



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE  
FACULDADE DE CIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICA E INFORMÁTICA  
CIÊNCIAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

**TRABALHO DE LICENCIATURA**

TEMA:

DETECÇÃO REMOTA E SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA APLICADOS NA  
ANÁLISE MULTI-TEMPORAL DA COBERTURA VEGETAL DA CIDADE DE MAPUTO

**Autora:** Inês Júlio Alfredo

Inês Júlio Alfredo

**TEMA:**

DETECÇÃO REMOTA E SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA APLICADOS NA  
ANÁLISE MULTI-TEMPORAL DA COBERTURA VEGETAL DA CIDADE DE MAPUTO

**Supervisor:** MSc Márcio Fernando Mathe

Maputo, Junho de 2015

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho aos meus queridos pais Júlio Libânio Alfredo, e Celina Massilela Madal, irmãos Júlio Libânio Alfredo Júnior, Albano Júlio Alfredo e Ricardo Branquinho Madal e aos meus amigos e colegas que me apoiaram durante o meu perfil académico.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao longo do meu curso e durante o período de elaboração do trabalho de final de curso, tive contributos de várias pessoas, dentre estes professores, familiares, amigos e colegas. Com a conclusão desta dissertação de licenciatura, cumpre-me agradecer a todos que me ajudaram a alcançar os meus objectivos.

Agradeço em primeiro lugar a DEUS o poderoso e o misericordioso, por ter concedido o dom da vida, sabedoria e por iluminar todos os meus caminhos todos os dias.

Aos meus pais vai um especial agradecimento porque me deram a vida e todo o apoio desde o primeiro dia da minha vida até hoje. Aos meus colegas Sandra Domingos Sambo, Delso Mauricio Manhiça e Nubia Tauacale pelas sugestões e críticas dadas durante a realização da parte experimental e elaboração do relatório final.

Aos meus colegas Edmundo Mutolo, Célia Tafa Paixão, Delso Manhiça, Gauchi Rogério Chambe, Núbia Tauacale, Sandra Domingos Sambo, Pedro Nahiloque, Lúcio Lucas, Bruno André Chemane, Juvêncio Abílio Come pela convivência e amizade durante o curso e ao meu amigo Carlos Adelino Magoda pelo apoio.

Ao Departamento de Matemática e Informática da UEM, a todos os professores, funcionários e aos meus colegas em geral que de uma forma directa ou indirecta, me ajudaram durante o curso e a todos os outros que não mencionei por todo o apoio que me deram.

A todos que de uma forma, directa ou indirecta contribuíram para o meu sucesso académico endereço o meu especial agradecimento.

## **DECLARAÇÃO DE HONRA**

Declaro por minha honra que o presente trabalho foi resultado da minha própria investigação e o mesmo foi concebido para ser submetido como trabalho para obtenção do grau de Licenciatura em Ciências de Informação Geográfica na Faculdade de Ciências no Departamento de Matemática e Informática da Universidade Eduardo Mondlane.

Maputo, Junho de 2015

A Autora

---

(Inês Júlio Alfredo)

## RESUMO

O seguinte trabalho tem por objectivo fazer análise multi-temporal da cobertura vegetal da Cidade de Maputo a fim de detectar suas mudanças.

Foram usadas três imagens do satélite Landsat5, sensor *Thematic Mapper* datadas em 15/12/1989, 18/01/1999 e 01/03/2009. Utilizou-se programas de sistemas de informação geográfica como *Arcgis* versão 10.2 e *Envi* versão 5.1 que além da análise espacial permitiram produção de modelo de detecção da mudanças da cobertura vegetal da Cidade de Maputo.

Usando as ferramentas do programa *Envi 5.1* foi feito o pré-processamento nas imagens que inclui correcções geométricas e atmosféricas nas imagens, depois procedeu se ao cálculo do índice de vegetação por diferença normalizada nas imagens já corrigidas, depois procedeu se a classificação supervisionada com o algoritmo Máxima Verossimilhança Gaussiana em 2 (duas) classes (Vegetação e Sem vegetação). Seguindo-se à avaliação da precisão da classificação das Imagens com recurso Índice Kappa que é calculado a partir de matriz de confusão que segundo Richards & Jia (1999) expressa a concordância entre a imagem classificada e o conjunto das amostras usadas de referência para a sua classificação. Após a classificação das imagens foi feito o cruzamento das imagens classificadas (1989-1999), (1999-2009) e (1989-2009) com ajuda da ferramenta *thematic change* do programa *Envi 5.1*.

Como resultado obteve-se mapas que permitem a visualização de três (3) classes nomeadamente: acréscimo que indica áreas onde houve acréscimo da vegetação, Constante indica área que se manteve inalterada e decréscimo que indica áreas onde houve decréscimo da vegetação.

No período de 20 anos a cobertura vegetal aumentou 7% ou seja 1166.4 há da área da Cidade de Maputo.

**Palavras-chaves:** Vegetação, Detecção Remota, Sistemas de Informação Geográfica, Índice de Vegetação por diferença Normalizada (NDVI) e Classificação de imagens.

## ABREVIATURAS

<b>ATREM</b>	Atmosferic Removal Program
<b>CENACARTA</b>	Centro Nacional de Cartografia e Teledetecção
<b>CMCM</b>	Conselho Municipal da Cidade de Maputo
<b>DR</b>	Detecção Remota
<b>ERTS 1</b>	Earth Resources Technology Satellite
<b>EMS</b>	Espectro Electromagnético
<b>ETM +</b>	Enhanced Thematic Mapper
<b>FAO</b>	Food and Agricultural Organization of the United Nations,
<b>FLAASH</b>	Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes
<b>HRV</b>	Haute Resolution Visible
<b>LANDSAT</b>	Land Satellite
<b>MSS</b>	Multispectral Scanner Landsat
<b>MODTRAN</b>	Modelos de Transferência Radioativa
<b>ND</b>	Números Digitais
<b>OLI</b>	Operacional Terra Imager
<b>PAN</b>	Pan chromatic
<b>RBV</b>	Return Beam Vidicon
<b>RMS</b>	Root Mean Square
<b>SIG</b>	Sistemas de Informação geográfica
<b>TIRS</b>	Thermal Infrared Sensor
<b>TM</b>	Thematic Mapper
<b>USGS</b>	United States Geological Survey
<b>UTM</b>	Universal Transversa de Mercator
<b>WGS</b>	World Geodetic System
<b>XS</b>	Multispectral

## ÍNDIC

DEDICATÓRIA.....	i
AGRADECIMENTOS.....	ii
DECLARAÇÃO DE HONRA.....	iii

RESUMO.....	iv
ABREVIATURAS.....	v
ÍNDICE.....	vi
ESTRUTURA DO TRABALHO.....	x
LISTA DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE TABELAS.....	xii
CAPÍTULO I.....	1
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Problematização.....	2
1.2. Justificativa.....	3
1.3. Relevância.....	4
1.4. Objectivos.....	5
1.4.1. Objectivo geral.....	5
1.4.2. Objectivos específicos.....	5
CAPÍTULO II.....	6
2. ÁREA DE ESTUDO.....	6
2.1. Localização geográfica da Cidade de Maputo.....	6
2.2. Geomorfologia.....	7
2.3. Solos.....	7
2.4. Clima.....	8
CAPÍTULO III.....	9
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	9
3.1. Vegetação.....	9
3.1.1. Função da Vegetação.....	9
3.1.1.1. Função ecológica.....	9
3.1.1.2. Função Social.....	10
3.2. Vegetação em Moçambique.....	10
3.2.1. Vegetação na Cidade de Maputo.....	11
3.3. Detecção Remota (DR).....	13



3.3.1.	Espectro Electromagnético.....	13
3.3.2.	DR como sistema de aquisição de informações.....	14
3.3.3.	Propriedades de dados de DR.....	15
3.3.3.1.	Resolução espacial.....	15
3.3.3.2.	Resolução espectral.....	16
3.3.3.3.	Resolução radiométrica.....	16
3.3.3.4.	Resolução temporal.....	16
3.3.4.	Reflectância espectral.....	16
3.4.	Sistemas de Informação Geográfica (SIG).....	18
3.4.1.	Tipos de dados em SIG.....	18
3.4.2.	Estrutura e funções dos SIG.....	20
3.5.	Programa Landsat.....	20
3.5.1.	Características das bandas espectrais do sensor TM Landsat 5.....	22
3.5.2.	Características das orbitas Landsat.....	23
3.6.	SIG e DR aplicados a detecção de mudanças da cobertura vegetal.....	23
3.7.	Processamento digital de imagem de satélite.....	25
3.7.1.	Pré-processamento.....	25
3.7.1.1.	Correcção Geométrica.....	25
3.7.1.2.	Correcção Atmosférica.....	26
3.7.2.	Processamento Final.....	26
3.7.2.1.	Índice de Vegetação por diferença Normalizada (NDVI).....	26
3.8.	Classificação de Imagem.....	27
3.8.1.	Classificação Supervisionada.....	27
3.8.1.1.	Método do Paralelepípedo.....	28
3.8.1.2.	Método da Distância Mínima.....	28
3.8.1.3.	Método da Máxima Verossimilhança Gaussiana.....	28
3.8.2.	Classificação não Supervisionada.....	29
3.8.3.	Validação da classificação.....	29

3.9. Álgebra de Mapas.....	30
3.9.1. Subtração.....	30
CAPITULO IV.....	32
4. MATERIAIS E METODOLOGIA.....	32
4.1. Metodologia de detecção de Mudanças.....	32
4.2. Materiais.....	33
4.3. Programas Utilizados.....	34
4.4. Fluxograma Metodológico.....	35
4.4.1. Pré-processamento das Imagens.....	36
4.4.1.1. Correção geométrica.....	36
4.4.1.2. Correção Atmosférica.....	36
4.4.2. Cálculo de NDVI.....	38
4.4.3. Classificação de Imagem.....	38
4.4.4. Validação da Classificação das imagens.....	39
4.4.5. Detecção de Mudanças.....	39
CAPÍTULO V.....	40
5. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	40
5.1. Resultado de classificação Vegetação e Sem vegetação.....	40
5.2. Resultados de mudanças da cobertura vegetal da Cidade de Maputo.....	43
5.3. Dificuldades encontradas durante a realização o trabalho.....	47
CAPÍTULO VI.....	48
6. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES.....	48
6.1. Conclusão.....	48
6.2. Recomendações.....	49
6.3. Referências Bibliográficas.....	50
Anexos.....	xiii

### **ESTRUTURA DO TRABALHO**

A seguinte pesquisa compreende em seis capítulos dos quais (I) Introdução, (II) Área de estudo, (III) Revisão Bibliográfica, (IV) Materiais e Metodologia (V) Apresentação e discussão de resultados, (VI) Conclusão, recomendações.

Capítulo I – Neste capítulo consta a introdução, os objectivos (geral e específicos), descrição do problema de estudo, justificativa, e relevância do estudo;

Capítulo II – Descreve-se a localização geográfica da área de estudo, mostrando a características do mesmo desde as características do relevo, a geomorfologia, e o clima;

Capítulo III – Neste capítulo consta a os fundamentos teóricos relacionados com o tema em estudo;

Capítulo IV – Descreve a metodologia utilizada nesta pesquisa e os materiais, ilustrando os programas utilizados para o processamento dos dados;

Capítulo V – É formado pela apresentação e discussão dos resultados;

Capítulo VI – Conclusão do tema em estudo, recomendações para trabalhos futuros, referências bibliográficas para melhor sustentar a percepção desta dissertação.

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1: Mapa de localização geográfica da Cidade de Maputo..... 6

Figura 2: Mapa de tipos de solo da Cidade de Maputo..... 8

Figura 3: Mapa de cobertura vegetal da Cidade de Maputo.....	12
Figura 4: Espectro Electromagnético.....	14
Figura 5: Componentes do processo de detecção remota por satélite.....	15
Figura 6: Curva de reflectância espectral para vegetação, solo e água.....	17
Figura 7: Tipos de dados SIG.....	19
Figura 8: Estrutura geral do ambiente SIG.....	20
Figura 9: Operações altimétrica de subtracção.....	31
Figura 10: Diagrama Metodológico.....	35
Figura 11: Mapa de cobertura vegetal da Cidade de Maputo de 1989.....	40
Figura 12: Mapa de cobertura vegetal da Cidade de Maputo de 1999.....	41
Figura 13: Mapa de cobertura vegetal da Cidade de Maputo de 2009.....	42
Figura 14: Distribuição da cobertura vegetal da Cidade de Maputo de 1989, 1999 e 2009.....	43
Figura 15: Mapa de mudanças da cobertura vegetal da Cidade de Maputo de 1989-1999.....	44
Figura 16: Mapa de mudanças da cobertura vegetal da Cidade de Maputo de 1999-2009.....	45
Figura 17: Mapa de mudanças da cobertura vegetal da Cidade de Maputo de 1989-2009.....	46
Figura 18: Quantificação das Mudanças na cobertura vegetal.....	47

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tipo de Vegetação de Moçambique.....	11
Tabela 2: Satélite da série Landsat.....	21
Tabela 3: Características do sensor TM .....	22
Tabela 4: Características das bandas espectrais do sensor TM Landsat 5... .....	23
Tabela 5: Qualidade de classificação segundo intervalos de Índice Kappa.....	30
Tabela 6: Características dos dados.....	34
Tabela 7: Constantes de calibração do sensor TM do Landsat 5.....	37
Tabela 8: Valores de Índice Kappa e sua respectiva qualidade de classificação.....	39
Tabela 9: Quantificação de áreas com vegetação e áreas sem vegetação 1989, 1999 e 2009.....	42
Tabela 10: Quantificação das mudanças da cobertura vegetal.....	46

## CAPÍTULO I

### 1 INTRODUÇÃO

De um modo geral, os ecossistemas naturais vem sofrendo mudanças, o que resulta numa pressão crescente sobre os recursos, essa pressão é essencialmente resultante da evolução natural e da actividade humana (Sabins *et al.*, 1997).

Tal como referido por Foody (2002) essas mudanças causam fortes impactos sócio-ambientais e que uma forma de avaliar essas mudanças no espaço e no tempo é através de observações em série de dados espaciais, o mesmo autor refere igualmente que com a utilização das técnicas de geoprocessamento, que permitem a interpretação e o tratamento de imagens de satélite, é possível obter informações actualizadas inerentes a determinada área de forma precisa, possibilitando a elaboração de mapas temáticos actualizadas das diferentes estruturas espaciais resultantes do processo de uso e ocupação do solo. A análise multi-temporal da cobertura vegetal, mediante a utilização de imagens de satélite, representa importante instrumento de planeamento e administração da ocupação do solo, possibilitando a avaliação e o monitoramento do mesmo, a fim de garantir a conservação dos recursos naturais (Sabins *et al.*, 1997).

De acordo com Lillestand *et al.*, (2008) a detecção remota vêm sendo utilizado desde a década de 1960 na modelagem de vários parâmetros biofísicos da vegetação que podem ser medidos através dos índices de vegetação que indicam a abundância da vegetação, teor de clorofila, biomassa verde e radiação fotossinteticamente activa absorvida.

Estudos já foram realizados utilizando os índices de vegetação na análise multi-temporal da vegetação, dos quais pode-se citar os trabalhos realizados por Rosendo (2005), Silva *et al.*, (2009), Ramos *et al.*, (2010), Da Costa *et al.*, (2001), Zakaria (2010) dentre outros. Os índices da Vegetação são modelos resultantes da combinação dos níveis de reflectância em imagens de satélites nas bandas do vermelho e no infravermelho próximo.

Segundo Lillestand *et al.*, (2008) técnicas detecção remota ajudam em áreas em desenvolvimento estudando o desmatamento, mudanças da cobertura de vegetal, também sistemas de informação geográfica oferecem ferramentas que permitem analisar e avaliar, em tempo real, grandes quantidades de dados relacionáveis entre si, através de um único referencial espacial, é portanto possível, a simulação da realidade, antecipando os acontecimentos e gerando soluções e alternativas.

No seguinte trabalho serão usadas imagens de satélite para fazer análise multi-temporal da cobertura vegetal da Cidade de Maputo.

### **1.1. Problematização**

A Província de Maputo em particular a Cidade de Maputo tem observado uma mudança acentuada na cobertura vegetal devido as calamidades naturais que condicionaram a crise económica nos períodos de 1982-1992 que estimularam a migração campo-cidade que trouxe uma nova dinâmica na ocupação do solo da cidade de Maputo sem envolvimento dos oficiais do conselho Municipal e sem cumprimento de planos de estruturas pré-estabelecidas (PNUD, 1989).

Desta feita na Cidade de Maputo, verifica-se destruição da vegetação pois está submetida a uma crescente ocupação humana, traduzida por novas edificações, arruamentos que torna o solo vulnerável à erosão.

Deste modo, a elaboração do modelo de mudanças na cobertura vegetal da Cidade de Maputo, representando a evolução da cobertura vegetal, visa dar subsídios ao monitoramento e planeamento de acções de controlo e combate ao desmatamento na Cidade de Maputo. Além disso, pretende-se que esse seja um instrumento no combate ao desmatamento, adaptado à realidade local.



## **1.2. Justificativa**

A vegetação é de extrema importância no que diz respeito ao equilíbrio do ambiente no planeta dado que tem contribuído de forma preponderante para o aumento de técnicas que possibilitam a monitorização da mesma de forma a determinar as quantidades deste precioso recurso bem como a sua evolução (Caetano, 2006).

A DR oferece uma rápida e eficiente abordagem para a classificação e mapeamento da vegetação e pode servir de base para planeamento do futuro. Dados de DR são capazes de captar mudanças na cobertura vegetal por monitoramento multi-temporal através de séries temporais. A DR é também um dos mais confiáveis dispositivos com alta capacidade no trabalho de pesquisa de informação espacial e colecta de dados relativas a diferentes campos.

### **1.3. Relevância**

De um modo geral, o estudo da dinâmica e da evolução das alterações do ecossistema tem relevância económica, social e ambiental para a comunidade devido a frequentes alterações que o ecossistema apresenta, e o seu monitoramento 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 degradação da vegetação ou não.

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

Este trabalho irá ajudar na identificação por meio dos SIG os acréscimos ou decréscimos da vegetação na Cidade de Maputo bem como o planeamento de actividades de desenvolvimento da Cidade de Maputo bem como minimizar o tempo de execução deste pelos métodos clássicos.

O trabalho tem uma relevância científica uma vez que terá uma contribuição na área das geociências, especificamente na área dos Sistemas de Informação Geográfica e Detecção Remota.

## **1.4. Objectivos**

### **1.4.1. Objectivo geral**

Aplicar as técnicas de Detecção Remota e Sistemas de Informação Geográfica na análise multi-temporal da cobertura vegetal da Cidade de Maputo.

### **1.4.2. Objectivos específicos**

- Efectuar o Pré-processamento das imagens do satélite Landsat 5 TM;
- calcular o índice de vegetação por diferença normalizada nas imagens;
- efectuar a classificação supervisionada por máxima verossimilhança nas imagens;
- produzir mapas de mudanças da cobertura vegetal da Cidade de Maputo.

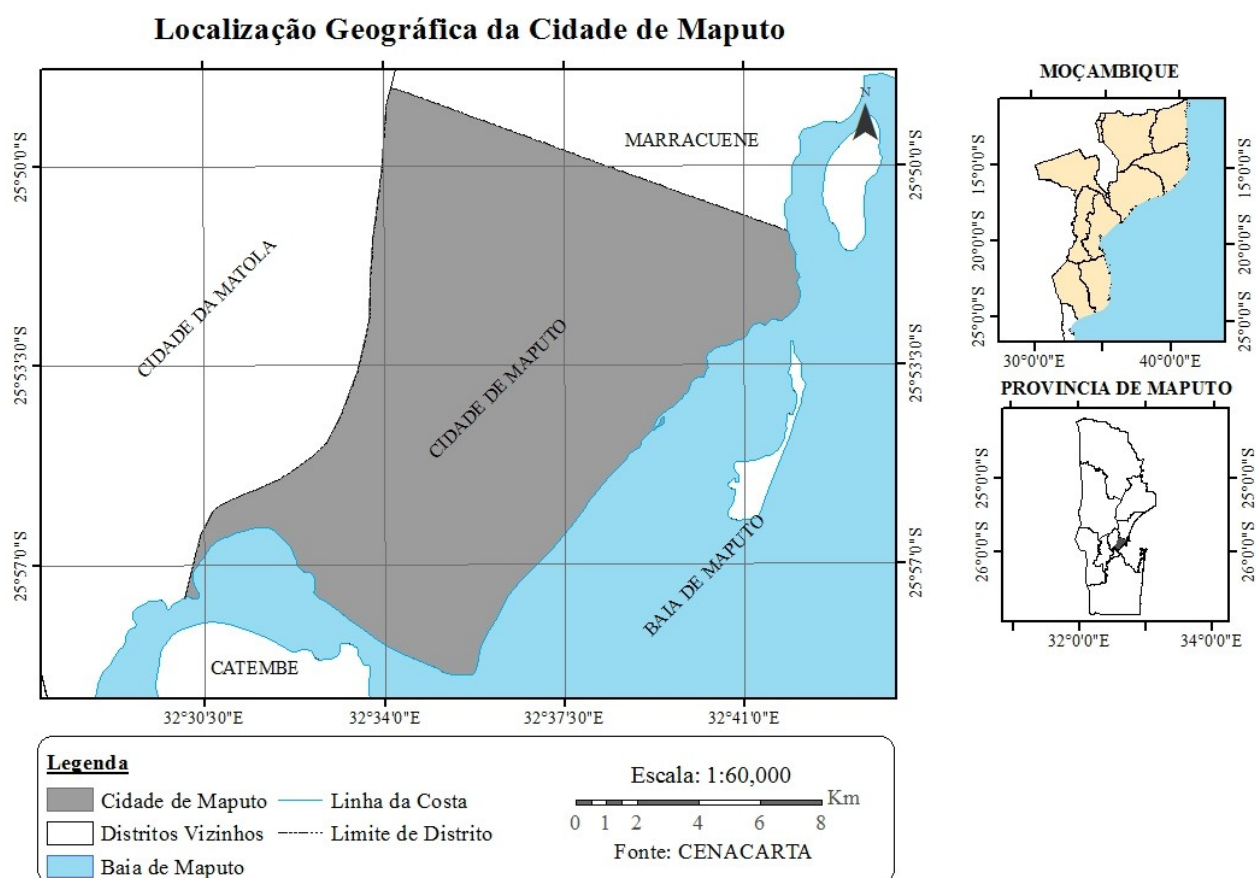
## CAPÍTULO II

### 2 ÁREA DE ESTUDO

#### 2.1. Localização geográfica da Cidade de Maputo

A Cidade de Maputo localiza-se à sul de Moçambique entre os paralelos 25° 49' 09" e 26° 05' 23" latitude Sul e entre os meridianos 32° 26' 15" e 33° 00' 00" longitude Este. Está limitado a Norte com o Distrito de Marracuene, a Sul com Distrito de Municipal Catembe, Oeste com Cidade da Matola, e a Este com a Baía de Maputo (CMCM, 2007).

