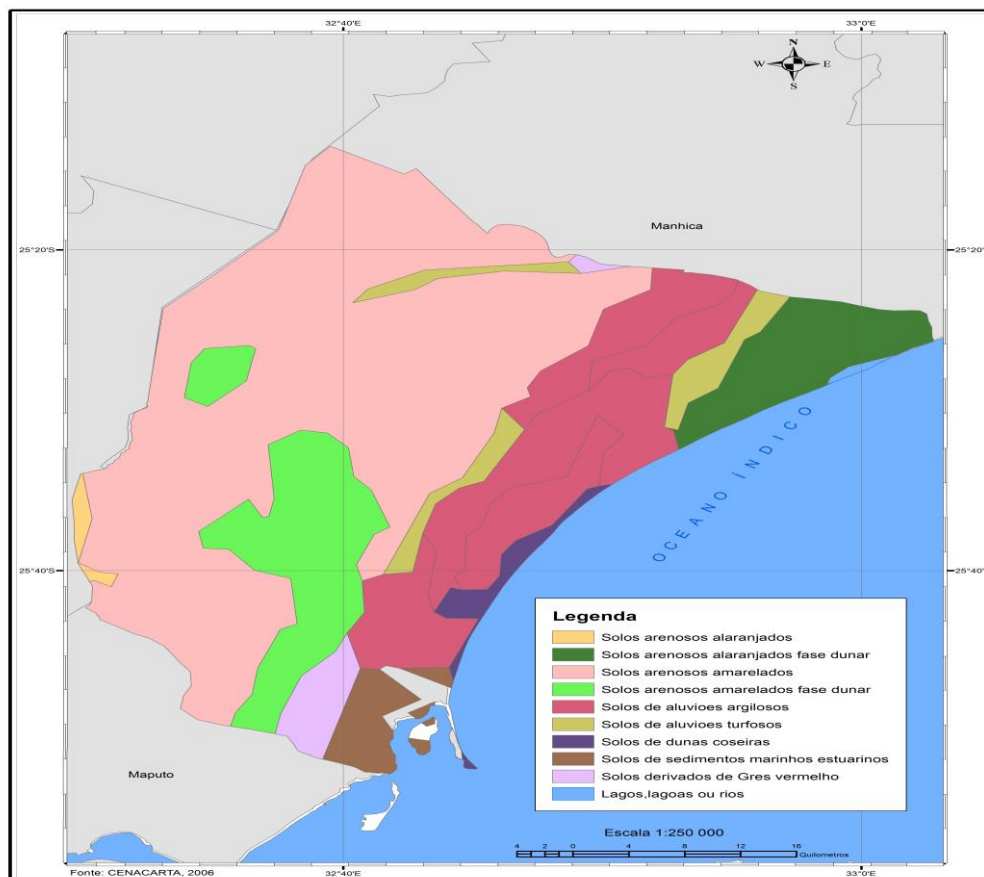


Figura 3: Distribuição dos Solos pelo pela área de estudo (Fonte: IIAM, 1990).

3.5. Clima e Hidrografia

O clima de Marracuene é tropical chuvoso de savana, influenciado pela proximidade do mar. Caracteriza-se por temperaturas quentes com um valor médio anual superior a 20° C, e uma amplitude de variação anual inferior a 10° C.

A humidade relativa varia entre 55% a 75% e a precipitação é moderada, com um valor médio anual entre 500 mm, no interior e 1000mm no litoral. A estação chuvosa vai de Outubro a Abril, com 60% a 80% da pluviosidade concentrada nos meses de Dezembro a Fevereiro (MAE, 2005).

A área de estudo é atravessada pelo rio Incomati vide (figura 4), que vai desaguar no Oceano Indico, no delta Macaneta.

O rio Incomati é o principal recurso hídrico, favorecendo a prática da actividade pesqueira e agropecuária.



Figura 4: Hidrografia da área de estudo (Fonte: CENACARTA, 2006)

3.6. Uso e Cobertura da Terra

Estimativa do Governo distrital em relação à área de estudo, indica que cerca de 35 mil hectares do potencial de terra arável relativa a esta área (figura 5) está ocupada pela exploração agrícola menos da metade da área (11500 hectares pelo cultivo sequeiro e 7800 ha irrigados). Para (MAE, 2005) e (INE, 2007), a zona tem uma densidade populacional e uma procura de terreno proveniente da cidade de Maputo

elevadas, que estão na origem dos conflitos ligados a posse de terra e até certo ponto na desflorestação. Possui cerca de 10 mil explorações agrícolas com uma média de 1.1 hectare, com um grau de exploração familiar dominante, 56% das explorações do distrito têm menos de 1 hectare apesar de ocuparem somente 20% da área cultivada. No que refere à posse da terra, quase metade das 33 mil parcelas em que estão divididas as explorações pertencem a autoridades tradicionais e oficiais, o que leva a solicitação da direcção distrital a concepção de Direito de Uso e Aproveitamento de Terra bem como garantir a ocupação em áreas devidas evitando desta os conflitos incluindo a desflorestação devido a obtenção dos recursos energéticos bem como matéria-prima para a habitação (MAE, 2005).

O mapa da figura 5, foi obtido a partir da interpretação visual de imagens de satélite no âmbito do projecto já descrito no número 2.5, que descreve o uso e cobertura da terra realizado em 1996 em Moçambique.

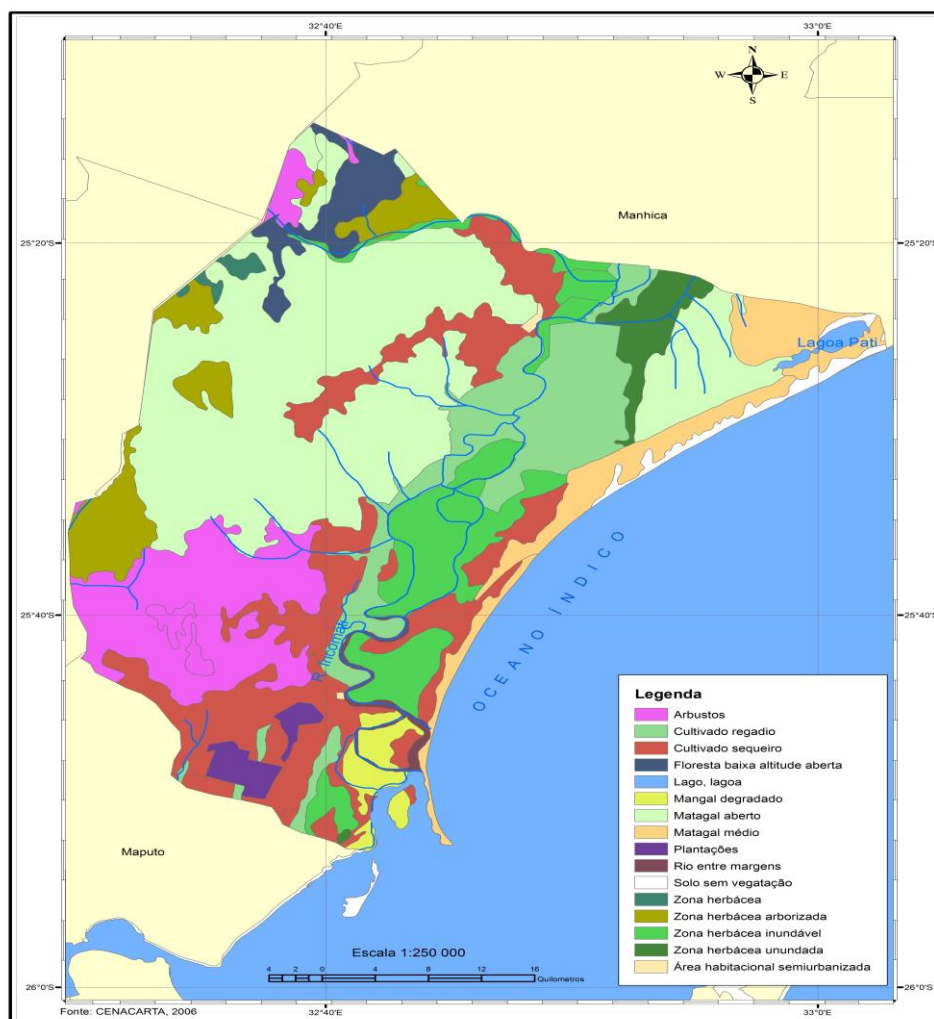


Figura 5: Uso e cobertura de terra (CENACARTA, 1999).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Material

O estudo da alteração no uso e cobertura da terra no distrito de Marracuene e área circunvizinha foi feito com imagens Landsat 5 visto que a sua aquisição é acessível e pelo facto de existir um arquivo de imagens dos anos anteriores para as comparações. As imagens foram adquiridas gratuitamente no sítio da USGS (<http://www.usgs.gov>). Os dados sobre o uso e cobertura da terra de 1999, os limites administrativos bem

como as imagens do satélite Spot 3 e 5 foram fornecidos pelo Centro Nacional de Cartografia e Teledetecção – CENACARTA (vide tabela 2).

Segundo Tucker, *et al.* (2004), o Landsat possui informações diversas e o seu uso depende da finalidade. Para este trabalho recomenda-se o uso da combinação 4 (Infravermelho Próximo), 3 (Vermelho), 2 (Verde) pois para o estudo da vegetação a banda 3 apresenta bom contraste entre diferentes tipos de cobertura vegetal (ex.: campo, cerrado e floresta); esta banda permite a análise da variação litológica em regiões com pouca cobertura vegetal. Na banda 4 (Infravermelho Próximo), a vegetação verde, densa e uniforme reflecte muita energia, aparecendo bem clara nas imagens, apresentando sensibilidade à rugosidade da copa das florestas; apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo deste modo a obtenção de informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia. Por outro lado, a banda 2 apresenta grande sensibilidade à presença de sedimentos em suspensão, possibilitando sua análise em termos quantitativos e qualitativos.

DADOS	FORMATO	ANO DE PRODUÇÃO	ESCALA/RESOLUÇÃO	FONTE
Limite do distrito e área do estudo	Vectorial	1999	1:250 000	CENACARTA
Landsat 5 TM	Raster	1991	30 m	USGS
Landsat 5 TM	Raster	2011	30 m	USGS
Spot3	Raster	1992	10 m	CENACARTA
Spot 5	Raster	2012	2.5 m	CENACARTA
Uso e Cobertura	Vectorial	1999	1:250 000	CENACARTA

Tabela 2: Dados usados na realização do trabalho

4.2. Métodos

Por forma a alcançar os objectivos propostos será adoptada uma metodologia que consistirá na classificação visual e supervisionada das imagens de satélite, avaliação da precisão da classificação supervisionada e visual e por fim a produção dos mapas temáticos correspondentes a cartografia de uso e cobertura da terra para o distrito de

Marracuene e áreas circunvizinhas. A metodologia adoptada encontra-se descrita detalhadamente a seguir.

4.2.1. Classificação das Imagens de Satélite

4.2.1.1. Classificação Supervisionada

No presente estudo, foram utilizadas imagens digitais do sensor TM Landsat-5, com resolução espacial trinta metros, obtidas a partir do acervo das cenas da USGS (*United States Geological Survey*) disponíveis de modo ortorectificado na plataforma GLOVIS (www.glovis.usgs.gov).

As imagens eram de 03 de Fevereiro de 1991 e 04 de Abril de 2011, (Anexo 1 e 2) tendo sido georreferenciadas (anexo 3) e classificadas pelo método de classificação supervisionada aplicando o algoritmo de classificação de máxima verossimilhança (*Maxver*).

Para o mapeamento, após o conhecimento prévio da área em estudo foi necessário definir classes de uso e cobertura da terra. Deste modo, recorreu-se a interpretações visuais que permitiam ver a forma, textura, tonalidade e comportamento espectral das unidades que compõe a paisagem, obtendo deste modo nove (9) classes de uso e cobertura da terra para o ano de 1991 e dez (10) para o ano de 2011. As classes definidas para a imagem de 1991 foram: corpos de água, matagal médio, matagal aberto, solos sem vegetação, cultivado de sequeiro, mangal, área habitacional semiurbanizada, floresta de baixa altitude aberta e zona herbácea inundável, enquanto que, para 2011 foram: arbustos, solos sem vegetação, corpos de água, matagal médio, matagal aberto, plantações, cultivado de sequeiro, cultivado de regadio, área habitacional semiurbanizada e zona herbácea inundada.

