

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento: Detecção Remota e Cartografia Temática

A cartografia em Angola encontra-se ainda num estado de exploração inicial e boa parte do território nacional ainda não possui informação geológica cartografada, nem tampouco topográfica. Não obstante a este factor as cartas geológicas e topográficas existentes são da década de 70 e 80, estando para o efeito desatualizadas.

O facto de estarmos numa época em que a utilização racional e sustentável dos recursos naturais está na ordem das discussões internacionais e regionais, é importante dispor de informação actualizada que ilustre a estruturação e forma como os recursos estão disponíveis no território, com o propósito de poder disciplinar a exploração dos recursos e conservar o território, estabelecendo linhas mestras estratégicas para regulamentar os diferentes sectores de actividade.

As entidades que são responsáveis pelo planeamento e ordenamento do território e aplicação das respectivas políticas necessitam de uma maior informação actualizada sobre a estrutura da superfície terrestre para melhor decidir sobre tomadas de posição para uso de um determinado espaço.

A caracterização quer seja geológica, ambiental ou de ocupação do solo, deve ser realizada de acordo à dimensão funcional ou utilização socioeconómica no presente e futuro, permitindo assim definir classes de diferentes unidades geológicas, zonas agrícolas, zonas de exploração mineral, zonas habitacionais e zonas de conservação natural.

Angola por ser ainda considerado um território virgem carece de vários estudos que visam definir estratégias e assimetrias para cartografar de uma maneira geral todo território.

O número reduzido de cartas geológicas e topográficas a escalas reduzidas possibilitando melhor conhecimento dos recursos existentes, bem como cartas de ocupação e utilização do solo, serviu de incentivo para este

estudo, procurando-se encontrar metodologias que facilitem de uma maneira mais rápida a aquisição de dados referente à vasta superfície do território angolano, recorrendo a técnicas inovadoras, como é o caso da detecção remota.

O crescimento desordenado das cidades angolanas (e.g. Lobito), carece de um planeamento territorial urbano e suburbano com vista a minimizar os riscos que caracterizam este crescimento explosivo, bem como caracterizar e redistribuir a ocupação das diferentes unidades de ocupação de solo (e.g. zonas agrícolas, florestais, naturais, húmidas, massas de água).. Tendo em conta que esta distribuição só é válida para algum tempo, devido ao facto deste sistema ser altamente dinâmico, é necessário actualizar-se esta ocupação de forma rápida.

A aplicação das técnicas de detecção remota na cartografia temática permite obter dados actualizados e a baixo custo para áreas extensas recorrendo a imagens de satélite. Elas apresentam uma vantagem em relação a outras bases de dados, visto que elas podem ser submetidas a diferentes métodos de classificação automáticos, reduzindo a demora no processo bem como os encargos financeiros.

Os sensores disponíveis (e.g. Landsat) possuem características ao nível da resolução espacial e temporal que permitem cartografar uma determinada região com uma periodicidade e detalhe que responda as necessidades dos destinatários.

Neste trabalho procura-se analisar e explorar as potencialidades das técnicas existentes em detecção remota e suas aplicações na cartografia temática (e.g. cobertura e do uso do solo) recorrendo as imagens do sensor Landsat 7 ETM+I. Para o efeito procura-se validar os resultados da aplicação das técnicas de detecção remota com estudos detalhados no terreno com vista a observações in-situ bem como em comparações com dados existentes em cartas já editadas, contribuindo para a actualização da cartografia do território angolano e em particular do Município do Lobito.

1.2. Objectivos

O estudo realizado no âmbito desta dissertação de mestrado em Ambiente e Ordenamento do Território teve como objectivo principal a aplicação de métodos e técnicas de detecção remota à cartografia temática na região do Lobito (Benguela).

Com base no objectivo principal definiram-se os seguintes objectivos específicos:

- Definir uma metodologia para cartografia temática da região do Lobito com base em dados espectrais.
- Definir de forma precisa as classes de ocupação de solos
- Definir um processo de validação da carta temática.

Para o efeito foram utilizadas imagens de satélite de nível 1 do sensor LandSat7 etm+, processadas e integradas em ambiente SIG com os softwares ArcGis e ERDAS. A validação dos dados foi obtida através da comparação dos resultados obtidos com a literatura e cartas disponíveis, bem como observações de campo.

1.3. Estrutura da tese

O presente trabalho esta se encontra estruturado em 5 capítulos, considerações finais e referências bibliográficas, sendo descrito em seguida de forma resumida o conteúdo de cada um.

O primeiro capítulo, “Introdução”, aborda de forma geral aspectos ligados ao interesse da detecção remota na cartografia temática e, por consequência, a sua importância para o planeamento e ordenamento territorial das cidades; definem-se ainda os objectivos e a estrutura da tese.

O segundo capítulo, “Revisão Bibliográfica sobre aquisição e tratamento de dados da Detecção Remota”, faz uma breve resenha dos fundamentos teóricos da detecção remota, dos sensores de satélite e suas aplicações, e métodos de extração de informação de imagens de satélite.

O terceiro capítulo, “Caracterização Física da Área de Estudo”, descreve os principais aspectos geomorfológicos e geológicos da área de estudo.

O quarto capítulo, “Materiais e Métodos”, aborda os métodos e técnicas utilizados na realização do estudo, descrevendo, com particular ênfase a metodologia de aquisição e pré-processamento dos dados espectrais.

No quinto capítulo, “Resultados e Discussão”, apresentam-se os resultados obtidos com a aplicação da referida metodologia de trabalho e respectiva discussão.

Seguem-se as conclusões e reflexões finais da dissertação.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DE DADOS DE DETECÇÃO REMOTA

2.1. Introdução

A detecção remota (DR) é o processo de aquisição de informação sobre a natureza sem necessariamente estarmos em contacto físico com a mesma. Na aceção de Fonseca e Fernandes (2004): “A detecção remota como ciência trata dos métodos de observação da terra por sensores instalados em satélites artificiais ou aviões. Estes sistemas observam a atmosfera, os oceanos, superfície terrestre rochosa, florestas, solos, campos agrícolas, cidades, etc.”.

Através das técnicas de DR podemos reduzir as estadias no campo, sempre custosas. e transformá-las em horas de trabalho em laboratório com capacidade de adquirir informação em zonas inacessíveis ou de difícil acesso. Em estudos geológicos a detecção remota tem duas aplicações importantes: a cartografia de unidades geológicas e a cartografia estrutural. (Fonseca e Fernandes, 2004)

Dentro do conjunto de técnicas de DR, a classificação de imagens de satélite é uma das aplicações mais frequentemente utilizadas em cartografia geológica, pelo facto dos algoritmos de classificação de imagens de satélite permitirem sintetizar a variabilidade e complexidade inerentes a uma unidade geológica num número limitado de classes definidas pelo investigador.

Devidos às dificuldades habituais com a restrição ou optimização de recursos humanos ou logísticos, poder suportar os estudos de cartografia geológica ou temática em técnicas de detecção remota revela-se, assim, uma vantagem inestimável.

2.2. Sensores de Satélites

O aperfeiçoamento dos estudos de cartografia temática através de técnicas de detecção remota é um dos objectivos dos diversos programas espaciais actualmente em operação. Estes programas são da responsabilidade

de diversas organizações, com destaque para as actividades que têm sido levadas a cabo por organizações como a NASA e ESA.

Por “sensor” designa-se ao dispositivo que capta radiações referentes a porções do espectro electromagnético, reflectidas ou emitidas por objectos dispostos sobre a superfície terrestre e que tem a capacidade de converter aquelas radiações num sinal numérico (Matos, 2008).

Os sensores que têm como objectivo o registo de imagens de detecção remota são transportados por satélites artificiais colocados em diferentes altitudes em órbitas exteriores ao planeta Terra (Fonseca e Fernandes, 2004).

As orbitas das plataformas de detecção remota, possuem características que condicionam a informação adquirida pelos sensores que elas transportam. Estas características são: a geometria da órbita, a velocidade e a altitude da plataforma (Fonseca e Fernandes, 2004).

A classificação dos satélites pode ser feita em função das características das suas orbitas (figura 2.1), sendo quase polares ou heliossíncronas, equatoriais geossíncronas e órbitas gerais.

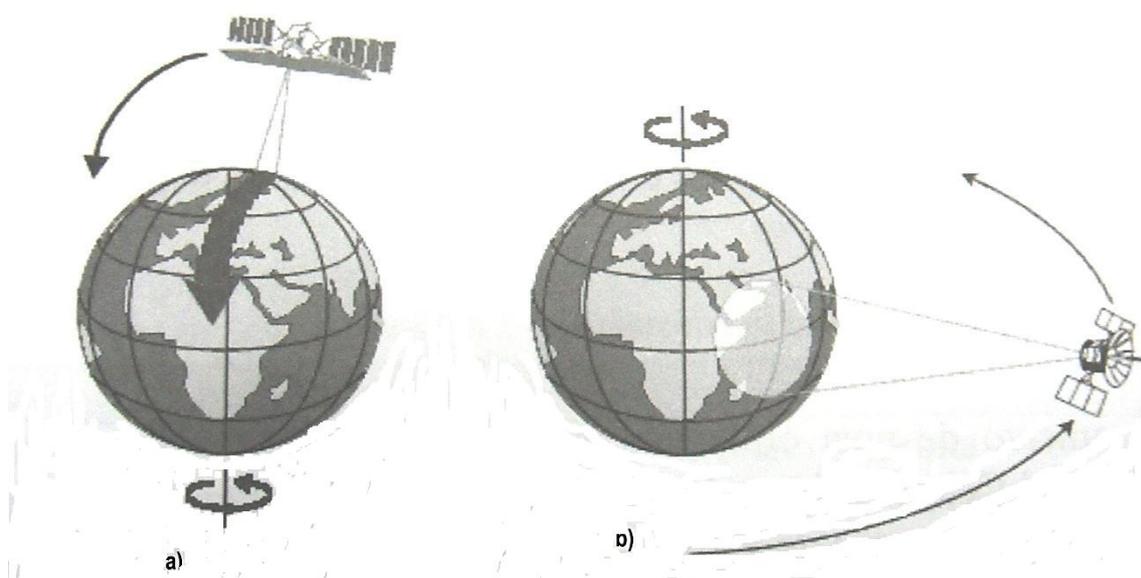


Figura 2.1- Órbita dos satélites: a - polar, b - quase polar (adaptado de Fonseca e Fernandes, 2004)

Os satélites que transportam detectores cujo objectivo é a recolha de imagens para aplicações nas Ciências da Terra, possuem órbitas de pequena excentricidade, quase polares e heliosíncronas, como no caso, por exemplo, do Landsat. Esta opção tem a ver com o facto de que as órbitas quase polares serem as que permitem uma melhor cobertura da superfície terrestre e as heliosíncronas possibilitam condições similares de iluminação para uma mesma zona em passagens sucessivas do satélite.

O movimento do satélite na sua órbita está condicionado pelas leis de Kepler e de Newton, sendo que as forças intervenientes são a de atracção gravitacional (F_g) e a força centrífuga (F_c). A condição para que o satélite se mantenha em órbita obtém-se igualmente destas duas forças, como se descreve (referido em Venâncio, 2007):

$$F_g = F_c \Leftrightarrow g_{ST} \cdot \left(\frac{R}{r}\right)^2 = \frac{v^2}{r} \Leftrightarrow v = \sqrt{\frac{g_{ST} \cdot R^2}{r}}$$

Onde g_{ST} é a aceleração da gravidade na superfície terrestre, R é o raio da terra, r é o raio orbital, v a velocidade linear.

O período orbital (T) define o intervalo de tempo entre duas passagens sucessivas do satélite pelo mesmo ponto da órbita expressando matematicamente pela fórmula:

$$T = \frac{2\pi r}{v} = 2\pi r \cdot \sqrt{\frac{r}{g_{ST} \cdot R^2}}$$

Em que T é o período orbital.

Na tabela 2.1 descrevem-se alguns parâmetros orbitais para algumas plataformas.

Tabela 2.1: Velocidades e períodos orbitais dos satélites (adaptado de Fonseca e Fernandes, 2004)

Plataformas	Altitude (km)	Velocidade (km/s)	Período (min)
ERS-2	785	7.46	100.5
IRS-1C	817	7.44	101.2
JERS-1	568	7.58	96.0
LANDSAT5	705	7.50	98.9
RADARSAT	798	7.45	100.8
SPOT	832	7.44	101.5
IKONOS	681	7.51	98.4

A altitude do satélite consiste na sua posição relativamente a um referencial imaginário centrado sobre a linha que define a órbita. Este referencial é constituído por 3 (três) eixos ortogonais entre si (X, Y, Z), coincidindo a sua origem em cada instante com o centro de massa do satélite. Pode considerar-se ainda um outro referencial, similar ao anterior, mas centrado sobre a própria plataforma, não necessariamente coincidente com o anterior (Xs, Ys e Zs) Devido às perturbações a que o movimento do satélite é sujeito (induzidas por factores internos e externos), o referencial centrado sobre a plataforma roda em relação ao referencial orbital, como se indica na Figura 2.2.

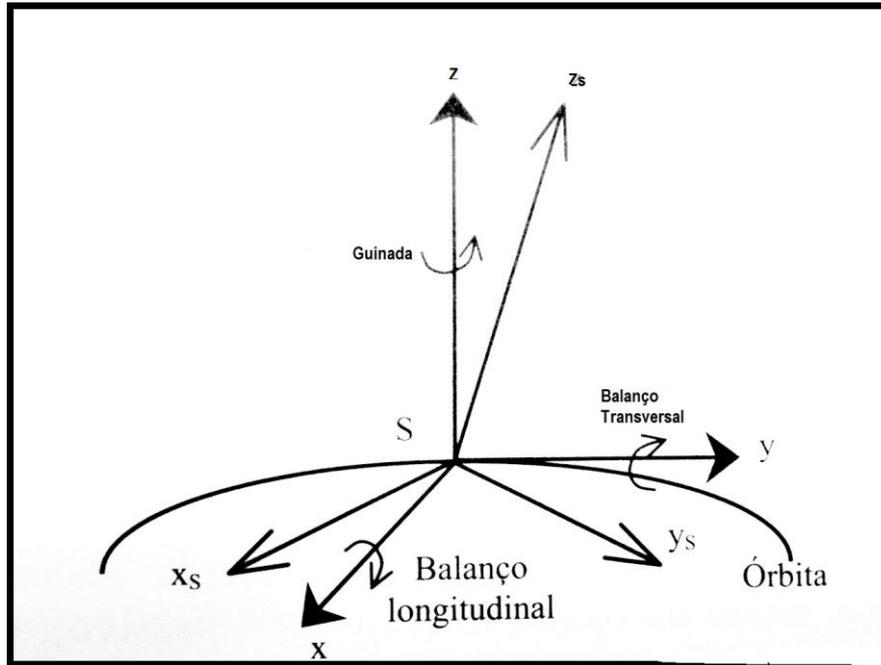


Figura 2.2 – Possíveis perturbações da órbita do satélite ilustradas na base dos referenciais assumidos, de plataforma e orbital (adaptado de Fonseca e Fernandes, 2004)

A informação recolhida pelos sensores de satélite pode ser de natureza espectral, espacial ou ainda sobre a intensidade do sinal, conforme ilustra o diagrama na figura 2.3. (Fonseca e Fernandes, 2004)

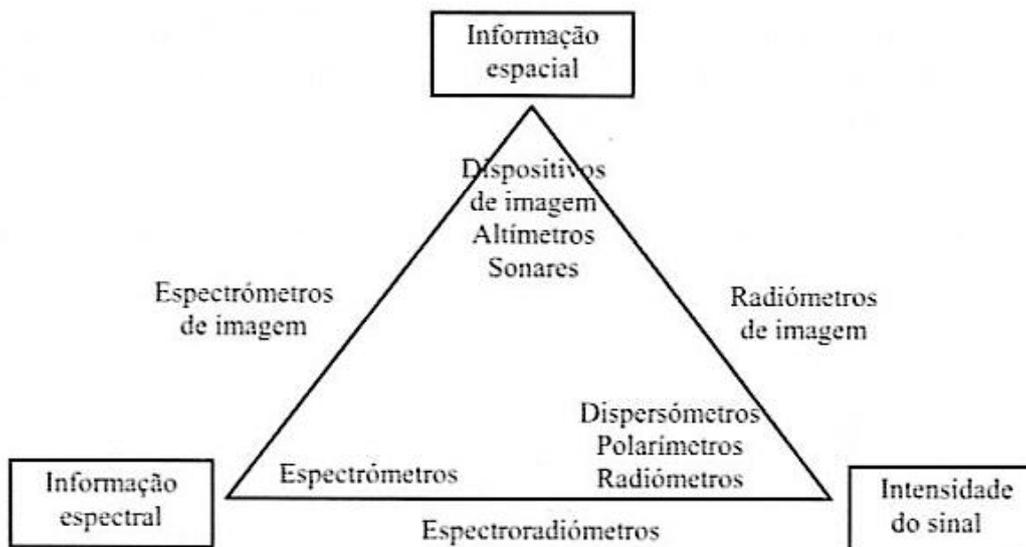


Figura 2.3 – Tipologia da informação captada pelos detectores espaciais (in Elachi, 1987).

Os espectrómetros registam a distribuição espectral da radiação electromagnética incidente, por sua vez os radiómetros registam a intensidade da radiação electromagnética captada. Os espectro-radiómetros fazem o registo da distribuição espectral e da intensidade do sinal, os espectrómetros de imagem fornecem a distribuição espacial da distribuição espectral, por sua vez os radiómetros de imagem registam a distribuição espacial da distribuição de intensidades. (Fonseca e Fernandes, 2004).

Em geral, os sensores captam a radiação correspondente à banda do espectro electromagnético para a qual foram calibrados, medem a intensidade do sinal recebido correspondendo no terreno a uma área de forma geralmente quadrada, designada por *pixel* ou *picture element*; o conjunto das áreas unitárias assim definidas organiza-se num padrão do tipo matricial sendo que a intensidade do sinal medida representa o designado nível radiométrico.

A existência de sensores para as diferentes bandas do espectro electromagnético numa plataforma orbital faz com que, quando se fala em imagem, esta seja na realidade um conjunto de imagens correspondente cada uma delas a uma porção específica do espectro electromagnético (multiespectral).

Os sensores usados em detecção remota para estudo da superfície terrestre (de observação da Terra), como o caso do Landsat ETM+, são dispositivos de imagem cujo principal objectivo é o registo da distribuição espacial das radiâncias, ou da intensidade do sinal reflectido ou emitido pelos objectos na superfície terrestre (Fonseca e Fernandes, 2004)

2.2.1. O programa Landsat como exemplo de um programa espacial de observação da Terra

Em órbita terrestre existem hoje um conjunto variado de sensores, com resolução espacial e espectral variável, e cujo objectivo é a observação da

Terra; na tabela 2.2 ilustram-se algumas das principais características de alguns destes sensores.

Tabela 2.2 – Características de alguns sensores integrados em plataformas orbitais (adaptado de Matos, 2008).

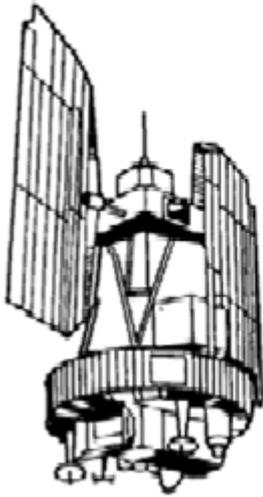
Satélite	Resolução espacial (m)		Bandas
	Multiespectral	Pancromático	
LANDSAT 7	30	15	PAN+7 XS
SPOT 5	10	2.5-5	PAN+4 XS
IKONOS	4	1	PAN+4 XS
QUICKBIRD	2.4-2.8	0.60-0.70	PAN+4 XS

O Landsat é o mais antigo programa de observação da Terra, tendo iniciando-se em 1972 com o lançamento do satélite ERTS-1 (*Earth Resource Technology Satellite*) designado *a posterior* como Landsat 1. (Fonseca e Fernandes, 2004).

O satélite Landsat 1 teve um período experimental até 1973 e, daí em diante, devido a sua importância e aplicabilidade aos variados domínios da ciência, foram sendo comercializadas as imagens recolhidas pelo mesmo. Até 1974 o Landsat 1 já havia transmitido mais de 100000 imagens, perfazendo uma cobertura de 75% da superfície terrestre do planeta. (Venâncio, 2007)

Até ao presente data, foram colocados em órbita 6 satélites no âmbito do programa Landsat (Landsat 1, 2, 3, 4, 5 e 7). Na tabela 2.3 indicam-se alguns dados complementares sobre o programa Landsat.

Landsat 1 e 2



Landsat 4 e 5

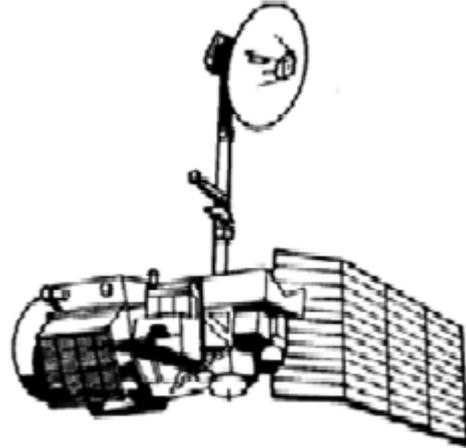


Figura. 2.4 – Configuração dos satélites Landsat 1 – 5 (adaptado do manual de noções básicas de cartografia do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística IBGE, Departamento de Geociências, 1998)

Os satélites deste programa representam três gerações distintas em termos de evolução tecnológica. Os da primeira geração, denominados ERTS, estavam equipados com 2 sensores, uma câmara RBV (*Return Beam Vidicon*) e um detector MSS (*Multispectral Scanner*). O objectivo principal destes satélites era a detecção da cobertura vegetal, o estudo de recursos hídricos e a detecção de recursos minerais. (Rabaça, 2001).