A localização geográfica da Cidade de Maputo é ilustrado (Figura 1) abaixo a uma escala de 1:60,000.



**Figura 1:** Mapa de localização geográfica da Cidade de Maputo

## **2.2. Geomorfologia**

Os factores topográficos e pedológicos da Cidade de Maputo são explicados pela existência de planície litoral e formações planálticas, das depressões e das encostas e a predominância de solos arenosos, aluvionares e franco-argilosos-acastanhados evoluídos susceptíveis a erosão hídrica (Ombe *et al.*, 1996).

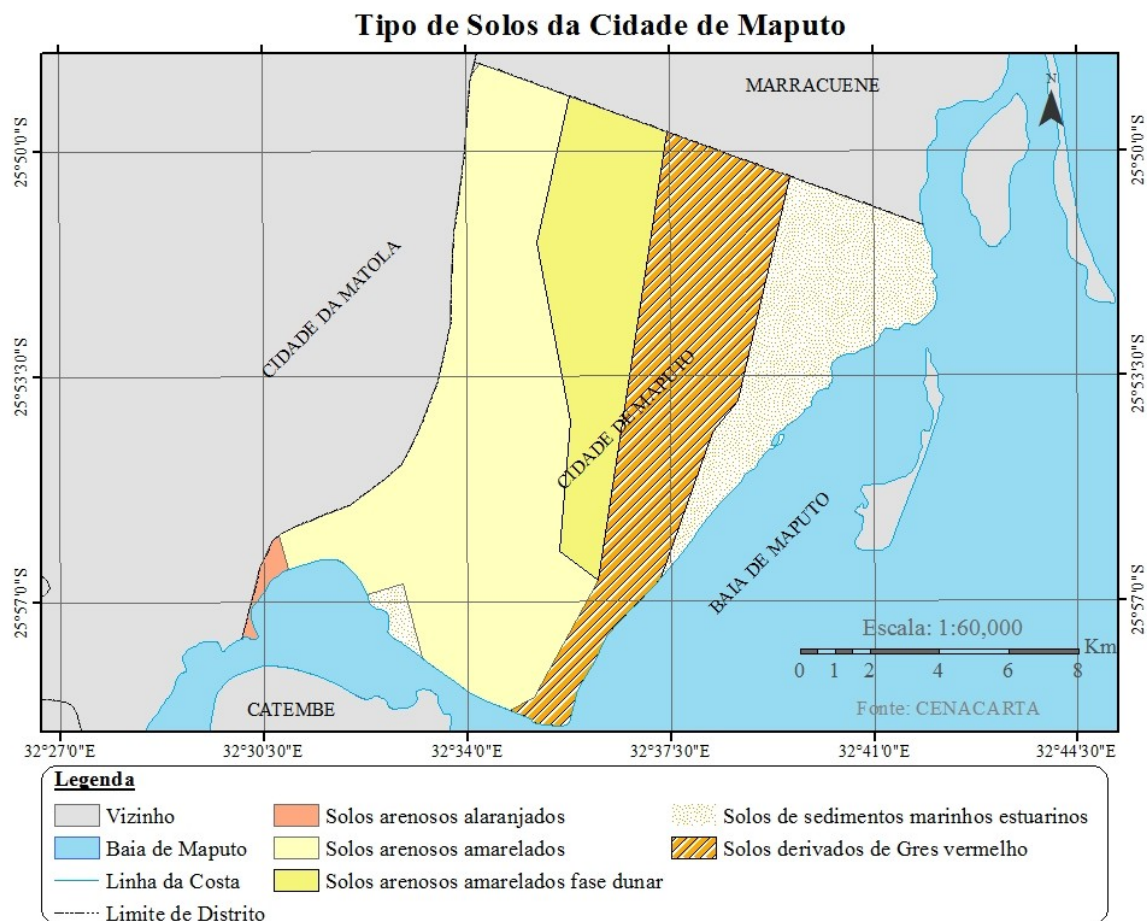
De acordo com Sa & Marques (1976) morfologicamente a Cidade de Maputo é dominada por uma paisagem de planície litoral, cujo desenvolvimento se registou a partir do Plistocénio litoral e apresenta uma alternância de formas de relevo pouco sensíveis em espertos muito reduzidos. O mesmo autor refere ainda que ocorreram em toda a planície meridional Moçambicana, durante o quaternário, cinco transgressões alternadas por seis regressões, estas repetidas alterações do nível médio das águas do mar estão estritamente ligadas à fases terrestres de morfogênese. O clima árido que acompanhava as transgressões, favoreceu a actividade eólica, permitindo a constituição de espessas camadas de areias que constituem o substrato geológico mais importante da região.

## **2.3. Solos**

Os solos da Cidade de Maputo e arredores são condicionados essencialmente por formações do plistocénio e do holocénico e pela cobertura vegetal, porem o clima desempenha um papel importante no processo de formação do solo pela sua influência sobre o regime hídrico (Muchangos, 1994).

De acordo com Sa & Marques (1976) na área de estudo predomina solos arenosos de fertilidade muito baixa e baixa retenção de água. Segundo Muchangos (1994) nos vales ou depressões ocorrem solos resultantes de sedimentos aluvionares sujeitos a grande influência das águas subterrâneas onde, a grande influência das águas subterrâneas dificulta a decomposição acelerada do húmus, a vegetação herbácea dominante constitui o principal fornecedor da matéria orgânica, é assim que em algumas áreas dos vales aparecem solos ricos em húmus.

Os dados de tipos de solo da Cidade de Maputo fornecidos pelo CENACARTA estão ilustrados no mapa da figura 2 abaixo numa escala numérica de 1: 60.000.



**Figura 2:** Mapa de tipos Solo da Cidade de Maputo

## 2.4. Clima

O clima da área de estudo é tropical seco onde o período mais quente do ano compreende os meses de Novembro a Abril e o período mais frio do ano corresponde aos meses de Maio a Outubro, o período de maior precipitação ocorre nos meses mais quentes, entre Novembro e Março, a temperatura tem atingido um máximo de 43°C nos meses de Janeiro e Novembro e uma precipitação de 152,4 mm no mês de Janeiro (CMCM, 2007). Segundo a mesma fonte a humidade relativa média é de 78,5%, com pouca oscilação durante o ano, os meses com maior humidade relativa são Fevereiro e Março com 81.0% e 80,5%, respectivamente, e os meses com menor humidade relativa são Junho e Julho com 75.0% e 76.0%, respectivamente.

## **CAPÍTULO III**

### **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1. Vegetação**

Vegetação é o conjunto de plantas de uma determinada área ou região cuja composição e fisionomia são determinadas pelos diversos factores ambientes como luz, calor, humidade e solos favoráveis, dos quais é indispensável a água (FAO, 2011). Segundo a mesma fonte além de possibilitar a existência da vegetação, esses factores também condicionam suas características.

De acordo com Little (1990) a vegetação regula o fluxo de numerosos ciclos biogeoquímicos mais principalmente da água, de carbono e nitrogénio, além de ser um factor importante nos balanços energéticos. Esses ciclos são importantes não somente para os padrões globais de vegetação, mas também para os de clima. Em segundo lugar, a vegetação afecta as características do solo, incluindo seu volume, sua química e textura, por meio da produtividade e da estrutura da vegetação.

##### **3.1.1. Função da Vegetação**

Segundo o Frischenbruder *et al.*, (2006) a vegetação possui dois grandes grupos de funções.

###### **3.1.1.1. Função ecológica**

- Protecção de áreas naturais, constituindo habitats para plantas e animais, ajudando na manutenção da biodiversidade e previne o isolamento das espécies, mantendo os processos demográficos naturais;
- A vegetação ripícola tem a função de baixar a temperatura da água por assombramento, produz matéria orgânica que serve de alimento aos animais aquáticos, permite e ajuda na criação de estruturas ripícolas diversas e dinâmicas como charcos, piscinas, cascatas e aumenta o fluxo ascendente de águas subterrâneas e de nutrientes;
- A vegetação funciona como filtro urbano, melhorando a qualidade do ar e da água, promove ainda o transporte de matéria, organismos e energia, a vegetação tem ainda a função de protecção nas áreas urbanas, intervindo positivamente nos processos hídricos, diminuindo o risco de erosão;
- A vegetação bem estruturada poderá ajudar as comunidades a adaptarem-se às mudanças ambientais de longo prazo.

###### **3.1.1.2. Função Social**

- A vegetação ajuda a manter e valorizar a qualidade estética da paisagem, sendo o solo urbano bastante pressionado pelas construções, a vegetação poderá proporcionar áreas de solo permeável, prevenindo catástrofes, tais como: cheias, erosão e deslizamentos;
- A vegetação ajuda na diminuição do efeito de ilha de calor urbano, também fornece espaço agradável e de recreio dentro da cidade com vias alternativas para a deslocação, muitas vezes associados a meios de locomoção, diminui a poluição da cidade e consequentemente aumentando a qualidade de vida;
- Poderá então falar-se de funções económicas indirectas, até porque custo do solo junto a estas áreas aumentaria, sendo importante referir que só uma correcta gestão destes espaços, poderia ter tais vantagens, pois os espaços verdes da cidade estão muitas vezes associados ao crime e insegurança, situação esta que teria que ser alterada;
- A vegetação é um museu vivo, podendo ter um papel importante na educação e informação do público, podemos então afirmar que a vegetação é uma ferramenta para um correcto planeamento, numa óptica de garantir os recursos para as gerações futuras.

### 3.2. Vegetação em Moçambique

Moçambique com uma área de cerca de 799.380 km<sup>2</sup> Estima-se que a cobertura florestal (florestas Naturais ou semi-naturais Florestas densas, Florestas abertas, mangais, Florestas abertas em áreas húmidas) é um pouco mais de 50%, ou seja, pouco mais de 40 milhões de hectares, Formações lenhosas (matagais, áreas de florestadas, e de agricultura itinerante) ocupa uma área de cerca de 14 milhões de hectares e agricultura e pradaria ocupa uma área de cerca de 20 milhões de hectares. A referência mais frequentemente utilizada sobre a cobertura vegetal no país baseia-se no último inventário florestal nacional (Marzoli, 2007). De acordo com o mesmo autor a cobertura Vegetal de Moçambique é classificada segundo a tabela 1.

Tipo de Vegetação	Area (000' ha)	Área (%)
<b>I. Florestas (Cobertura de árvores &gt; 10%; altura &gt; 5)</b>	<b>40,068</b>	<b>51.4</b>



1. Naturais ou semi-naturais: Florestas Densas	22.519	29.8
2. Florestas abertas	16,390	21
3. Mangais	357	0.5
4. Florestas abertas em áreas húmidas e Plantações florestais	802	1
<b>II. Outras Formações lenhosas (Cobertura de árvores &lt;10%; altura &lt;5 metros)</b>	<b>14,712</b>	<b>18.9</b>
1. Matagais	1,093	1.4
2. Arbustos	8,051	10.3
3. Áreas de florestas e agricultura itinerante	5,568	7.1
<b>III. Outras Terras (Uso Principal não Florestal)</b>	<b>23,211</b>	<b>29.8</b>
1. Pradarias	9,359	12
2. Agricultura	11,369	14.6
3. Sem Vegetação	1,580	2.9
4. Águas	903	1.2
<b>Total</b>	<b>77.991</b>	<b>100</b>

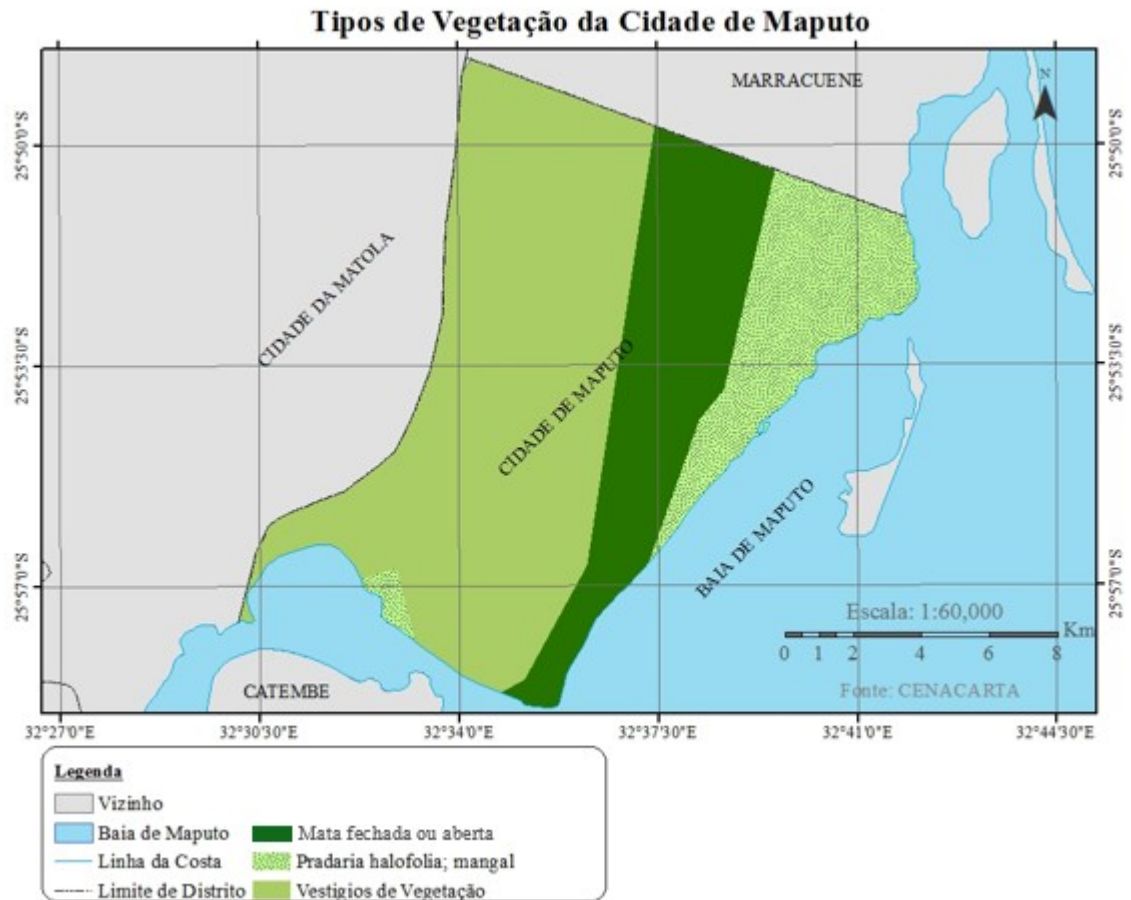
**Tabela1:** Tipo de Vegetação de Moçambique (Marzoli, 2007).

### 3.2.1. Vegetação na Cidade de Maputo

De acordo com Muchangos (1994) a vegetação natural da Cidade de Maputo que segundo o regime pluviométrico correspondia à de uma floresta aberta foi substituído por uma cobertura vegetal do tipo Savana, com fortes evidências de influência antrópica, a qual se designou por Savana em uso. O revestimento vegetal na área de estudo é pobre e nas terras arenosas a única vegetação é o capim e as árvores que nela existem estão circunscritas às cercanias das casas, onde é característica uma mancha mais arborizada. Esta característica propicia um escoamento superficial maior e como consequência disso aparecem alguns sulcos ao longo do espaço de transição da área baixa para a alta.

De acordo com o mesmo autor as condições naturais, sobretudo no que diz respeito à actual dinâmica de solos e suas trocas aquosas, o mas importante é devido à relativa grande distância entre as árvores, as suas copas não cobrem grandes superfícies.

Os dados de Cobertura vegetal da Cidade de Maputo fornecidos pelo CENACARTA estão ilustrados no mapa da figura 3 abaixo numa escala numérica de 1: 60.000.



**Figura 3:** Mapa de Cobertura vegetal da Cidade de Maputo

### 3.3. Detecção Remota (DR)

DR é formalmente definido como ciência e arte de obter informação acerca de objetos, área ou fenômeno pela análise de dados adquirida por dispositivo que não estão em contacto com o objecto, área, ou fenômeno a ser investigado (Lillesand *et al*, 2008).

Segundo Schowengerdt (2007) DR é a obtenção de medidas de propriedades de objetos da superfície terrestre a partir do uso de dados adquiridos de aviões e satélites. Numa mesma abordagem o Sousa & Silva (2011) definem DR como uma técnica que nos permite obter informação sobre um objecto ou fenómeno pela análise de dados recolhidos por um dispositivos que não estão em contacto com o objecto ou fenómeno, ou seja sem contacto mecânico com o objecto ou fenómeno a ser investigado.

Segundo Pinto (2001) DR é 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.

DR é a ciência ou arte de adquirir e processar informação da superfície terrestre a partir de dados adquiridos por sensores instalados em plataformas ou veículos espaciais, utilizando a interacção da energia electromagnética entre o sensor e a Terra (Ferrão, 2005).

Novo (2010) define DR como a utilização conjunta de sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados colocados a bordo de aeronaves, espaçonaves, ou outras plataformas, com o objetivo de estudar eventos, fenômenos e processos que ocorrem na superfície do planeta Terra a partir do registo e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que o compõem em suas mais diversas manifestações.

### 3.3.1. Espectro Electromagnético

O espectro electromagnético é o conjunto de todos os comprimentos de onda onde se apresenta a radiação electromagnética que se estende desde os comprimentos de onda muito curtos da radiação cósmica até aos comprimentos de onda muito longos, as ondas de rádio. Somente uma pequeníssima parte do espectro é visível ao olho humano (espectro visível). Algumas partes do espectro não visível (espectro infravermelho) podem ser detectadas e registadas pelos sensores espaciais (Ferrão, 2005).