A classificação supervisionada é um tipo de classificação controlada pelo usuário, na qual aponta os alvos a serem classificados baseando-se na definição de assinaturas espectrais (padrões) para cada uma das classes em estudo obtidas a partir de amostras de treinamento (INPE, 2005). E uma das vantagens deste método em relação a outros é por considerar a ponderação das distâncias entre médias dos níveis digitais das classes utilizando parâmetros estatísticos. O algoritmo usado para a classificação foi o de máxima verossimilhança, que assume a distribuição normal das bandas para cada

amostra, caracterizada pelo vector média e co-variância. Com este pressuposto, o algoritmo calcula a probabilidade de um determinado pixel pertencer a cada uma das classes definidas na fase de treino. As amostras de treino (tabela 3) e (anexos 4 e 5) foram levantadas com recurso a imagens de alta resolução.

Quantificação				
Nomenclatura das classes	1991		2011	
	Pixels	Nº de Áreas de treino	Pixels	Nº de Áreas de treino
Corpos de água	22773	94	23642	175
Arbustos	0	0	37246	84
Solo sem vegetação	9900	64	7632	76
Cultivado de sequeiro	40913	73	89548	96
Plantações	0	0	16313	62
Mangal	18272	73	0	0
Matagal aberto	175623	102	61824	87
Matagal médio	64954	55	60744	75
Floresta de baixa altitude aberta	91884	85	0	0
Área habitacional semiurbanizada	16798	52	5237	82
Zona herbácea inundável	33096	75	35844	105
Cultivado de regadio	0	0	40007	78

Tabela 3: Amostras de treino

Em síntese, a tabela 3 ilustra as considerações primárias no processo de classificação supervisionada, que são as quantidades de pixels e amostras de treinamento que foram a base para a classificação das imagens de 1991 e a de 2011.

Segundo (Lillesand *et al.* 2004) para uma determinada classe espectral, é melhor definir um conjunto de 20 amostras em locais diferentes contendo 40 pixels do que uma amostra em apenas um local contendo 800 pixels. Isto porque a dispersão dos locais pela cena aumenta a chance de o conjunto de treinamento ser representativo da variação das coberturas presentes na cena.

Segundo o mesmo autor, antes da classificação é necessário verificar o número de pixels de cada assinatura. Os algoritmos que serão utilizados para classificar a imagem

que é o caso do classificador de máxima verossimilhança, assim como outros baseados em estatística, exigem assinaturas com um número mínimo de pixels igual ao número de bandas selecionadas da imagem mais um.

Portanto, na prática uma amostra de tamanho maior melhora a representação estatística da assinatura, onde N é o número de bandas da imagem que será usada no processo de classificação. Contudo, como trabalhamos com 6 bandas da imagem Landsat, o número mínimo de pixels de cada assinatura deverá ser 7, mas recomenda-se para cada assinatura um número entre 60 e 600. O que se verifica na tabela acima, são valores de pixels extremamente dentro dos padrões (Lillesand *et al.* 2004).

4.2.1.2. Classificação Visual

A análise visual de imagens consiste na identificação visual de áreas com a mesma classe de ocupação da terra e na sua delimitação. Actualmente, a análise visual de imagens é feita no ecrã do computador, o que permite de imediato a obtenção de produtos digitais. A análise visual de imagens para cartografia temática exige a definição precisa de normas de interpretação visual e a selecção da composição colorida que melhor permita a identificação das classes de interesse (Perdigão e Annoni, 1997).

Na digitalização dos dados tomou-se em consideração o uso efectivo do solo a partir da análise dos outros tipos de cobertura da terra (incluindo a cobertura vegetal "natural" e a "antropogénica", ou seja, as várias fases de recrescimento na sequência de uma exploração anterior).

Para a interpretação visual foi usado o *software* ArcGis 10.2, com o compósito 4(vermelho), 3(verde) 2(azul) para a digitalização das classes. Este procedimento interpreta a imagem directamente na tela do computador, utilizando elementos básicos de interpretação, como a cor, textura, forma, tonalidade, tamanho, sombra, padrão, adjacências e localização geográfica (Moreira, 2003).

Como suporte, foi usado o mapa de uso e cobertura da terra de 1999 com recurso a visita de campo. O mapa de uso e cobertura da terra de 1999 serviu de base para a interpretação visual das imagens de 1991 e 2011. Foram usadas imagens Landsat na

combinação 4(vermelho), 3(verde) 2(azul) do início e meados da época seca, tendo em conta o facto de que em Moçambique as queimadas ocorrem no lincear desta época.

4.2.2. Avaliação da Classificação

4.2.2.1. Classificação Supervisionada

Diferentes métodos de avaliação após a classificação de imagens vêm sendo utilizados sob pena do seu resultado ou produto final perder valor. A avaliação da qualidade dos mapas realizou-se com base em matrizes de erro, algumas vezes denominada de matrizes de confusão ou tabela de contingência e o índice *Kappa* proposto por Landis & Koch (1977). O índice *Kappa* é calculado a partir de erros que expressam a concordância entre a imagem classificada e o conjunto de amostras de referência, isto é, a probabilidade de concordância entre os dados de referência e a classificação aleatória (Landis & Koch, 1977).

As matrizes de confusão fornecem métodos mais eficientes para mapear a precisão das classificações de uso da terra devido a maneira mais comum de expressar pixels que foram correctamente classificados quando comparados com dados de referência ou verdade de campo (Story & Congalton, 1986).

Deste modo, as duas matrizes de confusão (para 1991 e 2011) foram construídas com base em áreas de teste (imagem classificada com as diferentes classes), número de observações atribuídas a uma determinada classe, neste caso foram gerados 250 pontos aleatórios (*random points*) e dados de referência que são as imagens de alta resolução considerada como verdade de campo. Os elementos da diagonal representam a frequência de concordância entre o mapa classificado e os dados de referência. As matrizes de confusão indicam também para uma determinada classe o número de observações que não foram atribuídas correctamente (erros de omissão) e o número das que foram incorrectamente atribuídas a uma determinada classe (erros de comissão). Contudo, permitiu estimar a exactidão global (soma dos elementos da diagonal dividido por número total de pixels classificados), exactidão do produtor e do utilizador dos mapas resultantes das classificações dos anos 1991 e 2011 com recurso a imagens de alta resolução.

4.2.2.2. Classificação Visual

A classificação visual consistiu na digitalização de polígonos das classes dos dois anos em estudo. Como base para este trabalho usou-se o *shapefile* de uso e cobertura da terra já existente. Para melhor caracterização dos alvos, foram considerados elementos como a forma, tonalidade e comportamento espectral dos elementos que compõem a área de estudo.

4.2.3. Produção de Mapas Temáticos

Esta fase, consistiu na aplicação do método cartográfico para a produção de quatro mapas resultantes das classificações de uso e cobertura da terra na área de estudo realizadas para o período proposto. Como resultado da aplicação de técnicas cartográficas são apresentados os mapas de uso e cobertura da terra resultantes da classificação supervisionada e da classificação visual para os anos 1991 e 2011.

5. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados e algumas interpretações possíveis da análise integrada à metodologia proposta. Assim, a discussão está estruturada em torno de três aspectos distintos, contudo interligados: o primeiro corresponde à análise dos resultados da classificação supervisionada obtidos graças à utilização da metodologia proposta no processamento digital e de classificação de imagem; o segundo corresponde à interpretação visual da imagem que se obteve à luz do conhecimento das feições com ajuda de dados sobre o uso e cobertura da terra, produzido em 1999 e a última que é a análise dos dois processos de classificação, suas vantagens e desvantagens.

5.1. Classificação supervisionada

Para a classificação supervisionada as imagens Landsat 5 série 167078 de 1991 e 2011 foram submetidas ao algoritmo classificador de Máxima Verossimilhança.

Portanto, os resultados obtidos (vide figuras 6 e 7) demonstram o potencial dos dados de Detecção Remota e das técnicas de extracção de informação para a produção de mapas, e estas aplicadas com enfoque para o monitoramento da dinâmica do uso e cobertura da terra e sua variação durante o período em estudo.

Imagem Classificada - 1991

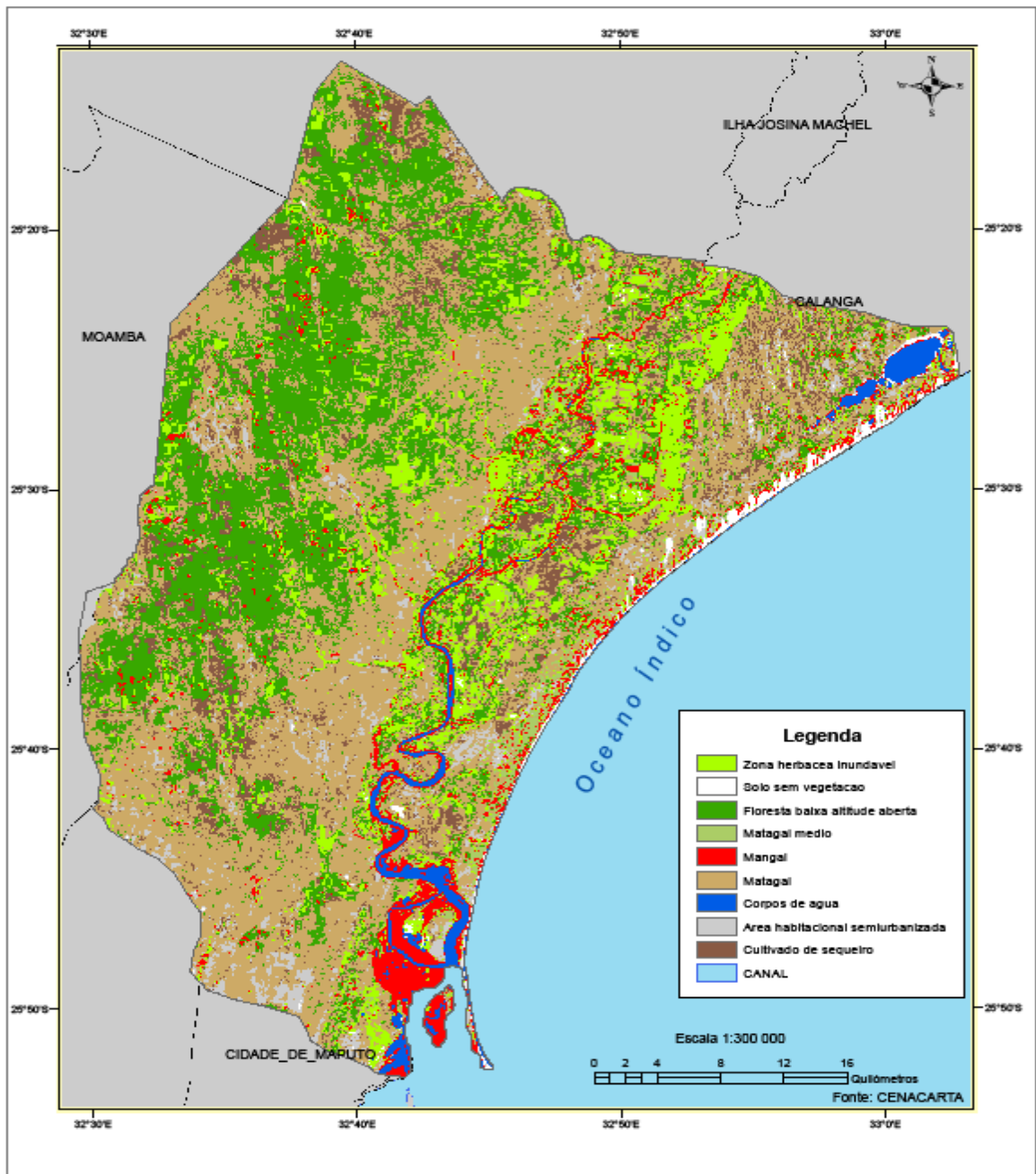


Figura 6: Uso e cobertura da terra com base na classificação supervisionada para 1991