A segunda geração teve início em 1982 com o lançamento do Landsat 4 e Landsat 5 em 1984. Ambos possuem órbitas heliossincronas, quase polares com inclinação de 98,2 graus e posicionam-se a uma altitude de 705 km, e período orbital de 98.9 minutos. Possuem uma resolução temporal de 16 dias, significando que só após 233 orbitas é que o traço do satélite passa novamente sobre o traço da órbita correspondente à mesma área geográfica (Matos, 2008).

O Landsat 7, último da série, foi antecedido do Landsat 6, lançado em 1993, tendo este último falhado a entrada em orbita. O Landsat 7 (figura 2.5) entrou em órbita em 1999 transportando um novo sensor, o ETM+, ou

“Enhanced Thematic Mapper” (Tabela 2.5). Este sensor, de maior evolução tecnológica, ampliou as potencialidades de aplicação das imagens Landsat, com a inclusão da imagem correspondendo à banda térmica (resolução espacial de 60 m); foi ainda incluída uma outra banda, pancromática, com resolução espacial de aproximadamente 15 m, possibilitando a criação de imagens com melhor resolução espacial (Venâncio, 2007).

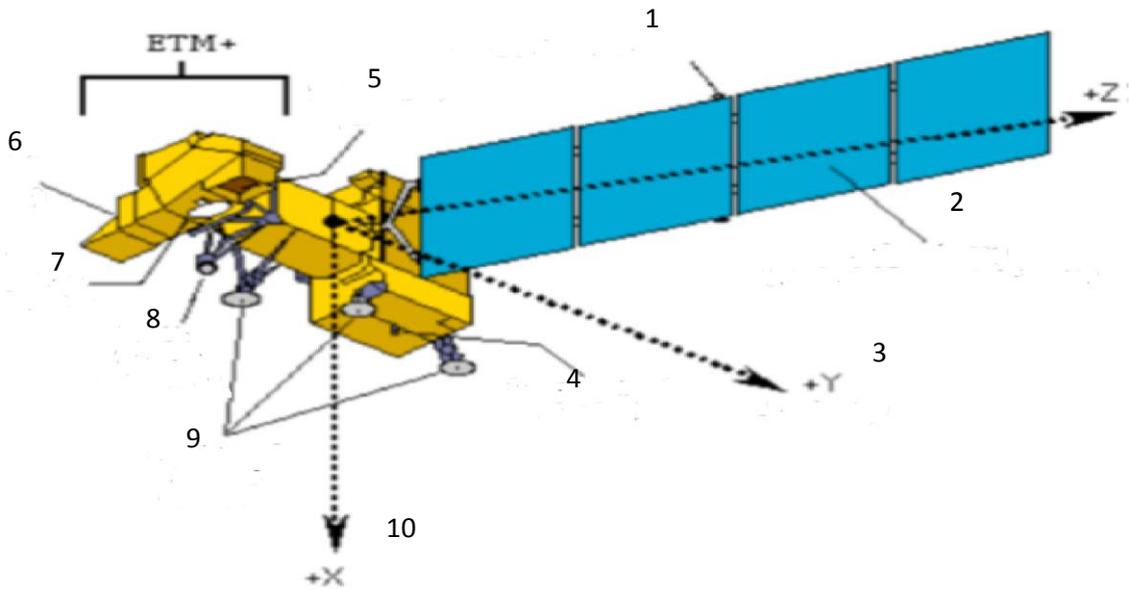


Figura 2.5 – Esquema ilustrativo da plataforma que transporta o sensor Landsat 7 (http://gsfc.nasa.gov/Landsat_7_handbook).

O Landsat 7 actualmente possui uma falha técnica num seu componente (SLC ou “Scan Line Corretor”) que fazia a compensação do movimento do avanço da plataforma. Apesar desta falha o sistema continua funcional e a adquirir imagens com o SLC desligado; o problema é que não é possível obter informação sobre linhas de pixéis específicas obrigando à utilização de técnicas específicas para compensar este efeito. Na tabela 2.3 descrevem-se algumas características técnicas referentes aos diversos satélites do programa Landsat enquanto na tabela 2.4 e 2.5 são comparados os sensores TM e ETM+.

Tabela 2.3: Comparação dos satélites do programa Landsat (adaptado de Venâncio, 2007)

Missão	Landsat Remote Sensing Satellite (Landsat)						
Instituição	NASA (National Aeronautics and Space Administration)						
País	Estados Unidos						
Designação	Landsat 1	Landsat 2	Landsat 3	Landsat 4	Landsat 5	Landsat 6	Landsat 7
Lançamento	23-07-1972	22-01-1975	05-03-1978	16-07-1982	01-03-1984	05-10-1993	15-04-1999
Situação actual	Inactivo (06-01-1978)	Inactivo (25-02-1982)	Inactivo (31-03-1983)	Inactivo (1993)	Activo	Inactivo (05-10-1993)	Activo
Órbita	Polar, heliossincrona	Polar, heliossincrona	Polar, heliosincrona	Polar, circular, heliossincrona	Polar, circular, heliossincrona	----	Polar, circular, heliossincrona
Altitude (km)	900	900	900	705	705	---	705
Inclinação	99.2°	99.2°	99.2°	98.2°	98.2°	-----	98.2°
Período orbital (min)	103	103	103	99	99	---	99
Órbitas/dia	+/- 14	+/- 14	+/- 14	+/- 14.5	+/- 14.5	----	+/- 14.5
Hora de passagem (Portugal)	9:42 AM	9:42 AM	9:42 AM	9:45 AM	9:45 AM	----	10:00 AM
Resolução temporal (dias)	18	18	18	16	16	---	16
Designação dos sensores	RBV/MSS	RBV/MSS	RBV/MSS	MSS/TM	MSS/TM	ETM	ETM+

Tabela 2.4: Características técnicas do sensor ETM+ (<http://landsat.gsfc.nasa.gov/education>).

Bandas espectrais	Resolução espectral	Resolução espacial	Resolução temporal	Faixa de varrimento
1	0.45 – 0.52 μm	30 m	16 dias	185 km
2	0.52 – 0.60 μm	30 m	16 dias	185 km
3	0.63 – 0.69 μm	30 m	16 dias	185 km
4	0.76 – 0.90 μm	30 m	16 dias	185 km
5	1.55 – 1.75 μm	30 m	16 dias	185 km
6	10.4 – 12.5 μm	60 m	16 dias	185 km
7	2.08 – 2.35 μm	30 m	16 dias	185 km
8	0.50 -0.90 μm	15 m	16 dias	185 km

Tabela 2.5 – Características do sensor TM do Landsat 5.

Banda	Comprimento de onda (micro metros)	Resolução (metros)
Banda 1	0.45 - 0.52	30
Banda 2	0.52 - 0.60	30
Banda 3	0.63 - 0.69	30
Banda 4	0.76 - 0.90	30
Banda 5	1.55 - 1.75	30
Banda 6	10.40 - 12.50	120
Banda 7	2.08 - 2.35	30

2.3. Sensores de microondas

O detector mais conhecido deste grupo é o Radar, acrónimo da expressão inglesa “*Radio Detection and Ranging*” ou, em português, “detecção e telemetria por ondas rádio”.

A aquisição da informação na banda das microondas possa ser feita de forma passiva como activa. Os detectores de DR nestas bandas conseguem operar através das nuvens, nevoeiro, poeiras, chuva, dado que estes comprimentos de onda não são afectados pela dispersão atmosférica. Esta propriedade permite a recolha de imagens em todas as condições atmosféricas (Fonseca, 1993).

A DR do tipo passivo na banda das microondas baseia-se no facto dos objectos emitirem energia nesta banda quando iluminados pelo Sol (Gupta, 1991). A energia natural que os objectos emitem está relacionada com a sua temperatura e o teor de humidade. As aplicações para a DR passiva nestas bandas são: meteorológicas, hidrogeológicas e oceanográficas (Venâncio, 2007).

Os detectores activos incluem as suas próprias fontes de energia que operam na banda das microondas e que usam para iluminar os objectos alvos na superfície terrestre. Usualmente são classificados em duas categorias; detectores de imagem e detectores que não geram imagens. (Fonseca e Fernandes, 2004).

A forma mais comum dos detectores activos de microondas é o RADAR. O sistema de RADAR emite um pulso electromagnético de microondas em direcção ao objecto alvo, detectando a porção reenviada do sinal. A direcção da emissão do pulso é conhecida como *range* ou alcance. O sensor determina as distâncias relativas dos objectos da superfície ao longo dessa direcção, a partir da análise do tempo de ida até ao objecto e o de retorno ao sensor.

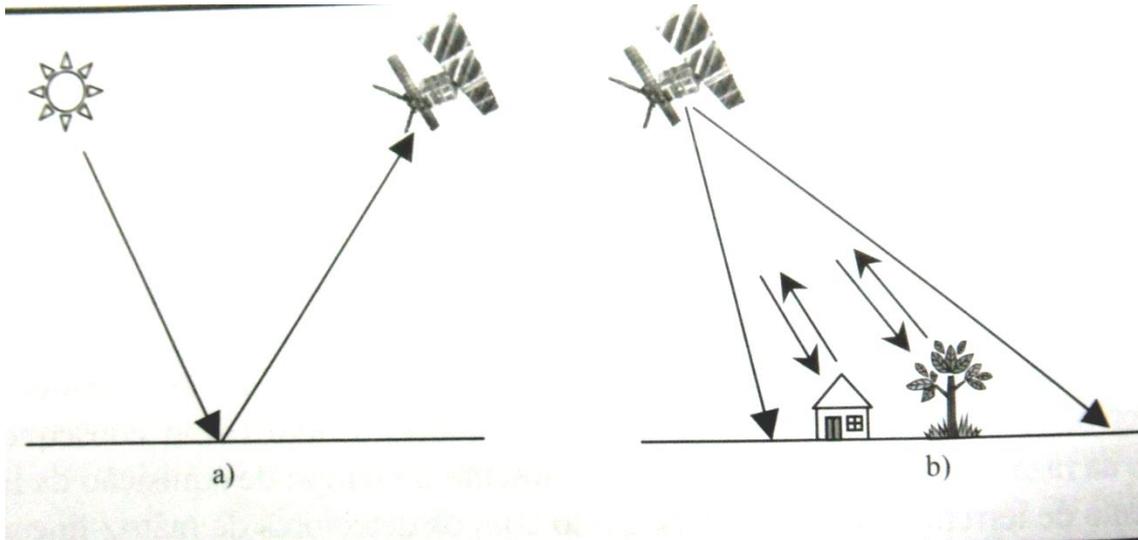


Figura 2.6 – Comparação entre sensores de microondas do tipo passivo (a) e activo (b) (adaptado de Fonseca e Fernandes, 2004).

2.3.1. Aquisição da imagem Radar

Pela sua importância na área das Ciências da Terra descreve-se agora com maior detalhe o funcionamento do sistema de RADAR. Este é constituído por um transmissor, um receptor, uma antena transceptora e um sistema de processamento electrónico de dados.

O sistema emissor do RADAR gera curtos pulsos sucessivos de microondas, a intervalos de tempo regulares, focados pela antena em um feixe (figura 2.7).

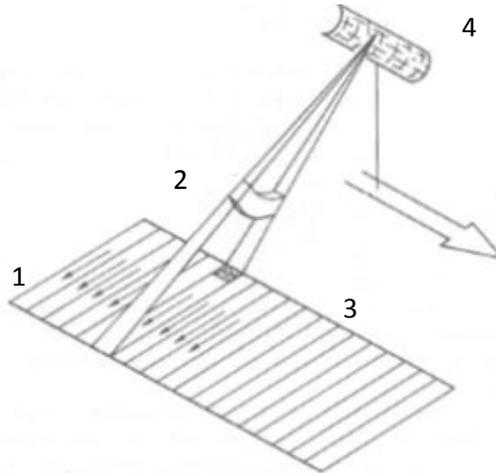


Figura 2.7 - Sistemas de obtenção de imagens RADAR: 1) direcção de varrimento, 2) pulso transmitido, 3) célula unitária de resolução, 4) antenas (adaptado Sabins, 1997).

A imagem Radar é construída há medida que a plataforma que integra o satélite avança, sendo que sucessivos pulsos são emitidos e recebidos pela antena. Os sistemas de Radar medem a distância e a potência recebida de pulsos emitidos pela antena, que se caracterizam por ondas electromagnéticas com comprimentos que variam de 1 metro (m) a 1milímetro (mm) (equivalente a frequências entre 3 GHz e 300 GHz).

A intensidade do sinal recebido pela antena RADAR varia em função do tipo de mecanismo de retro-reflexão, dependendo este do tipo de superfície que recebe o sinal vindo da antena (figura 2.8). Se a superfície for suave, originará um sinal de baixa intensidade; uma superfície rugosa dará origem a um sinal de intensidade média elevada; se for uma esquina ou canto dará origem a um sinal de intensidade muito elevada. As manchas de vegetação dão origem a sinais de intensidade média, com grande variabilidade espacial. (Venâncio, 2007)

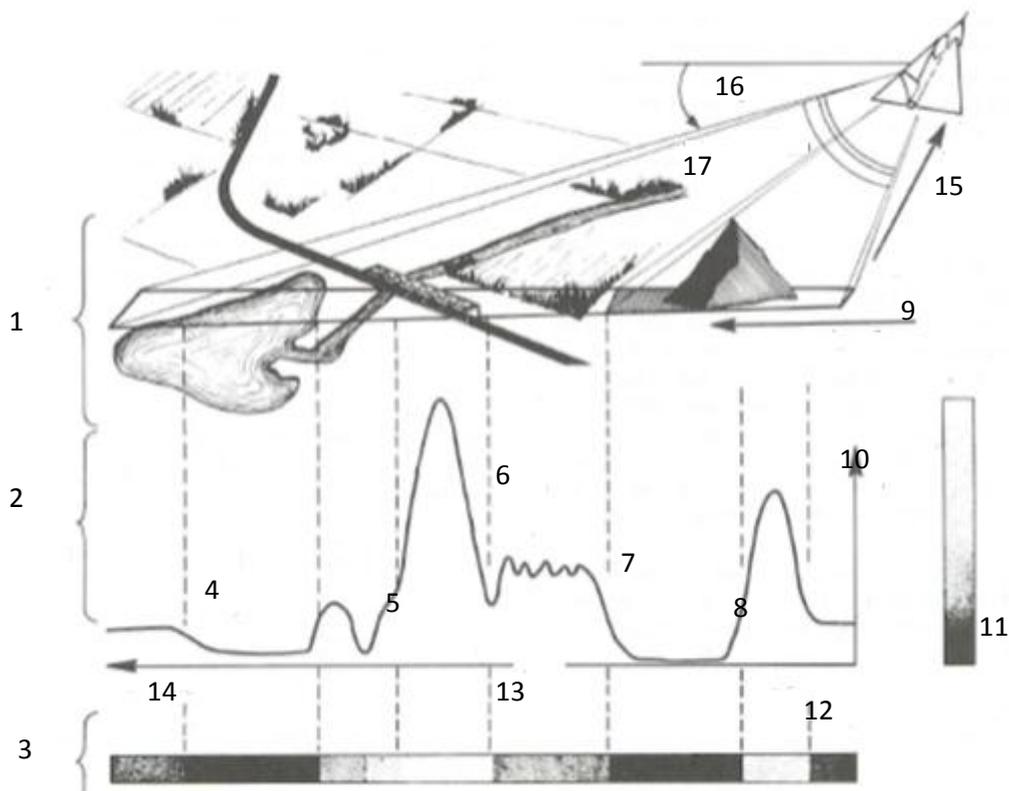


Figura 2.8 - Resposta do terreno a um impulso de microondas: 1) superfície, 2) assinatura de Radar, 3) tom de imagem, 4) superfície especular lisa, 5) reflectores de canto, 6) superfície difusa, 7) sombra, 8) pico de intensidade, 9) direcção de alcance, 10) intensidade de retorno, 11) escala de cinzas, 12) escala próxima, 13) tempo, 14) escala distante, 15) direcção do azimute, 16) ângulo de depressão, 17) pulso transmitido (Sabins, 1997)

A faixa de microondas correspondente ao espectro electromagnético é muito larga, comparada com o visível e o infravermelho. Por esta razão, individualizou-se o espectro em bandas com determinado comprimento de onda, às quais foi atribuída uma codificação específica; isto foi feito durante a II Guerra Mundial mas ainda é de uso comum. Assim, as bandas designam-se por ka, k, ku, usadas nos Radares mais antigos, banda C, usada em sistemas de investigação como o AIRSAR da NASA, o ERS-1, da Agência Espacial Europeia, o RADARSAT da Agência Espacial Canadiana, banda S, utilizada no satélite SEASAT da NASA, JERS-1 da Agência Espacial Japonesa e no sistema ALMAZ da ex-URSS, e ainda a banda P, utilizada nos sistemas experimentais aerotransportados da NASA (Fonseca e Fernandes, 2004).

As bandas em uso actualmente encontram-se resumidas na tabela 2.6.

Tabela 2.6: Comprimentos de onda e frequências de Radar utilizadas em aplicações de detecção remota (adaptado de Sabins, 1997).

Designação da banda	Comprimento de onda (cm)	Frequência (GHz)
K	0.8 - 2.4	40.0 - 12.5
X (3.0 cm)	2.4 - 3.8	12.5 - 8.0
C (6 cm)	3.8 - 7.5	8.0 - 4.0
S (8.0 cm, 12.6 cm)	7.5 - 15.0	4.0 - 2.0
L (23.5 cm, 25.0 cm)	15.0 - 30.0	2.0 - 1.0
P (68 cm)	30.0 - 100.0	1.0 - 0.3

A orientação do campo eléctrico é importante no processo de aquisição de imagens Radar. Neste sistema filtram-se os impulsos da energia electromagnética para que a vibração seja feita em apenas um plano - polarização (Venâncio, 2007).

Com o desenvolvimento tecnológico, passou-se a usar o SAR (*synthetic Aperture Radar*) que é o sistema de base actualmente em uso. O SAR foi a técnica que foi inventada para superar o problema da limitação do tamanho físico da antena, sintetizando numa antena virtual a partir do registro acumulado dos sinais de retorno e de ida de um objecto numa antena, no período em que a plataforma se desloca sobre uma região do terreno. Este sistema tira partido do efeito Doppler que altera as frequências do sinal recebido pelo facto de existir movimento relativo entre o transmissor e o receptor. Este efeito permite avaliar se o sinal recebido provém de alvos à frente do eixo do feixe Radar (Fonseca e Fernandes, 2004).

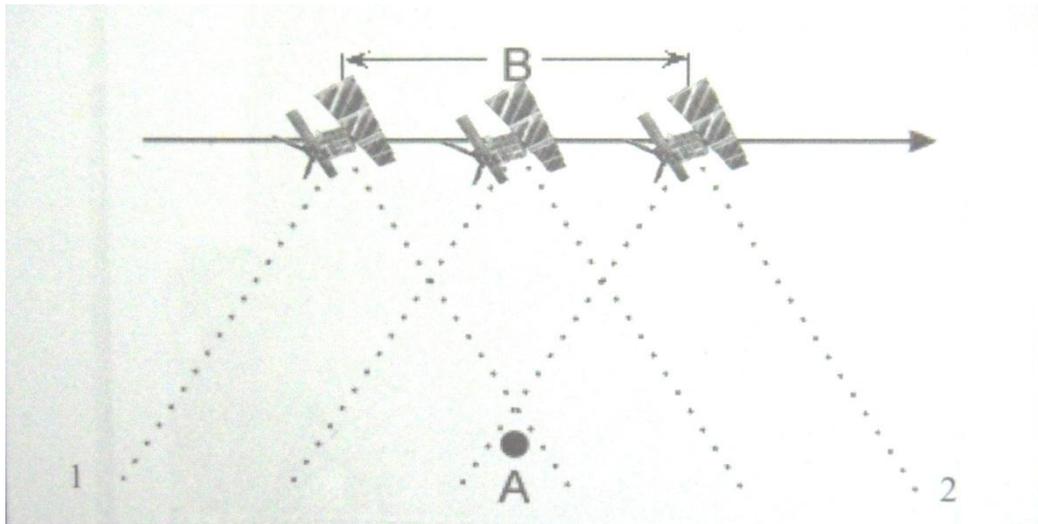


Figura 2.9 - Ilustração da aquisição de imagens SAR (Fonseca e Fernandes, 2004).

2.3.2. Distorções das imagens de Radar

A geometria de aquisição das imagens RADAR origina distorções geométricas nas referidas imagens. Estas distorções têm a ver com a geometria lateral de aquisição das imagens e com o facto de o Radar ser um dispositivo de medição de distâncias (Fonseca e Fernandes, 2004).

A figura 2.10 ilustra as distorções de escala na direcção do alcance, que ocorrem devido ao facto de o Radar medir a distância para os objectos alvos na direcção do alcance oblíquo e não a distância horizontal no terreno, tendo como resultado uma imagem de escala variável do alcance próximo para o alcance afastado (Fonseca e Fernandes, 2004).