**Figura 4:** Espectro electromagnético (Figueiredo, 2005)

De acordo com Novo (2010) a descrição de espectro electromagnético é a seguinte: os raios Gama é emitida por materiais radioativos, por ser muito penetrante (alta energia) tem aplicações em medicina (radioterapia) e em processos industriais (radiografia industrial), Raios X são muito usados em radiografia e em estudo de estruturas cristalinas de sólidos, os raios x provenientes do Sol, são absorvidos pelos gases nas camadas mais altas da atmosfera, Ultravioleta é produzida em grande

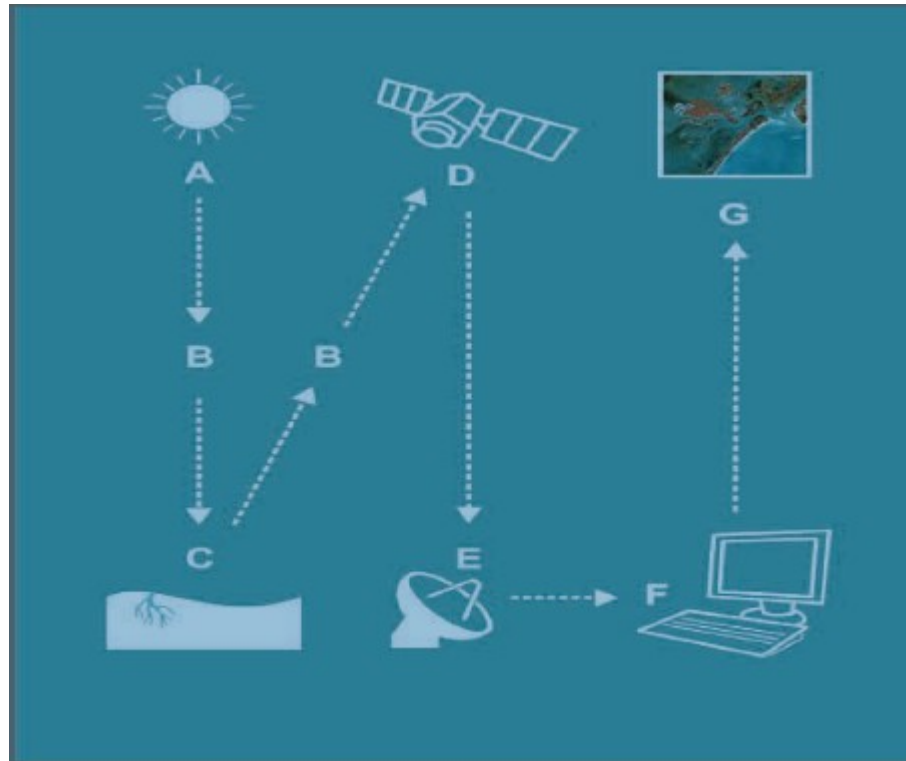
quantidade pelo Sol, sendo emitida na faixa de  $0,003\ \mu\text{m}$  até mais ou menos  $0,38\ \mu\text{m}$  Visível é o conjunto de radiações eletromagnéticas que podem ser detectadas pelo sistema visual humano, Infravermelho é região do espectro que se estende de  $0,7$  a  $1000\ \mu\text{m}$  e costuma ser dividida em microondas são radiações eletromagnéticas produzidas por sistemas eletrônicos e se estendem pela região do espectro de  $1\ \text{mm}$  até cerca de  $1\text{m}$ , o que corresponde ao intervalo de frequência de  $300\text{GHz}$  a  $300\text{MHz}$ . O mesmo autor refere ainda que os feixes de microondas são emitidos e detectados pelos sistemas de radar e Rádio que é o conjunto de energias de frequência menor que  $300\text{Ghz}$  (comprimento de onda maior que  $1\text{m}$ ).

### **3.3.2. DR como sistema de aquisição de informações**

Segundo Novo (2010) DR como sistema de aquisição de informações pode ser dividido em dois grandes subsistemas:

Subsistema de aquisição de dados de DR e subsistema de produção de informações (Figura 5).

- O subsistema de aquisição de dados de DR é formado pelos seguintes componentes: A-Fonte de Radiação, B-atmosfera, C-objectos, D-plataforma (satélite), E-centro de dados (estação de recepção e processamento de dados de Satélite).
- O Subsistema de Produção de Informações é composto por: F-Sistema de Processamento de Imagens e G- Planeamento e Gestão.



**Figura 5:** Componentes do processo de detecção remota por satélite (García *et al.*, 2012).

### 3.3.3. Propriedades de dados de DR

Os sistemas de sensores são caracterizados pela sua resolução que é a sua capacidade em registar informação, nas distintas curvas de reflectância espectral, e a resolução depende da capacidade que o sensor possui para distinguir as variações da energia electromagnética, discriminar o detalhe espacial e espectral e ainda, a frequência da sua passagem sobre o mesmo objecto (Mather & Brandt, 2009).

Consoante estes diversos factores, as imagens de satélite podem-se caracterizar pelos seguintes tipos de resolução.

#### 3.3.3.1. Resolução espacial

Às vezes designada simplesmente por resolução, define o tamanho do pixel que corresponde à unidade mínima de informação de uma imagem, esta é constituída por pontos elementares com um determinado valor abaixo do qual não é possível discernir os objectos, ponto este designado por pixel. Geralmente, só se pode discriminar, na imagem, elementos de tamanho igual ou superior à sua resolução espacial (Ferrão, 2005)

### **3.3.3.2. Resolução espectral**

A resolução espectral é definida pelo número de bandas espectrais de um sistema de sensores pela amplitude do intervalo do comprimento de onda de cada banda. O sistema óptico (espelhos e lentes) decide em que partes do espectro o sensor será capaz de receber a radiação refletida ou emitida pela superfície terrestre e o tipo do detector é responsável pela sensibilidade e pelo intervalo espectral de cada banda (Schowengerdt, 2007).

### **3.3.3.3. Resolução radiométrica**

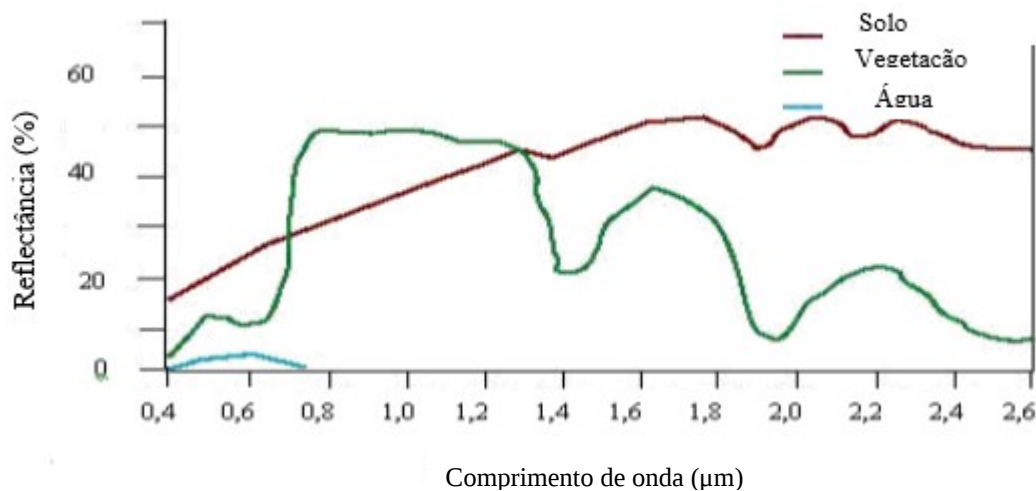
Resolução radiométrica é a capacidade que o sensor tem de detectar as diversas variações da radiação espectral que recebe. Esta resolução é dada em função da quantização ou codificação dos pixels e determina o número de valores digitais representando níveis de cinza reconhecidos, quanto maior o número de valores, maior é a resolução radiométrica, o número de níveis de cinza é comumente expresso em função do número de dígitos binários necessários para armazenar, em forma digital o valor do nível máximo, o valor em bits é sempre uma potência de base 2, por exemplo, a quantificação ou codificação em 8 bits significa que a imagem é registrada em 256 níveis de cinza (0 a 255) portanto, 8 bits significam  $2^8 = 256$  (Mather, 2004).

### **3.3.3.4. Resolução temporal**

A resolução temporal é a periodicidade com que o sensor capta a mesma porção de imagem na superfície terrestre, esta resolução depende das características orbitais da plataforma (altura, velocidade e inclinação) e do próprio desenho do sensor como ângulo de observação e ângulo de cobertura (Mather, 2004).

### **3.3.4. Reflectância espectral**

O comportamento dos corpos ante a incidência da radiação eletromagnética designa-se por resposta espectral, e esta não é sempre a mesma e depende de vários factores como ângulo de incidência e ângulo de observação, aspectos de relevo, interacção atmosférica com diversos comprimentos de onda e variação ambiental (Ferrão, 2005).



**Figura 6:** Curvas de reflectância espectral para vegetação, solo e água (Lillesand & Kiefer, 1994)

Segundo Lillesand & Kiefer (1994) a água límpida em seu estado líquido apresenta baixa reflectância entre 0,38 e 0,7  $\mu\text{m}$  em torno de 5% absorvendo toda a radiação acima de 0,7  $\mu\text{m}$ , a presença de material suspenso na água provoca mudanças nos seus valores de reflectância. A presença de material orgânico, por exemplo, diminui a reflectância na região do visível. Os mesmos autores referem ainda que outras características, como a presença de sais, partículas suspensas resultantes de erosão, entre outras, podem ser correlacionadas com a reflectância observada, e a água na forma gasosa apresenta reflectância elevada em torno de 70% e, na forma de neve, ainda maior.

Segundo a mesma fonte a reflectância espectral do solo, apresenta uma variação que vai de 20 a pouco mais de 55%, com alguns picos e vales em certas faixas espectrais, alguns dos factores que afectam a reflectância do solo são a composição, a humidade, a textura, a rugosidade, a presença de óxido de ferro e de matéria orgânica, e esses factores são complexos, variáveis e inter-relacionados.

Moreira (2001) afirma que a curva de reflectância espectral da vegetação verde saudável manifesta-se em picos e vales. Os principais factores que influenciam na reflectância da vegetação são os pigmentos, o conteúdo de água e as estruturas celulares presentes nas folhas. O mesmo autor refere que a reflectância de uma folha de vegetação verde e sadia, considerando os factores de influência anteriormente citados, e mostrados na Figura 6, a faixa do espectro eletromagnético considera os comprimentos de onda compreendidos entre 0,4 e 3,0  $\mu\text{m}$ , denominado espectro reflectivo.

De acordo com Lillesand e Kiefer (1994), na faixa do visível ocorre a absorção pela clorofila em pontos em torno de 0,45 e 0,67  $\mu\text{m}$ . A absorção é alta nas bandas azul e vermelho, enquanto a reflexão

é alta no verde, fazendo com que nossos olhos percebam a vegetação sadia como verde. Segundo a mesma fonte, na porção do infravermelho médio do espectro eletromagnético, a energia incidente na vegetação é essencialmente absorvida ou reflectida, quase não havendo transmissão.

Considerando a Figura 6 acima, os vales ocorrem nos pontos 1,4, 1,9 e 2,5  $\mu\text{m}$  devido à presença de água nas folhas, que propicia a absorção destes comprimentos de onda.

### **3.4. Sistemas de Informação Geográfica (SIG)**

Segundo Alves (1990), SIG são ferramentas projetadas para coletar, manipular e apresentar grandes volumes de dados espaciais. Aronoff (1989) define SIG como um sistema de que permite gerir base de dados computacional para capturar, armazenar, recuperar, analisar e visualizar dados espaciais.

Paredes (1994), ao definir um SIG compara este aos sistemas de informação, afirmando que tais sistemas são considerados como uma classe especial de sistemas de informação criado para modelar aspectos do mundo real (inseridos num espaço geográfico), normalmente com diferentes graus de dependência e relacionados com questões que surgem no domínio da atividade humana. Câmara *et al.*, (2002) define o termo SIG como sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos e recuperam as informações não apenas com base em suas características alfanuméricas, mas também através de sua localização espacial. Para que isto seja possível, os autores afirmam que a geometria e atributos dos dados devem estar georeferenciados a isto é, localizados na superfície terrestre e representados numa projeção cartográfica.

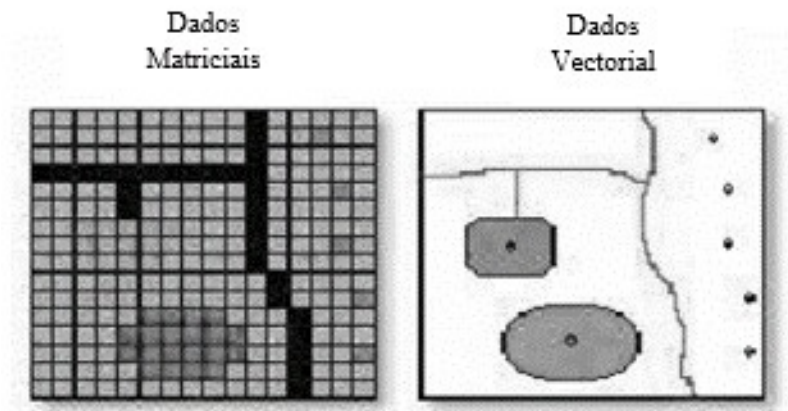
Para Burrough (1986), SIG é constituído por um conjunto de ferramentas especializadas em adquirir, armazenar, recuperar, transformar e emitir informações espaciais. Esses dados geográficos descrevem objetos do mundo real em termos de posicionamento, com relação a um sistema de coordenadas, seus atributos e das relações topológicas existentes.

Launiri *et al.*, (1992) afirmam que SIG consistem em uma integração de dados geográficos e pessoas, possibilitando aos usuários capturar, armazenar, atualizar, manipular, analisar e exibir todo o tipo de informações geograficamente distribuídas.

#### **3.4.1. Tipos de dados em SIG**

De acordo com Ferreira (2006) os dados geográficos podem ser do tipo vectorial ou matricial. A figura 7 abaixo ilustra dados geográficos armazenados em estrutura vetorial e em estrutura matricial.





**Figura 7:** Tipos de dados em SIG (Ferreira, 2006)

#### **3.4.1.1. Dados Matriciais**

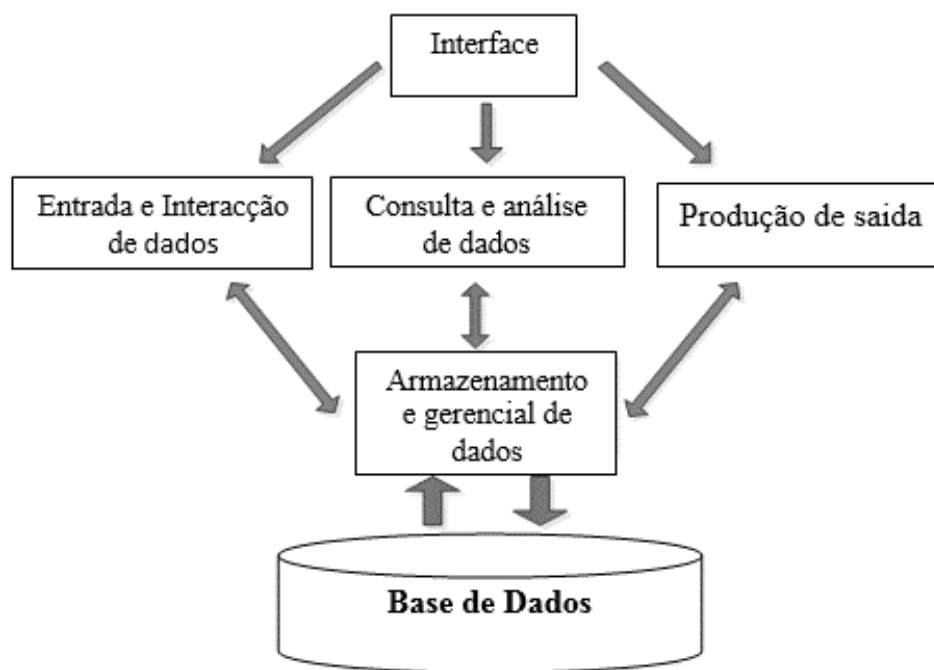
A estrutura matricial consiste em uma matriz bi-dimensional, que pode ser matematicamente definida como sendo uma função  $f(x, y)$ , composta por linhas e colunas, onde cada elemento desta estrutura contém um número inteiro ou real, podendo ser negativo ou positivo. Cada elemento da estrutura matricial recebe o nome de célula ou pixel pode representar qualquer elemento do mundo real, como temperatura, altitudes, solos e vegetação (Aronoff, 1995).

#### **3.4.1.2. Dados Vectoriais**

De acordo com Silva (2002) Dados no formato vectorial podem ser armazenados como pontos, linhas e polígonos, onde os pontos definem localizações discretas de elementos geográficos demasiadamente pequenos para serem descritos como linhas ou áreas, as linhas são definidas como um conjunto ordenado de pontos interligados por segmentos de recta ou por linhas e são utilizadas na representação de objetos sem largura suficiente para serem consideradas áreas e as áreas são um conjunto ordenado de pontos interligados em que o primeiro ponto e o último coincidem utilizados quase sempre na representação de zonas que possuem uniformemente uma dada propriedade, ou seja, figura fechada cujos limites encerram uma área homogênea. O mesmo autor refere ainda que esses três tipos de elementos se relacionam no mapa, constituindo camadas de dados dos mapas temáticos, representando o espaço geográfico em estudo. O mapa corresponde a um modelo genérico dos fenômenos espaciais, onde cada camada corresponde a um tema específico, isto é, dados geográficos com características comuns.

### 3.4.2. Estrutura e funções dos SIG

Segundo Câmara (2001) a estrutura dos SIG são descritas por componentes como Interface com usuário, entrada e integração de dados, funções de consulta e análise espacial visualização, armazenamento e recuperação de dados que são organizados sob a forma de um banco de dados geográficos. De acordo com o mesmo autor estes componentes se relacionam de forma hierárquica onde no nível mais próximo ao usuário, a interface homem-máquina define como o sistema é operado e controlado no nível intermediário, um SIG deve ter mecanismos de processamento de dados espaciais (entrada, edição, análise, visualização e saída) e no nível mais interno do sistema, um sistema de gerência de bancos de dados geográficos oferece armazenamento e recuperação dos dados espaciais e seus atributos que de uma forma geral, as funções de processamento de um SIG operam sobre dados em uma área de trabalho em memória principal.



**Figura 8:** Estrutura geral do ambiente de SIG (Davis, 1999)

### 3.5. Programa Landsat

Segundo Ferrão (2005) os satélites da série Landsat fazem parte de um programa de estudos dos recursos terrestres e no dia 23 de Julho de 1972, a NASA lançou nos Estados Unidos um primeiro satélite chamado ERTS 1 no quadro do Programa Espacial *Earth Resources Technology Satellite*. Este Programa Espacial e os satélites que o compõe foi em seguida rebatizado "Landsat" para melhor sugerir

o enfoque do seu esforço sobre a teledetecção de recursos naturais terrestres. Foram lançados 8 satélites do Programa Landsat, desde 1972, como se descreve na tabela 2 abaixo:

Landsat 1	Lançado em 23/07/72 - Desactivado em 06/01/78
Landsat 2	Lançado em 22/01/75 - Desactivado em 52/02/82
Landsat 3	Lançado em 05/03/78 - Desactivado em 31/03/83
Landsat 4	Lançado em 16/07/82 – Semi-desactivado
Landsat 5	Lançado em 01/03/84 - Activa até o momento
Landsat 6	Lançado em 05/10/93 - Perdido após o lançamento
Landsat 7	Lançado em 15/04/99 - Activo até o momento, mas com anomalias
Landsat 8	Lançado em 11/02/20013 - Activo até o momento

**Tabela 2:** Satélites da série Landsat (USGS, 2013)

De acordo com Ferrão (2005) a primeira geração do programa Landsat, composta de 3 satélites, Landsat 1-2-3, tinha 2 instrumentos: a Câmara RBV e o MSS, em razão de problemas técnicos no RBV e da superioridade técnica do MSS com 4 bandas, do ponto de vista espectral e radiométrico, o sensor RBV foi muito pouco utilizado. Segundo a mesmo autor segunda geração foi iniciada em 1982 como lançamento do satélite Landsat 4, que levou a bordo o instrumento TM do MSS, o Landsat 5, de acordo com as previsões técnicas baseadas na performance actual do satélite, deverá operar por mais alguns anos, o Landsat 6 foi infelizmente perdido logo após o seu lançamento e o Landsat 7 marca o início da terceira geração do programa Landsat, abordo o sensor ETM+ com 8 bandas.

Segundo USGS (2013) Landsat 8 leva dois sensores: o OLI e Sensor TIRS, ambos de qual provê sinal melhorado a relação ao ruído e 16 bits resolução radiométrico, produtos OLI consistem de nove bandas multiespectrais com resolução espacial de 30 metros (bandas de 1 a 7 e 9), a banda 8 do instrumento OLI é a pancromática, possui resolução espacial de 15 metros. Segundo a mesma fonte as faixas térmicas do instrumento TIRS são úteis no fornecimento de temperaturas de superfície mais precisas e os dados são coletados no pixel de 100 metros, a banda 1 (ultra-azul) é útil para estudos costeiros, a banda 9 é útil para a detecção de nuvens.

Abaixo temos as tabelas que ilustram as características das bandas do sensor TM Landsat 5.