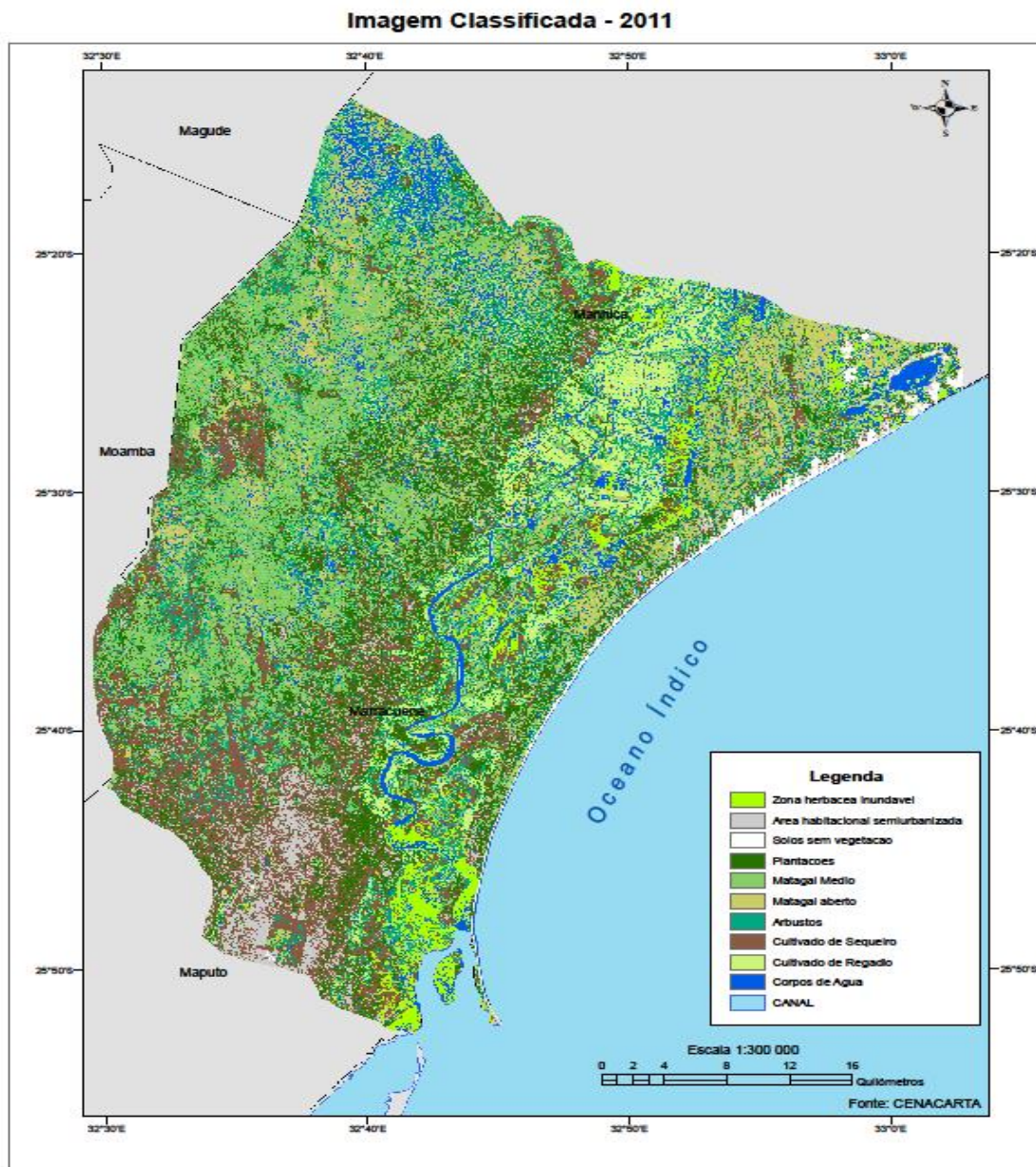


Figura 7: Uso e cobertura da terra com base na classificação supervisionada para 2011

5.1.1. Análise da classificação supervisionada

Os mapas ilustrados nas figuras 6 e 7, oriundos do classificador supervisionado estão sujeitos a erros, de tal forma que era necessário avaliar o desempenho do algoritmo utilizado na geração dos mesmos.

A avaliação baseou-se em indicadores extraídos da matriz de confusão nos resultados observados conforme ilustram as tabelas abaixo (tabelas 4 e 5) e o índice *Kappa*. A matriz de confusão permitiu estimar a exactidão global dos mapas resultantes das classificações de 1991 e 2011. A soma dos elementos da diagonal dividida pelo número total de pixels classificados determinou a exactidão global dos mapas. Deste modo, obteve-se um total de 61,03% para 1991 e 66,10% correspondente a 2011 o que significa que mais de 60% de pixels de referencia duma determinada classe, foram classificados correctamente.

Os resultados do índice *Kappa*, sugerem que as classificações realizadas são boas segundo as classes de classificação na tabela de Landis & Koch (1977) com valores de 67.1% para a classificação supervisionada de 1991 e 72.3% para o ano de 2011.

Uso/Cobertura	Corpos de Água	Arbustos	plantações	Solo sem Vegetação	Cultivado de Sequeiro	Mangal	Matagal	Área habitacional	Zona herbácea Inundável	Nº de Pixels Classificados	Exactidão do Utilizador
Corpos de Água	4	1	0	0	0	0	0	0	0	5	80%
Arbustos	1	9	0	0	0	0	0	0	0	10	90%
Plantações	0	1	24	0	2	1	0	0	0	28	85.7%
Solo sem Vegetação	0	0	3	1	0	0	0	0	0	4	25%
Cultivado de Sequeiro	5	2	1	0	29	2	1	0	0	40	72.5%
Mangal	0	1	0	0	1	4	0	0	0	6	72.5%
Matagal	0	0	0	0	0	0	6	0	0	6	100%
Area habitacional	0	0	0	0	0	1	2	3	0	6	50%
Zona herbácea Inundável	0	0	1	0	2	1	4	2	1	11	9.1%
Nº de Pixels total	10	14	29	1	34	9	11	5	1		
Exactidão do Utilizador	40%	64.29%	82.76%	100%	85.29%	44.44%	46.15%	60%	100%		

Tabela 4 : Matriz de Confusão de 1991

Uso/Cobertura	Solo sem Vegetação	Corpos de Água	Matagal	Plantações	Cultivado de Sequeiro	Zona habitacional	Matagal Médio	Zona herbácea inundada	Arbustos	Cultivado de Regadio	Nº de Pixels Classificados	Exactidão do Utilizador
Solo sem Vegetação	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	100%
Corpos de Água	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	8	100%
Matagal	0	1	10	0	0	0	0	0	0	0	11	90.91%
Plantações	0	0	3	12	2	0	0	0	0	0	17	70.6%
Cultivado de Sequeiro	0	0	2	5	10	1	1	0	0	0	19	52.63%
Zona habitacional	0	0	0	0	0	4	1	0	0	0	5	80%
Matagal Médio	0	0	0	3	0	3	19	1	0	0	26	73.1%
Zona herbácea inundada	0	0	0	1	0	0	0	4	0	0	5	80%
Arbustos	0	1	1	0	0	3	1	2	7	0	15	46.67%
Cultivado de Regadio	0	0	1	3	2	0	0	0	0	3	9	33.33%
Nº de Pixel total	1	10	17	24	14	11	22	7	7	3		
Exactidão do Utilizador	100%	80%	58.82%	50%	71.14%	36.36%	86.36%	57.14%	100%	100%		

Tabela 5 : Matriz de Confusão de 2011

Após a classificação supervisionada e a avaliação da exactidão dos mapas foram adoptadas as seguintes técnicas de análises no âmbito dos SIG, aliado ao *software* ArcGis 10.2 com recurso a análise estatística de valores obtidos:

- ✓ Cálculo das áreas em hectares das classes de uso e cobertura da terra para a área em estudo;
- ✓ Determinação das taxas de crescimento de todas categorias de uso e cobertura da terra no período entre 1991 - 2011;
- ✓ Detecção de mudanças em todas classes de uso e cobertura (determinação de ganhos e perdas) em hectares;

A tabela 6, resultante dos mapas fruto das classificações das imagens de 1991 e 2011, apresenta os resultados das diferenciações entre os mapas, apresentados na forma “de - para”.

Nomenclatura das classes	1991		2011		Variação (%)
	Área (ha)	%	Área	%	
Corpos de água	3.861,70	2.02	13.172,51	6.88	+4.86
Arbustos	0	0	22.795,19	15.16	+11.91
Solo sem vegetação	1.778,24	0.93	1.826,04	0.95	+0.02
Cultivado de sequeiro	14.393,83	7.52	15.160,38	16.13	+8.61
Plantações	0	0	29.732,02	15.54	+15.54
Mangal	10.052,59	5.25	0	0	-5.25
Matagal aberto	79.733,38	41.66	17.162,64	8.97	-32.69
Floresta de baixa altitude	49.934,57	26.09	0	0	-26.09
Área habitacional semiurbanizada	6.572,19	3.44	8.181,70	4.27	+0.83
Zona herbácea inundável	20.284,52	10.6	7.538,73	3.94	-6.66
Matagal médio	4.757,58	2.49	44.942,38	23.48	+20.99
Cultivado de regadio	0		15.160,38	7.92	+7.92
Total	191.368,59	100	191.373,68	100	0

Tabela 6: Classificação supervisionada do uso e cobertura da terra para 1991 e 2011

O gráfico abaixo (figura 8) mostra como a variação do uso e cobertura da terra no período em análise ocorreu. Nota-se que houve um decréscimo significativo de área na classe de matagal aberto, por se tratar de um local com melhor acesso para a busca de combustível lenhoso e a procura de novas áreas para o cultivado de sequeiro, uma vez que a prática de agricultura naquela área é desse tipo. Por outro lado, é evidente o desaparecimento da floresta de baixa altitude e o surgimento de novas classes como o

cultivado de regadio, plantações e arbustos em 2011. Em termos de crescimento para este mesmo ano, encontramos classes como matagal médio, cultivado de sequeiro e corpos de água que de certa forma tiveram algum aumento.

Varição do uso e cobertura da terra com base na classificação supervisionada para 1991 e 2011

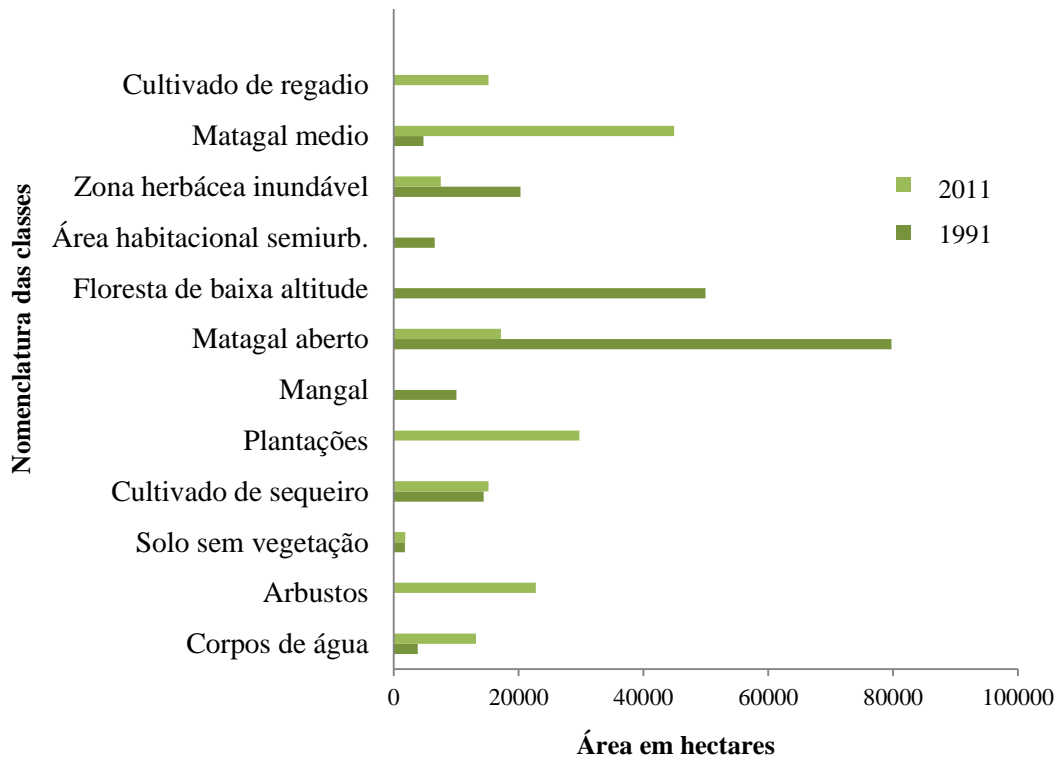


Figura 8: Varição do uso e cobertura na classificação supervisionada (1999 e 2011)

Deste modo, surgiram no total 12 classes de uso e cobertura da terra, sendo que nem todas as classes obtiveram o mesmo padrão. As classes como solos sem vegetação não sofreram muitas alterações ao longo dos anos, verificando-se (1.778,24 ha da área total em 1991 para 1.826,04 ha em 2011), já para a área habitacional (6.572,19 ha de 1991 contra 8.181,70 em 2011), na classe corpos de água (3.861,70 ha em 1991 para 13.172,51 ha em 2011), devido a perda em 6.66% das Zonas Herbáceas inundáveis, esta situação deveu-se também as cheias do ano de 2000 que causaram em grande parte o aumento do caudal. De igual modo, há uma diminuição significativa para áreas de matagal (41.66% em 1991 para 8.97% em 2011). Relativamente a classe zona herbácea inundável (10.60% em 1991 contra 3.94% em 2011) e um aumento considerável para

as áreas de matagal médio (2.49% em 1991 contra 23.48% em 2011) e a de cultivado de sequeiro (7.52% de 1991 para 16.13% em 2011).