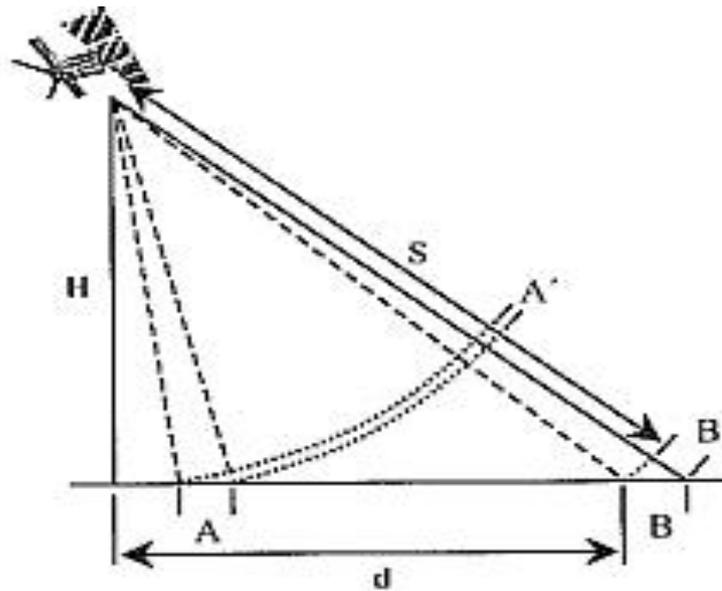


Figura 2.10 - Distorções de escala nos sistemas Radar (Fonseca e Fernandes, 2004)

As distâncias correctas no solo calculam-se a partir das distâncias obliquas e da altitude da plataforma, considerando um terreno plano. $d = \sqrt{S^2 - H^2}$, onde d é a distância no solo, H a altitude e S a distância obliqua (Fonseca e Fernandes, 2004).

As imagens de Radar também estão sujeitas as distorções geométricas devidas ao deslocamento do relevo no sentido do traço da órbita designando-se os seus efeitos por cavalgamento e encurtamento. (Venâncio, 2007)

O encurtamento (figura 2.11) ocorre quando o feixe de Radar atinge a base de um alvo que se desenvolve em altitudes, antes de atingir o seu topo.

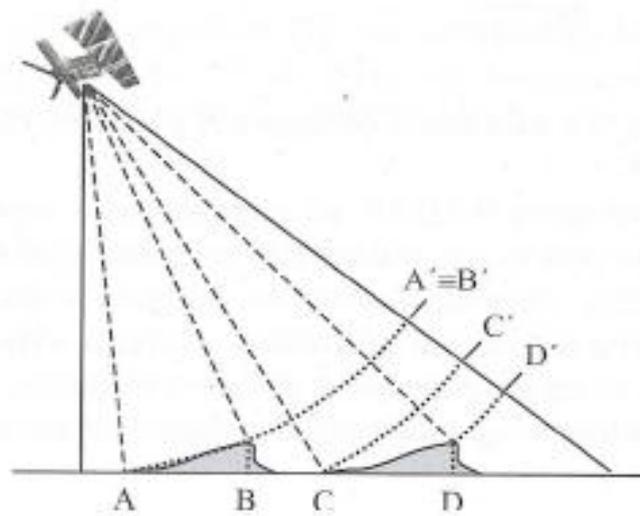


Figura 2.11 - Efeito de encurtamento nas imagens RADAR (Venâncio, 2007)

O cavalgamento (figura 2.12) ocorre quando o feixe de Radar atinge o topo de um objecto alvo alto, antes de atingir a base o sinal retro-reflectido do topo do objecto alvo é recebido antes do sinal de base, deslocado na direcção do Radar em relação a sua posição real.

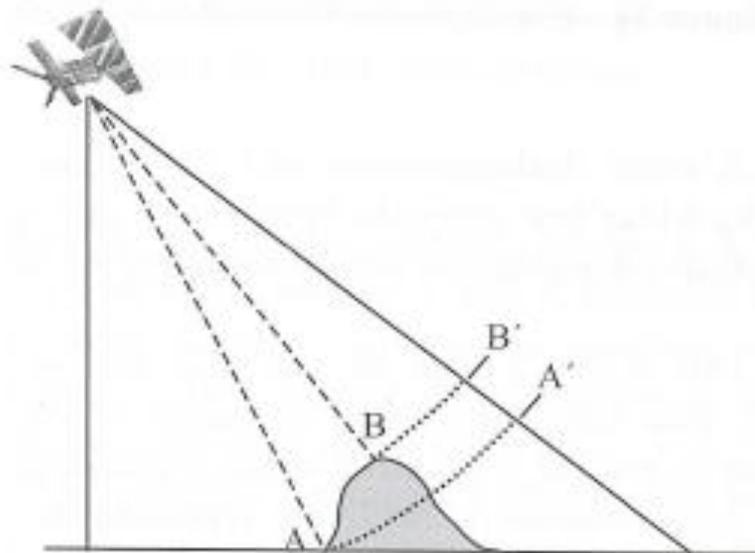


Figura 2.12 - Efeito do cavalgamento nas imagens RADAR (Venâncio, 2007)

O efeito sombra (figura 2.13), é outra das distorções associadas a imagens obtidas nestes sistemas, aparece quando o feixe de Radar não ilumina a superfície do solo. Por esta razão, as zonas não iluminadas pelo feixe aparecem com zonas escuras na imagem. (Venâncio, 2007)

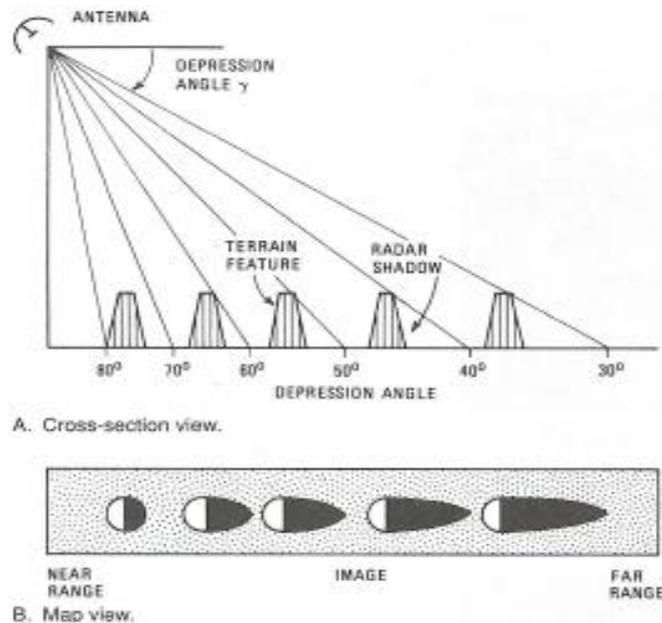


Figura 2.13 - Efeito sombra nas imagens Radar (Venâncio, 2007)

2.4. SRTM como exemplo de aplicação das técnicas de RADAR

As altitudes do terreno e a geração de modelos numéricos do terreno (MNT) são obtidas a partir da observação e análise de duas imagens de Radar de uma mesma zona, adquiridas pelo mesmo satélite em passagens sucessivas ou por duas antenas Radar simultaneamente. A aquisição destas imagens é realizada de três (3) maneiras diferentes e a técnica designa-se por interferometria Radar (Fonseca e Fernandes, 2004).

A missão *Shuttle Radar Topography Mission*, ou no acrónimo SRTM, decorreu em Fevereiro de 2000 durante uma missão de 11 dias do vaivém espacial Endeavour, em que foram adquiridas imagens de cerca de 80% da superfície terrestre a partir da técnica InSAR, cujo o objectivo era gerar um modelo numérico do terreno à escala global (<http://eros.usgs.gov>).

A técnica usada, designada por interferometria Radar, consiste no seguinte. Duas imagens de Radar são tomadas a partir de locais ligeiramente diferentes. As diferenças entre estas imagens permitem o cálculo de elevação da superfície (<http://eros.usgs.gov>).

O objectivo deste projecto foi o de produzir dados digitais topográficos em cerca de 80% da superfície terrestre (área geográfica definida entre as latitudes 60°Norte e 56°Sul), com pontos de dados localizados a aproximadamente 30 metros em latitude / longitude da grade. A precisão absoluta vertical dos dados de elevação será de 16 metros (com confiança de 90%).

Estes dados podem ser adaptados para atender às necessidades mais variadas da Sociedade, destacando-se, apenas como exemplo, o controle de enchentes, conservação do solo, reflorestação e monitorização de vulcões.

2.5. Processamento digital de imagens

2.5.1. Correção radiométrica e atmosférica

Jensen (1996) refere que a radiância medida por um sensor é função das características dos objectos, iluminação, condições atmosféricas, geometria da visão e características dos instrumentos de medição. Lillesand e Kiefer (2000) analisam a necessidade de correção dos efeitos perturbadores nas imagens e que esta correção deve ser ditada pelo problema em estudo. A energia emanada pelo Sol e captada pelo sensor, mesmo que contaminado pela atmosfera, é um sinal válido, ainda que inviabilize a medição dos valores espectrais reflectidos pelo terreno (Santos 2003). Porém, muitos investigadores, segundo Jensen (1996), consideram que os efeitos atmosféricos, como a absorção e dispersão, afectam a capacidade de extrair informação útil de dados de detecção remota e devem ser eliminados. Outros autores são da opinião que, dada a incapacidade de proceder a uma correção atmosférica satisfatória, a melhor opção é não realizar qualquer tipo de correção dos dados originais (e.g. Caetano, 1995).

As características da superfície observada e o tipo de estudo a efectuar condicionam a necessidade da correcção radiométrica dos dados, e ditam a sua maior ou menor complexidade. As correcções radiométricas em estudos uni-temporais (e.g., classificação digital de uma única imagem) que se realizem em áreas planas, podem incluir a remoção da radiância de percurso ou a conversão dos ND (número digital) para reflectâncias à superfície. Contudo, há autores que sugerem que sob estas condições, e quando os efeitos atmosféricos são homogéneos em toda a área, a melhor opção é não realizar qualquer tipo de correcção (e.g., Hill e Sturm, 1991, citado por Santos, 2003). Se a área for montanhosa, aos efeitos atmosféricos acrescentam-se os topográficos. Neste caso, a conversão para reflectâncias é mais exigente do que em áreas planas, requerendo: (1) utilização de modelos digitais de terreno para estimar a geometria da iluminação em cada pixel, (2) estimativa do factor de vista para o céu (factor *sky view*) para corrigir a irradiância difusa, e (3) aplicação de modelos que traduzam a radiância reflectida pela área dos pixels adjacentes (Caetano, 1995 referido por Santos, 2003). Deste modo, e uma vez que os efeitos devido à topografia nem sempre são facilmente modeláveis, aconselham-se correcções mais simples como, por exemplo, a transformação de bandas (e.g., índices de vegetação). Outra técnica alternativa é a utilização de dados auxiliares que permitem não a correcção, mas a introdução de informação adicional que permite compensar o erro topográfico (e.g., elevação, declive, exposição). Em estudos multi-temporais (e.g., detecção de alterações ou *change detection*), a correcção radiométrica é aplicada para tornar os valores de brilho comparáveis. Se estivermos numa área plana, pode-se retirar a radiância de percurso ou fazer a conversão dos ND para valores de reflectância à superfície (Santos 2003). Outra opção é a normalização temporal, que torna os efeitos perturbadores iguais entre imagens, em vez de os eliminar. Se a área for montanhosa, então propõe-se o uso de quocientes de bandas ou a utilização de modelos atmosféricos (Caetano, 1995). A introdução de dados auxiliares no processamento é também outra forma de minimizar os efeitos atmosféricos e o factor do SLC (*scan line corrector*) do sensor Landsat ter avariado e não ter sido possível retomar o seu funcionamento normal (landsat.usgs.gov/documents/L7SLCGapFilledMethod).

Segundo Kaufman (1984), se a atmosfera tiver um efeito uniforme nos dados pode concluir-se que é uniforme em toda a área de estudo. A energia electromagnética, ao atravessar a atmosfera, fica sujeita a efeitos de dispersão que actuam selectivamente em relação a determinados comprimentos de onda, fazendo-se sentir nas bandas que correspondem às gamas dos comprimentos de onda mais curtos (Gonçalves, 2003).

2.5.2. Correção do SLC – off do Landsat 7 ETM+

O sensor ETM+ a bordo do satélite Landsat 7 teve uma avaria em 31 de Maio de 2003 materializada numa falha do instrumento SLC (*scan line corrector*) que não funcionou mais desde essa altura. Este facto faz com as imagens geradas após esta data apresentem linhas de varrimento sem informação (pixéis sem dados sobre o ND).

A metodologia possível para correção do erro (*Mosaicking method*), ou seja para preencher os espaços sem informação, consiste na junção de duas imagens Landsat obtidas em alturas diferentes, desde que a imagem auxiliar não possua, nas mesmas áreas, as mesmas falhas da imagem que se quer corrigir e sejam adquiridas em alturas próximas (figura 2.14).

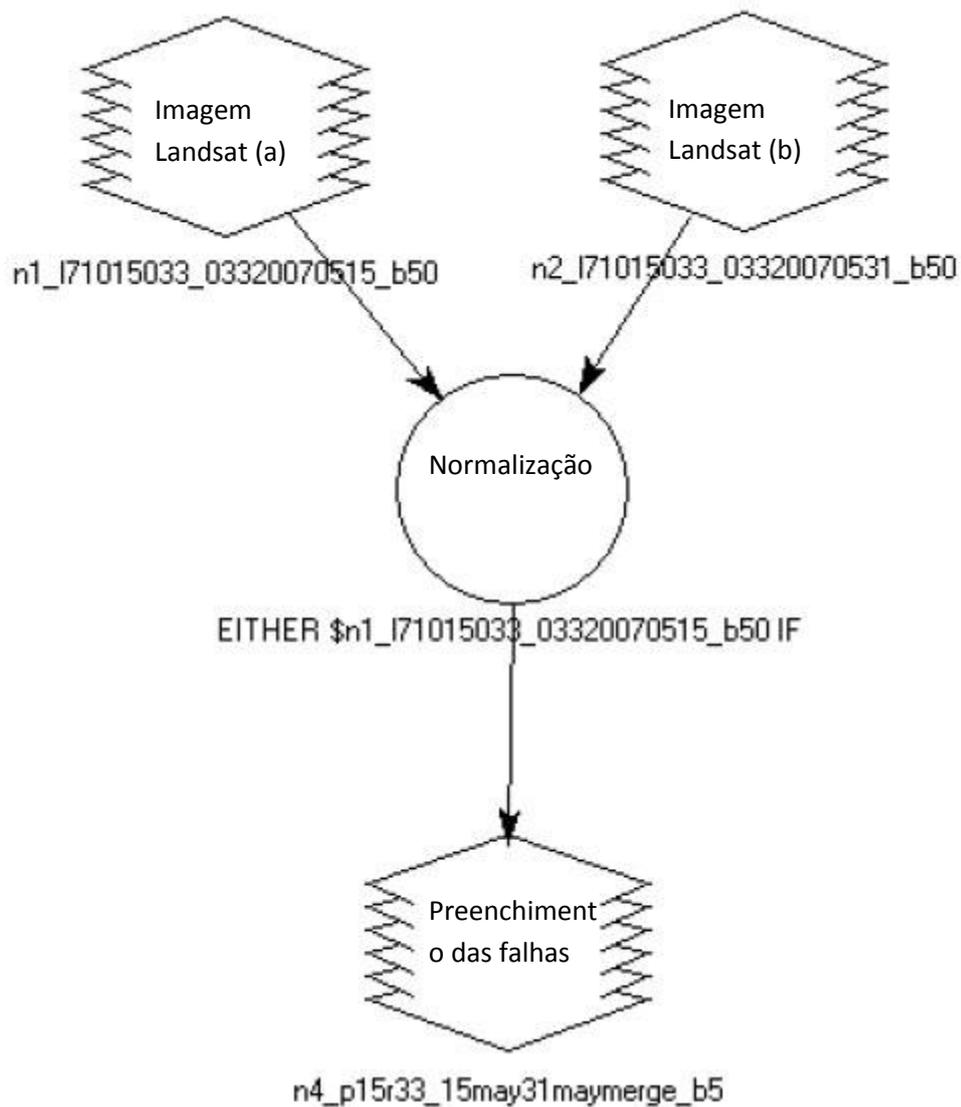


Figura 2.14 – Metodologia de preenchimento de falhas devidas ao SLC-off com o toolmaker do ERDAS IMAGINE (mosaicking method in <http://landsat.usgs.gov>)

2.5.3. Calibração da imagem Landsat 7 ETM+ (método GERM)

A calibração da imagem foi feita recorrendo ao método GERM (General Empirical Relation Model), que consiste na utilização de transformações lineares para dados de resolução espacial média (ver figura 2.15).

Este método é diferente do método físico de correcção atmosférica (Gao et al., 2008). Foi desenvolvido para correcção dos efeitos atmosféricos causados no ND (numero digital) para reflectâncias da superfície terrestre,

usando como referência os dados de reflectância da superfície do sensor MODIS (Gao et al, 2008). O método consiste numa abordagem de correcção atmosférica relativa, sendo, portanto, a correcção da reflectância de superfície numa reflectância tipo MODIS.

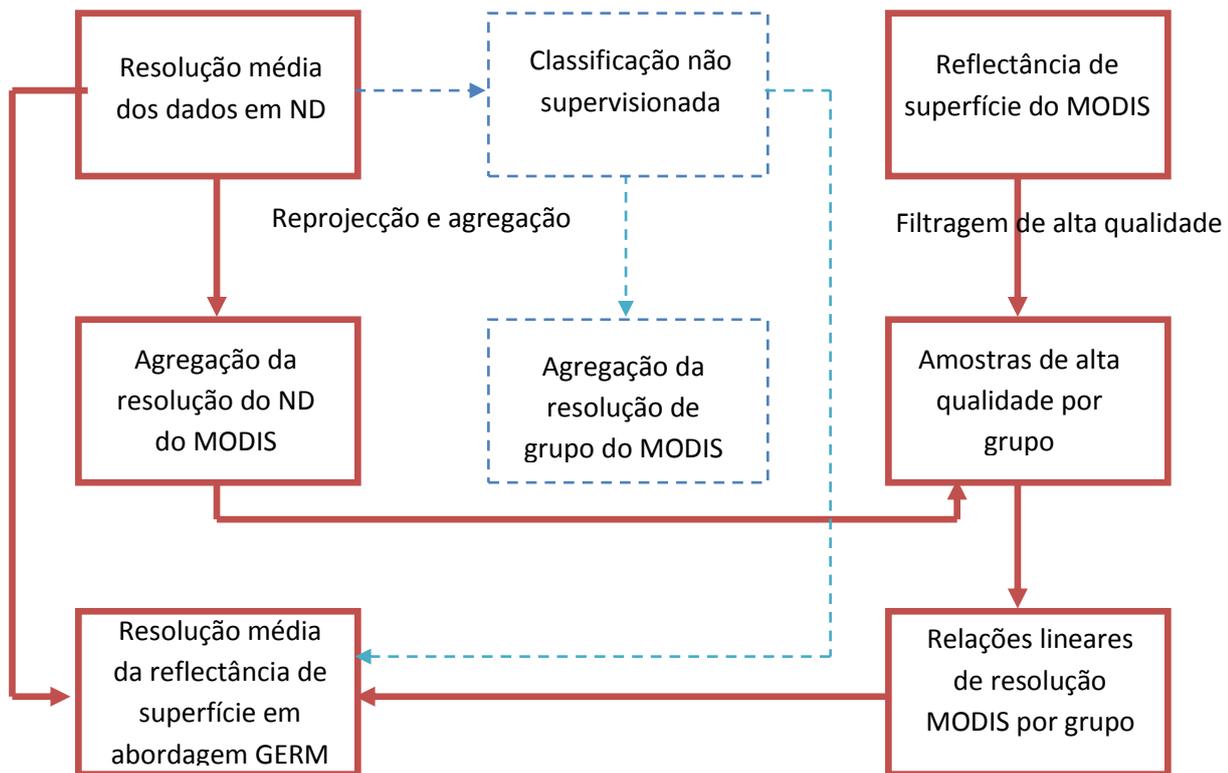


Figura. 2.15 - Processamento gráfico do fluxo da abordagem do GERM (Adaptado de Gao et al, 2008)

Os resultados obtidos nos estudos feitos por Gao et al (2008) pela aplicação deste método mostram que ele pode alcançar precisão semelhante à do método físico alternativo. O cuidado a ter consiste na utilização de imagens cujas datas de aquisição não se distanciem demasiado. Caso contrário será necessário proceder-se a um ajuste devido às mudanças na cobertura da superfície terrestre (Mantas et al, 2012).

2.5.4. Composições coloridas RGB

A composição colorida das imagens do sensor ETM+ consiste em casos mais comuns na selecção de bandas do espectro visível, infravermelho próximo e médio, possibilitando a identificação mais fácil dos principais eixos de variação que a imagem possui, tendo em conta o facto de que o olho humano adapta-se melhor as alterações de cores do que de tons cinzentos (Salinero, 2007).

A definição da melhor composição colorida pode ser feita através de várias técnicas, (como é exemplo o método da transformada RGB) com o propósito de combinar as várias bandas passíveis de serem utilizadas. O resultado desta combinação será uma imagem colorida onde estão representadas as 3 cores primárias, vermelho, verde e azul (sistema RGB, figura 2.16). O significado para cada uma das cores depende das bandas a utilizar. O resultado corresponderá à imagem natural se as cores forem equivalentes ao visível (e.g. B1, B2 e B3 do Landsat ETM+), caso contrário a imagem resultante designa-se imagem falsa-cor (Rabaça, 2001).