	Bandas	Comprimento de onda(μm)	Resolução(m)
--	--------	-------------------------	--------------

<b>Sensor TM</b>	Banda1-Azul	0.45-0.52	30
	Banda 2-Verde	0.52-0.60	30
	Banda 3-Vermelho	0.63-0.69	30
	Banda 4-Infravermelho Próximo	0.76-0.90	30
	Banda 5-SWIR-1	1.55-1.75	30
	Banda 6-Termal Infra-vermelho	10.42-12.50	120
	Banda 7-SWIR-2	2.08-2.35	30

**Tabela 3:** Características do sensor TM (Ferrão, 2005)

### 3.5.1. Características das bandas espectrais do sensor TM Landsat 5

<b>Bandas</b>	<b>Principais Aplicações</b>
1	Apresenta grande penetração em corpos de água, com elevada transparência, permitindo estudos batimétricos. Sofre absorção pela clorofila e pigmentos fotossintéticos auxiliares (carotenoides). Apresenta sensibilidade a nuvens de fumaça oriundas de queimadas ou actividade industrial. Pode apresentar atenuação pela atmosfera.
2	Apresenta grande sensibilidade à presença de sedimentos em suspensão, possibilitando sua análise em termos de quantidade e qualidade. Boa penetração em corpos de água.
3	A vegetação verde, densa e uniforme, apresenta grande absorção, ficando escura, permitindo bom contraste entre as áreas ocupadas com vegetação e sem vegetação (ex.: solo nu, estradas e áreas urbanas). Apresenta bom contraste entre diferentes tipos de cobertura vegetal (ex.: floresta densa e aberta). Permite análise da vanação litológica em regiões com pouca cobertura vegetal. Permite o mapeamento da drenagem através da visualização da mata galérica e margens dos cursos dos rios em regiões com pouca cobertura vegetal. É a banda mais utilizada para delimitar manchas urbanizadas, incluindo identificação de novas áreas de urbanização. Permite a identificação de áreas agrícolas.
4	Nesta banda os corpos de água absorvem muita energia e ficam escuros, permitindo o mapeamento da rede de drenagem e delineamento de corpos de água. A vegetação verde, densa e uniforme, reflecte muita energia, aparecendo bem clara nas imagens. Apresenta sensibilidade à rugosidade da copa das florestas. Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo a obtenção de informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia. Serve para análise e mapeamento de feições geológicas e estruturais. Serve para separar e mapear áreas ocupadas com pinho e eucalipto. Serve para mapear áreas ocupadas com vegetação que foram queimadas. Permite a visualização de áreas ocupadas com macrófitas

	aquáticas. Permite a identificação de áreas agrícolas.
5	Apresenta sensibilidade ao teor de humidade das plantas, servindo para observar estresse na vegetação, causado por desequilíbrio hídrico. Esta banda sofre perturbações em caso de ocorrer excesso de chuva antes da obtenção da cena pelo satélite.
6	Apresenta sensibilidade aos fenómenos relativos ao contraste térmico, servindo para detectar propriedades termais de rochas, solos, vegetação e água.
7	Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo obter informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia. Esta banda serve para identificar minerais com iões hidróxidos. Potencialmente favorável à discriminação de produtos de alteração hidrotermal.

**Tabela 4:** Bandas Espectrais do Sensor TM e suas aplicações (Ferrão, 2005)

### 3.5.2. Características das orbitas Landsat

Segundo USGS (2013) as órbitas do Landsat são heliosíncronas, passando na mesma hora solar em qualquer ponto observado, circulares, quase polares, permitindo assim uma cobertura completa da terra entre 81°N e 81°S, Altitude de 705 km e velocidade equivalente a 7,7 km/seg no solo fazem uma orbita completa em 99 minutos e completa aproximadamente 14 orbitas por dia.

Segundo a mesma fonte o ciclo orbital do Landsat 1-2-3 é de 18 dias, para o Landsat 4, 5, 7 e 8 é de 16 dias, actualmente, o Landsat 5 e o Landsat 7 estão com um intervalo de tempo para captar a mesma área de 8 dias exactamente, ou seja, existe agora duas vezes mais dados Landsat do que antes do lançamento do Landsat 7, a área captada pelo Landsat, seja MSS ou TM é uma faixa de 185 Km, recortada em cenas de 185 km x 170 km e o satélite demora 24 s para captar esta área.

### 3.6. SIG e DR aplicados a detecção de mudanças da cobertura vegetal

A utilização dos índices de vegetação tem se tornado uma importante ferramenta para a DR, sendo empregadas na busca de relacionar as informações captadas pelos sensores com a vegetação presente na área de investigação, através destes índices são obtidas informações sobre quantidade de biomassa verde e dos parâmetros de crescimento e desenvolvimento da vegetação (Firmino, 2009).

Segundo Ponzoni & Shimabukuro (2007) existem diversos índices de vegetação propostos na literatura, objetivando explorar as propriedades espectrais da vegetação, onde sua fundamentação reside no comportamento espectral na região do visível e do infravermelho próximo.

Para Liu (2006) os múltiplos índices de vegetação usados para monitorar e quantificar as condições e distribuições espaciais das vegetações, usando os dados digitais de reflectância espectral da radiação eletromagnética, possui como objetivo condensar as informações espectrais e discriminar o que é ou não vegetação, avaliando as condições de crescimento das culturas, ocorrências de doenças, pragas, secas e geadas, bem como diversos eventos meteorológicos.

Entre as vantagens da aplicação dos índices de vegetação para detecção de mudanças na vegetação Liu (2006) cita as seguintes: Os dados compactos dos índices de vegetação são calculados com os dados de reflectância das várias faixas espectrais da energia de radiação eletromagnética, os valores relativos compensam a variação de intensidade da radiação, corrigem parcialmente os efeitos das condições atmosféricas e das variações de ângulos de visada da reflectância recebida pelos sensores nas bandas que são usados para calcular os índices.

Segundo Xavier & Vettorazzi (2004) a importância dos índices de vegetação consiste em delimitar a área da cobertura verde da superfície a ser analisada. De acordo com o mesmo autor o NDVI possui como grande vantagem sobre outros índices de vegetação a eliminação parcial das interferências atmosféricas, das perturbações radiométricas e geométricas.

De acordo com Ponzoni & Shimakuro (2007) para a geração das imagens de índice de vegetação é importante a transformação dos ND para valores de reflectância, e salientam que a não conversão dos ND das imagens em valores físicos como reflectância na elaboração de imagens de índice de vegetação pode implicar em erro grave, pois os ND não estão em uma mesma escala radiométrica nas diferentes bandas, o que vale dizer que um determinado valor de ND em uma determinada imagem de uma banda espectral específica, não corresponde à mesma intensidade de radiação medida ou representada pelo mesmo valor de número digital em outra imagem de outra banda espectral.

Desta forma Ponzoni & Shimakuro (2007) recomendam não proceder o cálculo de índices de vegetação sem converter os dados das imagens em valores físicos como reflectância.

### **3.7. Processamento digital de imagem de satélite**

Segundo Ferrão (2004) as técnicas de melhoramento e análise de imagens de satélite dos diversos tipos de sensores recebem o nome de processamento digital de imagens. Segundo o mesmo autor o processamento digital realiza-se para melhorar o aspecto visual de certas feições estruturais e para fornecer ao analista humano outros subsídios para a sua correcta interpretação. O processamento digital de imagens tem duas fases: Pré-processamento e Processamento final.

### **3.7.1. Pré-processamento**

Quando uma imagem é captada no centro de recepção terrestre ou registada nas fitas magnéticas a bordo dos satélites, contém um certo número de distorções que devem ser corrigidas antes da sua análise ou interpretação deste modo o pré-processamento consiste na preparação dos dados brutos de modo a melhorar a sua qualidade, de entre as técnicas mais empregues, destacam-se: correcção atmosférica, correcção geométrica (Ferrão, 2004).

#### **3.7.1.1. Correcção Geométrica**

Segundo Ferrão (2004) a correcção geométrica, visa remover ou atenuar as distorções existentes na geometria da imagem causadas, no seu processo de formação, pela curvatura da terra ou pelo movimento do satélite, ela pode ser feita aplicando modelos polinomiais, modelos fotogramétricos e modelo de correcção independente.

Akhter (2006) o primeiro usa funções polinomiais determinadas usando pontos de controle, os modelos fotogramétricos usam informações orbitais do satélite e parâmetros do sensor para relacionar um ponto da imagem ao seu correspondente no terreno e o modelo de correcção independente trata de forma independente as diversas distorções. Tudo é feito no sistema de referência da imagem, onde os pixel's são reposicionados de acordo com a modelagem de cada efeito visto de modo isolado. Com isso, o resultado da correção geométrica não é muito bom. Além disso, como tudo se passa no sistema de referência da imagem, não se consegue estabelecer uma relação com as coordenadas geográficas sem que haja um procedimento externo. O mesmo autor refere ainda que a correção geométrica usando modelos polinomiais tem a vantagem por ser de simples execução e não requerer conhecimento de parâmetros orbitais e do sistema do sensor.

Na análise multi-temporal que se compara imagens de diferentes épocas numa mesma área, a não correcção geométrica dessas imagens podem acarretar falsas mudanças, frutos da comparação de pixel's que representam locais diferentes da cena e ocasionar uma superestimação das transformações entre as cenas (Cakir *et al.*, 2007). De acordo com a mesma fonte a correcção geométrica das imagens, sob um sistema de coordenadas, é importante também para que outros tratamentos correctivos sejam melhores aplicados, como a correção atmosférica baseada em modelos.

#### **3.7.1.2. Correcção Atmosférica**

Segundo Barker *et al* (1986) a energia que chega ao sensor, vinda da superfície terrestre é acumulada e medida por ele de forma segmentada, conforme os comprimentos de onda e da resolução

espectral do sensor. Estas medições são registradas em unidades de radiância que posteriormente são convertidas nos valores discretos dos contadores digitais dos pixels da imagem e representam desta forma, o brilho dos materiais que ocorre na superfície imageada. De acordo com a mesma fonte ocorre que a energia eletromagnética interage com a atmosfera intensamente antes de chegar ao sensor, tanto no caminho de ida da fonte até a superfície quanto no caminho de volta, da superfície até o sensor.

Nestas interações atmosféricas uma parcela dos fótons é perdida por absorção e outra é agregada ao fluxo que chega até o sensor. Neste contexto, o valor registrado pelo sensor refere-se a uma radiância total, ou seja, o brilho da superfície. A porção dos fótons que deveria chegar à superfície é espalhada e toma uma trajetória complexa chegando ao sensor na forma de ruído, pois não carrega informações sobre a superfície (Richards & Jia, 1999)

Segundo Baptista (2006) na correção atmosférica absoluta os contadores digitais dos pixels são corrigidos diretamente para os valores de reflectância de superfície, ou seja, os efeitos atmosféricos são integralmente retirados da imagem, por meio do modelo de correção, que é aplicado pixel a pixel.

### **3.7.2. Processamento Final**

Segundo Ferrão (2004) após o pré-processamento, os dados estão prontos para serem empregues numa aplicação particular. De acordo com o mesmo autor no processamento final, pode ser necessário realizar algumas operações aritméticas tais como soma, subtração, divisão e a multiplicação entre canais de uma imagem ou entre um canal e uma constante, nestas operações utiliza-se uma ou duas bandas de uma mesma área geográfica, previamente georeferenciada, realiza-se a operação "pixel" a "pixel", através de uma regra matemática definida, tendo como resultado uma banda que representa a combinação das originais.

#### **3.7.2.1. Índice de Vegetação por diferença Normalizada (NDVI)**

De acordo com Rouse *et al.*, (1973) o NDVI é o índice que permite fazer análise da vegetação de uma determinada região, são bons indicadores para discriminar áreas verdes os seus valores variam de -1 a +1 em que superfícies cobertas por vegetação, esses valores são sempre positivos; enquanto em nuvens e em espelhos d'água, os valores são geralmente negativos, quanto mais próximo de 1, maior a densidade da cobertura vegetal, ou seja, ela se apresenta em seu estágio denso, húmida e bem desenvolvida, gradualmente esse valor diminui em uma vegetação menos densa (rala e esparsa), que apresenta valores positivos, mas não muito elevados.



Segundo a mesma fonte quando são atribuídos valores limítrofes ao NDVI, deve-se considerar a variação na biomassa verde da vegetação presente na imagem e a data de aquisição dessas imagens, especialmente se essas épocas se diferenciam em relação aos anos chuvosos e secos, dessa forma, variações na determinação das áreas ocupadas por vegetação podem estar associadas à dinâmica sazonal e podem ser atribuídas às condições climáticas, especificamente em relação aos índices pluviométricos dos anos de interesse e antecedentes à tomada das imagens.

Segundo Rouse *et al* (1973) O NDVI é o resultado da composição matemática entre a banda do vermelho (  $\rho_{v\rho v\rho iv\rho}$  ) e do infravermelho próximo (  $\rho_{iv\rho\rho iv\rho}$  ) e tem a seguinte expressão:

$$NDVI = \frac{(iv\rho - v)}{(iv\rho + v)} \quad \text{(Equação 1)}$$

### 3.8. Classificação de Imagem

Segundo Lillsand (2003) o objectivo de classificação de imagem é substituir análises visuais da imagem por meio de técnicas quantitativas para a automatização de identificação de feições na imagem. Segundo o mesmo autor esta operação normalmente envolve análises multiespectrais dos dados da imagem e aplicação de decisões estatísticas para a determinação da cobertura de terra em cada pixel na imagem. Por sua vez Kauth & Thomas (1976) definem classificação de imagens como processo de associar pixéis de uma imagem à uma determinada classe.

Segundo Richard & Jia (1999) na classificação supervisionada obedecem se aos seguintes passos: definição das classes de cobertura nos quais a imagem deverá ser classificada, recolha e avaliação de áreas de treino para cada classe; atribuição de uma classe a cada pixel da imagem e avaliação da precisão de classificação.

#### 3.8.1. Classificação Supervisionada

Uma área da imagem que o usuário identifica como representando uma das classes é chamada de amostra, e várias amostras podem ser definidas para uma mesma classe, para assegurar que os pixels a ela pertencentes são representativos dessa classe. Todos os pixels dentro de uma amostra para uma dada classe constituem um conjunto de amostras para aquela classe (Crósta, 1992). O mesmo autor refere ainda que existem diversos métodos nos quais os pixels desconhecidos podem ser comparados com os pixels do conjunto de amostras de treinamento onde o produto final é uma imagem classificada,

representando um mapa temático, alguns métodos mais conhecidos de classificação espectral supervisionada que são citados a seguir.

#### **3.8.1.1. Método do Paralelepípedo**

Este método considera uma área no espaço de atributos ao redor do conjunto de amostras. Essa área tem a forma de um quadrado ou paralelepípedo, definido pelo ND máximo e mínimo do conjunto de amostras. Todos os pixels situados dentro do paralelepípedo serão classificados como pertencentes à mesma classe. Cada classe possui limites de decisão, representados pelas laterais do paralelepípedo (Schowengerdt, 2007). Um dos problemas que afetam o classificador de paralelepípedo é a correlação normalmente existente entre bandas, responsável pela distribuição alongada em torno do eixo de 45° do espaço de atributos, onde os limites de decisão definidos por um retângulo ou quadrado acabam por abranger alguns pixels não pertencentes à classe.

#### **3.8.1.2. Método da Distância Mínima**

O método da distância mínima é um classificador que examina as distâncias entre um pixel e as médias das classes e atribui o pixel desconhecido à classe que apresentar a menor distância. Se a distância do pixel é maior do que a distância de qualquer classe definida pelo analista, o pixel permanecerá como não classificado ou desconhecido (Lillsand 2003).

#### **3.8.1.3. Método da Máxima Verossimilhança Gaussiana**

Este método considera a ponderação das distâncias entre as médias através de parâmetros estatísticos. O método da máxima verossimilhança exige um número bastante elevado de amostras para cada conjunto de classe, permitindo uma base segura para o tratamento estatístico (Crósta, 1992).

### **3.8.2. Classificação não Supervisionada**

Classificação não supervisionada é uma classificação que requer pouca ou nenhuma participação do analista no processo de classificação da imagem. Há duas situações em que isso pode acontecer. Uma delas é quando não se tem conhecimentos suficientes acerca do número e natureza das classes de alvos que possam estar presentes numa área. A outra é quando desejamos fazer uma classificação exploratória da imagem, para rapidamente e sem grande esforço, saber as possíveis classes de alvos que

podem ter na imagem. Não há, portanto, possibilidades de se estimar os centros das classes, como antes visto, usando amostras representativas de cada classe (Lillesand M. T. *et al.*, 2004).

### 3.8.3. Validação da classificação

De acordo com Lillesand M. T. *et al.*, (2004) uma das últimas etapas da classificação digital de imagens é a da validação dos resultados da classificação. O que se busca nessa etapa é avaliar a precisão da classificação. Um resultado com 100% de precisão significa que todos os pixels da imagem foram classificados de forma correcta, segundo um conjunto as amostras utilizadas para a classificação das mesmas. Um resultado com 50% de precisão significa que, em teoria, metade dos pixels da imagem foi classificada corretamente.

Os mesmos autores afirmam que a precisão depende de uma série de factores como a complexidade do terreno, as resoluções espaciais e espectrais do sistema sensor, o próprio algoritmo de classificação utilizado, a legenda utilizada no processo de classificação e o conjunto de dados que representa a verdade terrestre. Por exemplo, considera se os resultados da classificação de imagens de satélite de um determinado município. Se a legenda for composta de duas classes, terra e água, a precisão tende a ser maior do que a de outra legenda composta por três classes de vegetação natural, formações campestres, savanas e três classes de uso da terra culturas agrícolas, pastagens cultivadas e reflorestamento, a precisão é normalmente expressa em termos de índice Kappa que é calculado a partir de matrizes de erros que expressam a concordância entre a imagem classificada e o conjunto de amostras de referência. A matriz de erros compara, classe por classe. O número de linhas e o número de colunas dessa matriz devem ser iguais ao número de classes espectrais do estudo.

Segundo Congalton & Green (1999) Em avaliações de mapeamentos, o índice Kappa geralmente varia de 0 a 1, sendo que 0 indica a ausência de concordância ou seja, a estimativa e a referência são estatisticamente independentes e 1 indica total concordância. Valores negativos do índice Kappa podem ocorrer quando a concordância encontrada é menor do que aquela devido ao acaso, embora isso raramente ocorra em classificação de imagem. O índice Kappa é uma medida da concordância real (indicada pelos elementos da diagonal da matriz de confusão) menos a possibilidade de concordância (indicada pelo produto das linhas e colunas totais, que não incluem entradas não reconhecidas)

Landis & Koch (1977) propõem uma escala de avaliação da qualidade da classificação. Esta escala está exposta na Tabela 5 abaixo.

Valor do Indice Kappa	Qualidade da Classificação
-----------------------	----------------------------

<0,00	Péssima
0,00 – 0,20	Mau
0,20 – 0,40	Razoável
0,40 – 0,60	Boa
0,60 – 0,80	Muito Boa
0,80 – 1,00	Excelente

**Tabela 5:** Qualidade da classificação segundo intervalos do Índice Kappa (Landis & Koch, 1977)

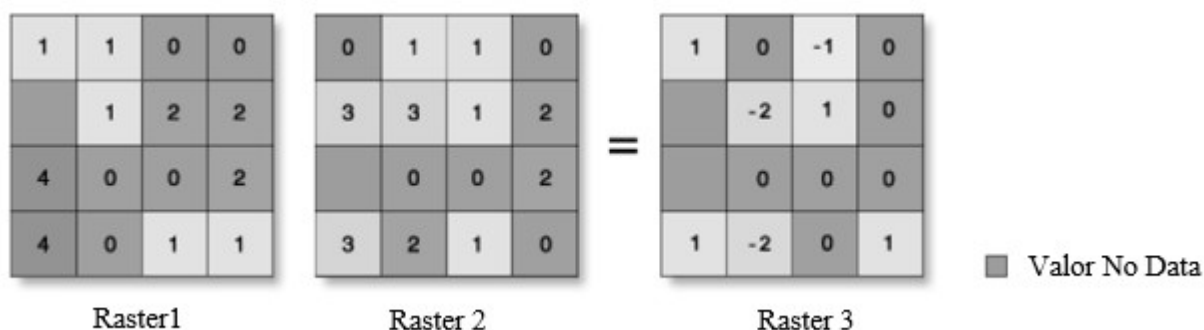
### 3.9. Álgebra de Mapas

Álgebra de Mapas é a matemática aplicada a dados matriciais, esta técnica se caracteriza pela utilização de equações algébricas entre imagens. As operações algébricas mais utilizadas são altimétricas (subtração, adição, multiplicação e divisão), relacionais (igual, diferente, menor, maior, menor ou igual, maior ou igual), booleanos (AND, OR ou NOT) e lógicos (DIF, In {list} e OVER). Os operadores menos utilizados são os Combinatórios e Bitwise (Carvalho 2010).

#### 3.9.1. Subtração

Das técnicas de detecção de mudanças é largamente utilizada a subtração de imagem e pode ser considerada uma das mais simples, potencialmente produtora de bons resultados (Dobson *et al.*, 1995).

Segundo a mesma fonte seu princípio é a subtração dos pixel's equivalentes de duas imagens obtidas em datas distintas de forma que uma nova imagem seja produzida. Esta terceira imagem deverá apresentar um histograma onde em torno da média se situarão os pixel's sem mudança, ou com nenhuma mudança, aqueles que mudaram significativamente entre os dois momentos.



**Figura 9:** Operação altimétrica de subtração (Arcgis 9.3 Desktop Help)

## **CAPITULO IV**

### **4 MATERIAIS E METODOLOGIA**

#### **4.1. Metodologia de detecção de Mudanças**

Uma separação entre as metodologias da detecção de mudanças pode ser estabelecida pelo número de imagens de satélite utilizadas na comparação, se forem 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 Multi-temporal (Coppin, 2004).