Esta toda variação de cobertura da terra sendo significativa ou não, dá origem a novas classes de cobertura. A diminuição das áreas nas classes faz com que a classificação a nível do píxel seja mais difícil. Em 1991 a floresta de baixa altitude aberta ocupava 26.09% sendo que em 2011 a classe não existe segundo os resultados da classificação, igualmente para áreas de mangal que ocupavam 10.052,59 ha.

Este factor de perda e ganho de áreas originou áreas de cultivo de regadio representadas num total de (15.160,38 ha), (15.54%) para plantações e (15.38 %) para arbustos.

5.2. Classificação visual

Na interpretação visual, foi usada a combinação 4 (vermelho), 3 (verde) e 2 (azul) correspondentes as bandas do visível das imagens Landsat com recurso ao *software* ArcGis 10.2, tendo se utilizado como base, os dados de uso e cobertura da terra de 1999 já existentes, assim como para a atribuição da nomenclatura.

5.2.1. Uso e Cobertura da Terra 1991

A figura 9 ilustra o resultado do mapeamento de uso e cobertura da terra. A criação das classes e sua digitalização obedeceu o critério descrito no ponto 3.2 que refere o uso do *shapefile* de uso e cobertura da terra de 1999 para servir de base no processo de digitalização.

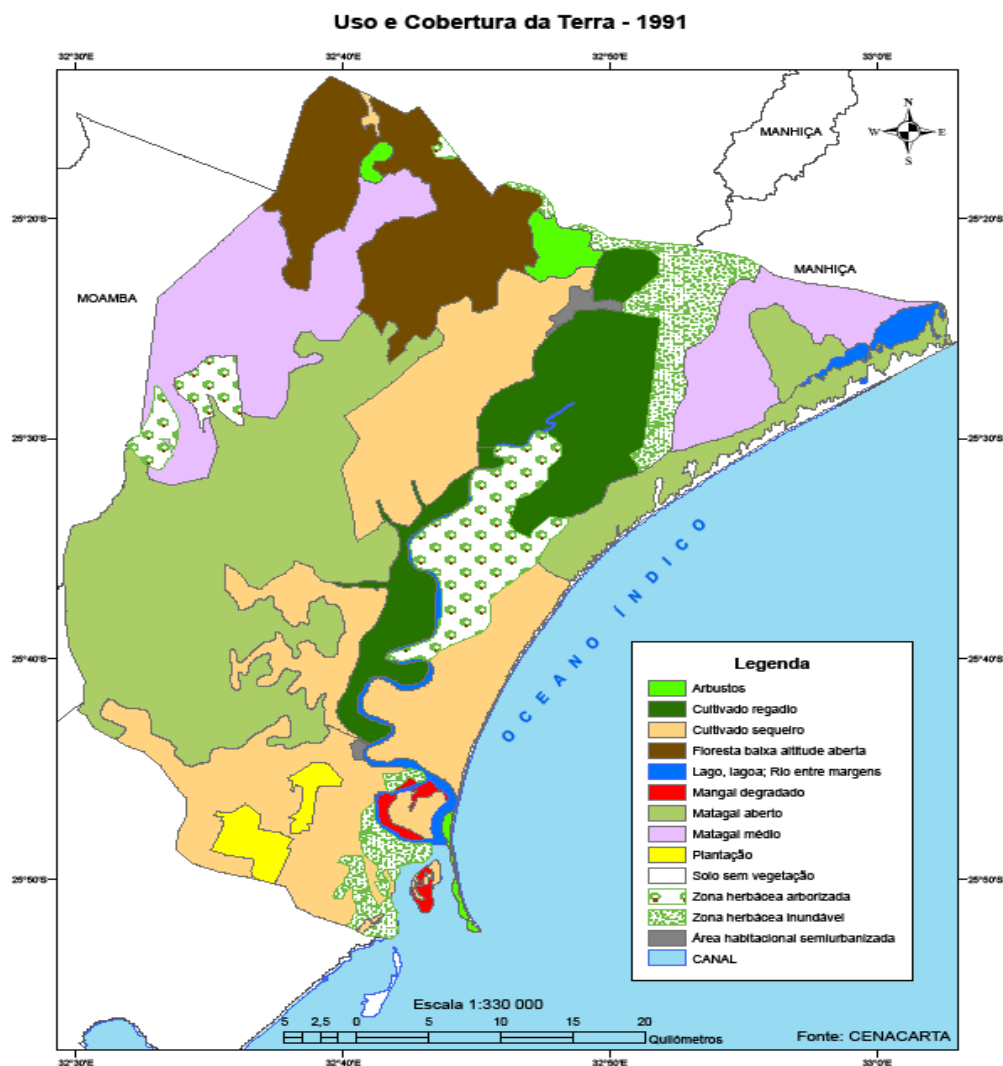


Figura 9: Classificação do uso e cobertura da terra com base na classificação visual em 1991

5.2.2. Uso e Cobertura da Terra 2011

Com o fim do conflito armado, cresceu a procura de áreas para habitação e para a prática de outras actividades nas zonas rurais. A livre circulação de pessoas e bens, fez com que muitas das áreas consideradas inacessíveis passassem a ser de acesso fácil possibilitando uma ligação com a área urbana. Estas facilidades propiciaram o surgimento de outras classes e alteração ou diminuição em algumas (vide figura 10).

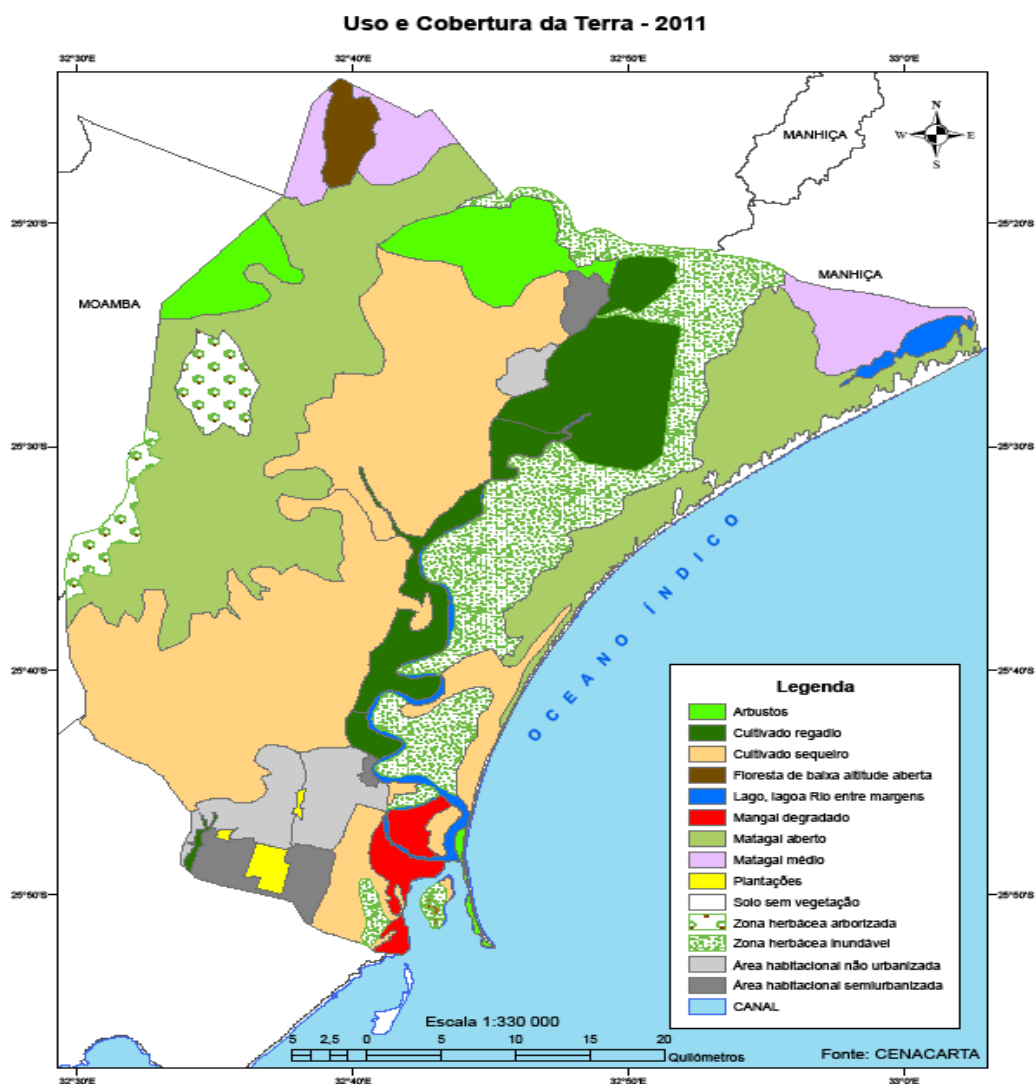


Figura 10: Classificação do Uso e Cobertura da Terra com base na classificação visual em 2011

5.2.3. Análise da Classificação Visual

Da classificação visual das imagens de 1991 e 2011 resultou a tabela abaixo (Tabela 7). Para 2011 o efeito das mudanças climáticas que se fazem sentir um pouco por todo mundo, tem trazido problemas relacionados com a seca originada pela escassez de chuvas. As zonas que outrora eram consideradas de inundação permanente diminuíram

consideravelmente, uma vez que as inundações nestas áreas ocorrem somente no período chuvoso.

Em 1991, a situação de instabilidade política ainda se fazia sentir nas zonas rurais, por isso, classes ocupadas pela floresta de baixa altitude aberta e matagais tinham áreas maiores devido a características típicas da sua vegetação. Estas características (plantas lenhosas em formações herbáceas arborizadas podendo ser árvores, arbustos, árvores anãs, árvores de palmeiras ou arbustos baixos em proporções que variam) propiciam a colocação de minas e manobras militares.

Classes de Uso e Cobertura	1991		2011		Variação
	Área	%	Área	%	%
Arbustos	20.902,70	10,90	9.800,04	5,11	-5.79
Cultivado regadio	21.432,75	11,16	16.750,49	8,73	-2.43
Cultivado sequeiro	29.323,33	15,29	55.979,94	29,20	+13.91
Floresta de baixa altitude aberta	5.033,79	2,63	2.087,94	1,08	-1.55
Corpos de agua	2.253,85	1,18	3.081,64	1,60	+0.42
Mangal	3.334,58	1,74	2.926,84	1,54	-0.2
Matagal aberto	60.935,30	31,74	49.632,30	25,88	-5.86
Matagal médio	11.233,92	5,84	8.590,25	4,48	-1.36
Plantações	2.359,76	1,23	955,57	0,49	-0.74
Solo sem vegetação	2.139,23	1,16	2.092,59	1,12	-0.11
Zona herbácea arborizada	11.915,36	6,26	5.749,12	2,99	-3.27
Zona herbácea inundável	20.635,24	10,76	22.768,25	11,88	+1.12
Área habitacional não urbanizada	0	0	7.187,92	3,75	+3.75
Área habitacional semiurbanizada	215,94	0,11	4.112,86	2,15	+2.04
Total	191.715,75	100%	191.715,75	100%	0

Tabela 7: Classificação visual do uso e cobertura da terra para 1991 e 2011

O gráfico a baixo (figura 11) mostra a evolução do uso e cobertura da terra, resultante da interpretação visual. A classe de cultivado de sequeiro é a que mais ganhou teve pelo facto de a expansão urbana assim como a mobilidade terem crescido consideravelmente com o fim do conflito armado.