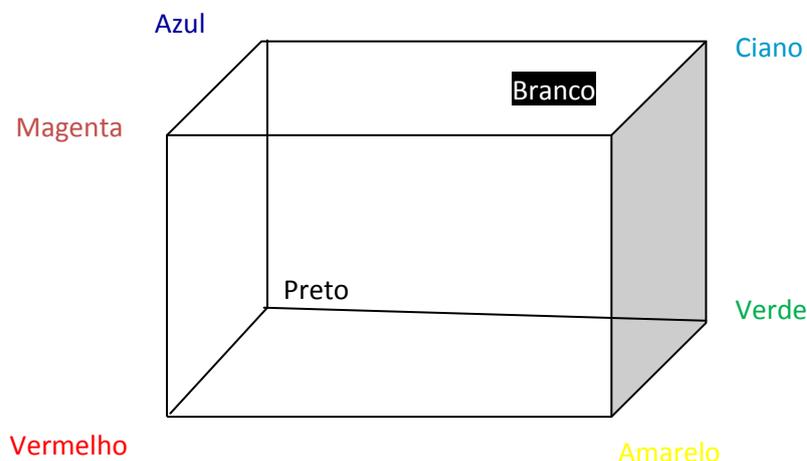


Figura 2.16 – Esquematização do sistema RGB (adaptado de Mather, 1993)

Uma das vantagens da utilização de imagens falsa cor centra-se no facto de que se pode a partir destas observar a informação contida nas bandas

fora do visível, usando apenas as 3 cores primárias, mitigando-se, assim, a falta de sensibilidade do olho humano para as bandas do infravermelho.

Vários autores (e.g. Sabin, 1997; Brum da Silveira, 2002; Perez, 2002; Rabaça et al., 2004; Silva et al., 2006) abordam o reconhecimento deste critério no reconhecimento de estruturas geológicas e identificação de lineamentos e cobertura da superfície.

Em diferentes composições coloridas o mesmo objecto pode visualizar-se de forma distinta, podendo ser mais visível ao olho humano numa composição relativamente às restantes. Assim, cada composição pode identificar tipos específicos de objectos devendo ser usada preferencialmente quando o objectivo for a detecção desses mesmos objectos. Na tabela ... sintetiza-se a informação que potencialmente poderá ser extraída de cada uma das composições assinaladas.

Tabela 2.7 - Composições coloridas e informação potencial que poderá ser extraída de cada uma delas (adaptado de <http://landsat.gsfc.nasa.gov/education>)

Composição RGB	Informação potencial
4 3 2	Composição falsa cor – a vegetação aparece em tons avermelhados, as áreas urbanas em azul ciano, os solos variam de preto para castanho claro, as nuvens são brancas e as árvores em vermelho escuro. Esta combinação é muito útil para estudos de cobertura vegetal, redes de drenagem e monitoramento do solo. As áreas urbanas densamente povoadas são mostradas em azul claro. A vegetação saudável (folhas largas) apresenta profundos tons vermelhos enquanto a vegetação dispersa ou áreas de pastagem tons avermelhados mais leves.
3 2 1	Composição cor natural – as características do solo aparecem em cores semelhantes a sua aparência para o sistema visual humano, a vegetação saudável é verde, a vegetação seca (não saudável) castanho e amarelo, as estradas em cinza e as linhas de costa a branco. Esta combinação é usada para estudos urbanos. Esta combinação tem limitação na distinção de água superficial e solo.
4 5 1	A vegetação saudável aparece em tons avermelhados, castanhos e amarelos, os solos em verdes ou castanhos, as características urbanas em branco e cinza, as áreas desmatadas em azul, a água límpida e profunda em preto (escuro) e a água superficial ou com sedimentos em azul mais claro. Esta combinação não é muito útil para análise de características culturais como estradas e pistas.

7 5 3	A vegetação aparece em tom verde-claro e escuro durante o período de crescimento, as características urbanas são brancas, cinzas, ou roxo, os solos, áreas e minerais aparecem em uma variedade de cores. As linhas de costa e água são bem definidas em azul-escuro ou preto. Os incêndios ou superfícies quentes aparecem em tons vermelhos ou amarelos. Esta composição é particularmente usada na monitorização de incêndios florestais.
5 4 3	Esta combinação oferece ao usuário uma grande quantidade de informação e contraste de cores, a vegetação saudável é verde brilhante e os solos malva. Possui grande aplicação para estudos agrícolas e estudos de vegetação. Grandemente usada em áreas de gestão de madeira e infestação de pragas.
7 5 4	Esta combinação não envolve faixas visíveis, fornece melhor penetração atmosférica. As linhas de costa são bem definidas e pode ser usada para encontrar características de textura e humidade do solo. A vegetação aparece em azul. Pode ser útil para estudos geológicos.

2.5.5. Índice de Vegetação NDVI

Um dos objectivos do cálculo do índice de vegetação nas imagens Landsat (razão entre bandas de uma mesma imagem) é o realce de aspectos que permitem diferenciar diferentes tipos e estados de vegetação, minimizando efeitos indesejáveis nas radiâncias do mesmo tipo de cobertura vegetal; estes podem resultar das diferentes formas de iluminação da superfície devido a sua topografia (Venâncio, 2007).

Os índices de vegetação são calculados por uma razão entre as bandas do infravermelho próximo e o vermelho do espectro visível; isto ocorre pelo facto de que a clorofila presente na vegetação saudável ter grande reflectância no intervalo do infravermelho próximo e baixa reflectância no intervalo do vermelho; por outro lado a vegetação morta apresenta reflectância equivalente nas duas bandas (Fonseca e Fernandes, 2004 referido por Holden, 2010).

Jordan, 1969, referido por (Holden, 2010), apresenta o índice RVI como o índice de vegetação mais calculado e dado por $RVI = TM4/TM3$ (banda do infravermelho próximo pela banda do vermelho visível).

O NDVI é o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada definido por Rouse et al (1973). O NDVI é dado pela razão:

$$NDVI = (TM4 - TM3)/(TM4+TM3)$$

A diferença entre este último e o RVI, é que varia de -1 a 1, enquanto o RVI varia de 0 a infinito. Estes dois índices têm basicamente a mesma funcionalidade e estão relacionadas pela seguinte equação:

$$\text{NDVI} = (\text{RVI} - 1) / (\text{RVI} + 1)$$

2.5.6. Classificação da imagem e validação

Os algoritmos de classificação constituem-se como um factor muito importante no processo de classificação de imagens de satélite para cartografia por DR. Existem actualmente uma série de algoritmos capazes de proporcionar classificação automática de imagens de satélite, podendo ser assistidos ou não assistidos.

Os algoritmos assistidos são os mais usuais e neste tipo de processo é necessária a recolha de um conjunto de amostras treino numa fase que precede a classificação. O conjunto de amostras treino deve ser representativo da classe que procuram representar, caso contrário a classificação não dará bons resultados. Os algoritmos de classificação não assistida não dispõem deste conjunto de dados de teste, funcionando directamente sobre os dados originais e criando clusters que representam um conjunto de dados com iguais características espectrais. Este tipo de abordagem é dependente dos parâmetros seleccionados e da capacidade de os dados originais em detectar as diferentes assinaturas espectrais (Capão, 2007).

Na figura 2.17 ilustra-se de forma esquemática o processo de extrair informação em imagens para reconhecer os padrões e objectos homogéneos, sendo utilizada em DR com a finalidade de mapear áreas da superfície terrestre que correspondem aos temas de interesse do estudo.

Para se verificar a validade da classificação utiliza-se uma matriz de confusão (figura 2.18) que faz a análise entre a classificação digital efectuada e uma imagem referência (vector ou raster). A matriz de confusão de uma hipótese *h* oferece uma medida efectiva do modelo de classificação, ao mostrar

o número de classificações correctas ou experimentais versus as classificações previstas para cada classe, sobre um conjunto de exemplos.

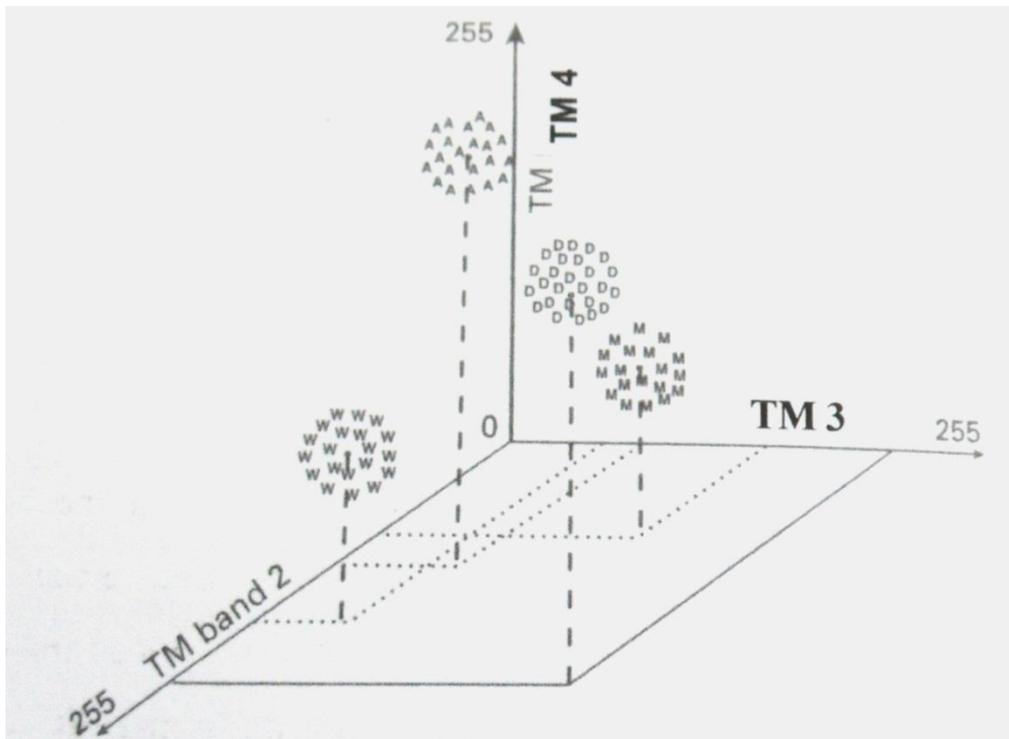


Figura 2.17 – Representação tridimensional do conceito de classificação digital (Sabins, 1996)

$$M(C_i, C_j) = \sum_{\{ \forall (x,y) \in T : y = C_i \}} \| h(x) = C_j \|$$

Classe	predita C_1	predita C_2	...	predita C_k
verdadeira C_1	$M(C_1, C_1)$	$M(C_1, C_2)$...	$M(C_1, C_k)$
verdadeira C_2	$M(C_2, C_1)$	$M(C_2, C_2)$...	$M(C_2, C_k)$
⋮	⋮	⋮	⋱	⋮
verdadeira C_k	$M(C_k, C_1)$	$M(C_k, C_2)$...	$M(C_k, C_k)$

Figura 2.18 – Matriz de confusão (adaptado de Fonseca e Fernandes, 2004)

O número de acertos, para cada classe, localiza-se na diagonal principal $M (C_i, C_i)$ da matriz; Os demais elementos $M (C_i, C_j)$, para $i \neq j$, representam erros na classificação. A matriz de confusão de um classificador ideal possui todos esses elementos iguais a zero uma vez que ele não comete erros. A partir dos resultados da matriz de confusão pode-se verificar em percentagem a aproximação da classificação a imagem de referência, dando assim uma percepção da sua precisão (Fonseca e Fernandes, 2004).

2.6. Métodos de extracção selectiva de informação

A extracção de informação em imagens de satélite depende de aspectos relacionados com os dispositivos usados para a captura da referida imagem, a altura em que foi adquirida entre outros factores. Assim procurou-se realizar uma abordagem acerca de algumas técnicas e metodologias usadas na extracção de informação temática nestas imagens.

Um dos aspectos importantes a analisar num estudo de cartografia temática por DR quer seja de ocupação do solo, coberto vegetal ou geológica, prende-se com o número de imagens disponíveis para análise. Existem várias abordagens para extracção da informação temática necessária, destacando-se a análise uni e multi-temporal e a estratégia uni e multi-sensor.

A análise uni-temporal baseia-se no uso de apenas uma imagem da respectiva região de estudo e a multi-temporal no uso de várias imagens da mesma região num determinado período.

Baseando o estudo numa abordagem multi-temporal é possível utilizar as técnicas de DR para fazer previsão, monitorização e avaliação de vários fenómenos como desastres ambientais (Domenikiotis et al., 2003), analisar a extensão e desenvolvimento de culturas (Motta et al., 2003), ou ainda diferenciar espécies agrícolas (Uchida, 2001). Para o estudo da vegetação a análise multi-temporal permite resolver a restrição associada à complexidade da estrutura e variação do padrão que afectam a reflectância espectral e a configuração geométrica da superfície de ocupação (Uchida, 2001).

O satélite Landsat tem sido bastante utilizado em estudos de cartografia automática, com bastantes vantagens associadas à própria DR e às características do satélite para estudos à escala regional. As desvantagens a ele associadas prendem-se com o facto de que possui apenas uma resolução temporal de 16 dias, que para certos estudos dificulta, por exemplo, o estabelecimento de perfis de ocupação de solo, só possíveis através de análise de várias imagens num ano. Estas desvantagens levam a que normalmente no estudo de determinadas regiões se utilize apenas uma imagem Landsat originando grandes dificuldades na distinção de algumas classes de ocupação do solo. Por exemplo, se uma imagem é adquirida no Verão, é bastante difícil distinguir o solo sem vegetação das áreas urbanizadas, ou distinguir entre solos com utilização agrícola de sequeiro e regadio.

Outra abordagem estratégica tem a ver com o número de sensores que podem ser utilizados na produção de cartografia temática por DR. A utilização de vários sensores para produção de cartografia de ocupação de solo estará relacionada com o conceito de dados auxiliares, podendo considerar-se um sensor principal aquele que fornece a imagem (ou imagens) da área de estudo e outro sensor com uma imagem (associada a determinadas características relevantes) que poderá servir para melhorar a classificação final. O mapa final pode resultar da análise de imagens provenientes de um mesmo sensor (uni-sensor) ou da combinação de imagens de diferentes características provenientes de diferentes sensores denominada multi-sensor (Caetano, 2004).

Boegh et al. (2003) utilizaram dados provenientes dos satélites Landsat e Spot (de maior resolução), para construir relações empíricas entre medidas espectrais e dados de campo, tendo obtido resultados eficientes na modelação de fluxos de CO₂ numa cultura de milho. Doraiswamy et al. (2003) realizaram a integração dos sensores MODIS e Landsat com resultados aceitáveis em relação à compatibilidade no estudo multi-escala de duas culturas agrícolas.

Outra técnica para extracção de informação temática tem a ver com a definição da nomenclatura, que deve ter uma organização definida, tal como uma definição taxonomicamente correcta das classes de informação.

Caetano (2004) refere que o sucesso de um projecto de cartografia depende da escolha das classes de ocupação ou uso do solo. Em regiões de escala nacional ou regional podem ser adaptadas nomenclaturas em termos de definições. Capão (2007) exemplifica que é bastante difícil identificar determinadas classes de ocupação de solo numa imagem de satélite de média resolução para uma região muito fragmentada sob ponto de vista de estrutura da paisagem. Refere também que uma nomenclatura muito generalista não é indicada para cartografia de regiões com recurso a imagens de satélite de alta resolução.

A nomenclatura deve ser escolhida tendo em conta o tipo de análise a efectuar, a resolução de imagem, estratégia uni ou multi-temporal, heterogeneidade paisagística da região a cartografar ou área envolvida (Capão, 2007).

Caetano (2004) dá exemplos de algumas nomenclaturas mais utilizadas actualmente, tais como a do CLC2000, a da Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) ou da IGBP.

2.7. Exemplos de aplicação em cartografia temática

2.7.1 Geologia

As imagens de DR são uma grande valia no que toca a visualização de fenómenos geológicos a escala global, numa perspectiva diferente da que se tem, ao recolher informação no terreno, permitindo a redução de horas de trabalho no campo.

Para a geologia as imagens de DR podem ser usadas para trabalhos de cartografia de unidades geológicas, identificando os diferentes tipos de rochas e a litologia através da análise de composições coloridas de imagens de DR,

possibilitando a elaboração de mapas regionais de unidades geológicas (Fonseca e Fernandes, 2004).

As imagens de DR são também usadas para cartografia estrutural (e.g. falhas, juntas, dobras, lineamentos), reduzindo o número de horas de trabalho de campo e acesso a terrenos difíceis.

A cartografia geológica permite servir de base à cartografia ao ordenamento territorial de uma região através da elaboração e análise de mapas adequados Para Africa, em geral, e Angola, em particular, o uso de técnicas de DR constitui mais-valia, pois permite obter informação sobre uma vasta área territorial onde nem sempre é possível chegar, devido a existência de minas e poucas vias de acesso.

2.7.2 Coberto vegetal

A dinâmica das variações da cobertura vegetal dos solo, tem sido uma das dificuldades quando se quer caracterizar determinada região, com vista a sua melhor utilização. As variações sazonais e a sua influência nas culturas agrícolas, bem como a conveniente distribuição de áreas de cultivo com vista a sua monitorização, têm sido analisadas a partir de imagens de satélite e processadas por técnicas de DR.

As imagens orbitais são utilizadas também ca cartografia de florestas, para avaliação das propriedades físicas dos solos, cartografia e classificação de campos agrícolas, diferenciação de espécies florestais, gestão de florestas, controle de desflorestação, monitorização do crescimento das zonas florestais (Fonseca e Fernandes, 2004).

Angola é um país em franco crescimento, quer industrial como populacional, pelo que os investimentos a serem feitos têm que ter em conta a protecção de zonas ambientais, bem como a preocupação com aspectos de conservação e conveniente ordenamento do território. Assim o mapeamento de zonas para o cultivo, bem como do tipo de culturas e sua respectiva

distribuição no território, a gestão e elaboração de estatísticas agrícolas, com vista a manutenção de sistemas de rotatividade de culturas, avaliação da produtividade e inventário de espécies florestais deve ser uma preocupação dos governos e não só.

A DR oferece um meio eficiente e fiável de adquirir a informação, além de fornecer numa visão sinóptica técnicas para análise desta informação. A reflectância espectral de um campo cultivado, zona de floresta densa ou pouco densa, varia em função do estado do crescimento e pode ser medido por sensores multiespectrais (Fonseca e Fernandes, 2004).

As investigações destinadas a otimizar sistemas de Radar, a bordo da plataforma RADARSAT-2 permitiram avaliar que a interacção entre o sinal polarizado verticalmente e a vegetação fornecendo um bom contraste entre tipos de culturas que tem vegetação com estruturas diferentes. Têm sido também desenvolvidos projectos europeus de monitorização de florestas usando a DR, tais como o FMERS (1997 e 1999), cujo objectivo foi quantificar as diferenças entre a utilização de imagens de media e alta resolução para cartografar e estimar a área de diferentes tipos de floresta, identificando potenciais e limitações das imagens de DR. No âmbito do projecto CIRSTEN, foi provado que as imagens de Radar dos satélites ERS-1 e 2 de Janeiro de 2000, serviram para avaliar os estragos ocorridos nas florestas suíças devido ao furacão Lothar em Dezembro de 1999 e mostrar a eficiência destas imagens neste tipo de aplicações e não só (Fonseca e Fernandes, 2004)

2.7.3. Ocupação do solo

A caracterização do território de acordo com a sua dimensão funcional ou utilização socioeconómica permite diferenciar e definir as unidades de ocupação do solo em zonas agrícolas, florestais, naturais ou seminaturais, húmidas, massas de água, resultantes da diferenciação da utilização dada a uma respectiva parcela de terra (e.g. residencial, industrial, recreativa, florestal ou agrícola), muitas vezes condicionada por fenómenos naturais como fogos

ou inundações, fenómenos humanos como a desmatagem, reflorestação, urbanização (Bandeira, 2007).

A cartografia de ocupação do solo permite-nos analisar as alterações do território ao longo dos anos, possibilitando a elaboração de planos urbanísticos e ambientais, com vista ao melhor uso do território.

As alterações em uma parcela do território de uma determinada região permitem afirmar que as classes ou unidades de alteração do solo, apenas são validas em um dado período de tempo (Bandeira, 2007).

Segundo JARS (1996), a identificação das classes de ocupação do solo num dado período de tempo e para uma localização espacial, resulta essencialmente da aplicação de vários métodos científicos ou estatísticos para classificação de dados ou informação de base.

A cartografia de ocupação do solo, recorre a recursos como inventários e trabalhos de campo, recenseamentos estatísticos gerais e agrícolas, fotografias aéreas ou imagens de satélite. A nomenclatura a utilizar, o número de classes ou unidades de ocupação e a unidade mínima cartografada, irão condicionar a escala de publicação dos dados (e.g. escala global, regional ou local) (Bandeira, 2007).

A publicação de dados para caracterizar a ocupação do solo, está associada à cartografia de escalas pequenas com cobertura de grandes áreas. A caracterização da ocupação do solo à escala local, resulta de dados cuja escala apresenta grande detalhe. O seu grau de actualização varia consoante se trate de caracterizar o solo em áreas urbanas ou rurais, dependendo da disponibilidade da informação de base e de custo de execução. Os dados daí resultantes são utilizados com fins de planeamento urbano, gestão de recursos naturais ou avaliação de impactes ambientais ou ainda operações de emergência (e.g. protecção civil).

A DR é uma das fontes actualizadas de dados para caracterização da ocupação do solo. Para áreas relativamente vastas, as imagens de satélite

apresentam vantagens em relação ao preço de aquisição da informação e frequência de disponibilidade de dados relativos a outras fontes. As imagens de satélite usadas na caracterização da ocupação do solo apresentam também vantagens relacionadas ao conjunto total dos processos de aquisição, processamento, análise e publicação de resultados.