A dimensão temporal influencia profundamente os resultados da detecção de duas formas: pelo tempo entre as capturas das imagens quanto pela época do ano da captura das imagens. O distanciamento no tempo depende dos objetivos do trabalho (Rogan *et al.*, 2002). Segundo a mesma fonte não há um espaçamento temporal padrão, pois ele se subordina ao tipo de mudança e aos objetivos pesquisados, por exemplo, no caso dos impactos de um desastre natural, o período entre as imagens pode ser exatamente o da duração do fenômeno em estudos, envolvendo o desenvolvimento de

culturas devem ser considerados espaçamentos de uns poucos meses, quando o foco reside em ações antrópicas, como o desmatamento, é usual acumular anos, fenômenos menos dinâmicos como a urbanização. Na maioria dos casos, dependem de alguns anos para uma detecção segura e em casos mais extremos, como da vegetação, décadas serão necessárias.

O intervalo de tempo entre as imagens deve assegurar, principalmente, que a quantidade de mudanças ocorridas e detectáveis possa ser maior que a soma dos erros inerentes à técnica utilizada, sob pena da informação ruidosa assumir um peso significativo nos resultados. Por outro lado, ele não pode ser maior, ou igual ao tempo de regeneração dos impactos, ressaltando-se que há grande correspondência entre a frequência temporal do sensor, ou seja, sua resolução temporal e sua capacidade de servir à detecção e monitoramento de mudanças (Dobson *et al.*, 1995).

Além do tempo entre imagens, todos os factores que podem influenciar nos resultados devem ser controlados ao máximo e independentemente da metodologia adotada, a precisão na correção geométrica das imagens, a qualidade da calibração ou da normalização dos dados, a disponibilidade dados de campo, a complexidade do uso e cobertura do solo 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 (Coppin *et al.*, 2004).

Idealmente os trabalhos de detecção de mudanças no DR devem utilizar imagens de um mesmo sensor, que estejam bem corrigidas ou seja a necessidade de uma etapa de pré-processamento das imagens para a detecção de mudanças, na qual, dentre os procedimentos mais recomendados, constam a correção geométrica, a correção radiométrica e correção atmosférica e tenham sido obtidas espaçadamente no tempo em múltiplos anuais, reduzindo assim as influências causadas pelas fontes internas e externas de erro como a comparação de épocas diferentes do ano (Lillesand *et al.*, 2004). Os mesmos autores referem ainda que o grande peso dos elementos ambientais na detecção de mudanças não deve ser desprezado nunca e sua consideração deve ir além da influência atmosférica em que pese dela depender muito da confiabilidade das conclusões obtidas

#### **4.2. Materiais**

Para análise multi-temporal da cobertura vegetal da Cidade de Maputo foram usadas três imagens do satélite Landsat 5 do sensor TM, apresentando um pixel de 30 metros nas bandas 3, 4, apresentam 8 bits de resolução radiométrica que recobrem a área de estudo e são datadas de 15/12/1989, 18/01/1999 e 01/03/2009, sendo obtidas no site USGS e shapefile da área de estudo fornecidos pelo CENACARTA.

O estudo das mudanças na cobertura vegetal da Cidade de Maputo foi feito com as imagens de satélite Landsat, visto que são gratuitas. De acordo com Tucker *et al.*, (2004), o satélite Landsat possui informações diversas e que o seu uso depende da finalidade do trabalho que se pretende realizar.

No seguinte trabalho usaram-se as bandas 3 e 4 recomendadas quando se trata do estudo da vegetação. Segundo Ferrão (2004) na banda 3 a vegetação apresenta grande absorção, ficando escura, permitindo bom contraste entre as áreas ocupadas com vegetação e sem vegetação (ex.: solo nu, estradas e áreas urbanas), apresenta também um bom contraste entre diferentes tipos de cobertura vegetal (ex.: floresta densa e aberta), apresentam um bom contraste entre diferentes tipos de cobertura vegetal e permite análise da variação litológica em regiões com pouca cobertura vegetal e na banda 4 a vegetação reflecte muita energia, aparecendo bem clara nas imagens.

Dados	Imagens				Divisão Administrativa
	Satélite	Landsat5			-----
	Sensor	TM			-----
	Data de aquisição	15/12/1989	18/01/1999	01/03/2009	-----
	Resolução(m)	30			-----
	Tipo	Matricial			Vectorial
	Formato	GeoTiff			Shapefile
	Fonte	USGS			CENACARTA
Variáveis	Banda 3 (vermelho) e banda 4 (Infravermelho próximo)				-----

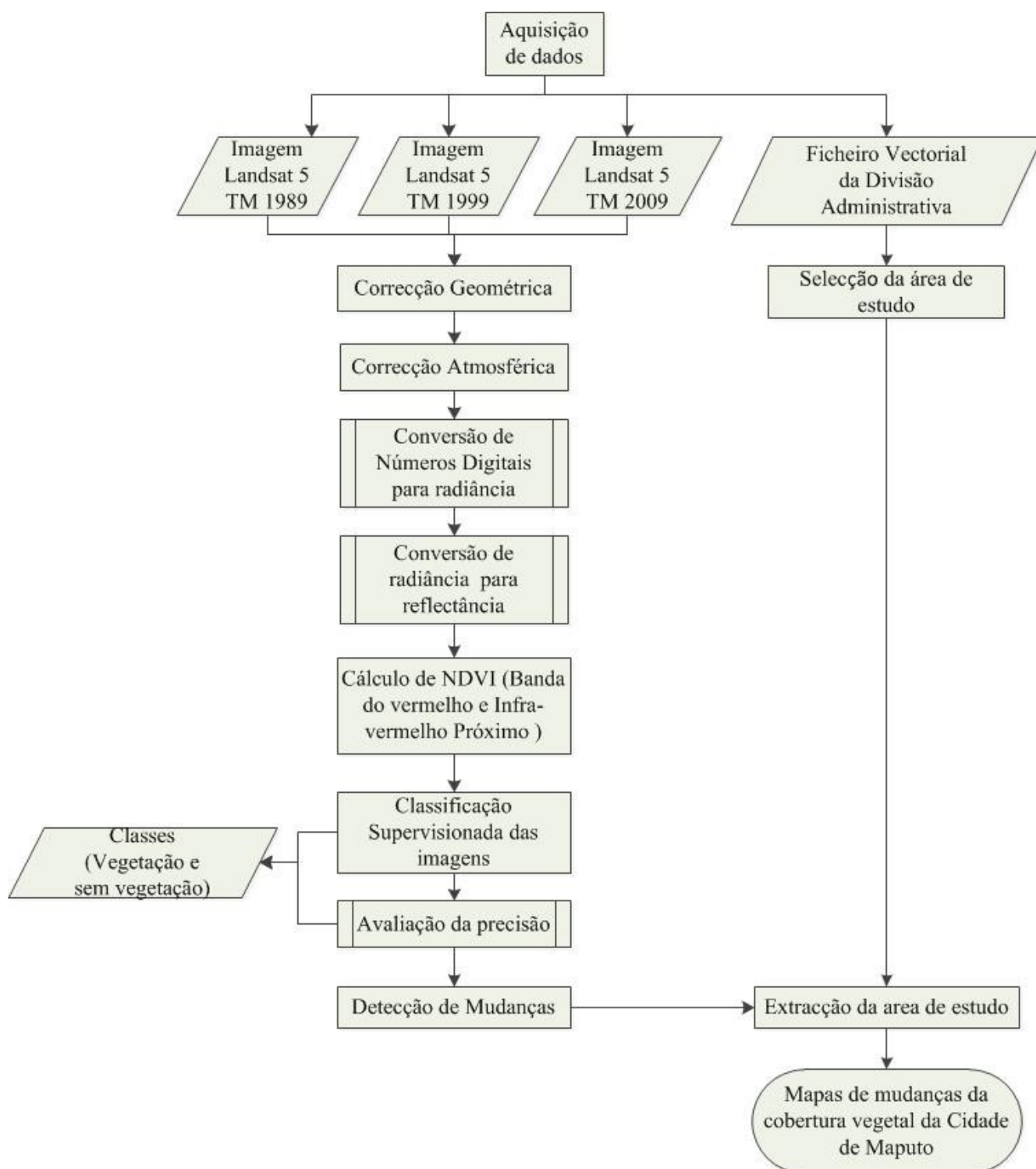
**Tabela 6:** Características dos dados

#### **4.3. Programas Utilizados**

- 1) Envi 5.1 → Este programa foi utilizado para a realização das etapas de Pré-processamento que inclui correcção geométrica e correcção atmosférica, calculo do NDVI, classificação das imagens e detecção de mudanças;
- 2) Arcgis 10.2 → Este programa foi utilizado para extração da área de estudo, e elaboração de mapas.



#### 4.4. Fluxograma Metodológico



**Figura 10:** Fluxograma Metodológico

#### 4.4.1. Pré-processamento das Imagens

Atendendo as recomendações de correção prévia das imagens aos procedimentos de análise multi-temporal da cobertura vegetal, foi realizada uma etapa de pré-processamento. A fase de pré-processamento das três imagens incluiu os tratamentos básicos como correção geográfica e correção atmosférica. Eles também contribuíram para eliminar, ou diminuir ao máximo dos erros nas imagens, que poderiam advir de factores independentes, como o deslocamento da plataforma, os diferentes ângulos solares, informações ruidosas e diferenças na calibração do sensor.

##### 4.4.1.1. Correção geométrica

A Correção geométrica foi realizada com auxílio de uma imagem de satélite corrigida, fornecida pelo CENACARTA. Sobre a imagem foi identificados 20 pontos de controle que puderam ser também identificados nas imagens de satélite a serem corrigidas. A correção geométrica foi feita no programa Envi 5.1 com a ferramenta *Image Registration* onde foi aplicado na imagem o modelo polinomial de 1º grau.

As imagens foram corrigidas para UTM Zona 36 sul, Datum WGS 84 com RMS de 0.23, 0.26 e 0.26 para as imagens de 1989, 1999 e 2009 respectivamente.

##### 4.4.1.2. Correção Atmosférica

O método de correção aplicado foi o contido no módulo FLAASH, que permite a correção atmosférica das bandas espectrais que remove efeitos atmosféricos. Sua aplicação requer a prévia normalização radiométrica da imagem.

O primeiro passo é a transformação dos valores discretos dos contadores digitais dos pixel's, que representam a reflectância dos alvos da superfície acrescida de ruídos e da contribuição atmosférica, nos valores analógicos de radiância que o sensor captou originalmente.

As imagens foram transformadas de ND em valores de radiância no programa Envi 5.1 através da ferramenta *Image calibration* Landsat TM, Ela retorna um meta arquivo para cada imagem contendo as respectivas bandas de interesse já calibradas e com valores de radiância. A ferramenta utiliza a seguinte fórmula:

$$L_{\lambda} = \frac{L_{\text{máx}} - L_{\text{mín}}}{DN_{\text{máx}} - DN_{\text{mín}}} * (DN - DN_{\text{mín}}) + L_{\text{mín}} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

DN - Número digital;

L<sub>máx</sub> e L<sub>mín</sub> - Constates de calibração de um determinado sensor;

DN<sub>máx</sub> e DN<sub>mín</sub> - os valores máximos e mínimos que o ND pode alcançar (0-255);

L<sub>λ</sub> - Radiância espectral monocromática (W/m<sup>2</sup>.sr.μm).

Descrição dos Canais	Comprimento de onda (μm)	Coeficientes de Calibração (Wm <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup> μm <sup>-1</sup> )	
		Lmin	Lmax
Banda 1 (azul)	0,45 – 0,52	- 1,52	193,0
Banda 2 (verde)	0,53 – 0,51	- 2,84	365,0
Banda 3 (vermelho)	0,62 – 0,69	- 1,17	264,0
Banda 4 (infra-vermelho próximo)	0,78 – 0,90	- 1,51	221,0
Banda 5 (infra-vermelho médio)	1,57 – 1,78	- 0,37	30,2
Banda 6 (infra-vermelho termal)	10,4 – 12,5	1,2378	15,303
Banda 7 (infra-vermelho médio)	2,10 – 2,35	- 0,15	16,5

**Tabela 7:** Constantes de calibração do sensor TM Landsat 5 (USGS, 2013).

O segundo passo o módulo FLAASH inicia o tratamento das imagens aplicando uma equação padrão de radiância, para um determinado pixel  $L$  e aplicável a todos os comprimentos de onda da luz solar.

$$L = \left( \frac{Ap}{(1 - peS)} \right) + \left( \frac{Bpe}{(1 - peS)} \right) + La$$

(Equação 3)

Onde:

$\rho$  - Reflectância de superfície do pixel;

$pe$  - Média da reflectância de superfície do pixel e sua vizinhança;

$S$  - Albedo esférico da atmosfera;

$La$  - Radiância da contribuição do espalhamento atmosférico;

A e B - Coeficientes determinados pelas condições atmosféricas e geométricas da cena; note-se que cada variável depende do comprimento de onda da banda para a qual está sendo utilizada.

Nesta equação o primeiro termo corresponde a radiância refletida da superfície até o sensor e o segundo termo, a radiância das contribuições do espalhamento atmosférico e a distinção entre  $\rho$  e  $\rho_e$  é devida à contabilidade da mistura espacial entre pixel's vizinhos, importante quando há presença de nebulosidade na imagem acentuando as diferenças entre os contrastes nas imagens. O valor dos coeficientes A, B, S e La é diretamente determinado pelo código MODTRAN que calcula para cada pixel, através dos valores obtidos nas bandas especificadas. Após este cálculo, a equação 3 pode ser resolvida para a reflectância de superfície de cada pixel de cada banda e, em seguida, para a radiância média de superfície, que considera a vizinhança dos pixels, face as distâncias relativas entre eles.

As variáveis independentes que devem ser informadas diretamente no módulo são: Latitude e longitude do centro da imagem, tipo do sensor (TM), Data e horário da tomada das imagens, altitude do sensor (705 km).

Como o FLAASH encontra um valor de correção para cada pixel, em cada banda, ele é altamente intensivo em processamento. Uma imagem levava em torno de 40 minutos para ser corrigido e, à saída do módulo era uma nova imagem, com todas as bandas corrigidas.

#### **4.4.2. Cálculo de NDVI**

A imagem de NDVI foi gerada a partir da ferramenta *NDVI* do programa Envi 5.1 onde deve ser selecionada a imagem e indicado quais são as bandas do infravermelho próximo e vermelho, que no caso do sensor TM são as bandas 4 e 3 respectivamente, assim que algoritmo inicia, ele só para quando retorna uma nova imagem transformada de NDVI. Nela os pixel's assumem valores de -1 a +1, a ferramenta usa a expressão da equação 1 acima citada.

#### **4.4.3. Classificação de Imagem**

A fim de manter uma proximidade comparativa com a maioria dos trabalhos de análise multi-temporal da cobertura vegetal encontrados nas produções científicas consultadas, foi escolhido o algoritmo de classificação máxima verossimilhança gaussiana para a produção dos mapas temáticos. A classificação de imagem foi feita usando o programa Envi 5.1 com a ferramenta *Maximum Likelihood classification* onde foram colhida as amostras das classes Vegetação e Sem vegetação nas imagens NDVI de 1989, 1999 e 2009 respectivamente. Este algoritmo assume uma normalidade nas

distribuições das classes em cada banda e as separa com base em suas médias. Todos os pixel's são classificados, de acordo com a maior probabilidade de pertencer a uma classe.

#### 4.4.4. Validação da Classificação das imagens

A validação das classificações procedeu-se no programa Envi 5.1 a partir da ferramenta *Confusion Matrix using ground truth*. O Índice Kappa é calculado a partir da matriz de confusão e esta foi a última etapa da classificação digital de imagens e o que se busca nessa etapa é avaliar a precisão da classificação, um resultado com 100% de precisão significa que todos os pixel's da imagem foram classificados de forma correta. Abaixo temos a tabela 8 que ilustra os valores do índice Kappa obtidos nas classificações supervisionadas de Máxima Verossimilhança nas classes vegetação e sem vegetação e a qualidade da classificação segundo a tabela 5 acima referido:

Anos	Índice Kappa	Percentagem (%)	Qualidade
1989	0.9966	99.8512	Excelente
1999	0.9716	98.6449	Excelente
2009	0.9317	97.7935	Excelente

**Tabela 8:** Valores de Índice Kappa e sua respectiva qualidade de classificação

#### 4.4.5. Detecção de Mudanças

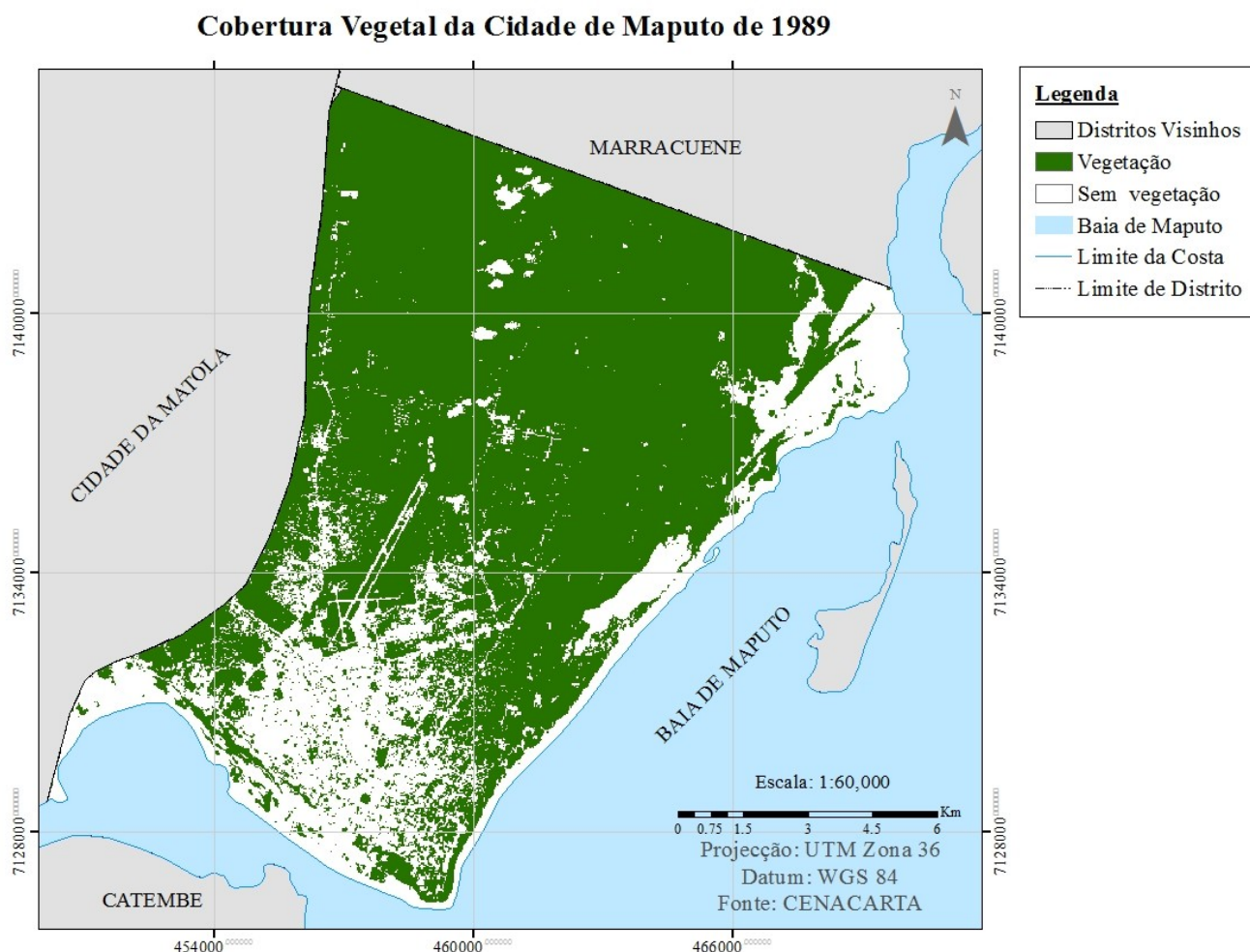
As imagens de 1989, 1999 e 2009 depois de corrigida, calculado o NDVI e a classificação dessas imagens em duas classes (Vegetação e Sem vegetação) foram submetidas a ferramenta *change detection* do programa Envi 5.1. A ferramenta devolveu os valores -1 (menos um) que indica áreas onde houve acréscimo, 1 (um) que indica área onde houve decréscimo da vegetação e 0 (zero) as áreas em que não houve mudanças. A que originou os mapas das figuras 15, 16 e 17.