Variação do uso e cobertura da terra com base na classificação visual para 1991 e 2011

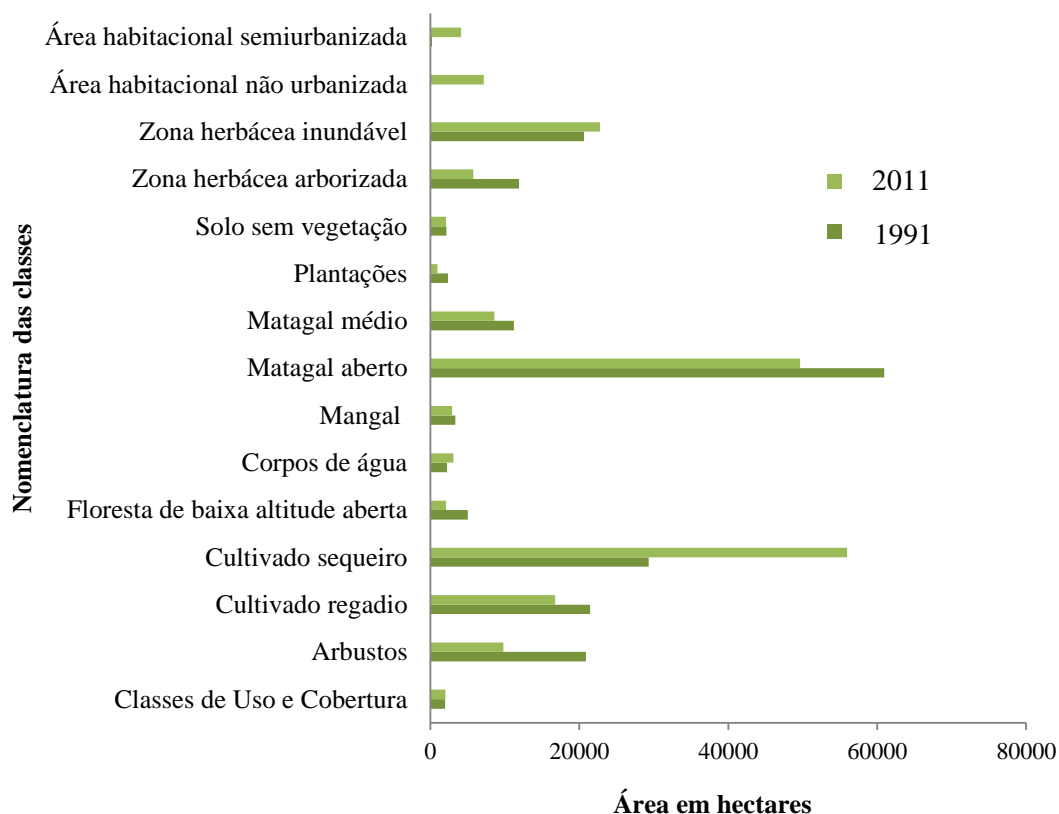


Figura 11: Variação do uso e cobertura na interpretação visual (1999 e 2011)

Deste todo leque de acontecimentos que se fizeram sentir, é justificada em área habitacional semiurbanizada que ocupava uma percentagem reduzida das demais classes correspondendo um total de (0,35%), uma vez que as populações lá residentes abandonavam suas casas e se refugiavam em zonas com maior segurança. Da análise feita conclui-se que a classe de matagal aberto era a que ocupava uma área predominante correspondente a 24,58% seguindo-se o cultivado de sequeiro com 22,41%, matagal médio 13,51%, o cultivado de regadio com uma área de 19.412,27 ha correspondente a 10,12% e a floresta de baixa altitude aberta com 9,81%.

A área de corpos de água (lago, lagoa, rio entre margens) correspondente a todas as classes que compõe a parte hídrica na área de estudo ocupa 1,70%. Arbustos, plantações, solo sem vegetação, zona herbácea arborizada e zona herbácea inundável estas cinco classes ocupam 16,98% da área de estudo.

Contrariamente as grandes alterações que se podem verificar em 2011, o destaque vai para o surgimento de uma nova classe denominada área habitacional não urbanizada que nasce devido a expansão urbana. A Cidade de Maputo que dista cerca de 30kms da área de estudo, tem registado um crescente desenvolvimento motivado pela descoberta de novos recursos naturais. Esta demanda, faz com que a procura de espaços para habitação e outros empreendimentos seja maior nas zonas circunvizinhas.

Para o Mapa de Uso e Cobertura da Terra (2011) do distrito e áreas circunvizinhas, verifica-se aumento e a diversidade de classes do uso e cobertura da terra da época em estudo, podendo-se notar para os resultados deste mapeamento classes com maior cobertura como cultivado de sequeiro com uma percentagem significativa de 29,20% que é justificada pelos factores de ordem antropogénico.

A diminuição acentuada da área da classe de floresta de baixa altitude aberta cuja perda está ligada a vários factores dos quais, se destacam os seguintes: abates florestais para produção de recursos energéticos; queimadas descontroladas; a procura de madeira preciosa para ornamentação; crescente procura de espaço para a prática agrícola, bem como a expansão urbana dos 2,63% que ocupava em 1991 para 1,08% em 2011.

Devido a pressão humana, uma parte desta classe passou para arbustos, matagal ou cultivado de sequeiro. O Matagal aberto ganhou algum espaço resultante da diminuição de algumas classes ocupando 25,88%. Outra classe que sofreu grandes mudanças é a zona herbácea inundável que subiu para 11,88% em 2011. Devido a demanda na procura de espaços agrícolas e de pastagem, esta área tem sofrido muita pressão humana o que tem resultado na degradação dos solos criando condições para erosão. Com as mudanças climáticas, as chuvas tem sido muito fortes e frequentemente trazem inundações uma vez que estas áreas se encontram ao longo do Rio Incomáti (um dos maiores rios do Sul de Moçambique).

Especial atenção vai para o surgimento de uma nova classe denominada Área habitacional não urbanizada, que surge com o crescimento horizontal da Cidade de Maputo com uma área de 7.187,92 ha correspondente a 3,75%. A classe de arbustos ganhou um pouco de espaço resultante de mudanças ocorridas nas classes de floresta de baixa altitude aberta e matagal.

5.3. Análise Comparativa

5.3.1. Classificação Supervisionada e Visual de 1991

A análise comparativa entre as duas classificações de 1991 (Tabela 8), apresenta grandes diferenças pelo facto de na classificação assistida, a análise ser feita ao nível do pixel, enquanto que na interpretação visual é feita em polígonos.

Deste modo, na classificação supervisionada a área de corpos de água é maior que na visual com 3.861.70 ha, contra 2.253.85 ha pelo facto de a imagem ser da época chuvosa e a classificação considerou como água, pixels das áreas inundadas. A classe de arbustos não foi considerada na classificação assistida, uma vez que os pixels representativos para esta área apareciam isolados por toda área de estudo, pelo que foram reclassificados como matagal aberto. As plantações por ocuparem uma porção pequena, o número de amostras colectadas para a classificação não foi suficiente para caracterizar sua assinatura espectral.

Em 1991, a área do cultivado de regadio não era explorada devido a instabilidade política. Esta área ficou abandonada por muitos anos o que fez com que outro tipo de vegetação crescesse tornando difícil a classificação supervisionada. Já na interpretação visual foi fácil mapear uma vez que as áreas de regadio são constituídas por parcelas e canais de irrigação bem visíveis na imagem.

Na classificação supervisionada, o cultivado de regadio e a zona herbácea arborizada, passaram para matagal aberto que passou a ter uma área de 79. 733.38 ha

Um reparo vai para o cultivado de sequeiro, que na classificação supervisionada ocupa uma área de 14.393.83 ha contra os 29.329.23 ha da interpretação visual. Este facto, deveu-se ao agrupamento descontínuo das classes (devido a falta de planos de ordenamento territorial), que de certo modo originou este fraco reconhecimento

espectral, diferente da classificação visual onde foi possível nomear esta classe com maior agrupamento espectral que se aproxima a realidade.

Classes de Uso e Cobertura	1991 (Supervisionada)		1991 (Visual)		Varição
	Área	%	Área	%	%
Corpos de água	3 861.70	2.02	2 253.85	1.18	0.84
Arbustos	0.00	0	20 902.70	10.9	10.9
Solo sem vegetação	1 778.24	0.93	2 139.23	1.16	0.23
Cultivado de sequeiro	14 393.83	7.52	29 323.33	15.29	7.77
Cultivado de regadio	0.00	0	21 432.75	11.16	11.16
Plantações	0.00	0	2 359.76	1.23	1.23
Mangal	10 052.59	5.25	3 334.58	1.74	3.51
Matagal medio	4 757.58	2.49	11 233.92	5.84	3.35
Matagal aberto	79 733.38	41.66	60 935.30	31.74	9.92
Floresta de baixa altitude	49 934.57	26.09	5 033.79	2.63	23.47
Área habitacional semiurbanizada.	6 572.19	3.44	215.94	0.11	3.33
Área habitacional não urbanizada	0	0	7.187,92	3.75	3.75
Zona herbácea arborizada	0	0	5.749,12	2.99	2.99
Zona herbácea inundável	20 284.52	10.60	20 635.24	10.76	0.16
Total	191.373,68	100	191.715,75	100	

Tabela 8: Análise comparativa da classificação visual e supervisionada do uso e cobertura da terra para 1991

Variabilidade espacial do uso e cobertura da terra com base nas classificações supervisionada e visual

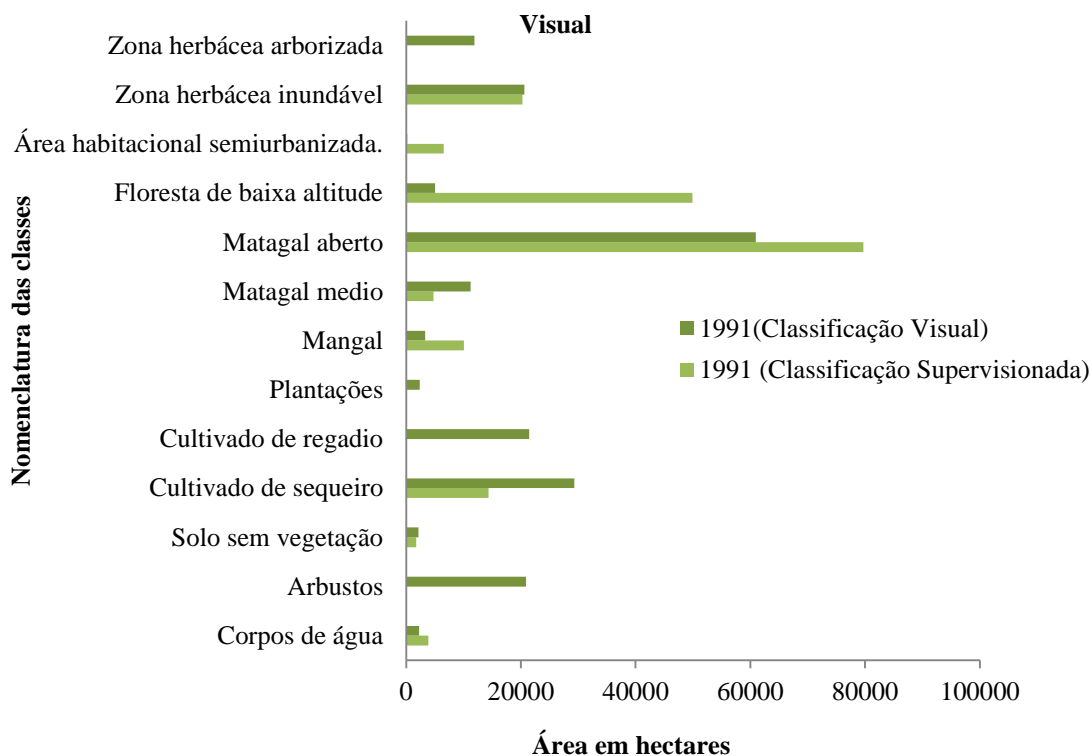


Figura 12: Variabilidade espacial do uso e cobertura da terra com base nas classificações supervisionada e visual (1991)

5.3.2. Classificação Supervisionada e Visual de 2011

A análise do cenário de 2011 do uso e cobertura da terra (Tabela 9), mostrou um resultado diferente na classificação supervisionada uma vez que poucas classes foram reclassificadas. Contudo, classes como área habitacional não urbanizada, mangal e zona herbácea arborizada foram reclassificadas para área habitacional urbanizada, zona herbácea inundável e matagal aberto respectivamente.