Os sensores Landsat e SPOT-HRV, apresentam uma resolução espacial grande e adequada para caracterização da ocupação do solo no nível regional e tem sido amplamente utilizados para projectos e estudos em todo globo terrestre (Bandeira, 2007). Actualmente existe uma série de sensores utilizados para cartografia de ocupação do solo de pormenor (e.g. MODIS, MERIS, AVHRR, IKONOS, QUICK BIRD). A disponibilização gratuita das imagens e as características em termos de resolução espectral, espacial e temporal dos diferentes sensores é um factor preponderante na escolha de qual utilizar para referido projecto.

Em África e especialmente em Angola, devido a vasta extensão territorial e as dificuldades de acesso e face ao grande crescimento populacional e industrial, a caracterização da ocupação do solo e a definição de políticas de gestão do território tem sido um desafio dos diferentes governos.

3. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA ÁREA DE ESTUDO

A área onde se realizou o presente estudo situa-se na região do Lobito, Província de Benguela, Republica de Angola (Figura 3.1). Está localizada a leste do Município do Lobito e é abrangida pelas folhas 227/228 da carta geológica de Angola, à escala 1:100.000 (Galvão e Silva, 1972).

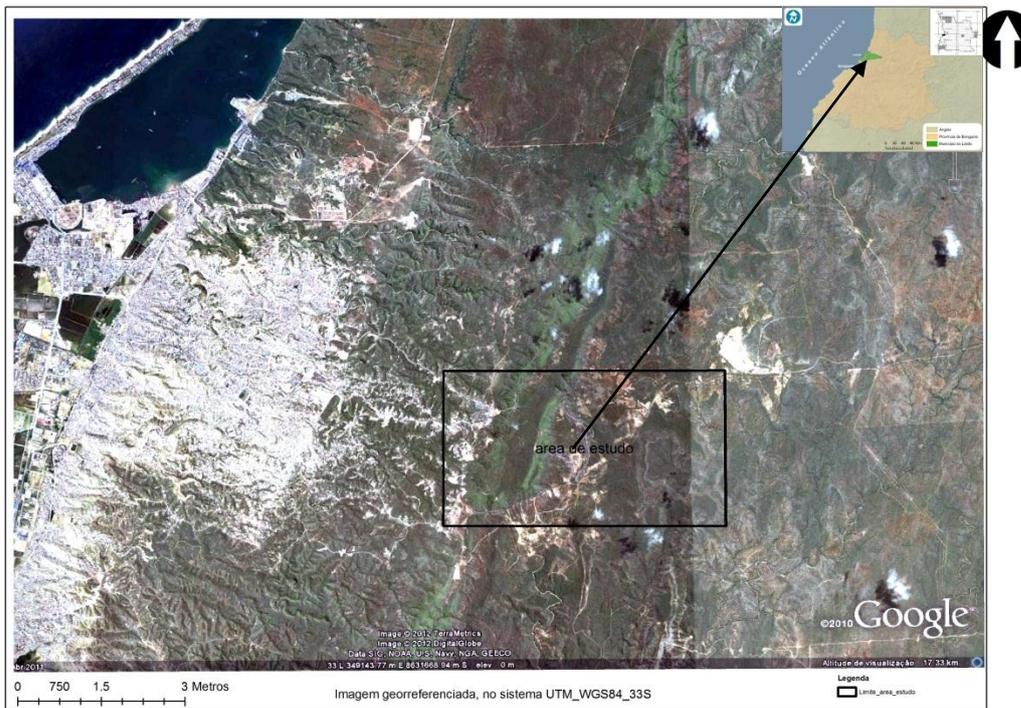


Figura 3.1 – Localização da área de estudo (imagem extraída do *Google Earth*).

O Município do Lobito localiza-se na região Centro-Oeste do território angolano, na parte noroeste (NW) da província de Benguela, entre as coordenadas de 12° 29' 08" Sul e 13° 35' 0,6" Oeste. Com uma extensão de 3.685 km², representa cerca de 9,25% da Província de Benguela. Dista cerca de 540 km da capital do País, Luanda, e 33 Km da cidade de Benguela, sede da Província. Contacta, a Norte, com a Província do Kwanza Sul, a Este com o Município do Bocoio, a Sul e Sudeste com o Município de Benguela e a Oeste com o Oceano Atlântico.

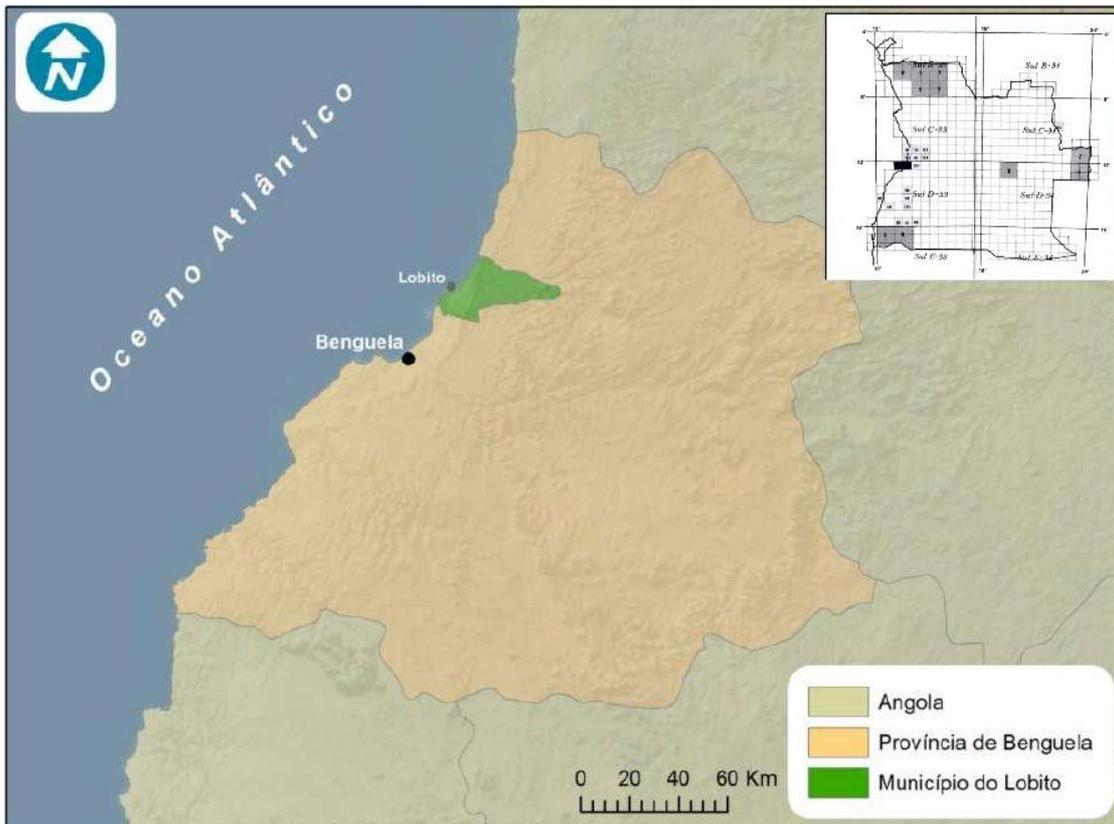


Figura 3.2 – Localização do Município do Lobito (imagem composta através do *Google Maps*)

3.1. Enquadramento Geomorfológico

O relevo característico da zona de estudo é o resultado da interacção de vários factores, salientando-se a natureza geológica e a evolução tectónica regional e local, o clima e os processos erosivos (Techno exportstrov, 1990). Está dividido em duas partes: o relevo baixo plano e o relevo alto a muito alto escarpado.

Segundo Marques (1977) a geomorfologia de Angola esta dividida em 7 grandes grupos (Figura 3.3a), dos quais destacamos o grupo VII (orla litoral) e o grupo III (zona de transição) definidos para a região de Benguela (ver boletim de minas v44 n°2 p99). Por outro lado, Diniz (1998) classifica a geomorfologia de Angola em 11 grupos (Figura 3.3b), mas os dois autores convergem nas ideias quanto à região de Benguela onde está localizado o Município do Lobito, região onde foi realizado o presente estudo. Para esta região definem a faixa litoranea (Diniz, 1998) ou orla litoral (Marques1977) e a zona de transição (Marques, 1977) ou faixa subplanáltica (Diniz, 1998).

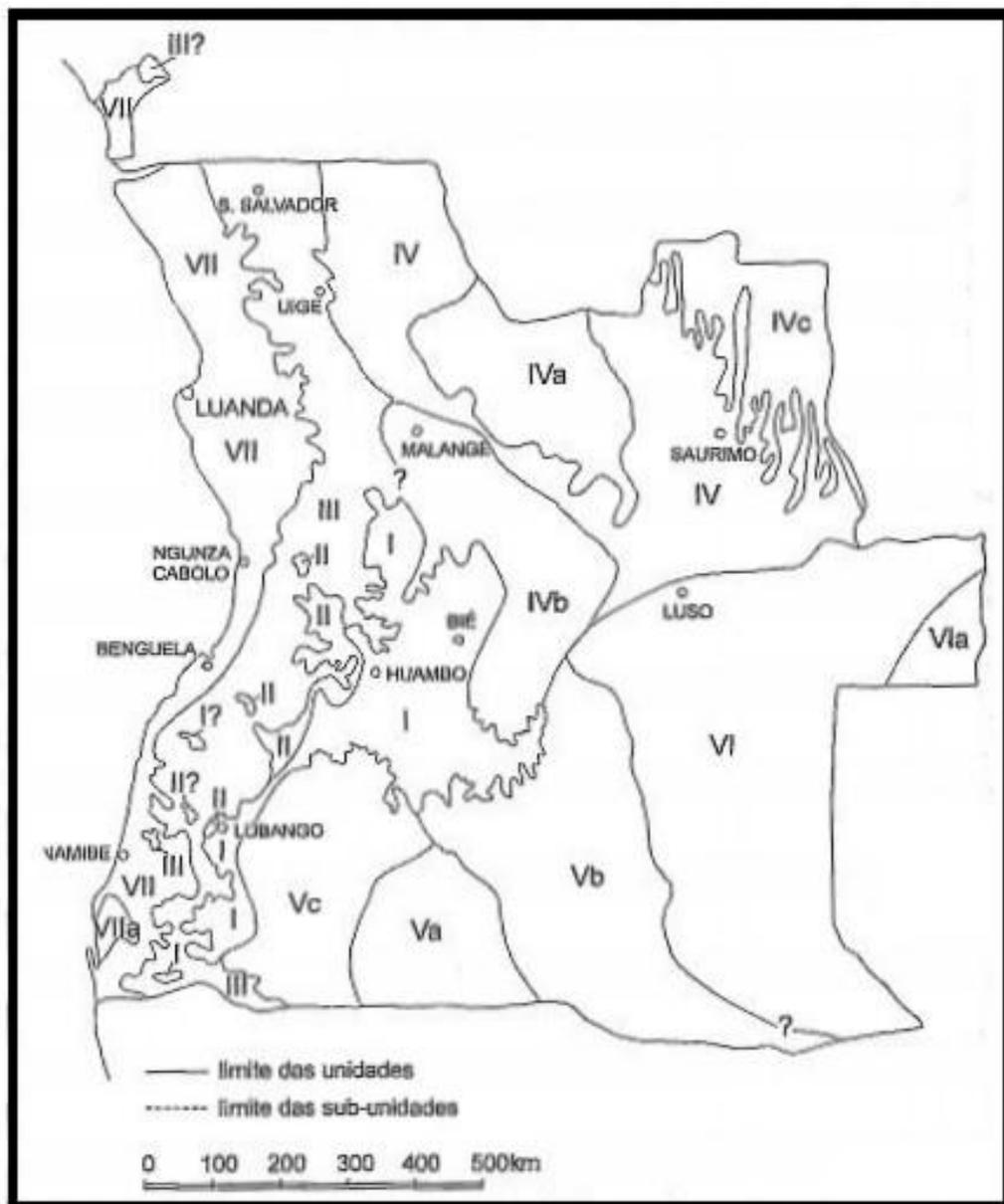


Figura 3.3a – Carta geomorfológica de Angola segundo Marques (1977). II-Planato antigo; II-Cadeia Marginal de Montanhas; III-Zona de Transição; IV-Orla Meridional da Bacia do Congo (a. Depressão de Cassinga; b. Depressão de Cuanxa-Luanda; c. Depressão do Cassai); V-Orla Setentrional da Bacia do Calaari (a. Depressão endorreica do Cuvelai-Lueque; b. Bacia do Cubango; c. Depressão do Cunene); VI-Bacia do Zambeze (a. Maciço do Alto Zambeze); VII-Orla Litoral (a. Deserto de Moçamedes).

plataformas salientes delimitadas por escarpas, degraus e serranias, com cumes a atingirem cotas de 1000 m de altitude (Marques, 1977; Diniz, 1998).

- Orla litoral ou faixa litorânea: este grupo ocupa uma faixa com uma largura entre os 100 km e os 200 km. Exibe uma aplanção recente que é consequência de uma abrasão marinha, a oeste, e ao recuo da escarpa litoral, a leste. As suas altitudes medias situam-se na ordem dos 150 m a 250 m. No interior, em alguns locais, chega a ultrapassar os 300 m, decaindo suavemente para o litoral numa arriba marinha que marca desníveis na ordem dos 100m aos 150 m. A descontinuidade desta plataforma deve-se à acção do curso dos rios que abrem vales largos e profundos, desenhando extensas planícies fluviais (Marques, 1977 e Diniz, 1998).

A área de estudo situa-se no grupo VII (orla litoral) e estendendo-se até a Zona de transição (grupo III).

3.2. Enquadramento Geológico

3.2.1. Geologia Regional

Considerando as folhas 227/228 da carta Geológica de Angola (escala 1/100000) e carta geologica da Bacia de Benguela (Buta-Neto et al, 2006), a área estudada possui uma geologia distinta, constituída por formações geológicas cuja idade se estende do Pré-câmbrico ao Cenozoico. De oeste para este, sucedem-se três zonas distintas, grosseiramente paralelas entre si: i) faixa litoral (sedimentar); ii) Complexo Metamórfico; iii) granitos (ver figura 3.4).

Aplicação de técnicas da detecção remota à cartografia temática: o caso da região do Lobito (Angola)

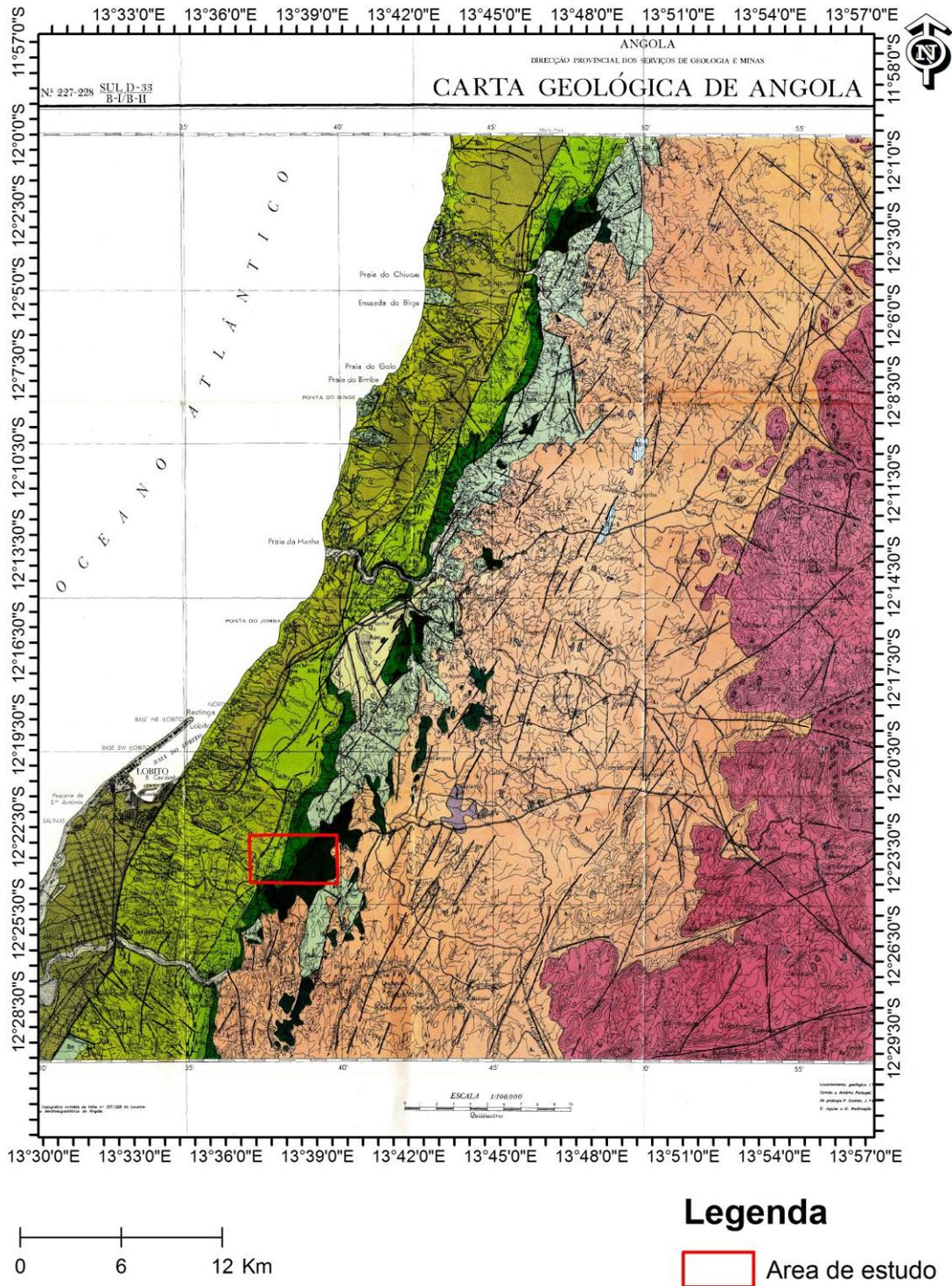


Figura 3.4a – Legenda da carta geológica do Lobito à escala 1/100.000 (adaptado de Galvão e Silva, 1972). O quadrado a vermelho limita a área de estudo.

Aplicação de técnicas da detecção remota à cartografia temática: o caso da região do Lobito (Angola)

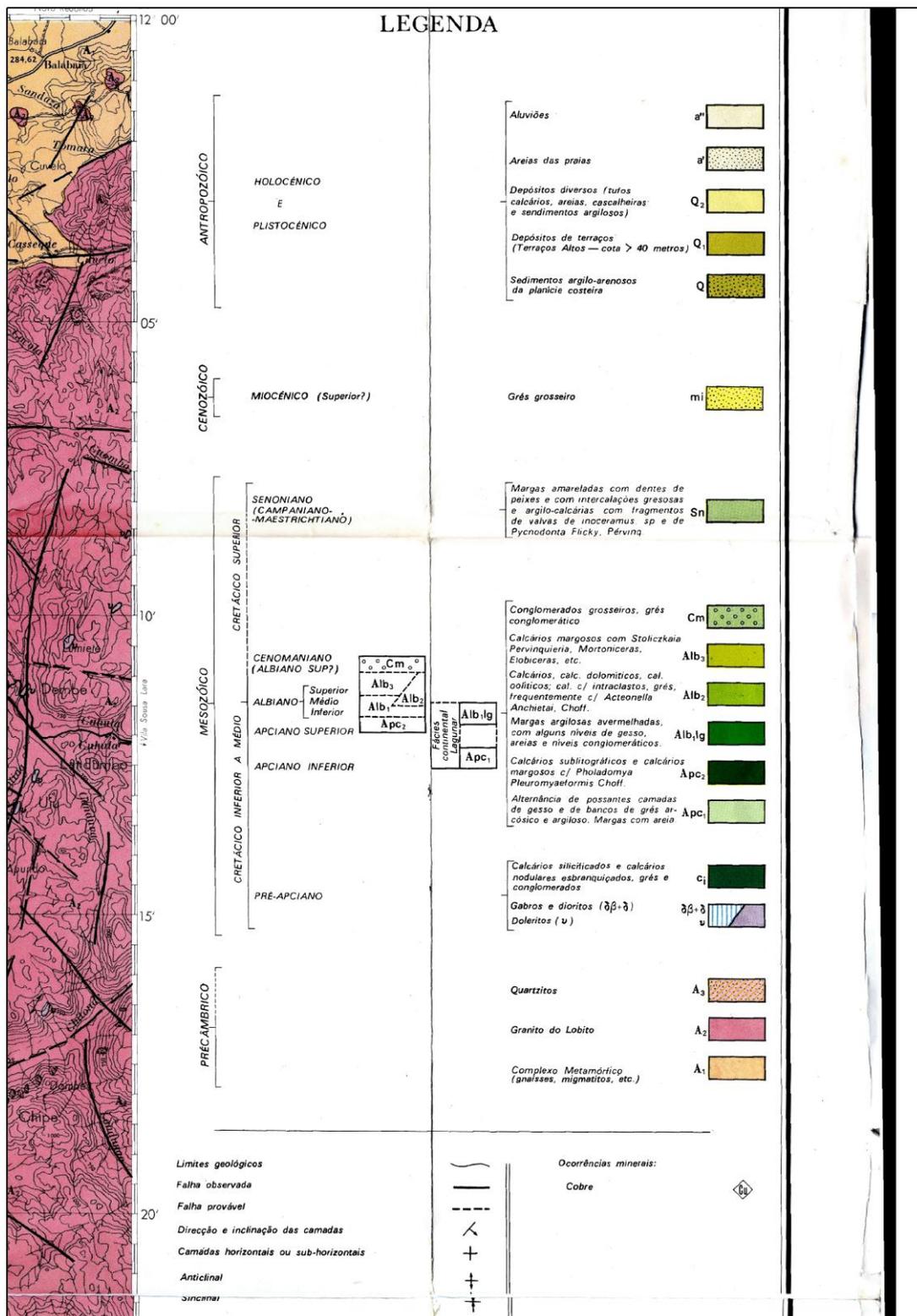


Figura 3.4b – Legenda da carta geológica do Lobito à escala 1/100.000 (adaptado de Galvão e Silva, 1972).

i) A primeira zona, a “Faixa Litoral”, estende-se paralelamente à linha de costa e possui cotas superiores a 120 metros. É maioritariamente composta por rochas sedimentares com orientações N-S, onde se destacam as formações carbonatadas, as siliciclásticas e as evaporíticas, com idades compreendidas desde o Cretácico (Apciano) ao Holocénico. Corresponde ao sector emerso da Bacia de Benguela, uma das bacias sedimentares localizadas no litoral angolano, possuidora de um registo estratigráfico bem definido, que está relacionado com a abertura da margem atlântica a partir do Cretácico Inferior. Brognon e Venier (1966) referem o facto de que a Bacia de Benguela (figura 3.5) é parte integrante da grande Bacia do Kwanza. No entanto, autores como Buta Neto et al, (2006), Tavares, (2006), Tavares et al, (2006), Guirand et al, (2010), consideram-na como uma unidade independente, embora com registo estratigráfico semelhante e equivalente.