## CAPÍTULO V

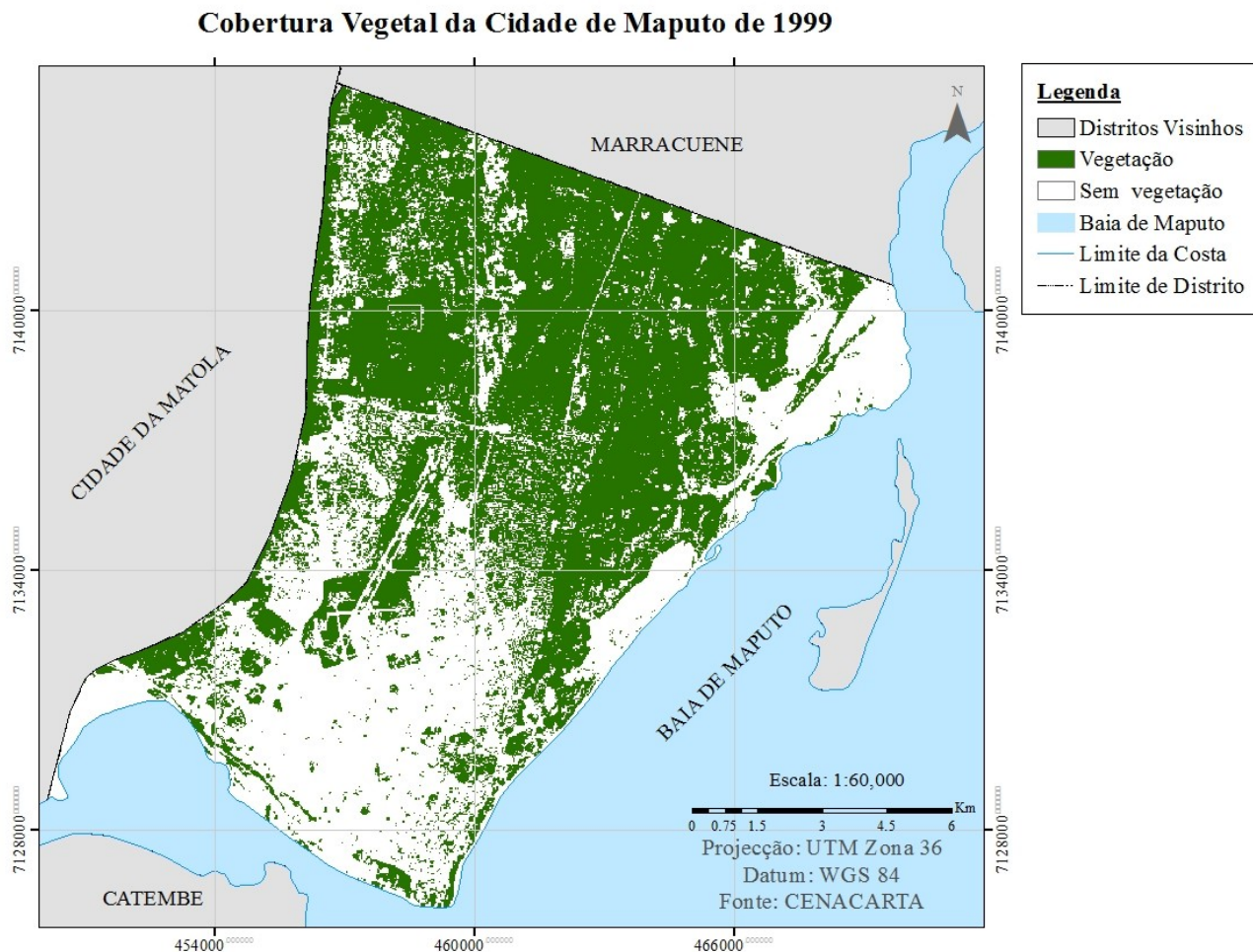
### 5 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

#### 5.1. Resultado de classificação Vegetação e Sem vegetação

As imagens Landsat 5 sensor TM de 1989, 1999 e 2009 depois de corrigidas, submetidas ao cálculo de NDVI e depois classificadas em duas (2) classes, das quais vegetação e sem vegetação. A evolução da cobertura vegetal da Cidade de Maputo pode ser verificada nos gráficos das figuras 14, que mostram a dinâmica da evolução da cobertura vegetal. Esta evolução também pode ser vista de forma mapas das figuras 11, 12 e 13 para os anos de 1989, 1999 e 2009 respectivamente. Nos mapas das figuras 11, 12 e 13 percebe-se a alteração da parte da Cidade de Maputo classificada como Vegetação e observa-se também o aumento crescente de áreas classificadas como Sem vegetação.

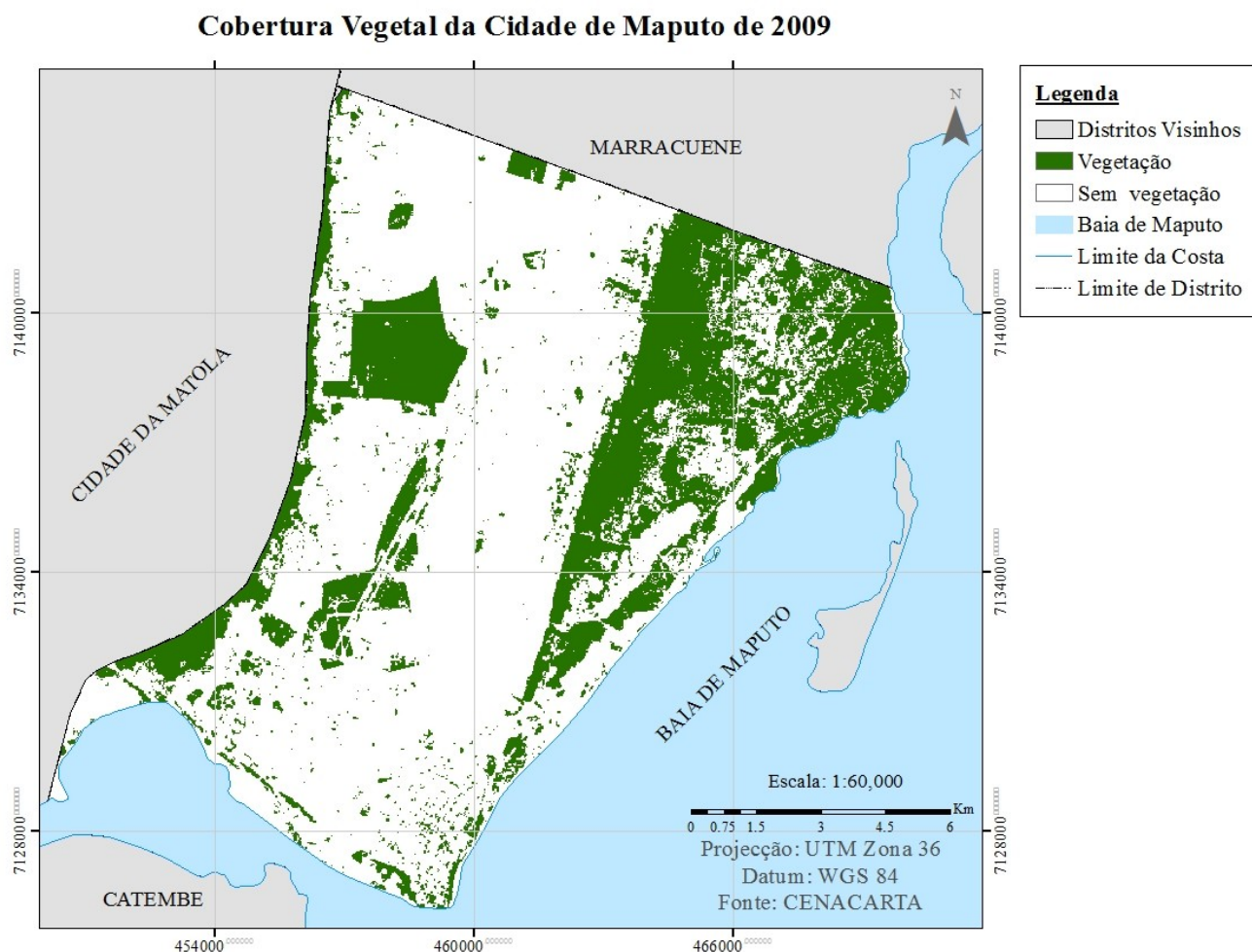


**Figura 11:** Mapa de Cobertura Vegetal da Cidade de Maputo 1989



**Figura 12:** Mapa de Cobertura Vegetal da Cidade de Maputo de 1999



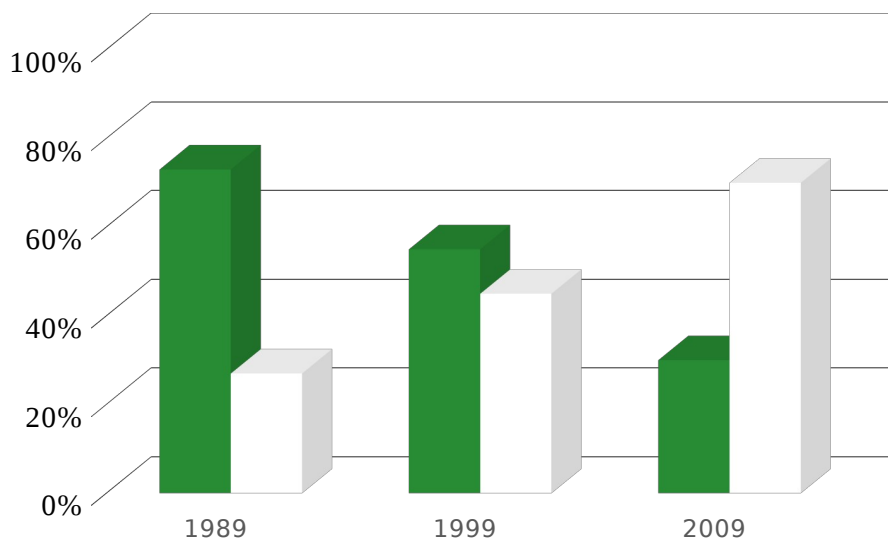


**Figura 13:** Mapa de Cobertura Vegetal da Cidade de Maputo 2009

Anos	1989		1999		2009	
Área	hectares	%	hectares	%	hectares	%
Vegetação	12,677.55	73	9,494.55	55	5,100.00	30
Sem Vegetação	4,688.95	27	7,871.95	45	12,266.29	70
<b>Total</b>	<b>17,366.5</b>	<b>100</b>	<b>17,366.5</b>	<b>100</b>	<b>17,366.5</b>	<b>100</b>

**Tabela 9:** Quantificação das áreas com vegetação e áreas sem vegetação 1989, 1999 e 2009





**Figura 14:** Distribuição de cobertura vegetal da Cidade de Maputo de 1989,1999 e 2009

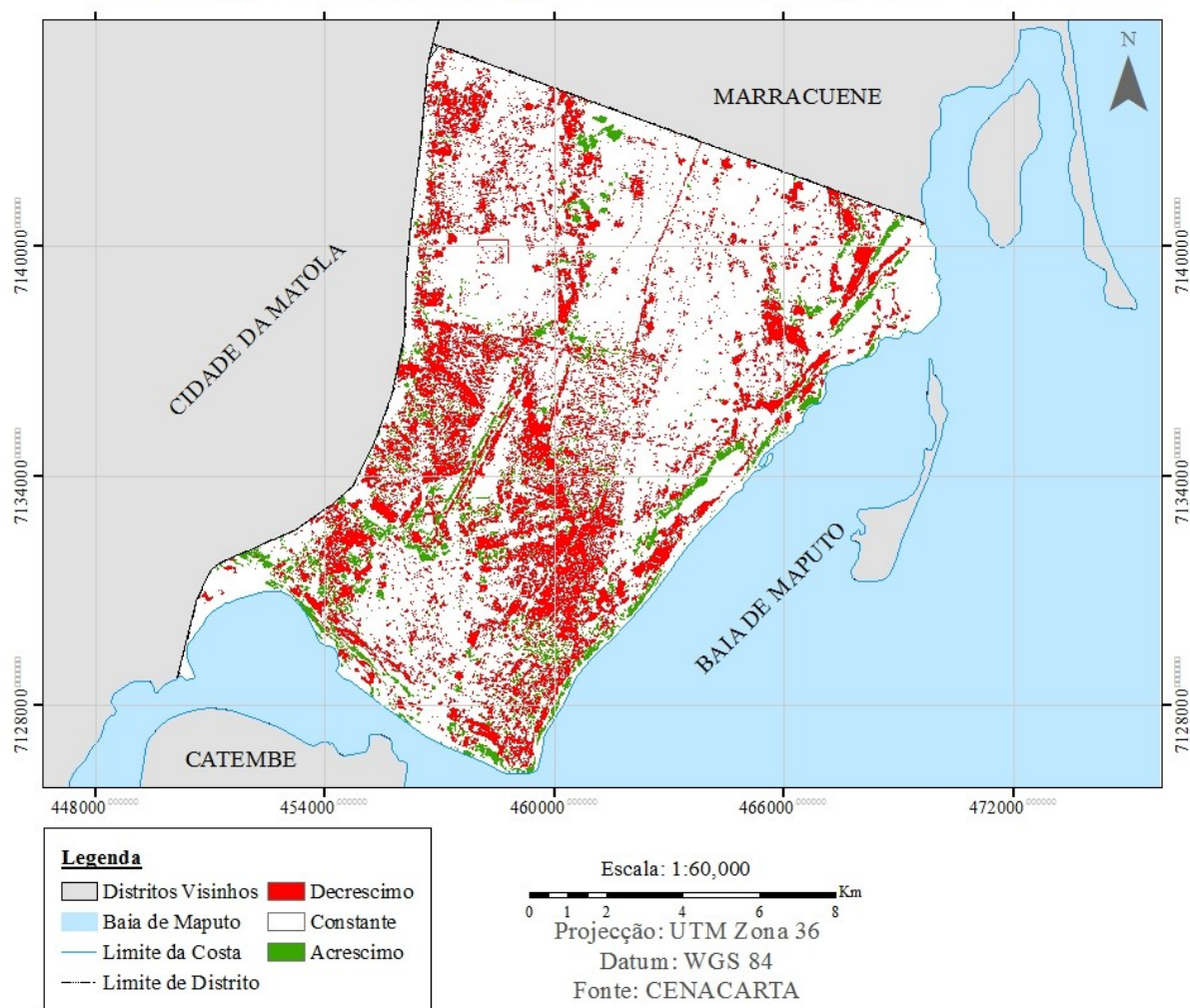
## **5.2. Resultados de mudanças da cobertura vegetal da Cidade de Maputo**

Nos mapas das figuras 15, 16 e 17 abaixo temos a ilustração das áreas onde houve acréscimo, decréscimo da vegetação e as áreas em que não houve mudanças.

A distribuição da área onde houve acréscimo encontra-se mas acentuadas nas margens da baia, na área onde houve decréscimo encontram-se acentuados em regiões habitadas e coincidem maioritariamente com as regiões próximas das estradas onde a actividade humana está associada e a distribuição de áreas em que não houve mudanças encontram-se mas acentuadas em áreas habitadas.

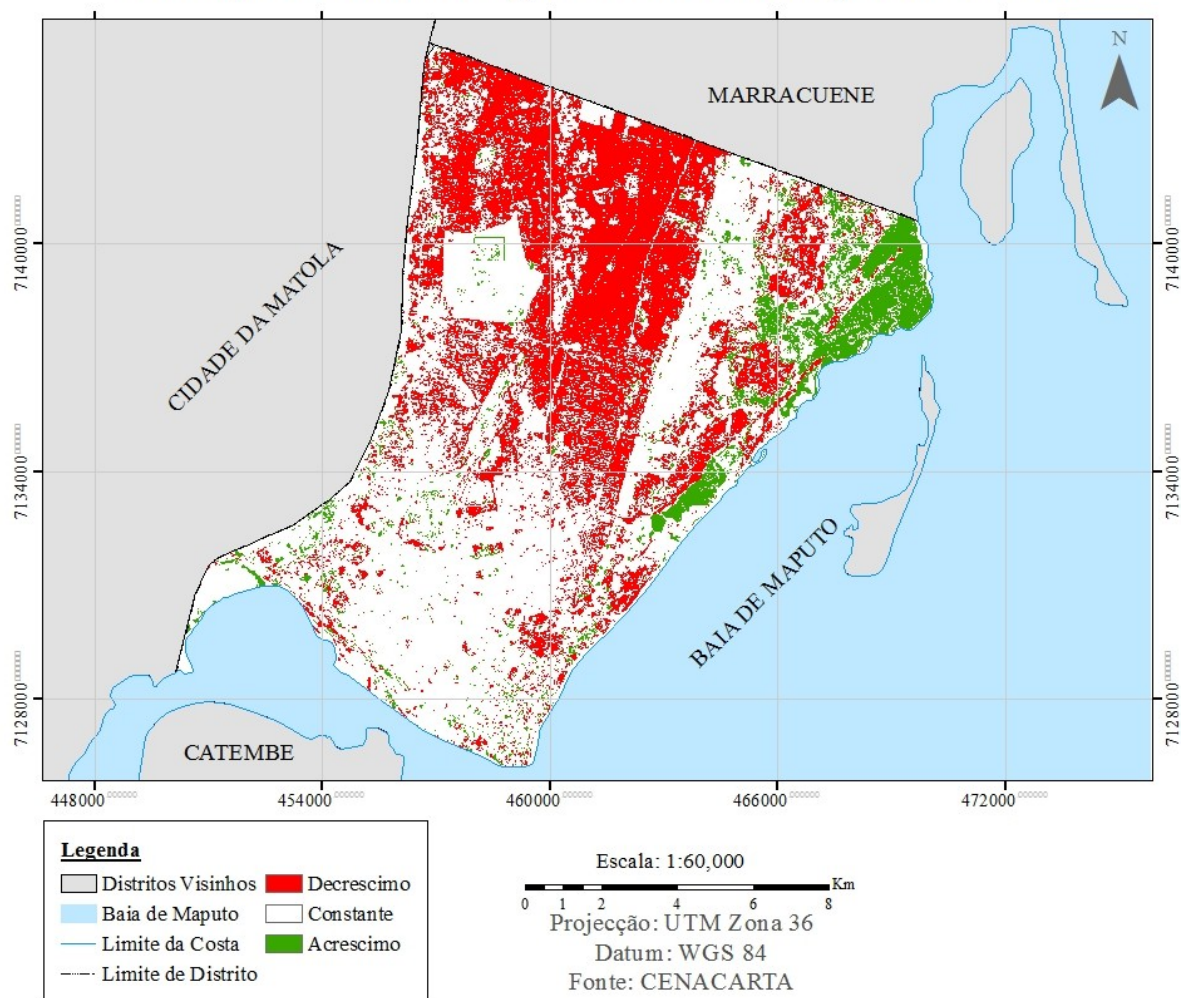
Usando o mapa da mudanças da cobertura vegetal da Cidade de Maputo é possível quantificar a perda da vegetação, o ganho da vegetação bem como as áreas com vegetação e sem vegetação mantidas constantes no período de 1989-1999, 1999-2009 e 1989-2009 como mostra a tabela 10 abaixo.