O cultivado de regadio com 15.160,38 ha na classificação supervisionada e 16.750,49 ha na interpretação visual, foi das poucas áreas que a diferença nas duas classificações foi pequena, uma vez que com o fim das hostilidades, a plantação de cana de açúcar voltou a ser feita naquelas áreas o que permitiu uma eficiente recolha de amostra para a classificação supervisionada. A digitalização dos polígonos nesta classe, para a

interpretação visual foi fácil uma vez com os campos cultivados e cobertos de cana de açúcar os contornos da área eram bem visíveis.

Classes de Uso e Cobertura	2011 (Supervisionada)		2011 (Visual)		Varição
	Área	%	Área	%	%
Corpos de água	13.172,51	6.88	3.081,64	1.6	5.28
Arbustos	22.795,19	15.16	9.800,04	5.11	10.05
Solo sem vegetação	1.826,04	0.95	2.092,59	1.12	0.17
Cultivado de regadio	15.160,38	7.92	16.750,49	8.73	0.81
Cultivado de sequeiro	15.160,38	16.13	55.979,94	29.2	13.07
Plantações	29.732,02	15.54	955,57	0.49	15.05
Mangal	0	0	2.926,84	1.54	1.54
Matagal aberto	17.162,64	8.97	49.632,30	25.88	16.91
Matagal medio	44.942,38	23.48	8.590,25	4.48	19
Floresta de baixa altitude aberta	0	0	2.087,94	1.08	1.08
Área habitacional semiurbanizada	8.181,70	4.27	4.112,86	2.15	2.12
Área habitacional não urbanizada	0	0	7.187,92	3.75	3.75
Zona herbácea inundável	7.538,73	3.94	22.768,25	11.88	7.94
Zona herbácea arborizada	0	0	5.749,12	2.99	2.99
Total	191.373,68	100%	191.715,75	100%	

Tabela 9: Análise comparativa da classificação visual e supervisionada do uso e cobertura da terra para 2011

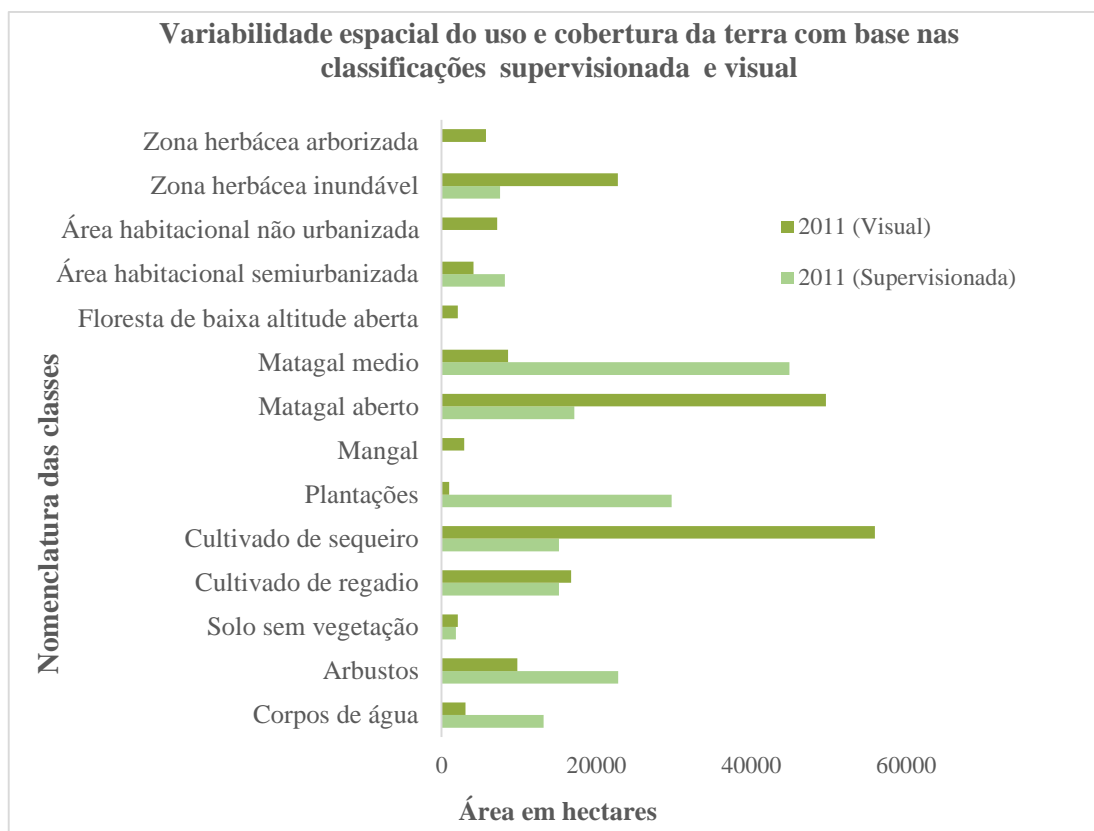


Figura 13: Variabilidade espacial do uso e cobertura da terra com base nas classificações supervisionada e visual (2011)

5.4. Mudanças no Uso e Cobertura da Terra entre 1991 e 2011

A figura 14, destaca uma área com plantações (1991). A imagem da direita, ilustra a mesma área, já com alterações muito profundas no uso e cobertura da terra. Na imagem de 2011 é possível notar claramente o desaparecimento de parte significativa da plantação que deu origem a uma nova classe a de área habitacional não urbanizada.

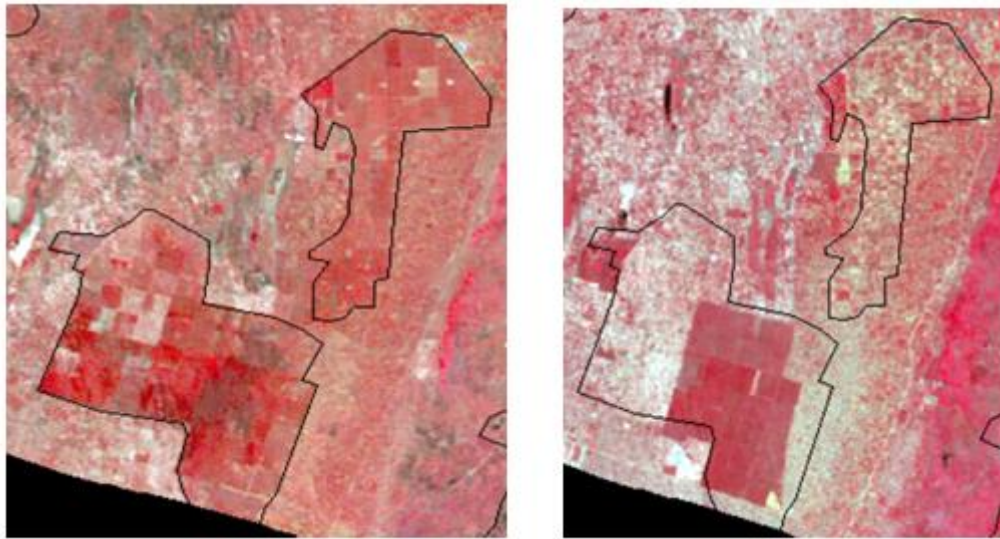


Figura 14: Classe de plantações em 1991 à esquerda e surgimento da área habitacional não urbanizada a direita em 2011.

Outro exemplo ocorrido na alteração do uso é mostrado abaixo (figura 15) em que o cultivado de sequeiro deu espaço a uma nova classe, que é área habitacional não urbanizada em 2011.

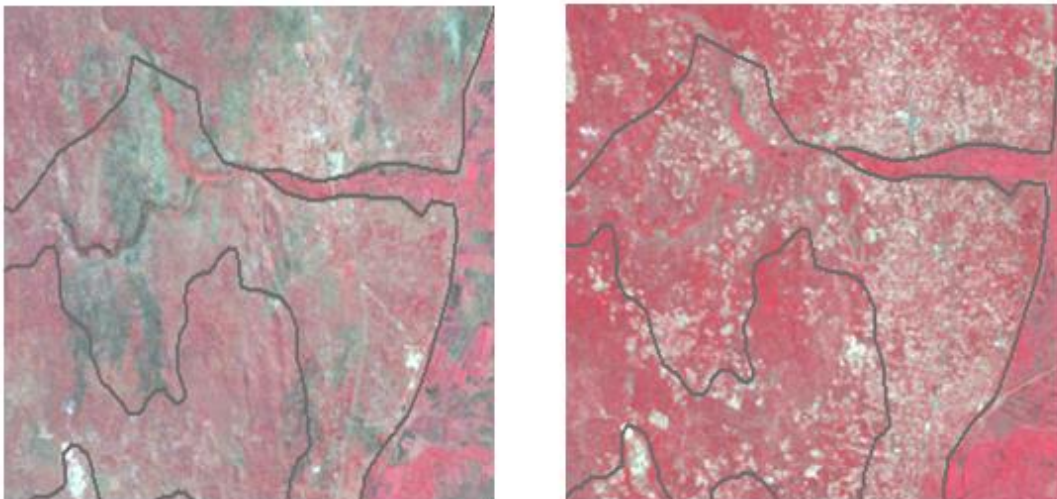


Figura 15: Presença de sequeiro em 1991 à esquerda e surgimento da área habitacional não urbanizada em 2011 a direita

5.5. Vantagens e Desvantagens de Produção de Mapas de Uso e Cobertura da Terra com recurso a Classificação Supervisionada e Classificação Visual

Uma das vantagens de produção de mapas de uso e cobertura da terra com recurso a classificação automática é a redução dos custos de mapeamento de grandes áreas, nos casos em que as operações devem ser repetidas por diversas vezes, e capacidade de tratar dados de varias bandas espectrais simultaneamente. Tem como desvantagem, a produção de mapas apresentando pequenas parcelas espalhadas por toda área o que dificulta a leitura do mesmo. É considerada menos subjectiva, devido a confusão entre classes em paisagens heterogêneas que introduzem erros na classificação espectral resultante (Jean e Ramirez, 1996). Para que a classificação automática seja precisa o suficiente, é necessário um número elevado de "pixels", para conjunto de treinamento.

Convém destacar que, usando a classificação automática, é bastante difícil conseguir alta precisão, particularmente em áreas vastas e heterogêneas, visto ser difícil verificar cada classe no terreno (King, 2001).

A interpretação visual tem como uma das vantagens a produção de mapas com grandes parcelas em função da generalização efectuada durante a confecção. A facilidade em nomear classes com maior agrupamento espectral, a interpretação visual complementada com o trabalho de campo, é quiçá, a melhor abordagem para captar o conteúdo da imagem.

Ambas classificações têm como desvantagem, o facto de requerer o conhecimento prévio da época adequada para a obtenção das imagens e bandas a serem usadas.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1. Conclusões

O objectivo geral deste trabalho era o de analisar a dinâmica de ocupação da terra no distrito de Marracuene e áreas circunvizinhas, entre os anos de 1991 e 2011, com recurso aos métodos automáticos de classificação, através do uso integrado de Detecção Remota e Sistemas de Informação Geográfica. Para a realização deste trabalho, três objectivos específicos foram considerados e as conclusões de cada um deles são a seguir apresentados:

Relativamente ao primeiro, no qual se pretendia fazer uma análise sobre o uso de imagens de satélite para a produção de mapas de ocupação da terra para o distrito de Marracuene e áreas circunvizinhas foi possível mostrar a alta potencialidade que a integração entre os Sistemas de Informação Geográfica e Detecção Remota têm no que diz respeito ao processamento digital de imagens para representar as alterações ocorridas na área de estudo por meio de imagens do satélite LANDSAT 5, compreendidas entre os anos de 1991 e 2011.

O segundo objectivo consistia na comparação de diferentes técnicas de classificação de imagens orbitais do satélite LANDSAT 5 em ambiente dos Sistemas de Informação Geográfica, empregando os aplicativos ERDAS Imagine e ArcGis para produção de mapas de ocupação da terra. Este objectivo foi alcançado e os resultados posteriormente validados estaticamente.

O terceiro e último seria o da avaliação da classificação automática e interpretação visual, suas vantagens e desvantagens.

Dos resultados obtidos, na classificação assistida expressam significantes perdas e ganhos por parte de algumas classes, como o caso dos Corpos de água (+4.86%), cultivado de sequeiro (+8.61) e matagal medio (+20.99) que aumentaram significativamente e o matagal (-32.69%) que teve um cenário contrário. Para o caso específico de Moçambique, onde muitas áreas são caracterizadas por uma grande complexidade em termos de distribuição de classes de ocupação da terra, apesar dos grandes avanços na interpretação digital (assistida por computador) de imagem, a

interpretação visual continuará, num futuro próximo, a ser a ferramenta fundamental para a extracção de informação de imagem satélite (Ryerson, 1987).