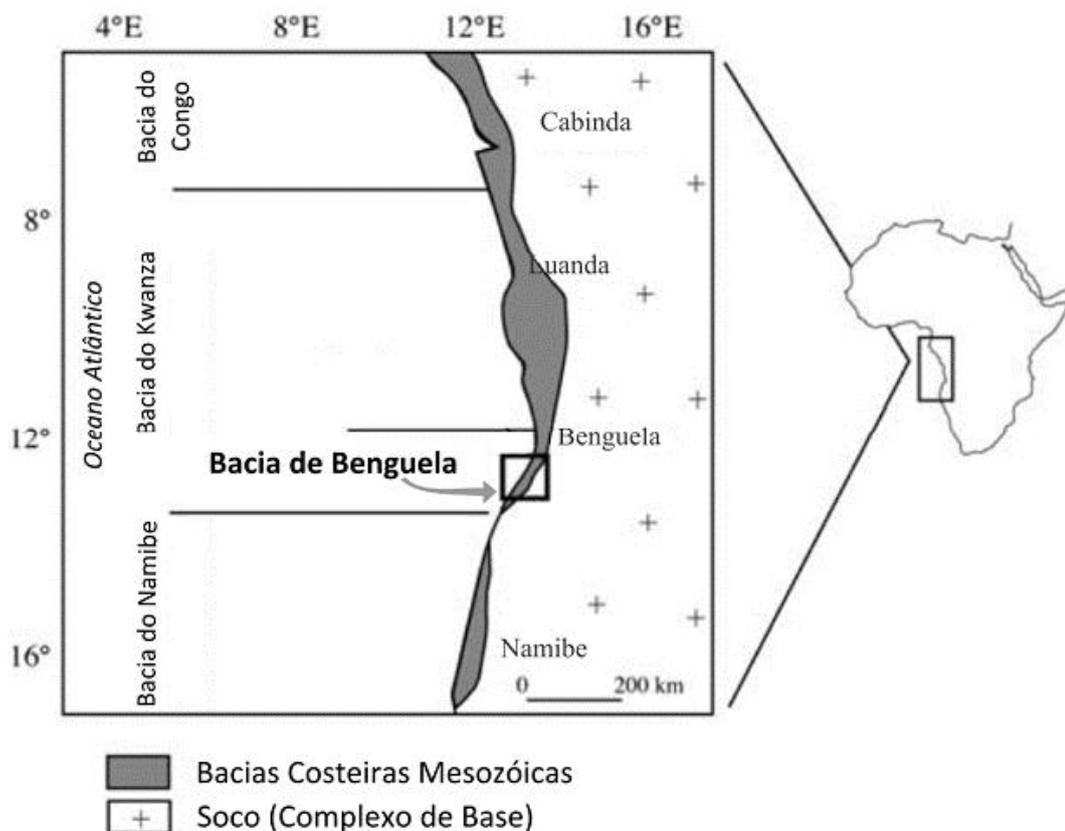


Figura 3.5 – Bacias sedimentares peri-atlânticas de Angola, com indicação da Bacia de Benguela inserida na Bacia do Kwanza (Quesne et al., 2009)

É possível, ainda, observar, nesta zona, a existência de terraços plistocénicos realçados por arribas fósseis e plataformas desenvolvidas sobre calcários cretácicos e ou por depósitos com alguns metros de espessura (Carvalho, 1957). Este autor ainda refere que a formação dos terraços baixos foi desenvolvida numa planície de delta relacionada com o rio Catumbela e constituída por depósitos de granulometria fina, numa fase pós-glacial.

ii) A segunda zona corresponde ao designado “Complexo Metamórfico” e encontra-se localizada na faixa central entre as rochas graníticas (sector a este) e as rochas sedimentares (sector a oeste). Possui uma predominância de gnaisses e migmatitos com uma presença relativa de micaxistos, sendo rochas maioritariamente do Pré-câmbrico. Segundo Galvão e Silva (1972) na região do Complexo Metamórfico encontram-se filões de diábases com direcções NE-SW.

iii) A terceira zona, situada no sector leste das folhas 227/228, é constituída por rochas graníticas com idades que oscilam entre o Apciano e Pré-câmbrico. Estes granitos apresentam um grão médio a fino e textura xenomórfica granular.

As unidades geológicas que cobrem a área de estudo, são predominantemente do Cretácico, sendo designadas por Galvão e Silva (1972) como: Ci (pré-Apciano), Apc1 (Apciano Medio-Inferior), Apc2 (Apciano Superior), Alb1lg (Albiano Inferior), Alb2 (Albiano Medio-Inferior), Alb3 (Albiano Superior), Cm e Sn. Quesne et al (2009) relacionou as unidades mencionadas estabelecendo uma equivalência entre Ci e a do Cuvo, Apc1 – sal maciço, Apc2 – Binga, Alb1lg – Dondo-Tuenza, Alb2 – Catumbela e Alb3 – Quissonde com idades entre o pré-Aptiano e o Albaniano.

As unidades aflorantes na área definida para estudo são: Ci, Alb2, Alb3, Alb1lg, A1, A3, salientando também a existência de terraços pleistocénicos e aluviões actuais.

Para mais detalhes sobre estas unidades litológicas, consultar Cavita (2011), Passasi (2011), Saturnino (2011), Galvão e Silva (1972).

3.2.2. Tectónica Regional

As formações mesozóicas da bacia de Benguela apresentam-se nitidamente afectadas por eventos tectónicos sin e pós-sedimentares, dos quais resultou a formação e rejogo de vários sistemas de falhas cuja disposição e extensão estão relacionadas não só com os movimentos regionais de grande escala que afectaram a margem continental angolana desde o início do *rifting* infracretácico, mas também com os movimentos associados à tectónica salífera. Nas formações do Cretácico inferior é evidente a presença de dobras abertas alinhadas de acordo com a direcção NE-SW, apresentando estruturas em anticlinal e sinclinal.

É de assinalar a presença de uma falha de grande extensão que serve de divisão entre os depósitos holocénicos que se localizam a oeste, e as formações carbonatadas do Cretácico superior que se situam a leste.

As intrusões graníticas e as unidades metamórficas do Complexo de Base revelaram a presença de alinhamentos de falhas de orientação preferencial NE-SW a NNE-SSE, concomitantes com os do *onshore* da bacia, facto que poderá pressupor reactivações de falhas mais antigas a partir do início do *rifting* cretácico. Para além destes sistemas de fracturação que afecta as unidades mesozóicas e cenozóicas, também se verifica a presença de um outro alinhamento de menor importância e de orientação NW-SE

3.3. Clima e Hidrologia

A área de estudo possui um clima influenciado pela orla costeira, pela latitude e pela configuração do terreno e do relevo. (Saturnino, 2011).

O clima da região do Lobito é árido ou semi-desértico (Diniz, 2006) (tabela 3.1), influenciado pela corrente fria de Benguela e temperatura média anual 24°C. As precipitações médias anuais estão abaixo de 200 mm, verificando-se valores elevados de humidade relativa do ar com valores médios anuais superiores a 70%. A leste do Lobito o clima é semi-árido, com temperaturas mais elevadas nos meses de Novembro a Maio, com valores médios entre 25° - 27°C. Este clima condiciona a vegetação na região,

caracterizando-se pela existência de gramíneas e arbustos do tipo espinheira, apresentando-se mais evoluída nos períodos mais chuvosos.

O clima é em parte influenciado pela corrente fria de Benguela. As precipitações são inferiores a 150 mm/ano e todos os meses do ano podem ser considerados secos. No interior as precipitações são superiores a 400 mm /ano. A característica mais notável reside nos elevados valores da humidade relativa do ar, cujas médias excedem os 70%.

Tabela 3.1 – Clima de Benguela entre 2000 e 2011 (INAMG de Benguela, 2012)

Anos	Temperatura do ar (°C) Média Anual	Humidade Relativa (%) Média Anual	Precipitações (mm) Média Anual
2000	24,8	71	163,8
2001	24,6	72	916,8
2002	24,7	71	510,8
2003	25,2	70	208,9
2004	24,4	71	115,5
2005	24,9	71	265
2006	24,9	70	216,1
2007	25,3	69	216,6
2008	24,9	70	268,3
2009	24,8	69	110,8
2010	24,9	72	183,6
2011	24,7	70	165

A área de estudo é caracterizada por um potencial hídrico baixo devido a sua geologia, às escassas precipitações, ao grande défice de escoamento, à fraca absorção do solo, à intensa evaporação e à desarborização. A linha de água mais importante é o rio Catumbela, que é permanente, tendo água durante todo ano, com variações sazonais de caudal. Outra linha de água não menos importante é o rio Hanha (ver bacia hidrográfica na figura 3.6), que também possui água durante quase todo ano, com caudais mais baixos que os do rio Catumbela. As correntes intermitentes de águas praticamente não são utilizáveis, por escoarem rapidamente.

Aplicação de técnicas da detecção remota à cartografia temática: o caso da região do Lobito (Angola)

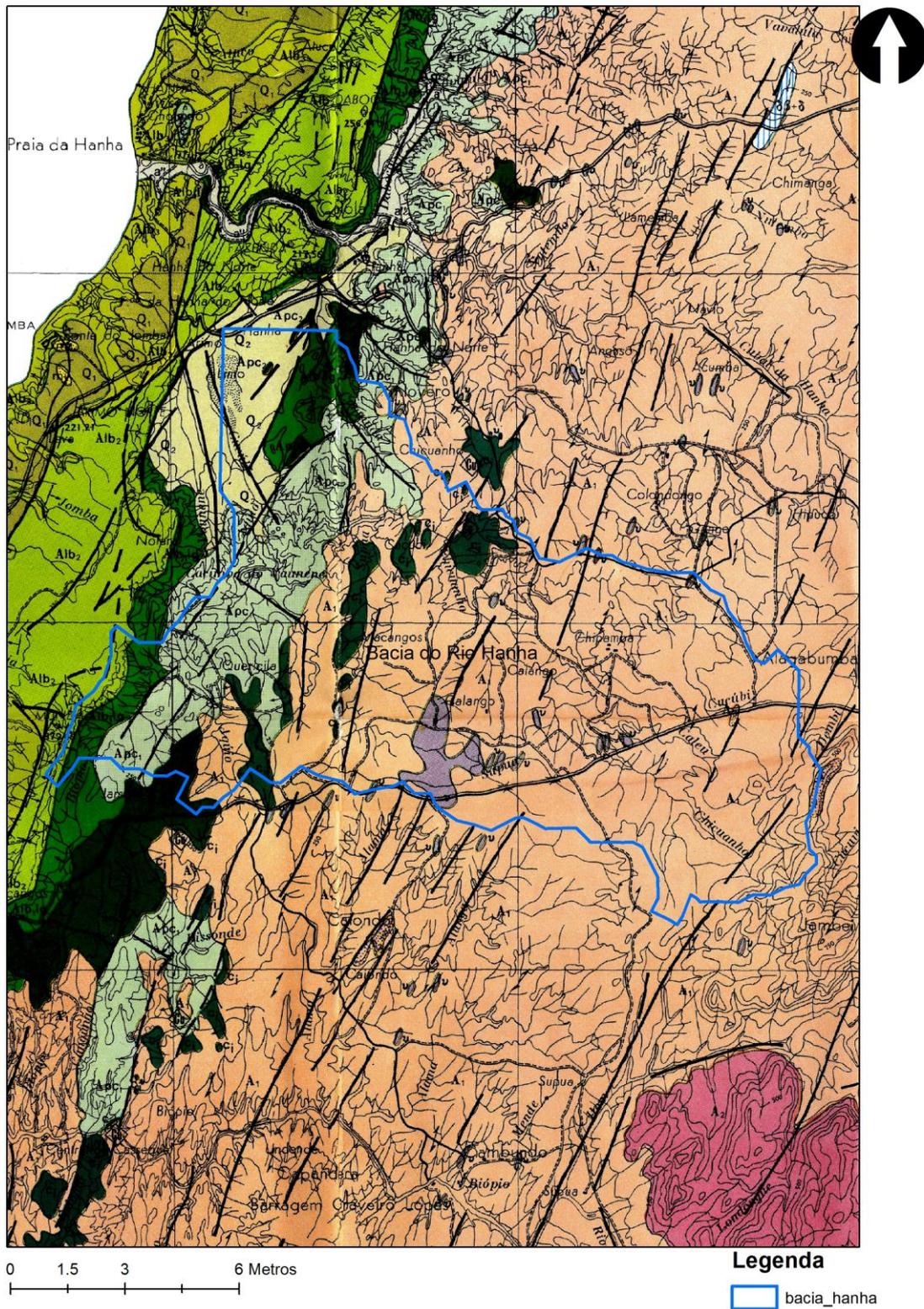


Figura 3.6 – Bacia hidrográfica do rio Hanha sobreposta na carta geológica do lobito à escala 1/100.000 (adaptado de Galvão e Silva, 1972)

A região possui um maciço rochoso constituído por rochas sedimentares (calcários, margas e gesso), de acordo com a carta geológica de Angola 1:100.000, folha 227/228, verificando-se uma permeabilidade do tipo fissural. Considera-se, portanto, que as extensas fracturas que se prolongam desde a superfície do maciço ate a base da escarpa constituem canais de percolação com capacidade de escoar grandes caudais.

3.4. Vegetação

A vegetação que cobre a área do estudo é caracterizada por dois tipos distintos, sendo um mais influenciado pela Zona da Faixa Litoral e o outro pelas zonas do Complexo Metamórfico e dos granitos do Lobito. A zona litoral, segundo carta fitogeográfica de Angola à escala 1:2.500 000 (Figura 3.7; Barbosa,1970), possui uma cobertura vegetal do tipo 27, caracterizada por vegetação rasteira e pouco densa. As zonas do Complexo Metamórfico e dos Granitos encontram-se cobertas por uma vegetação mais densa e mais viva, característica do tipo 22 e 18b.

de altitude ser directamente proporcional à humidade disponível nas plantas. Até próximo da região do Lobito, esta faixa vegetativa apresenta interferências com a vegetação do tipo 23 (Figura 3.7; Barbosa, 1970). O norte desta região possui plantas xerófitas subtropicais e o sul (clima mais frio) apresenta elementos do deserto de carácter subtropical, devido às cotas oscilarem entre 500 m e 1000 m. (Barbosa, 1970). É possível distinguir 4 subtipos: a) formações estepóides sublitorais dos arredores de Lobito e Benguela; b) formações estepóides das planícies de elevação modestas com arbustos e estepes herbosas; c) formações rupestres nas fendas dos afloramentos rochosos e na base; d) formações arbóreo-arbustivas das áreas aluvionares, com predominância das Acácias ou *Colophospermum* e parcelas estepoides de Gramineae (aristida, schmidita, setária).

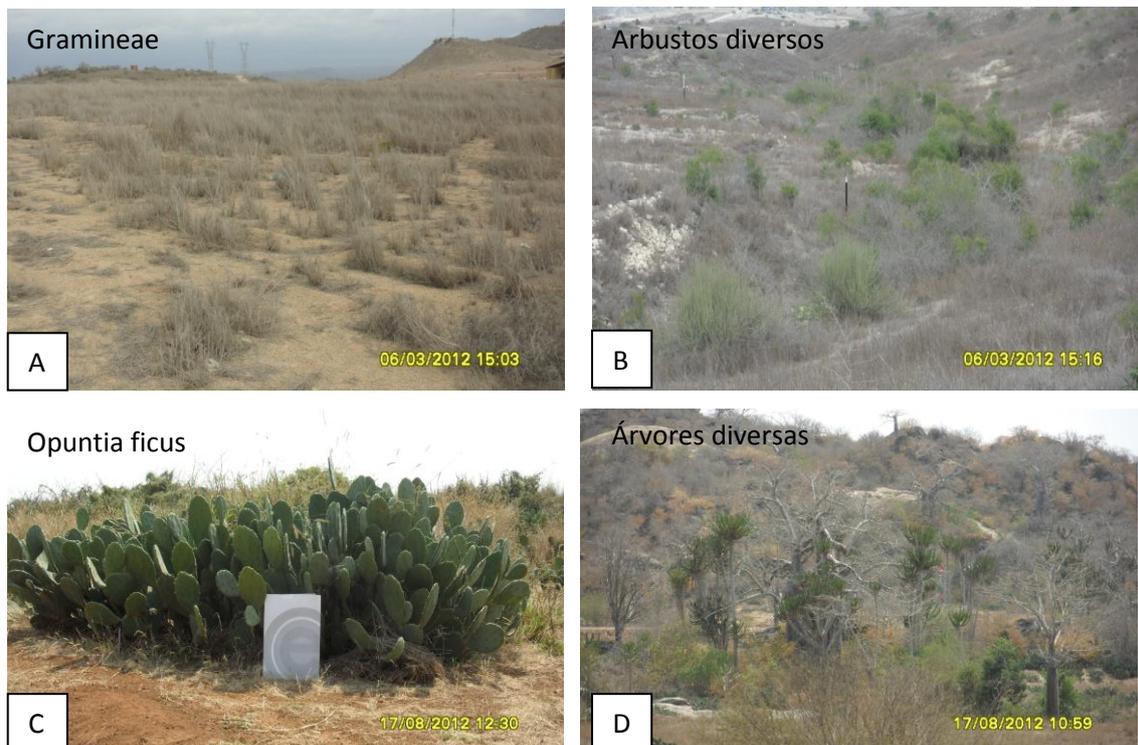


Figura 3.8 – Exemplos da vegetação típica da região estudada: A e B - faixa litoral, C e D – complexo metamórfico (fotos do autor).

As zonas do Complexo Metamórfico e dos granitos são coberta com a vegetação do tipo 22 (bosques e savanas de arvores baixas, arbustos e capins altos; Figura 3.8 C e D) intercalada com a do tipo 18b (miombo ralo e savana dos declives mesoplanálticos). Estende-se por uma faixa estreita a sul de Quibaxe, pelas encostas das margens do rio Kwanza, até á região de Pungo

Andongo (Malanje), Calulo, Ebo e Seles (Kwanza Sul), Cubal (Benguela), Cacula e Quilengues (Huila). A região coberta por este tipo de vegetação possui uma topografia irregular predominando terras inclinadas e afloramentos rochosos, sendo também uma área favorável a certas culturas agrícolas bem como o desenvolvimento da pecuária. Esta vegetação possui características de savanas com mistura de gramíneas heliófilas (com cerca de 1,5 a 3 m de altura) das pastagens doces de baixa altitude e abundância de andropogoneas vivazes, com árvores medianas ou baixas, formando maciços ou pequenos bosques descontínuos. Subdivide-se em: a) savana de capins altos (até 4 m de altura), arbustos e árvores baixas e bosques descontínuos; b) vegetação dos solos esqueléticos e dos afloramentos; c) galerias florestais com formações cerradas médias altas (ver carta fitogeográfica de Angola; Figura 3.7).