### Mudanças na cobertura Vegetal da Cidade de Maputo de 1989-1999



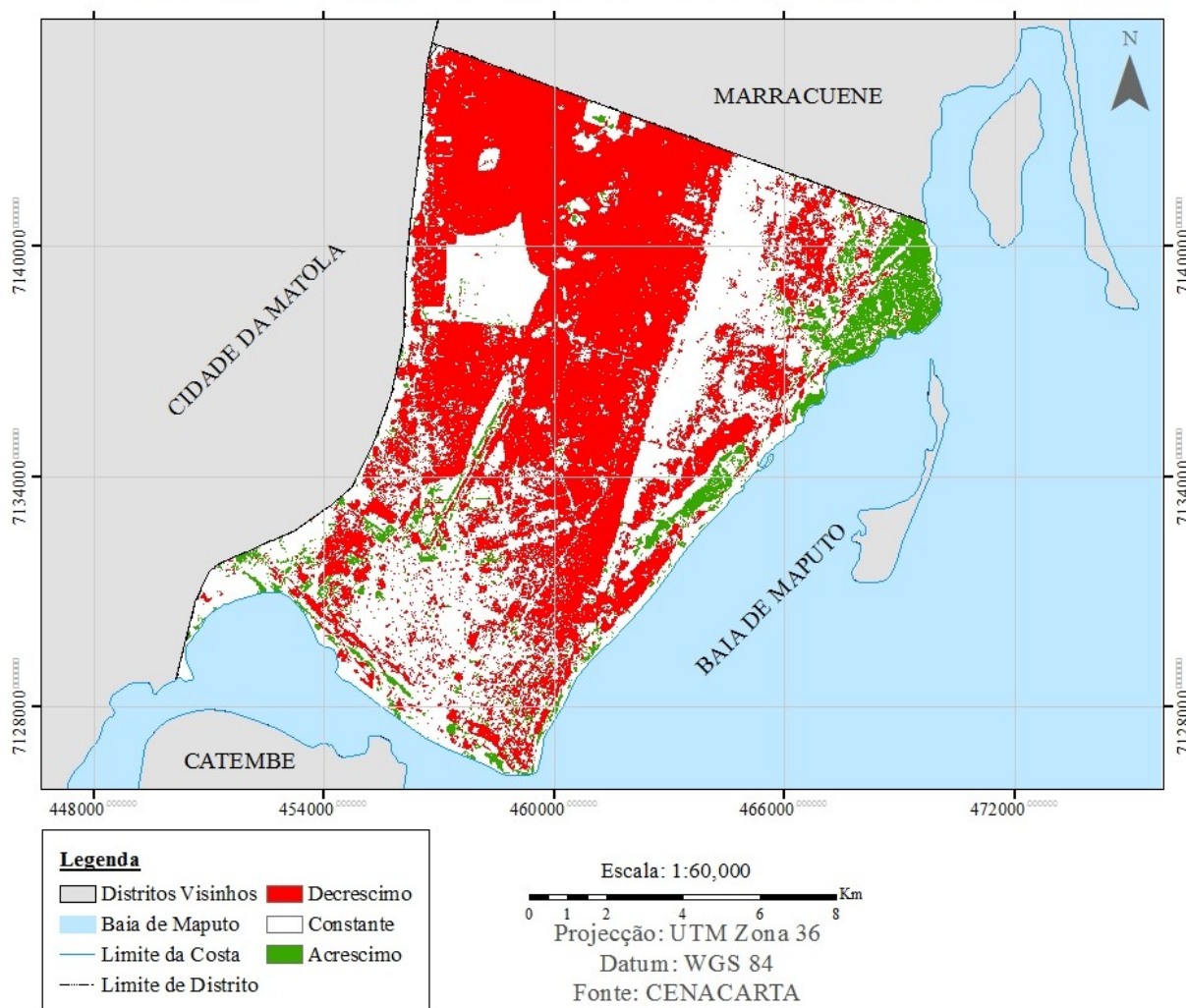
**Figura 15:** Mapa de mudanças na cobertura vegetal da Cidade de Maputo de 1989-1999

### Mudanças na cobertura Vegetal da Cidade de Maputo de 1999-2009



**Figura 16:** Mapa de mudanças na cobertura vegetal da Cidade de Maputo de 1999-2009

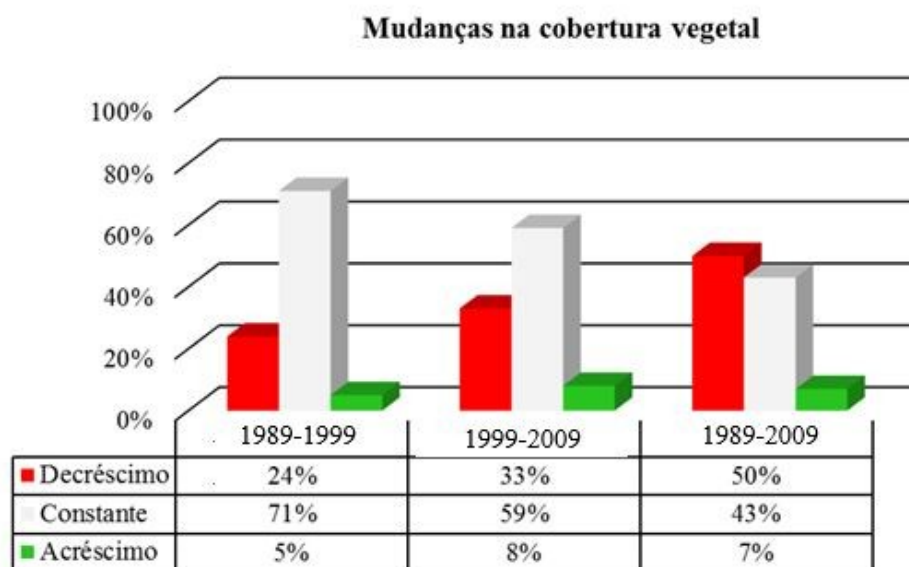
### Mudanças na cobertura Vegetal da Cidade de Maputo de 1989-2009



**Figura 17:** Mapa de mudanças na cobertura vegetal da Cidade de Maputo de 1989-2009

Períodos	1989-1999		1999-2009		1989-2009	
Área	Hectares	%	Hectares	%	Hectares	%
Decréscimo	4,114.71	24	5,729.40	33	8,725.32	50
Constante	12,301.65	71	10,302.0	59	7,474.77	43
Acréscimo	950.13	5	1,335.06	8	1,166.40	7
<b>Total</b>	<b>17,366.5</b>	<b>100</b>	<b>17,366.5</b>	<b>100</b>	<b>17,366.5</b>	<b>100</b>

**Tabela 10:** Quantificação das Mudanças na cobertura vegetal de 1989-2009



**Figura 18:** Quantificação das Mudanças na cobertura vegetal.

### 5.3. Dificuldades encontradas durante a realização o trabalho

A primeira dificuldade na realização do trabalho foi a obtenção das imagens, uma vez que as para análise multi-temporal da cobertura vegetal é necessário que se utilize imagens de satélite adquiridas na época chuvosa dado que é a altura do ano em que a vegetação encontra – se fotossinteticamente activa, a dificuldade redizia no facto de a maior parte delas estarem cobertas de nuvens.

Por fim a falta de bibliografia relacionadas com estudos recentes da vegetação bem como a informação actualizadas do estado da vegetação da área de estudo.

## **CAPÍTULO VI**

### **6 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES**

#### **6.1. Conclusão**

Da seguinte pesquisa conclui-se que para se obter dados confiáveis para detecção de mudanças é necessário uma boa correcção geométrica das imagens, preconizando-se um RMS de no máximo meio pixel. Para a correcção geométrica foi aplicado função polinomial de primeiro grau e se obteve um RMS de 0.23, 0.26 e 0.26 para os anos de 1989, 1999 e 2009 respectivamente.

O método de correção aplicado foi o contido no módulo FLAASH, que permitiu a correção atmosférica das bandas espectrais, calcula e remover efeitos atmosféricos existentes nas imagens usadas na seguinte pesquisa.

A adoção de imagens com datas próximas obtidas na mesma época do ano num período de 20 anos foi acertada para os objetivos do trabalho. Elas ajudaram a controlar a qualidade dos resultados e ressaltaram as mudanças da cobertura vegetal da área de estudo.

A classificação Supervisionada de Máxima Verossimilhança gaussiana se manteve em um patamar excelente de eficiência, comprovando pela à alta qualidades das classificações ilustradas na tabela 7 acima.

Os resultados obtidos no presente estudo indicam uma tendência de crescimento nas áreas classificadas como Sem vegetação, havendo, conseqüentemente, uma redução da área classificadas como de vegetação encontradas na Cidade de Maputo.

Pode-se constatar que ao longo dos 20 anos (1989 - 2009) houve um decréscimo de aproximadamente 50% da área com vegetação correspondente a 8,725.32 hectares. Nos períodos de 1989-1999 o decréscimo da área com vegetação foi de 24% correspondente a 4,114.71 hectares. De 1999-2009 o decréscimo foi de 33% que corresponde uma área de 5,729.40 hectares.

As causas comuns da redução da vegetação são fenómenos naturais como tempestades, correntes, movimento de sedimentos e cheias são alguns fenómenos naturais que ameaçam a existência da vegetação, porém a causa primária da perda de áreas de com vegetação na Cidade de Maputo é atribuída a actividade humana (PNUD,1998).



## **6.2. Recomendações**

Recomenda-se a intensificação ou criação de um programa estatal de desimanação e sensibilização da população na matéria de gestão ambiental. Recomenda-se o envolvimento e participação de um maior número possível de individualidades nas diversas actividades que tem em vista ao plantio de árvores como também a gestão dos recursos naturais da área de estudo, sugerindo neste caso uma participação comunitária bem como das autoridades distritais na gestão dos recursos naturais, com vista a tornar a actividade possível e com frutos palpáveis.

Para futuros estudos sobre a mudanças na cobertura vegetal na área de estudo bem como em outras recomenda-se que sejam feitos trabalhos que tem em vista ilustrar metodologias diversas e participativas de uso sustentável dos recursos naturais para evitar sua degradação e ao mesmo tempo beneficiar a comunidade local bastante carente em termos económicos.

Sendo a vegetação importante na purificação do meio ambiente, combate a erosão e outros males originados pela destruição da vegetação recomenda-se o plantio de árvores, proteção das existentes, aderência massiva por parte das populações aos projectos de reflorestamento.

### 6.3. Referências Bibliográficas

- Akhter, M. (2006). Remote sensing for developing an operational monitoring scheme for the Sundarban reserved forest, Bangladesh. PhD thesis, Technische Universität Dresden, Germany;
- Alves, D. S. (1990). Sistemas de Informação geográfica In: Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento, São Paulo;
- Aronoff, S. (1995). Geographic Information Systems: A Management perspective. Ottawa: WDL Publications;
- Aronoff, S (1999) Geographic Information Systems: A Management Perspective. Ottawa: WDL publications;
- Baptista, G. M. M. (2006). Sensoriamento Remoto Hiperespectral: o novo paradigma nos estudos de solos tropicais., primeira edição. Ed. Universal Universidade Católica de Brasília, Brasília;
- Barker, J. L., & Markham, B. L. (1986). Landsat MSS and TM post-calibration dynamic ranges, exoatmospheric reflectances and at-satellite temperatures. EOSAT Technical Notes;
- Burrough P. A. (1986). Principal of geographical information systems for land resources assessment, Oxford: Clarendon Press;
- Caetano, M., Santos, T., Carrão, A. N., & Barreiros, M. (2006). Desenvolvimento de aplicações para generalização de cartografia temática. Anais do VI Encontro de Utilizadores de Informação Geográfica – ESIG;
- Cakir, H. I., Khorram, S., & Nelson, S. (2007). Correspondence analysis for detecting land cover change. Remote Sensing of Environment. New York, NY: Elsevier;
- Câmara, G., Monteiro, A. M. V., Carvalho, M. S., Druck, S. (2002). Análise Espacial de dados Geográficos, 2ª edição;
- Câmara, G., Monteiro, A. M. V., Carvalho, M. S., Druck, S. (2001). Análise Espacial de dados Geográficos;
- CMCM, (2008). Perfil estatístico do Município 2004-2007. Conselho municipal de Moçambique;
- Congalton, R. G. & Green, K. (1999). Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices. New York: Lewis Publishers;
- Carvalho, A. C. (2010). A DETECÇÃO REMOTA E OS SIG NA PRODUÇÃO ANIMAL. Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciências e Sistemas de Informação Geográfica;



- Coppin, P. *et al.* ( 2004) 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..
- Crósta, A. P., (1992). Processamento digital de imagens de Sensoriamento remoto. Campinas: UNICAMP, Instituto de gerências;
- Da Costa, Thomaz Corrêa e Castro, (2001). Mapeamento da Fitomassa da Caatinga do Núcleo de Desertificação do Seridó, pelo Índice de Área Plantada (IAP) e o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), obtido com dados do Sensor Landsat 7 TM.
- Davis, J. C., & Mcculloch, H. J. (1999). Display and analysis of spatial data. London: John Wiley and Sons.
- Dobson, J. E. *et al.* (1995). 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;
- FAO, (2011). Criteria and indicators for sustainable woodfuels, Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome;
- Ferrão, M. F. G. (2004). Manual de Teledetecção Fascículo II: Satélites e Princípios Físicos da Teledetecção CENACARTA;
- Ferrão, M. F. G. (2005). Manual de Teledetecção Fascículo I: Satélites e Princípios Físicos da Teledetecção CENACARTA;
- Ferreira *et al.*, (2006). Imagem de Satélite para Estudos Ambientais. São Paulo: Oficina de textos;
- Figueiredo, Divino. (2005). Conceitos Básicos de Sensoriamento Remoto. Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB. Brasília - DF, Disponível em [http://72.14.205.104/search?q=cache:r9r3jyI5bKsJ:www.conab.gov.br/conabweb/download/SIGABRASIL/manuais/conceitos\\_sm.pdf+divino+figueiredo,+conceitod+basicos+sensoriamento+remoto&hl=pt-BR&ct=clnk&cd=1&gl=br](http://72.14.205.104/search?q=cache:r9r3jyI5bKsJ:www.conab.gov.br/conabweb/download/SIGABRASIL/manuais/conceitos_sm.pdf+divino+figueiredo,+conceitod+basicos+sensoriamento+remoto&hl=pt-BR&ct=clnk&cd=1&gl=br) Acesso em 18/4/2015.
- Firmino, J. L. Da N. (2009). Análise comparativa preliminar do Índice de Vegetação derivado do Satélite Landsat 5 para a cidade de São João do Rio do Peixe na Paraíba com a precipitação. In: Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto;
- Foody, G. M. & Atkinson, P. M. (2002). Uncertainty in remote sensing and GIS, John Wiley and Sons, London;

- García, M. L., Brondo, Juan A. É., & Pérez, M. A. (2012). Satélite para detenção remota aplicada à gestão territorial G. Consejería de Agricultura, Pesca y Aguas del Gobierno de Canarias;
- Kauth & Thomas, (1976). "The Tasselled Cap-A Graphic Description of Spectral-Temporal Development of Agricultural Crops as Seen by Landsat," Proceedillgs: 2nd Intemational Symposium 011 Machine Processing of Remotely Sensed Data, Purdue University, West Lafayette, IN;
- Landis, J. R.; Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. Biometrics, v.33, n.1;
- Latorre M. *et al.*, (2002) Correção Atmosférica: Conceitos e Fundamentos. Espaço & Geografia, vol. 5, n°1;
- Launiri Robert *et al.*, (1992). Fundamental of geographical information systems. San Diego: academic press;
- Lillsand T. M. & Kieffer, R. W. (2003). Remote Sensing and Image Interpretation 5° edition new York: John Wiley e Sons;
- Lillesand, M. T. & Kiefer, W. R. (2004). Remote sensing and image interpretation. (5<sup>th</sup> ed), John Wiley and Sons, Inc, New York.
- Lillesand, M. T., Kieffer, W. R. & Chipman, N. J. (2008). Remote sensing and image;
- Liu, W. T. H. (2006). Aplicações de Sensoriamento Remoto. UNIDERP, Brochura, 1ª Edição;
- Little, Charles E. (1990). *Greenways for America*, the John Hopkins University Press, Baltimore and London.
- Marzoli, A. (2007). Inventário Florestal Nacional. Avaliação integrada das florestas de Moçambique (AIFM). Direcção Nacional de Terras e Florestas (DNTF), Ministério da Agricultura, Maputo, Moçambique;
- Mather, P. M. (2004). Computer processing of remotely sensed images. (3ªedição), John Wiley and Sons;
- Mather, P. M. & Brandt, T. (2009). Classification methods for remotely sensed data, (2ªedição.). Taylor and Francis Group, LLC.
- Muchangos, (1994). Cidade de Maputo aspectos geográficos. Editora escolar, Maputo;
- Novo, E. M. L. M. (2010). Sensoriamento Remoto: Princípios e aplicações, 4ª edição – 2010 Editora Edgard Blücher;

- Ombe *et al.*, (1996). Perfil Ambiental da Cidade de Maputo. Maputo;
- Ponzoni, F. J. & Shimabukuro, Y. E. (2007). Sensoriamento remoto no estudo da vegetação. São José dos Campos: Parêntese;
- PINTO, D. (2001). A Utilização do Sensoriamento remoto e do Geoprocessamento como ferramentas aplicadas as ciências da terra e do mar. UFCS;
- PNUD, (1998). Relatório nacional do desenvolvimento humano de Moçambique paz e crescimento económicos, oportunidades para desenvolvimento humano SARDC-UEM Maputo;
- Paredes, E. A. (1994). Sistemas de Informação Geográfica Princípios e Aplicações: Geoprocessamento, São Paulo;
- Ramos, R. R. D., Lopes, H. L., Júnior, J. C. F. M., Candeias, A. L. B., (2010). Aplicação do Índice de vegetação Por Diferença Normalizada (NDVI) Na Avaliação de Áreas Degradadas e Potenciais Para Unidades de Conservação;
- Richards, J. A. & Jia, X. (1999). Remote Sensing Digital Image Analysis. An Introduction. 3<sup>th</sup> Edition. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York e UA;
- Rogan, J.; Franklin, J.; Roberts, D.A. (2002). A Comparison of Methods for Monitoring Multi-temporal Vegetation Change Using Thematic Mapper Imagery. Remote Sensing of Environment. New York, NY: Elsevier;
- Rosendo, J. (2005). Índices De Vegetação E Monitoramento Do Uso Do Solo E Cobertura Vegetal Na Bacia Do Rio Araguari – MG – Utilizando Dados Do Sensor MODIS. Dissertação (Mestrado);
- Rouse, J. W. J., Hass, R. H., Schell, J. A. & Deering, D. W. (1973). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERST. The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing;
- Sabins, F. F. (1997). Remote sensing, principles and interpretation. (3<sup>rd</sup> Edição). W. H. Freeman and Company, New York;
- Sa & Marques M. Ina, (1976). Solos da provincial de Maputo;
- Schowengerdt, R. A. (2007). Remote sensing, models and methods for image processing. (3rd ed), Elsevier Inc. New York, USA;
- Silva, R. (2001). Banco de Dados Geográficos: Uma Análise das Arquitecturas Dual (Spring) e Integrada (Oracle Spatial). Escola Politécnica da USP;
- Tucker, C. J., Grant, D. M., Dykstra, J. D. (2004). NASA's Global Orthorectified Landsat Data Set. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing;

- USGS, (2013). Landsat A Global Land-Imaging Mission, U.S. Department of the Interior U.S. Geological Survey [http://landsat.usgs.gov/Banda a designations landsat satellites.php](http://landsat.usgs.gov/Banda_a_designations Landsat_satellites.php) acessado no dia 15/07/2014
- XAVIER, A. C.; Vettorazzi, C. A. (2004). Mapping leaf area index through spectral vegetation indices in a subtropical watershed. International Journal of Remote Sensing;
- Zakaria, Hassan Elnour Adam, (2010). Integration of Remote Sensing and GIS in Studying Vegetation Trends and Conditions in the Gum Arabic Belt in North Kordofan, Sudan. Dissertation for awarding the academic degree Doctor of Natural Science, Dresden.

# Anexos

# **Anexo 1:** Tabelas de Pontos de Controle da correcção geométrica da imagem de 1989, 1999 e 2009

Tie Points Attribute Table

POINT_ID	IMAGE1X	IMAGE1Y	IMAGE2X	IMAGE2Y	SCORE	ERROR
1	511.00	793.00	2233.97	3416.30	0.4326	0.4666
2	517.00	490.00	2239.96	3113.35	0.4283	0.4540
3	699.00	326.00	2421.97	2948.27	0.3228	0.4506
4	470.00	631.00	2192.96	3254.33	0.6093	0.4023
5	408.00	770.00	2130.96	3393.37	0.4589	0.3657
6	636.00	685.00	2358.97	3307.28	0.6821	0.3875
7	696.00	611.00	2418.97	3233.23	0.7396	0.3763
8	407.00	425.00	2129.96	3048.37	0.4428	0.3142
9	729.00	342.00	2451.96	2964.37	0.3772	0.3079
10	403.00	276.00	2125.96	2899.37	0.4762	0.2880
11	607.00	718.00	2329.97	3340.37	0.5799	0.3374
12	428.00	796.00	2150.97	3419.22	0.5146	0.2513
13	78.00	531.00	1800.98	3154.23	0.2944	0.2553
14	87.00	678.00	1809.98	3301.25	0.4036	0.2448
15	681.00	625.00	2403.96	3247.37	0.7465	0.2593
16	390.00	221.00	2112.97	2844.30	0.4170	0.1991
17	829.00	279.00	2551.96	2901.77	0.4161	0.1815
18	109.00	752.00	1831.98	3375.28	0.4256	0.1864
19	145.00	478.00	1867.97	3101.22	0.4236	0.1759
20	357.00	706.00	2079.97	3329.23	0.3891	0.1455

RMS Error: 0.232614

Tie Points Attribute Table

POINT_ID	IMAGE1X	IMAGE1Y	IMAGE2X	IMAGE2Y	SCORE	ERROR
1	739.00	563.00	2270.96	3176.35	0.6320	0.4976
2	466.00	378.00	1998.97	2990.32	0.7320	0.4673
3	315.00	253.00	1847.96	2865.25	0.4779	0.4718
4	697.00	74.00	2229.97	2686.13	0.5030	0.4451
5	805.00	394.00	2336.97	3006.65	0.6375	0.4512
6	355.00	162.00	1887.97	2774.10	0.6416	0.4378
7	489.00	251.00	2021.97	2863.05	0.5008	0.4243
8	415.00	561.00	1947.97	3174.03	0.5195	0.3937
9	213.00	162.00	1745.97	2775.15	0.5954	0.3521
10	718.00	163.00	2250.97	2775.25	0.4809	0.3863
11	364.00	626.00	1896.97	3239.22	0.6271	0.3597
12	796.00	601.00	2327.97	3213.60	0.5361	0.3569
13	456.00	317.00	1988.96	2929.32	0.6865	0.3506
14	259.00	68.00	1791.96	2680.25	0.4366	0.3711
15	755.00	504.00	2286.96	3116.42	0.6668	0.3158
16	403.00	276.00	1935.96	2888.30	0.5497	0.3378
17	290.00	405.00	1822.97	3018.22	0.6043	0.3103
18	753.00	455.00	2284.96	3067.40	0.6959	0.3141
19	766.00	534.00	2297.97	3146.47	0.6424	0.3031
20	355.00	572.00	1887.97	3185.07	0.5881	0.2979