A produção automática a partir de imagens de satélite pode ser prejudicada por situações como o facto de diferentes ocupações de uso e cobertura da terra poderem ter assinaturas espectrais semelhantes, ou de algumas classes poderem não ser identificáveis ao nível do pixel (Caetano e Santos, 2001). Por estas razões este trabalho também teve a interpretação visual, onde feitas as análises há que destacar o surgimento de uma nova classe em 2011 (Área habitacional não urbanizada) e a diminuição da área de várias outras, alterações motivadas pelas mudanças climáticas e expansão urbana.

Deste modo, foi possível constatar que, os resultados numéricos permitem uma análise mais precisa sobre o uso e ocupação da terra na área de estudo. Assim sendo é de carácter indispensável que as autoridades e entidades que gerem assuntos relacionados ao uso e ocupação da terra garantam a existência de uma base de dados actualizada, e de acordo com o estudo realizado deverá ser a da interpretação visual pois foi a que melhor se aproximou a realidade do terreno.

6.2. Recomendações

Recomendamos o uso racional dos recursos florestais de modo a se fazer a reposição das culturas, que por conta das queimadas e cortes ilegais vão desaparecendo do meio. Do mesmo modo, recomendamos as estruturas administrativas, da área em estudo, a zelarem pelo plano de ordenamento territorial, visto que actualmente a Cidade de Maputo está a caracterizar-se por um crescimento populacional que leva as pessoas a se deslocarem para as zonas circunvizinhas, como o caso da área de estudo. Isto irá garantir que a ocupação urbana seja feita de forma ordeira. Há também uma necessidade de se fazer um estudo para a manutenção do mangal visto que no último ano do estudo surge como uma classe que desapareceu.

Como forma de melhorar os resultados das classificações automáticas e/ou visuais, recomendamos que os trabalhos futuros sejam acompanhados de visitas de campo de modo a confrontar o resultado obtido a partir das imagens com a realidade no terreno.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ayash, L. R., R. E. Cunha., F. L. Silva., & M. V. Bacani (2012). Utilização de imagens Google Earth para mapeamento do uso e cobertura da terra da bacia hidrográfico córrego Indaiás. Tese de Mestrado. Universidade São José- Brasil.
- Anderson, J. R.; Hardy, E. E.; Roach, J. T.; Witmer, R. E. A land use and land cover classification system for use with remote sensor data. Geological Survey Professional. Washington, DC. 1976.
- Bakker, Mucio P. Ribeiro de. Cartogtafia: Noções Basicas. Rio de Janeiro: Diretoria de Hidrografia e Navegação, 1965.
- Briassoulis, H., 2000. Analysis of Land Use Change: Theoretical and Modeling Approaches. Site disponível: The Web Book of Regional Science – Regional Research Institute, West Virginia University (última actualização: 2005). Disponível em: <http://www.rri.wvu.edu/WebBook/Briassoulis/contents.htm> >Acesso em 2015.
- Caetano, M., T. Santos, H. Carrão, A. Nunes e M. Barreiros. Desenvolvimento de aplicações para generalização de cartografia temática. *Proceedings of the ESIG'2001-VI Encontro de Utilizadores de Informação Geográfica*, Oeiras. 2001.
- Caetano, Mário, Teresa Santos e Luísa Goçaves. Cartografia de ocupação do solo com imagens de satélite: estado de arte 2008.
- Caetano, Mário; Pereira, Maria; Carrão, Hugo; Araújo, António; Nunes, António; Nunes, Vasco 2008. Cartografia Temática de Ocupação / Uso do Solo. Lisboa, Instituto Geográfico Português, 23 p.
- Caetano, M., 2012, *Manual da cadeira Deteção Remota da Pós-Graduação e Mestrado em Ciência & Sistemas de Informação Geográfica*, ISEGI-UNL, Lisboa.
- CENACARTA, 1999. Uso e Cobertura da Terra. Disponível em: <http://www.cenacarta.com> > Acesso em 2015.
- Coppin, P. *et al.* Digital Change Detection Methods In Ecosystem Monitoring: a review. *International Journal of Remote Sensing*. Taylor e Francis Ltd., n. 9, p. 1565-1596, 10 mai. 2004.
- Dobson, J. E. *et al.* NOAA Coastal Change Analysis Program: Guidance for Regional Implementation. NOAA Tecnical Report NMFS 123. National Marine Fisheries

Service Department of Commerce United States of America, abril de 1995.
Disponível em: <http://www.csc.noaa.gov/products/sccoasts/html/pdecrypt.htm> >
Acesso em 2015

Duarte, Paulo Araújo. Cartografia temática. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1991, 145 p.

FAO, (1985). A Definição de Florestas

Ferrão, M. F. (2005). Satélites e Princípios Físicos da Teledetecção. Maputo: CENACARTA.

Fisher, P., A. Comber, e R. Wadsworth, 2005, “Land use and land cover: contradiction or complement”.

Florenzano, T. G. Imagens de satélites para estudos ambientais. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 97 p.

Foody, G. M. Status of land cover classification accuracy assessment. Remote Sensing of Environment. New York, NY: Elsevier, n.80, 2002. Disponível em: http://www.yale.edu/ceo/OEFS/ClassificationArticle_by_Foody_2002.pdf >
Acesso em 2015.

Forman, R. T. T. and M. Godron. 1986. Landscape ecology. John Wiley & Sons, New York. 620 pp.

Houghton, R. A. As florestas e o ciclo de carbono global: armazenamento e emissões actuais. In: Seminário “Emissão X Sequestro Deco2: uma nova oportunidade de negócios para o Brasil”, Rio de Janeiro, 1994. Anais. Rio de Janeiro, CVRD, 1994.

Jacoski, Claudio. Alcides *et al.* (2006) - Projeto de Cadastro Técnico Multifinalitário para aplicação no Projeto SIG Chapecó. Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. Florianópolis - SC, Brasil.

Jean-François., M. and Ramirez, I. 1996. Comparison of land use classifications obtained by visual interpretation and digital processing. ITC Journal, 3(4), 278-283.

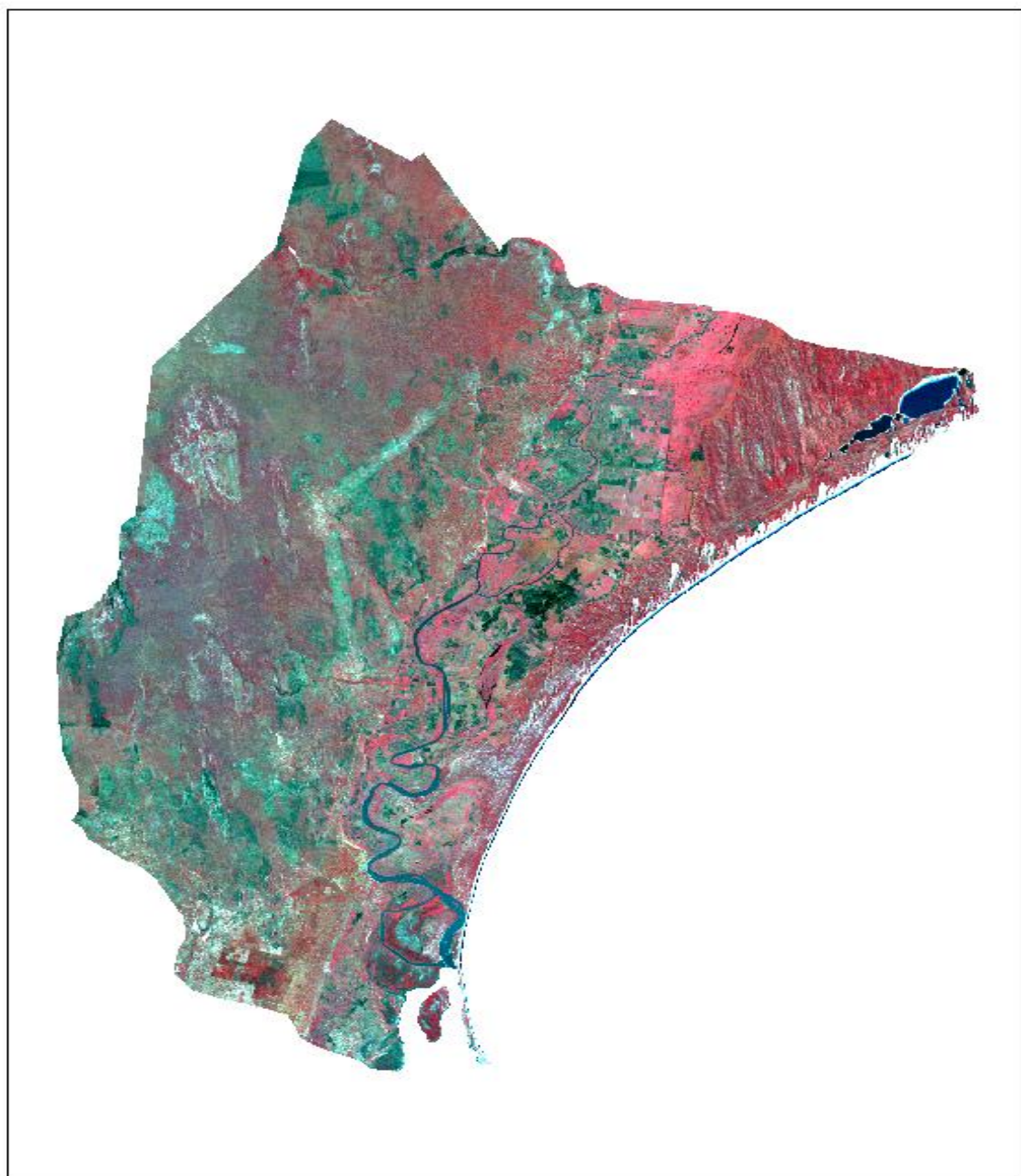
Kiel, R. (2008). Detecção de mudanças no uso e cobertura do solo em uma série temporal de imagens da região da campanha do Rio grande do sul. Tese de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.

- King, B. 2001. Land cover mapping principles: a return to interpretation fundamentals. First annual meeting of the Remote Sensing and Photogrammetry Society. London, UK. 467-484.
- Lillesand, M. T. & Kiefer, F. W. Remote Sensing and Image Interpretation. John Wiley & Sons, Inc. 3a ed. 1994.
- Lillesand, T. M. e KIEFER R. W. (2000). Remote sensing and image interpretation. John Wiley & Sons, New York.
- Lillsand T. M e Kieffer, R. W., 2003, Remote Sensing and Image Interpretation. (5º ed.) (New York: John Wiley e Sons, Inc).
- Lillesand, T. M.; Kiefer, R.W.; Chipman, J.W. Remote Sensing and Image Interpretation. NY.: John Wiley & Sons Inc., 5ª ed., 2004.
- Lu, D. *et al.* Change Detection Techniques. International Journal of Remote Sensing. Taylor e Francis Ltd., n. 25, p. 2365-2407, 20 jun. 2004. Disponível em: < <http://www.tandf.co.uk/journals> > Acesso em 2015.
- Lu, D.; Weng, Q. A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance, International journal of Remote sensing, 2007.
- MAE. Ministério de Administração Estatal. Perfis Distritais. República de Moçambique, 2005.
- Mendes, C. A. B. Planejamento nacional de recursos hídricos baseado no uso de técnicas de geoprocessamento. Porto Alegre: [s.n]. 9p. 1997.
- Montebelo, L. A.; Casagrande, C. A.; Ballester, M. V. R.; Victoria, R. L.; Cutolo, A. P. A. Relação entre uso e cobertura do solo e risco de erosão nas áreas de preservação permanente na bacia do ribeirão dos Marins, Piracicaba-SP. XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005, Goiânia. XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005. p. 3829-3836.
- Moreira, M. A. (2003). “Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação”, 2ª ed. ISBN 85-7269-158-8, UFV, Viçosa, MG, Brasil.
- Novo, E. M. L. M. Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações. Ed. Edgard Blucher Ltda, 3a Edição, São Paulo, 2008. 363 p.