Os solos da região são caracterizados pela escadaria inferior do planalto central (primeiras elevações do complexo de base). São solos na sua maioria com características ferralíticas (Figura 3.9), aparecendo mais a norte solos paraferalíticos. Possui frequência de solos declivosos e delgados com afloramentos graníticos

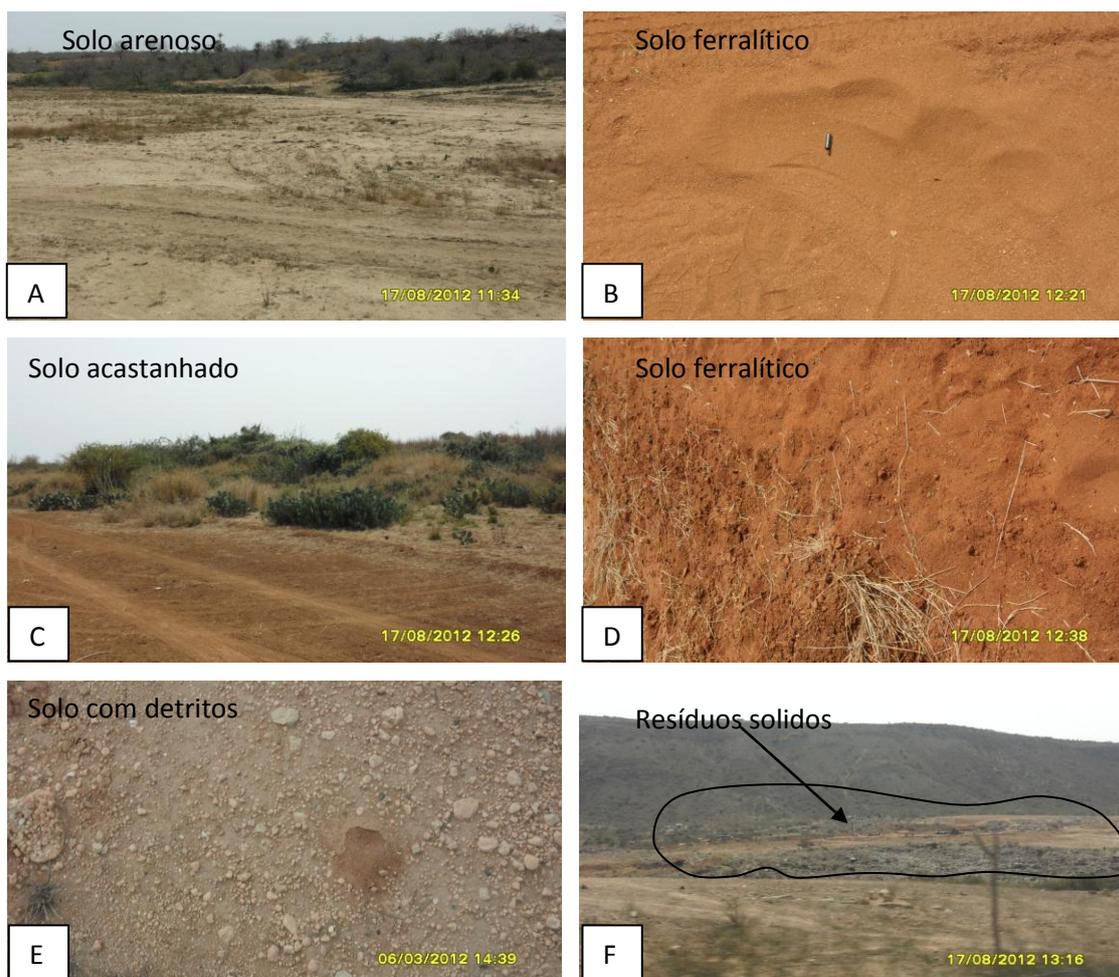


Figura 3.9 – Exemplos de paisagens da região em estudo, com tipos de solo: A a D – complexo metamórfico; E e F - faixa litoral,

3.5. Ocupação do solo

A ocupação do solo é diversificada ao longo da área de estudo (figuras 3.10), sendo maioritariamente caracterizada por residências, estaleiros e armazéns próximo da cidade do Lobito (Zona Litoral) com áreas urbanizadas e não urbanizadas. À medida que nos afastamos da zona sedimentar, observam-se algumas pedreiras que maioritariamente se encontram entre a Zona Litoral e a Zona do Complexo Metamórfico, para exploração de areia, e ao longo da Zona dos Granitos, para exploração de rochas.

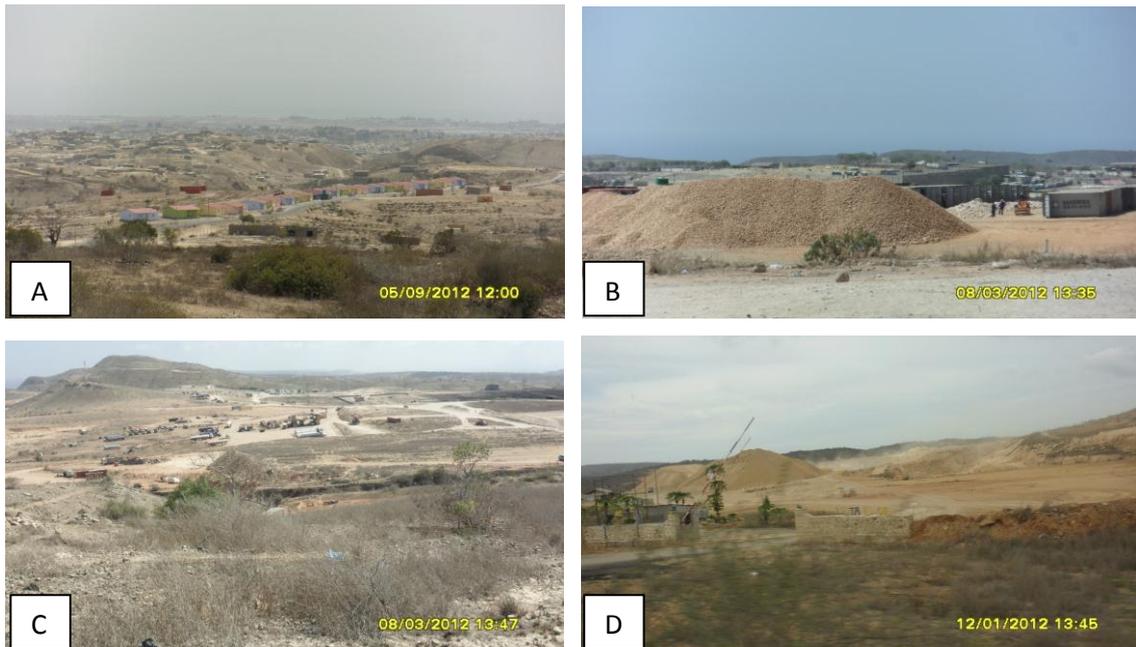


Figura 3.10 – Exemplos de pedreiras e de outros tipos de ocupação do solo: A e B – faixa litoral, C e D – complexo metamórfico (fotos do autor).

Ao longo da zona metamórfica devido a diversidade hidrográfica e fertilidade dos solos, encontram-se varias fazendas (Figura 3.11) que se dedicam ao cultivo de varias culturas agrícolas, bem como criação de gado.



Figura 3.11 – fotos das fazendas na zona de estudo (fotos do autor).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Aquisição de dados

A aquisição dos dados fundamentais para elaboração do estudo foi realizada através de estudos de campo e de laboratório. Neste último caso, procedeu-se, numa primeira fase à recolha e aquisição das imagens de satélite do espectro óptico e de radar sobre a área de estudo; procuraram-se, no primeiro caso, imagens referentes a diferentes situações meteorológicas, ou seja correspondentes à época seca e à chuvosa. O objectivo da imagem de radar era o de fornecer dados altimétricos sobre a mesma área. Numa segunda fase, foi efectuado o tratamento da informação digital obtida (pré-processamento e processamento) recorrendo às ferramentas do programa informático ERDAS Imagine 10 e integrados em ambiente SIG recorrendo as ferramentas do programa informático ArcGis 10 (alguns dos algoritmos usados sobre os dados de DR suportaram-se também neste último programa informático).

Os trabalhos de campo caracterizaram-se pela recolha de dados no terreno, através da observação sistemática e incluindo a aquisição de imagens fotográficas da área de estudo.

4.1.1. Trabalhos de campo

O objectivo principal dos dados de campo era o de obter informação que pudesse servir de apoio à interpretação dos dados digitais adquiridos por sensores remotos através de técnicas de DR. Assim, seleccionaram-se algumas dezenas de locais que fossem considerados representativos das situações que se pretendiam testar apresentando-se na figura 4.1 a localização dos pontos estudados.

Em cada um destes locais fizeram-se observações diversas no que respeita à litologia aflorante, ao grau de alteração da rocha, ao solo e à cobertura (vegetal ou antrópica). Posteriormente, e em cada local, obteve-se

Aplicação de técnicas da detecção remota à cartografia temática: o caso da região do Lobito (Angola)



Figura 4.2 - Fotos dos materiais usados (bússola, GPS, mapas).





Figura 4.3 – Exemplo da metodologia utilizada para captação e orientação das fotografias obtidas no terreno (base imagem *Google Earth*)

4.1.2. Dados digitais obtidos por satélite

Os dados espectrais da área estudada correspondem a uma série de imagens Landsat, sendo 2 (duas) do satélite Landsat 5 TM e as outras 2 (duas) do LandSat 7 ETM+; obteve-se ainda 1 (uma) imagem obtida pelo sensor MODIS (MOD09A1 - 8 dias) do satélite Terra (tabela 4.1). Os problemas com a cobertura nebulosa nas imagens LANDSAT, fez com que não fosse possível utilizar imagens do mesmo mês em que foram feitos os trabalhos de campo, tendo-se utilizado a imagem de 30 de Maio de 2012.

O descritivo de cada imagem Landsat obtida é o seguinte:

- Cena 1 Landsat 7 Path 182, Row 069, ETM+ L1 de 2012/5/30.
- Cena 2 Landsat 7 Path 182, Row 069, ETM+ L1 de 2012/4/24.
- Cena 3 Landsat 5 Path 182, Row69, TM L1 de 2010/4/15.
- Cena 4 Landsat 5 Path 182, Row69, TM L1 de 2008/4/25.

Tabela 4.1 – Características das imagens de satélite utilizadas

Sensor	MODIS	Landsat 5 TM	Landsat 7 ETM+
Resolução temporal (dias)	16	16	16 – 18
Resolução Espacial (m)	250 – 1000	30 – 120	30
Resolução radiométrica (bits)	12	8	8
Número de bandas	36	7	8

As imagens do sensor ETM+ do Landsat 7 usadas para o estudo possuem uma resolução espectral de 8, sendo 3 do visível, 4 do infravermelho e 1 pancromática. Estas imagens caracterizam-se por uma resolução espacial de 30 metros, com excepção da banda 6 do infravermelho térmico, que possui uma resolução de 60 metros, e a pancromática, com resolução de 15 metros. Tem resolução temporal de 16 dias e a resolução radiométrica é de 8 bits, sendo que cada banda possui 256 tons de cinza variados. Já as referentes ao Landsat 5 possuem apenas 7 bandas (ver tabela 2.2.1).

Foi obtida através da plataforma GLOVIS, uma imagem de Radar SRTM da área de estudo. Esta imagem possui uma resolução espacial de 3 arc-second (aproximadamente 90 metros; <http://eros.usgs.gov>).

Como também já referenciado foram também utilizadas imagens de alta resolução obtidas através do sistema Google Earth.

4.1.3. Dados Auxiliares

Os dados auxiliares descritos na tabela 4.2 foram importantes na fase de recolha de dados no terreno, na caracterização das diversas unidades e tipologias, mas também na classificação digital das imagens, nomeadamente na definição das amostras de treino, bem como na validação dos resultados obtidos. Foram utilizados diversos tipos de dados auxiliares como cartas geológicas da região, carta topográfica e carta fitogeográfica.

Tabela 4.2 – Outros dados utilizados no presente estudo.

Tipo de dados	Escala	Data de publicação	Autor	Utilidade
Carta geológica do Lobito	1:100.000	1971	Carlos Faria Galvão e António Portugal	Auxiliar na definição e delimitação das unidades geológicas da área de estudo
Carta geológica de Angola	1:1.000.000	1980	Heitor de Carvalho	Auxílio na definição das unidades geológicas presentes na área de estudo
Carta topográfica do Lobito	1:100.000	1982	Instituto de Geodesia e Cartografia de Angola	Rectificação e georreferenciação das imagens satélite e auxílio na análise da dinâmica de ocupação do solo.
Carta fitogeográfica de Angola	1:2.500.000	1970	L. A. Grandvaux Barbosa	Auxílio na definição da vegetação característica da área de estudo
Dados recolhidos em trabalho de campo	-----	09/2011 a 09/2012	Pedro Chiquete	Auxílio na definição e caracterização da área de estudo e análises de pormenor, avaliação da qualidade dos mapas.

4.2. Processamento digital de imagens

4.2.1. Calibração da imagem Landsat 7 ETM+

No presente trabalho o método GERM (ver secção 2.6.3 para descrição detalhada do mesmo) foi utilizado para corrigir a falta de informação nas imagens Landsat 7 ETM+ que abrangem a área em estudo resultante do facto de não estar operacional o instrumento SLC (figura 4.4); para o efeito recorreu-se a uma imagem auxiliar captada pelo sensor MODIS (MOD09A1)

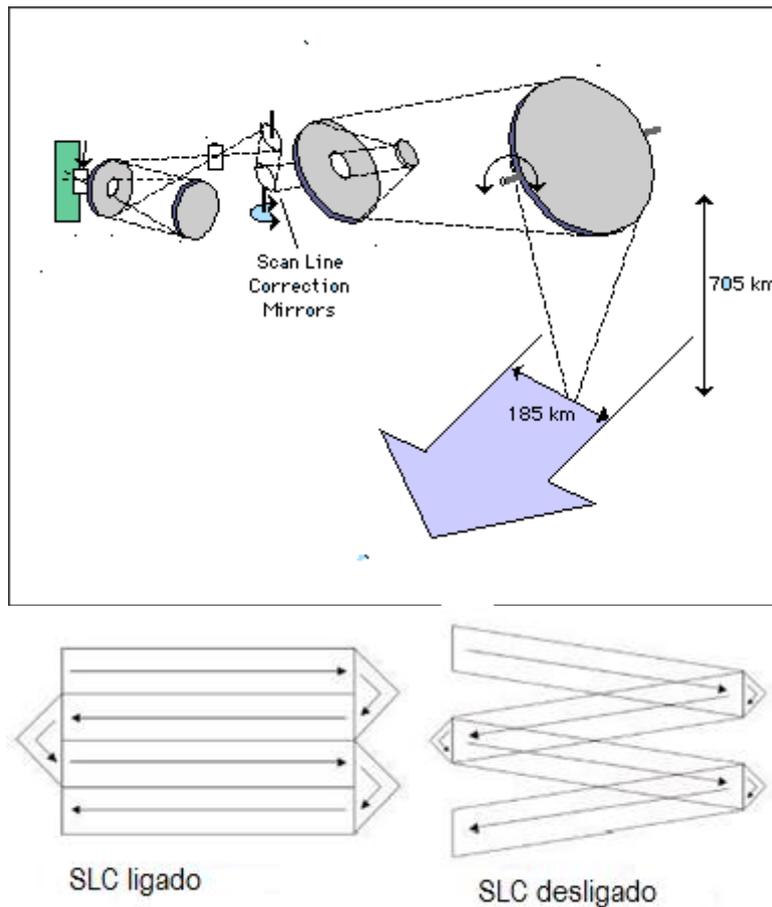


Figura 4.4 – SLC do Landsat 7 ETM+ (<http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/payload.html>)

A imagem MODIS refere-se a um sensor instalado no satélite TERRA, o qual possui órbita circular, quase polar ou heliosincrónica, dista 705 km da superfície terrestre e tem uma resolução espacial de 250 m para bandas 1 - 2, 500 m para as bandas 3 - 7 e 1000 m para as bandas 8 – 36. Foi lançado pela NASA em 18 de Dezembro de 1999, e tem como objectivo principal a observação da interacção entre os vários elementos que constituem o planeta Terra (atmosfera, criosfera, massa terrestre, oceanos) (<http://modis.gsfc.nasa.gov/about/design.php>).

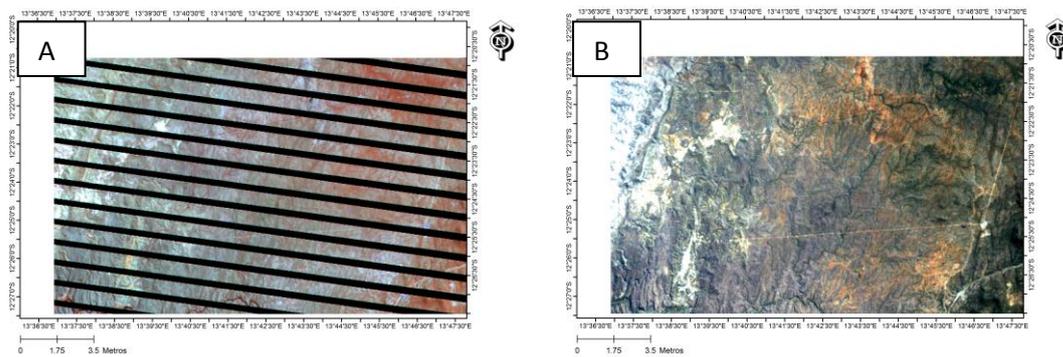


Figura 4.5 – Imagem Landsat: A) original; B) depois da correcção.

4.2.2. Análise estatística e espectral

Com estas ferramentas procurou-se verificar a distribuição da reflectância nas imagens e a relação entre o valor do pixel e o comprimento de onda com o propósito de retirar a maior quantidade de informação possível das imagens, obtendo gráficos que ilustrem a distribuição espectral desta mesma informação.

Neste trabalho recorreram-se as ferramentas do ARCGIS 10 para analisar estatisticamente as imagens Landsat e posteriormente a construção dos referidos gráficos através do Excel.

Para análise estatística foi calculada a média de cada uma das 7 bandas da imagem do landsat 7 ETM+, o desvio padrão respectivo e o máximo e mínimo valor dos pixels para cada banda antes e depois da correcção da imagem.

4.2.3. Composições coloridas

Neste trabalho foram construídas diversas composições coloridas no sentido de auxiliar a individualização e interpretação dos objectos nas imagens. Em função dos objectivos do estudo e daquilo que ressalta da literatura optou-se por dar ênfase nas composições RGB 321, RGB 753 e RGB 754 (Figura 4.6 a, b e c). Para obtenção das referidas composições recorreu-se à utilização da ferramenta “*composite bands*” integrada no programa informático Arcgis 10.

Aplicação de técnicas da detecção remota à cartografia temática: o caso da região do Lobito (Angola)



Figura 4.6 – Composições coloridas: A) RGB321.

Aplicação de técnicas da detecção remota à cartografia temática: o caso da região do Lobito (Angola)

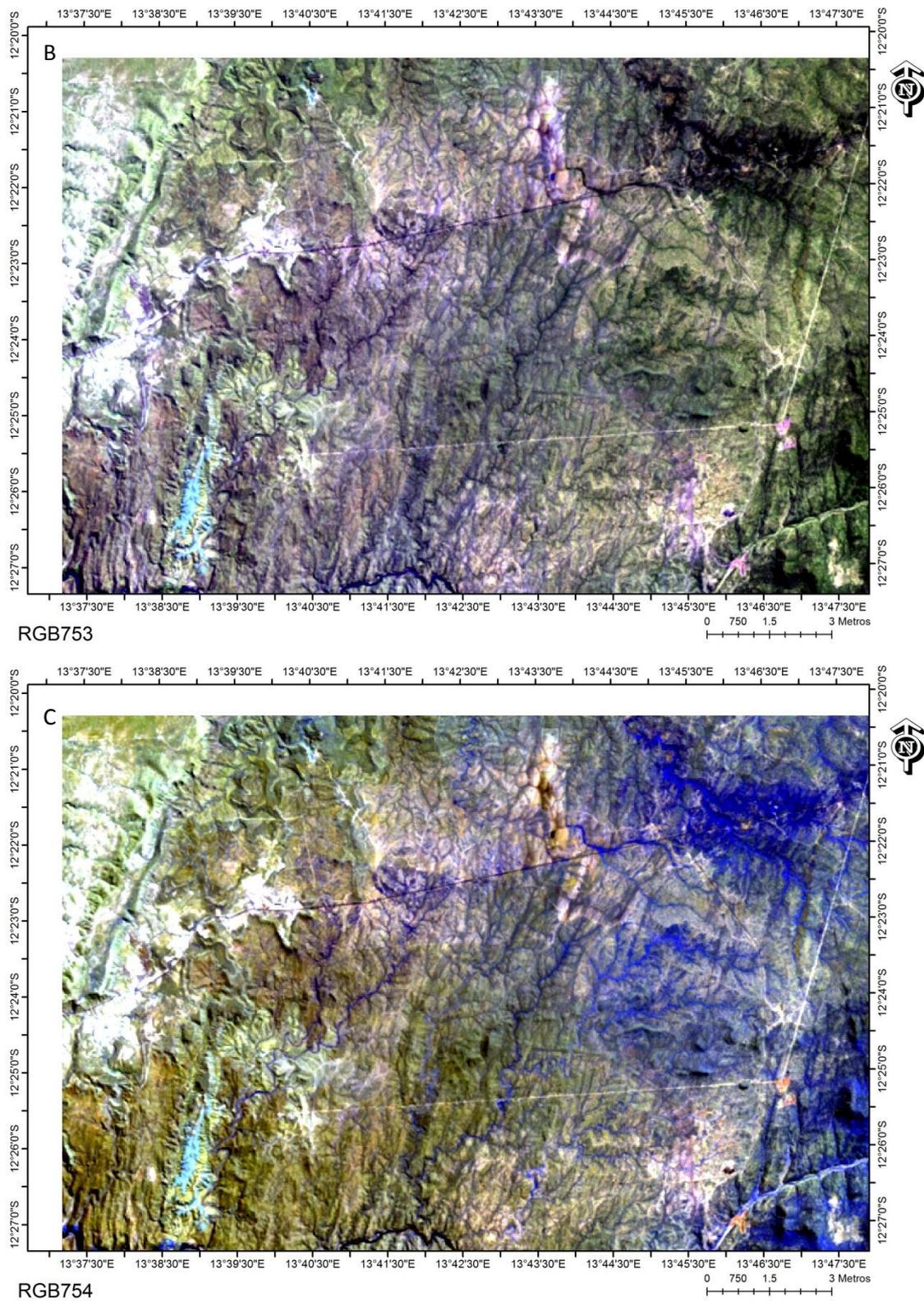


Figura 4.6 (cont.) – Composições coloridas: B) RGB753, C) RGB754.