RMS Error: 0.265147

Tie Points Attribute Table							
	POINT_ID	IMAGE1X	IMAGE1Y	IMAGE2X	IMAGE2Y	SCORE	ERROR
	1	511.00	793.00	2263.97	3416.28	0.3784	0.4875
	2	816.00	614.00	2568.97	3236.72	0.5859	0.4149
	3	205.00	409.00	1957.97	3032.13	0.2151	0.4759
	4	470.00	631.00	2222.96	3253.32	0.5763	0.4082
	5	331.00	493.00	2083.96	3115.33	0.2839	0.3763
	6	829.00	279.00	2581.96	2901.77	0.3990	0.3744
	7	290.00	405.00	2042.97	3027.27	0.4237	0.3431
	8	364.00	626.00	2116.97	3249.27	0.3041	0.4170
	9	456.00	531.00	2208.96	3153.30	0.4665	0.3484
	10	825.00	261.00	2577.96	2883.77	0.4349	0.3687
	11	522.00	652.00	2274.96	3274.33	0.3808	0.3423
	12	525.00	551.00	2277.97	3173.27	0.4376	0.3338
	13	415.00	561.00	2167.97	3184.10	0.4753	0.3825
	14	796.00	601.00	2548.97	3223.63	0.5930	0.3054
	15	393.00	473.00	2145.96	3095.35	0.4340	0.2885
	16	125.00	549.00	1877.97	3172.35	0.3226	0.3667
	17	649.00	596.00	2401.97	3218.20	0.5101	0.2935
	18	407.00	425.00	2159.96	3047.35	0.5300	0.2259
	19	809.00	126.00	2561.96	2748.68	0.3769	0.2520
	20	607.00	718.00	2359.97	3340.35	0.5720	0.2427

RMS Error: 0.260721

**Anexo 2:**Matriz de Confusão resultante da Classificação das Imagens de 1989, 1999 e 2009 retornada pelo Envi 5.1

Overall Accuracy = (88555/88687) 99.8512%

Indice Kappa = 0.9960

Ground Truth (Pixels)

Classes	Vegetação	Sem Vegetação	Total
Unclassified	0	0	0
Vegetação	21823	131	21954
Sem Vegetação	1	66732	66733
Total	21824	66863	88687

Ground Truth (Percent)

Classes	Vegetação	Sem Vegetação	Total
Unclassified	0.00	0.00	0.00

Vegetação	100.00	0.20	24.75
Sem Vegetação	0.00	99.80	75.25
Total	100.00	100.00	100.00

Overall Accuracy = (60855/61691) 98.6449%

Indice Kappa = 0.9716

#### Ground Truth (Pixels)

Classes	Vegetação	Sem vegetação	Total
Unclassified	0	0	0
Vegetação	23793	670	24463
Sem vegetação	166	37062	37228
Total	23959	37732	61691

#### Ground Truth (Percent)

Classes	Vegetação	Sem vegetação	Total
Unclassified	0.00	0.00	0.00
Vegetação	99.31	1.78	39.65
Sem vegetação	0.69	98.22	60.35
Total	100.00	100.00	100.0

Kappa Coefficient = 0.9317

#### Ground Truth (Pixels)

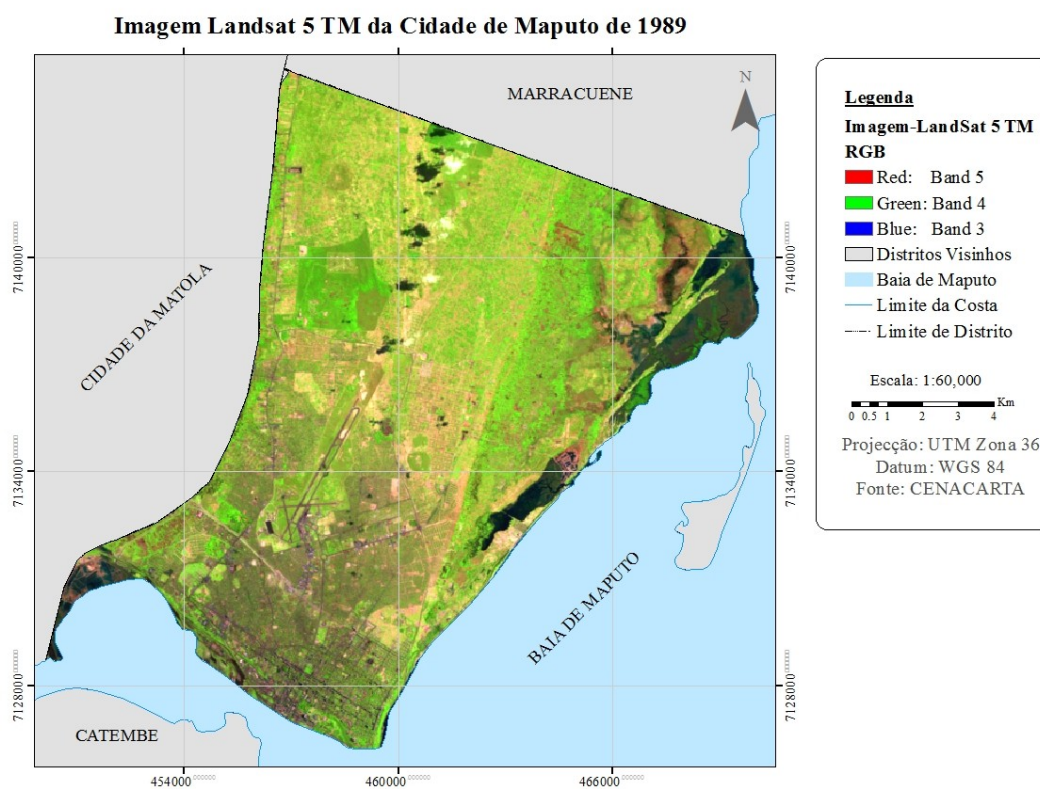
Classes	Vegetação	Sem Vegetação	Total
Unclassified	0	0	0
Vegetação	8262	922	9184
Sem Vegetação	30	33932	33962
Total	8292	34854	43146

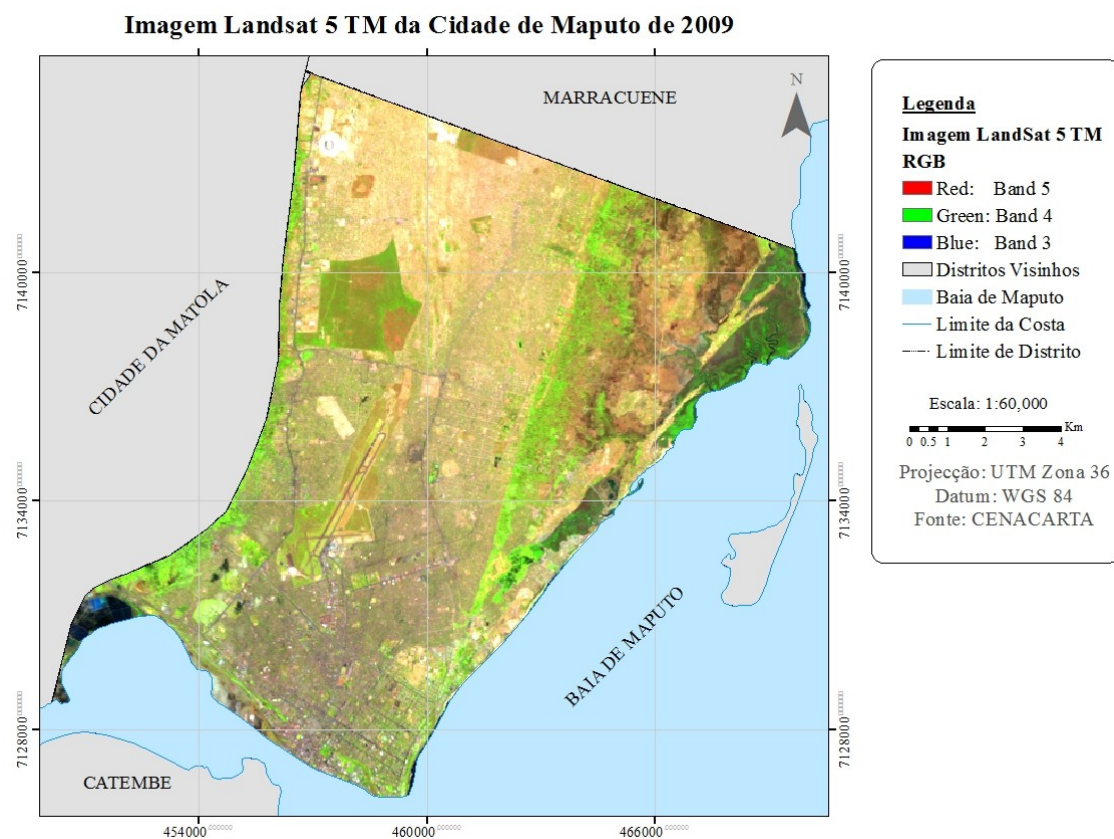
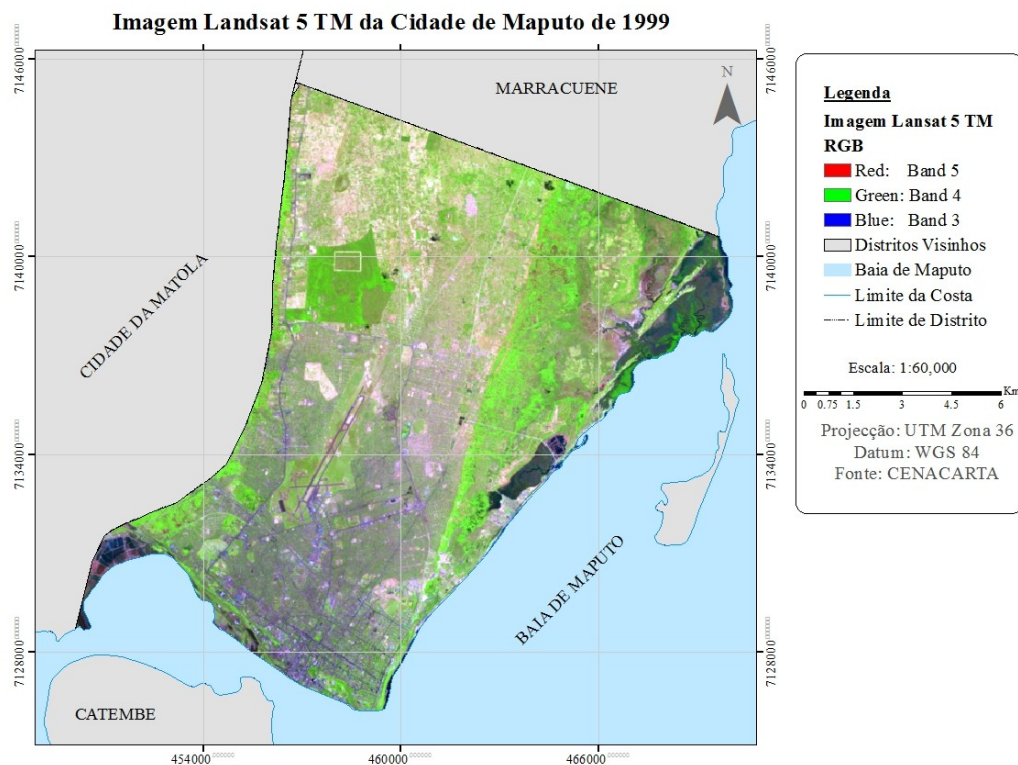
#### Ground Truth (Percent)



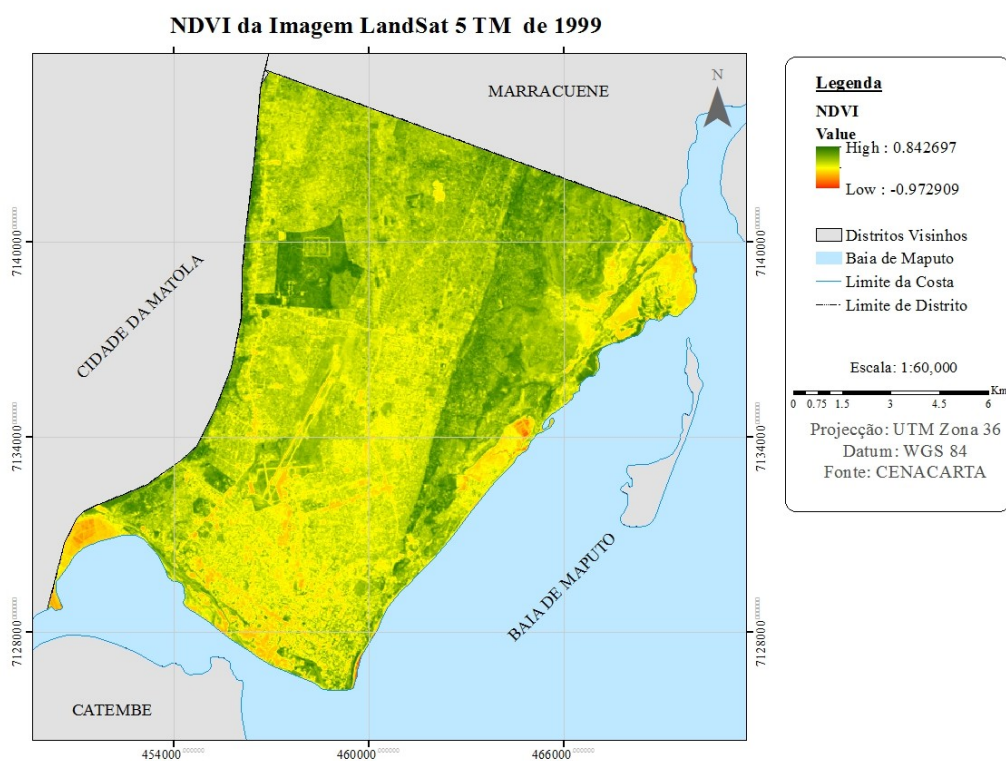
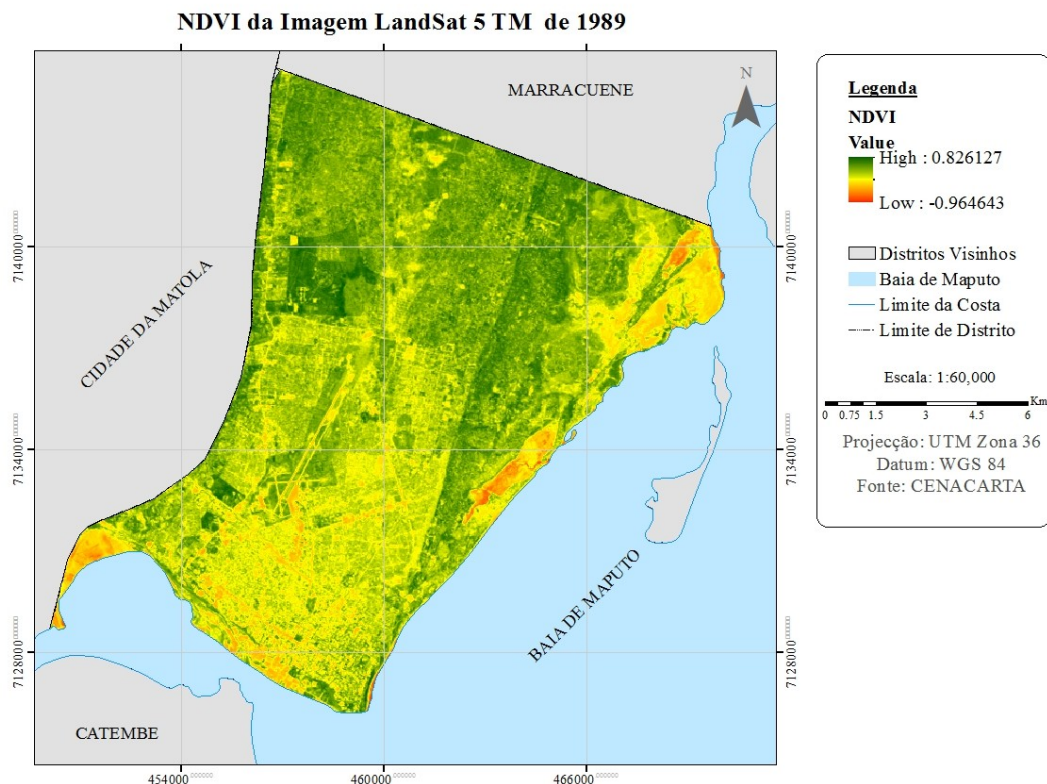
Class	Vegetação	Sem Vegetação	Total
Unclassified	0.00	0.00	0.00
Vegetação	99.64	2.65	21.29
Sem Vegetação	0.36	97.35	78.71
Total	100.00	100.00	100.00

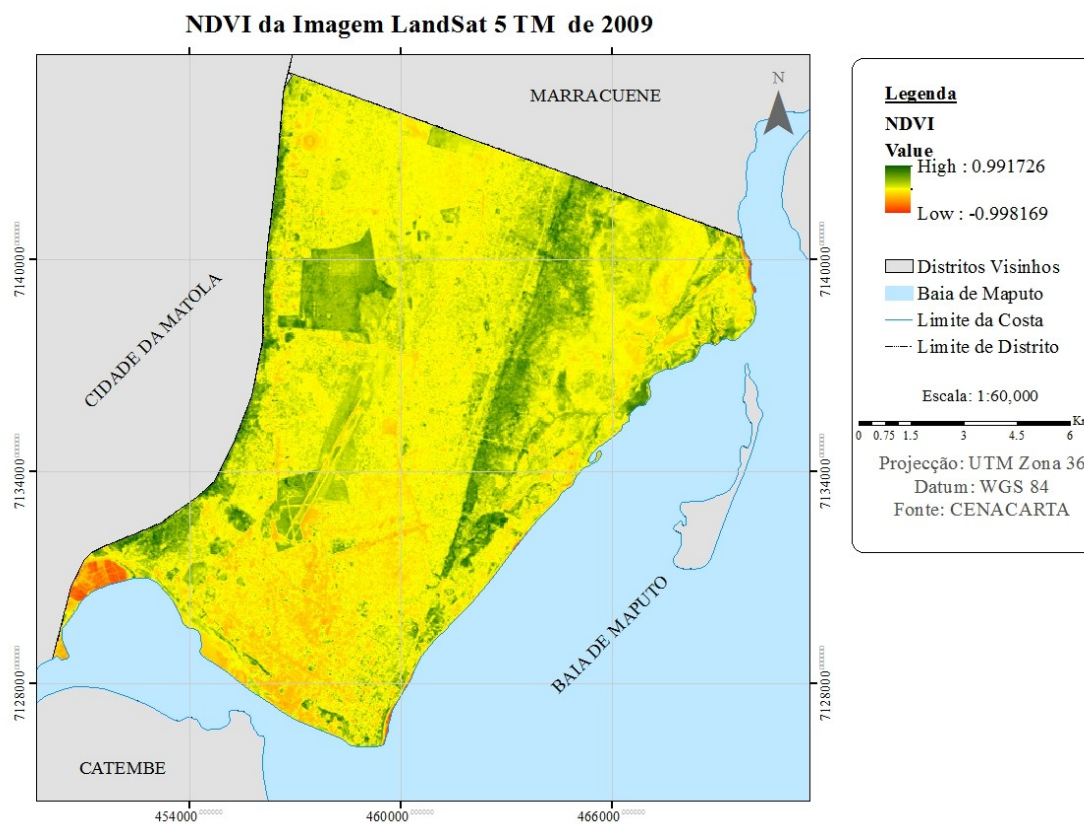
### Anexo 3: Imagens satélite Landsat 5 TM de 1989, 1999 e 2009 da Cidade de Maputo





## Anexo 4: Imagens de NDVI da Cidade de Maputo de 1989,1999 e de 2009







**Anexo 4:** Parâmetros de correção atmosférica utilizados no módulo FLAASH nas imagens

The screenshot shows the 'FLAASH Atmospheric Correction Model Input Parameters' dialog box. It contains several input fields and buttons for configuring the atmospheric correction process.

**Input Radiance Image:** D:\AA---Trabalho de Licenciatura\Imagens\Imagens Para trabalho\resultados\1999 pre processamento\Radiometr

**Output Reflectance File:** C:\Users\ines\AppData\Local\Temp\

**Output Directory for FLAASH Files:** C:\Users\ines\AppData\Local\Temp\

**Rootname for FLAASH Files:** FLAASH\_

**Scene Center Location:** DD <-> DMS

**Sensor Type:** Landsat TM5

**Flight Date:** Jan 18 1999

**Lat:** -26 0 27.38

**Lon:** 33 9 13.46

**Sensor Altitude (km):** 705.000

**Ground Elevation (km):** 0.228387

**Pixel Size (m):** 30.000

**Flight Time GMT (HH:MM:SS):** 7 : 22 : 50

**Atmospheric Model:** Tropical

**Aerosol Model:** Tropospheric

**Water Retrieval:** No

**Aerosol Retrieval:** None

**Water Column Multiplier:** 1.00

**Initial Visibility (km):** 40.00

**Buttons:** Apply, Cancel, Help, Multispectral Settings..., Advanced Settings..., Save..., Restore...