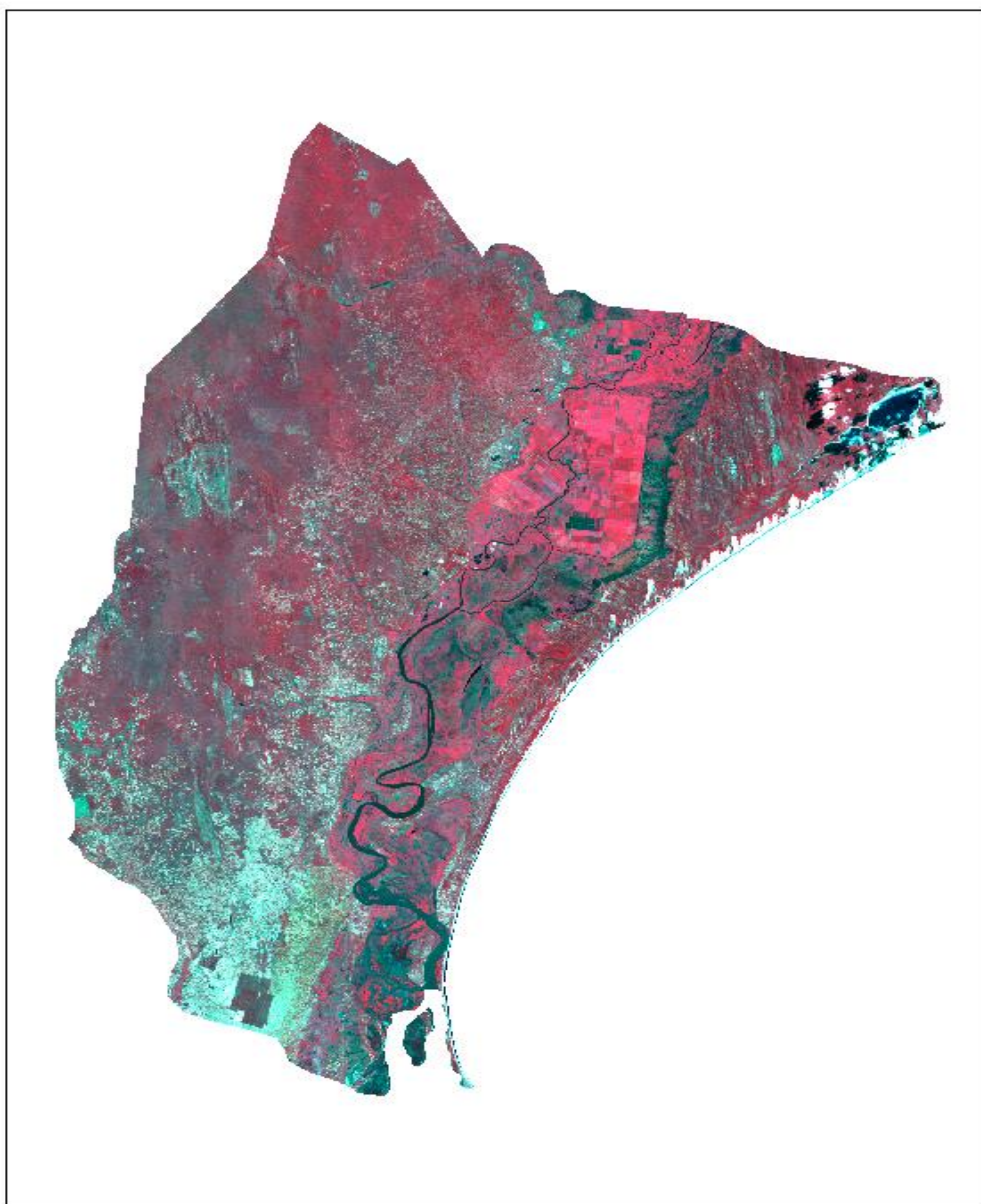
- Perdigão, V. e A. Annoni. *Technical and methodological guide for updating CORINE Land Cover data base*. European Environmental Agency, Joint Research Centre, European Commission. 1997.
- Pinto, D., 2001. *A Utilização do Sensoriamento remoto e do geoprocessamento como ferramentas aplicadas as ciências da terra e do mar*. UFCS.
- Ryerson, R.A. 1987. Introduction to Remote Sensing in Canada: Special Issue. *Geocarto International*, 2(3): 1010-6049.
- Rosa, R. *Introdução ao Sensoriamento Remoto*, 5º ed., Uberlândia. Ed. Da Universidade Federal de Uberlândia, 2003.
- Rosa, R. *Introdução ao Sensoriamento Remoto*. 6. Ed. Uberlândia: EDUFU, 2007.
- Sato, S. S., *Aplicação e Análise da Ortofoto Digital na Definição de Limites de Propriedades Imobiliárias – Estudo de caso: Imóveis da Universidade Federal de Santa Catarina*, 1996, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Curso de Pós Graduação em Engenharia Civil.
- Site: (<http://www.glovis.usgs.gov/>).
- Site: (<http://www.usgs.gov>).
- Soares Filho, B. S. *Análise das mudanças de Cobertura do Solo no Norte do Mato Grosso. Brasil*. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Goânia, 2005
Disponível em: <http://www.itid.inpe.br/sbsr2005>> Acesso em 2015.
- Story, M.; Congalton, R. G. Accuracy assessment: a user's perspective. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 52, n. 3, p. 397-399, 1986.
- Tucker, C. J., Grant, D. M., Dykstra, J. D. 2004. NASA's Global Orthorectified Landsat Data Set. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 70 (3), 313-322.

ANEXOS

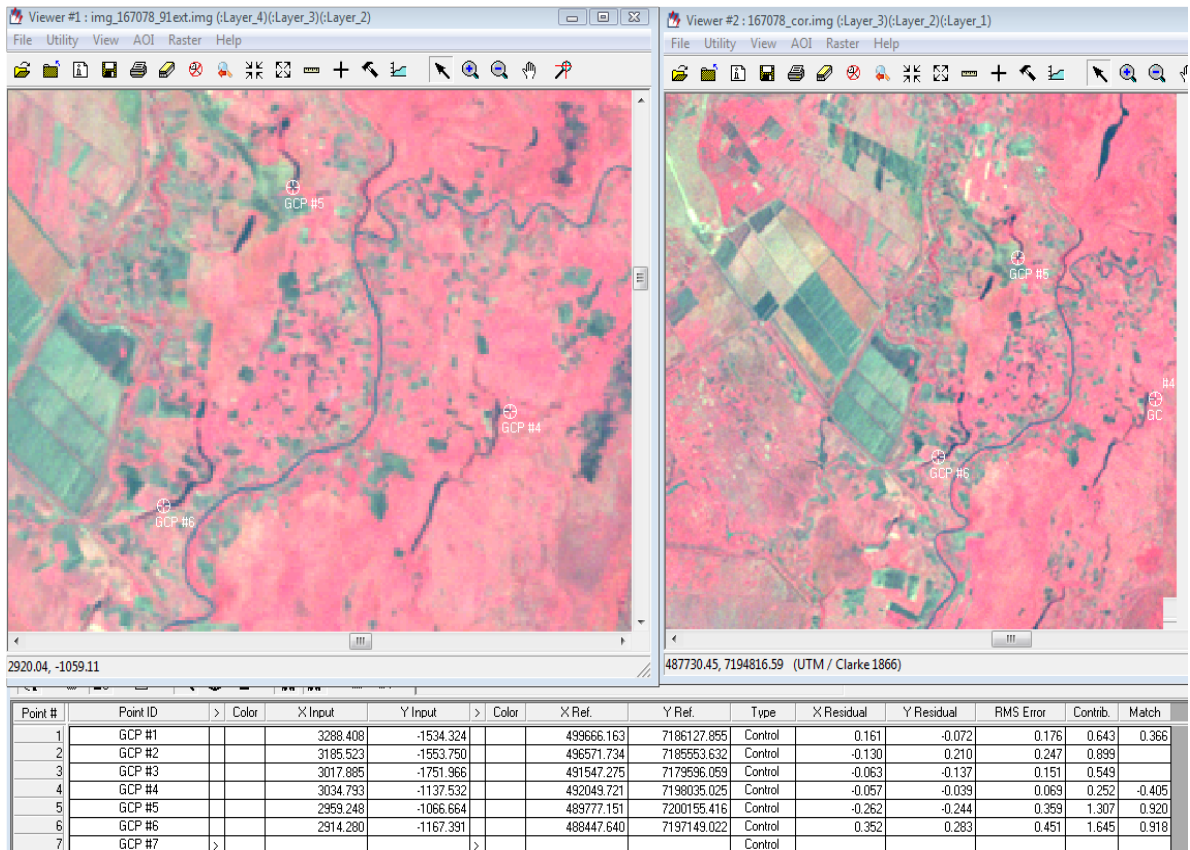
Anexos 1: Imagem Landsat 5 de 03 de Fevereiro de 1991, usada para a classificação supervisionada e interpretação visual.



Anexos 2: Imagem Landsat 5 de 04 de Abril de 2011, usada para a classificação supervisionada e interpretação visual.



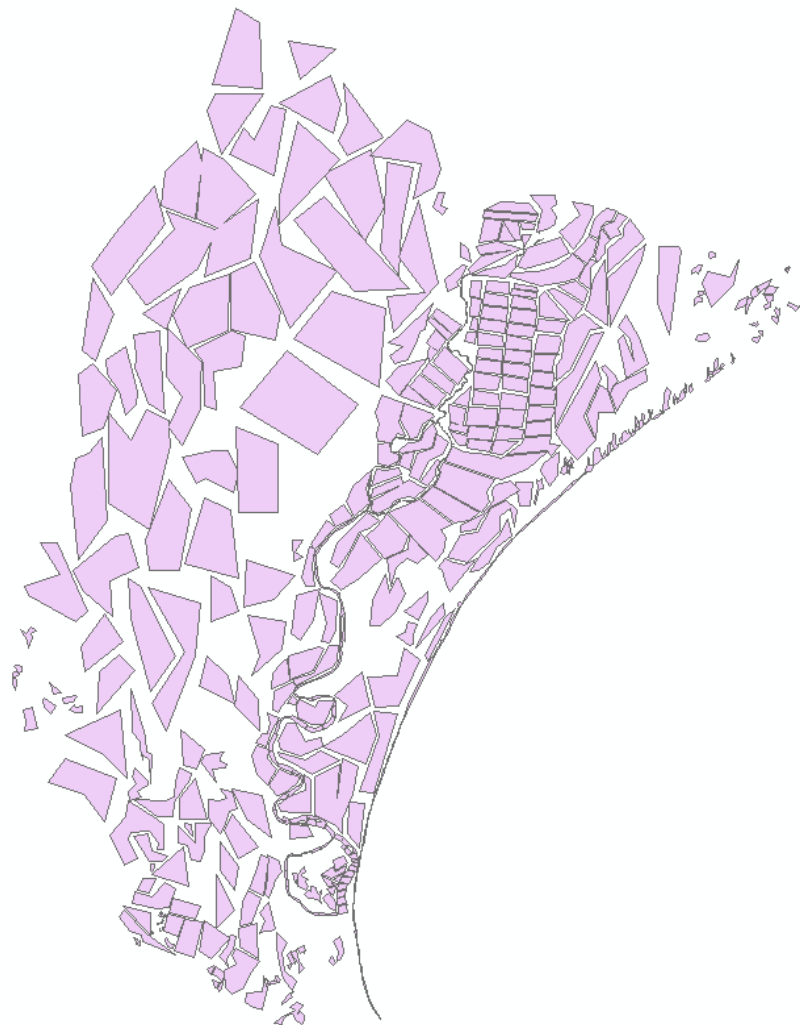
Anexos 3: Georreferenciação das imagens.



Anexos 4: Amostras de treino da imagem de 1991.



Anexos 5: Amostras de treino da imagem de 2011.



Anexos 6: Base Temática de Moçambique contendo o Uso e a Cobertura da Terra.

O uso da terra compreende:

■ O uso da terra cultivado, sequeiro ou regadio

No caso de cajueiros, coqueiros, cana de açúcar, chá, a especificidade das culturas está registada.

■ O uso da terra não cultivado.:

- Plantações de pinheiros e/ou eucaliptos
- Zonas verdes organizadas
- Zonas habitacionais
- Zonas de produção e transporte
- Salinas.

A cobertura da terra compreende:

■ a cobertura com limitação edáfica:

- Solos sem vegetação
- Zonas herbáceas inundáveis e inundadas
- Mangais

■ a cobertura sem limitação edáfica:

- Zonas herbáceas
- Moita (arbustos baixos)
- Matagal médio
- Matagal alto
- Matagal aberto
- Zona herbácea arborizada
- Zona herbácea com árvores anãs emergentes
- Floresta de baixa altitude aberta
- Floresta de baixa altitude fechada
- Floresta sempre verde

A cobertura da terra é dividida em vegetação natural e vegetação antropogénica (com marcas de culturas antigas e presença de vegetação particular).