4.2.4. Índice de Vegetação (NDVI)

Este parâmetro foi determinado como explicitado na secção 2.5.5 com apoio numa ferramenta disponível na extensão “*spatial analyst*” integrada no programa ARCGIS 10.

4.2.5. Classificação digital da imagem e sua validação

De acordo com os objectivos do trabalho e os trabalhos de reconhecimento efectuados no terreno foram definidas diferentes classes representativas das diversas situações referenciadas na área em estudo. Estas classes serviram de base à definição das amostras de treino usadas nos procedimentos de classificação do tipo supervisionada da imagem.

Os procedimentos de classificação foram executados segundo o método MLC (*maximum likelihood classification*), já detalhadamente descrito na secção 2.5.6, e recorrendo as ferramentas da extensão “*spatial analyst*” integrada no programa informático ArcGis 10.

No processo de validação seleccionaram-se, para além da informação de campo, em imagens de alta resolução espacial obtidas através do sistema *Google Earth*, um conjunto de algumas dezenas de locais que foram caracterizados em detalhe no que respeita aos parâmetros definidos no presente trabalho (natureza das rochas/solos e cobertura – natural ou antrópica).

4.2.6. Dados altimétricos

Os dados de Radar foram utilizados para o cálculo do DEM (modelo digital de elevação do terreno) da área em estudo. A partir deste procurou-se estimar a rede hidrográfica e executou-se uma análise dos declives da mesma região. A dimensão do pixel neste sistema é de 90 metros.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao longo deste capítulo são apresentados os resultados obtidos durante os trabalhos de investigação bem como a discussão e interpretação dos mesmos, tendo a base fundamentada nos objectivos previamente definidos.

Tal como descrito no capítulo IV (métodos e técnicas), os resultados serão apresentados de acordo com a planificação proposta, ou seja, primeiro o abordando os resultados obtidos com o trabalho de campo e, num segundo momento, a manipulação das imagens satélite com o propósito de extrair delas o máximo de informação em função dos objectivos propostos.

5.1. Trabalho de campo

Os trabalhos de campo, realizados a partir de Setembro de 2011, permitiram a análise in-situ e em detalhe da superfície do terreno, observando aspectos como a natureza litológica, o grau de alteração da rocha, o solo sobrejacente à rocha, a sua natureza, bem como a cobertura dessa superfície, vegetal e humana.

Os estudos incidiram maioritariamente sobre a superfície mas também em perfis verticais que estivessem acessíveis à observação para estabelecer as necessárias relações entre os aspectos da superfície e o respectivo substrato. Procurava-se nesta fase coligir os elementos necessários ao estabelecimento de um conjunto de classes passíveis de elaborar uma cartografia de uso do solo a testar através de técnicas de detecção remota (classificação digital).

Nas tabelas 5.1 a 5.4 ilustram-se um conjunto de imagens que representam os principais aspectos detectados durante os trabalhos de campo no que respeita a: natureza do substrato geológico (litologias – 5.1); cobertura vegetal (5.2); ocupação antrópica (5.3) e ausência de qualquer cobertura (5.4). A definição do conjunto de classes usadas como base para a cartografia do

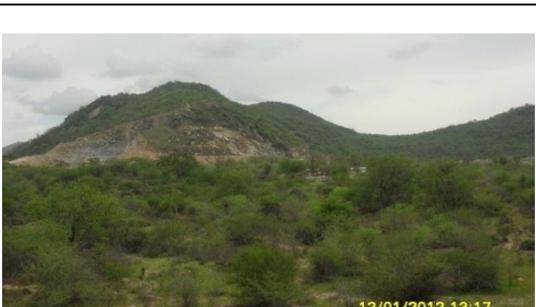
uso dos solos, explicadas a posterior e usadas na classificação digital da imagem Landsat, suportou-se neste tipo de estudos.

Tabela 5.1 – Características da litologia observada ao longo da área estudada

Foto da litologia observada	Observações	
	Coordenadas UTM	Litologia observada
	E349738 / S8629108 (NW)	Unidade Alb3, caracterizada por calcários margosos com <i>stoliczkaia pervinqueria</i> .
	E354958 / S8630946 (NW)	Unidade Ci, caracterizada por calcários silicificados e calcários nodulares esbranquiçados.
	E353254 / S8630582 (Sul)	Unidade Ci, caracterizada por calcários silicificados e calcários nodulares esbranquiçados.
	E349890 / S8628730 (Este)-	Unidade Alb2, caracterizada por calcários, calcários dolomíticos, oolíticos, com intraclastos.
	E355847 / S8630980	Unidade Ci, caracterizada por calcários silicificados e calcários nodulares esbranquiçados.

Aplicação de técnicas da detecção remota à cartografia temática: o caso da região do Lobito (Angola)

Tabela 5.2 – Aspectos da cobertura vegetal observada ao longo da área estudada

Foto da paisagem observada	Observações	
	Coordenadas UTM	Tipo de vegetação
	E352000 / S8629100 W	Vegetação rasteira dispersa
	E361900 / S8632116	Vegetação arbustiva
	E352000 / S8629100 S	Paisagem com vegetação rasteira dispersa
	E349614 / S8628806	Aspectos da geomorfologia local
	E349663 / S8628788	Vegetação arbustiva densa

Aplicação de técnicas da detecção remota à cartografia temática: o caso da região do Lobito (Angola)

Tabela 5.3 – Aspectos ligados à ocupação antrópica observados na área estudada.

Foto da ocupação observada	Observações	
	Coordenadas UTM	Tipo de ocupação
 <p>08/03/2012 14:22</p>	E350675 / S8628547 W	Exploração de inertes
 <p>09/05/2012 11:54</p>	E361756 / S8632109	Fazenda Agrícola (vista da entrada)
 <p>05/09/2012 09:50</p>	E351711 / S8629482 NE	Acumulação de resíduos sólidos

Aplicação de técnicas da detecção remota à cartografia temática: o caso da região do Lobito (Angola)

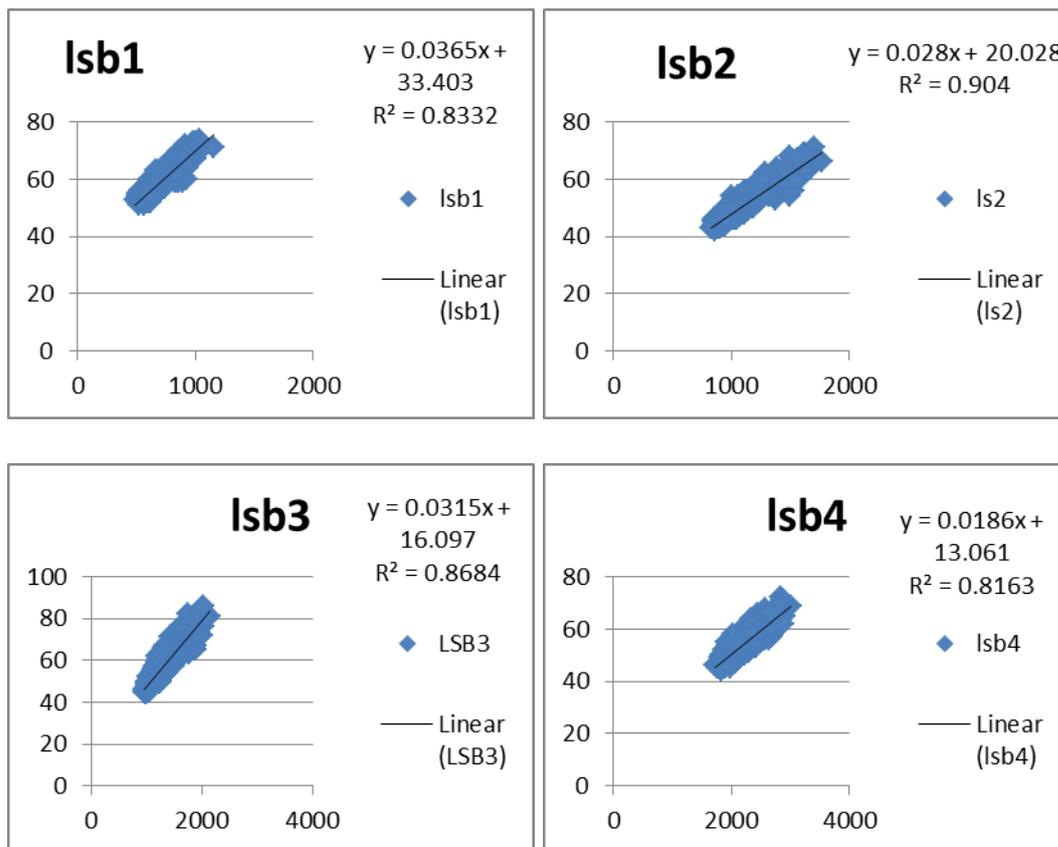
Tabela 5.4 – Aspectos ligados às observações feitas em áreas de rocha e/ ou aflorante sem qualquer cobertura

Foto do solo	Observações	
	Coordenadas UTM	Tipo de ocupação
	E350675 / S8628547	Solo arenoso com alguns seixos rolados
	E349741 / S8628648	Solo composto por rocha alterada com calhaus de natureza carbonatada
	E362288 / S8632182	Solo arenoso
	E349874 / S8628718	Solo composto por rocha alterada com elevada densidade de calhaus

5.2. Processamento digital de imagens de satélite

5.2.1. Calibração da imagem Landsat

O processo de calibração (correção e normalização) da imagem satélite foi realizado devido às falhas observadas na imagem original (ver figura 4.4a).. Os gráficos de dispersão (figura 5.1) para cada uma das bandas indicam a existência de uma relação linear positiva entre os ND e a reflectância nas imagens utilizadas (Modis e Landsat), sendo que o valor de R^2 oscila entre 0.8 a 0.9, ou seja, muito próximo de 1 (unidade). Isto mostra a linearidade existente entre o ND da imagem MODIS e Landsat 7, condição que permitiu avançar com o processo de correção.



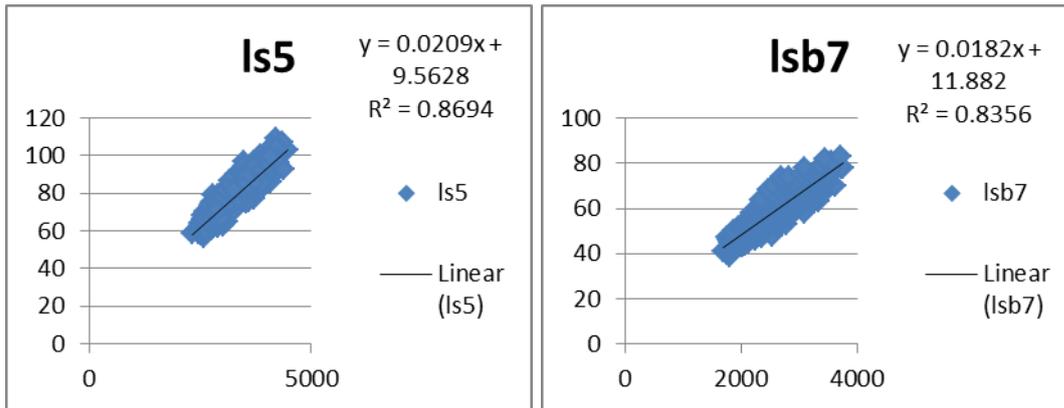


Figura 5.1 – Gráfico de correlação dos valores do ND e reflectância nas bandas do landsat7 e Modis.

O resultado da aplicação do método usado para correção da imagem Landsat (GERM, descrito no capítulo 1) deu resultados positivos, como pode apreciar-se pela análise gráfica da correlação obtida entre a resultante da aplicação do método GERM e a imagem MODIS, a qual mostra que se mantém a mesma linearidade observando-se elevados valores de R^2 .

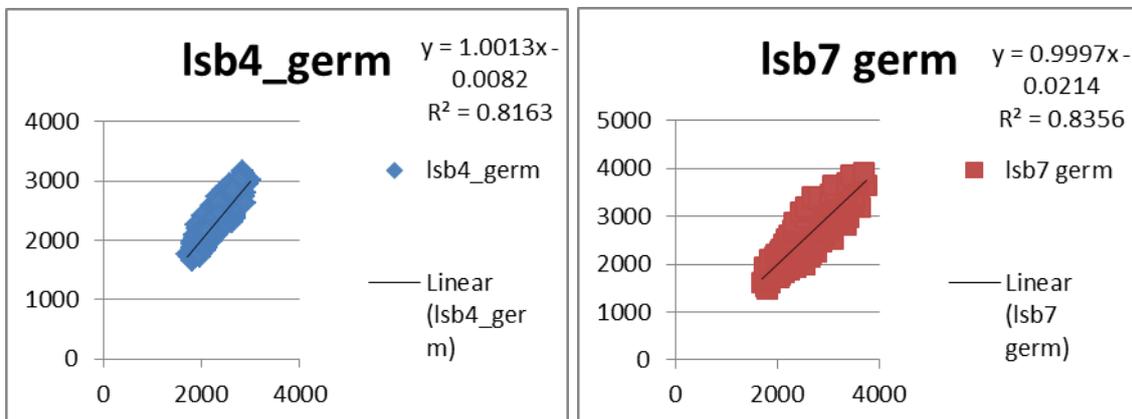


Figura 5.2 – Gráfico da correlação dos valores ND e reflectância nas bandas 4 e 7 da imagem Landsat calibrada (GERM) e MODIS.

As figuras 5.3 e 5.4 explicitam o resultado do método utilizado, que é simples e pode ser processado a partir de algoritmos incluídos em programas informáticos do tipo *open source*. A análise conjunta das duas imagens mostra as diferenças existentes principalmente no contraste e brilho que elas

apresentam. A figura 5.4 possui maior contraste o que significa maior reflectância dos pixels do que na figura 5.3.



Figura 5.3- Imagem Landsat RGB321 antes da aplicação do método GERM



Figura 5.4 – Imagem Landsat RGB321 após aplicação do método GERM.

5.2.2. Análise estatística e espectral dos dados digitais

A análise estatística e espectral dos dados foi realizada nas 6 bandas da imagem Landsat 7, antes e após a correcção, tendo em conta os seguintes parâmetros: média, desvio padrão, mínimo e máximo (tabela 5.5 e 5.6).

Os resultados mostram que tanto na imagem antes da correcção e na imagem após correcção a banda 5 é a que possui maior reflectância média dos seus pixéis, seguida da banda 7.

A análise dos valores do desvio padrão mostra que a banda 5 e a 7 são as que possuem melhor contraste em ambas as imagens o que significa que a correcção manteve as informações originais mas melhorando a qualidade da imagem; basta para tal observar a diferença nos valores da média e desvio padrão nas tabelas 5.5 e 5.6. A análise dos gráficos das figuras 5.5 e 5.6 dos valores radiométricos médios e do desvio padrão para os dois casos ilustram os comentários que acabaram de ser feitos

Tabela 5.5 – Parametros estatísticos básicos da reflectância das diferentes bandas da imagem Landsat ETM+ originais

BANDAS	MIN	MAX	MÉDIA	DESV. PAD
1	51	74	57.9	4.6
2	42	71	50.2	5.6
3	44	86	57.5	7.7
4	44	72	53.6	4.9
5	57	109	75.04	10.5
7	39	83	56.6	8.5

Tabela 5.6 – Parâmetros estatísticos básicos da reflectância das diferentes bandas da imagem landsat 7 ETM+ após correcção pelo método GERM

BANDAS	MIN	MAX	MÉDIA	DESV. PAD
1	482.1	1112.3	669.7	124.6
2	784.7	1820.4	1076.6	198.7
3	885.8	2219.1	1312.9	244.4
4	1663.4	3168.8	2178.8	261.8
5	2269.7	4757.8	3133.1	500.8
7	1490.0	3907.6	2457.2	464.4

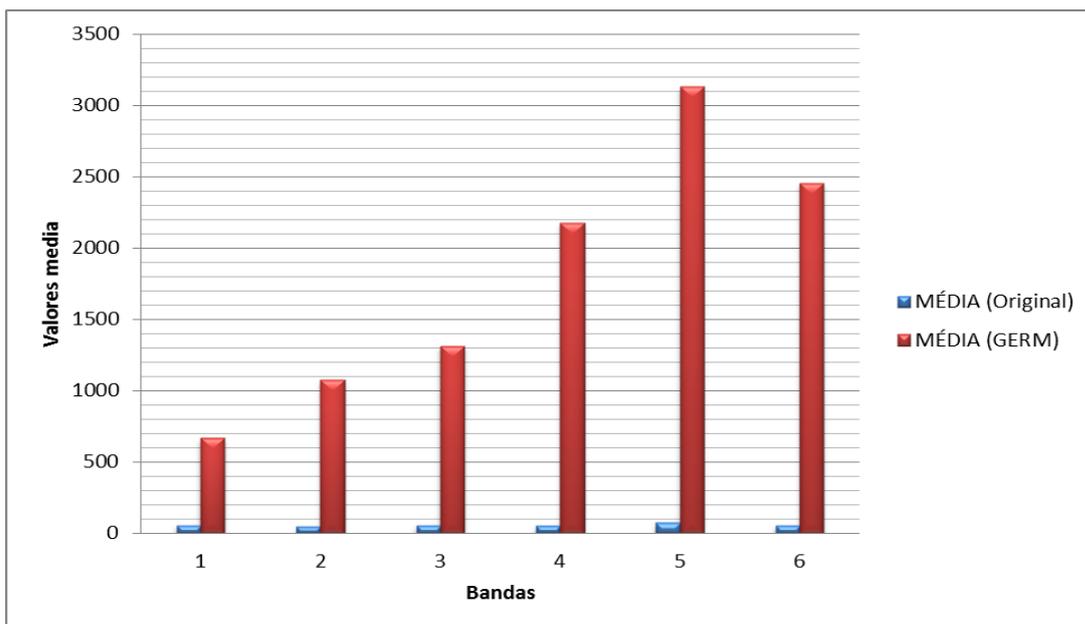


Figura 5.5 – Gráfico dos valores radiométricos médios nas 6 bandas da imagem, antes e após correção.

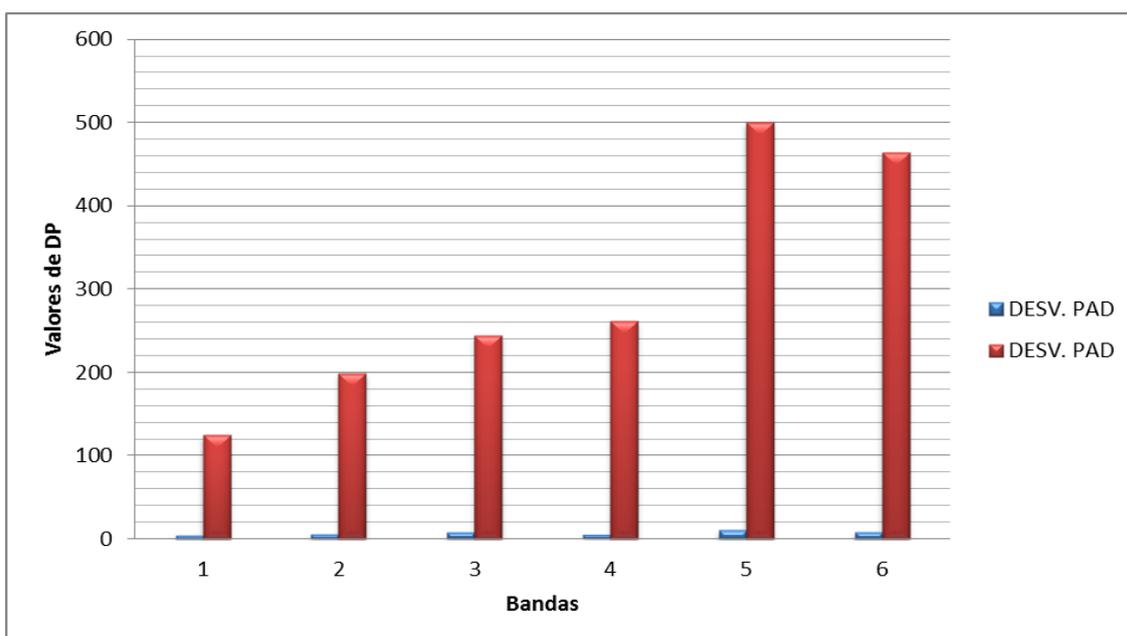


Figura 5.6 – Gráfico dos valores radiométricos do desvio padrão nas 6 bandas da imagem antes e após correção.

5.2.3. Índice de vegetação (NDVI)

A imagem da figura 5.8 refere-se ao parâmetro NDVI, obtido como se descreve no capítulo 2 para dados Landsat. Com o apoio desta imagem

consegue-se analisar rapidamente a distribuição do coberto vegetal na área em estudo.

Assim, a maior reflectância da vegetação é na zona envolvente às linhas de água, correspondente a vegetação mais densa e eventualmente de características mais reflectoras. A vegetação menos densa e mais dispersa é identificada pelos tons mais escuros, sendo especialmente visível no bordo NW da imagem.

O traçado do perfil NE – SW (figura 5.8) permite obter mais informação da imagem NDVI no que concerne à distribuição da vegetação. Permite observar que a vegetação mais arbustiva, em tons mais claros, ocorre a NE e junto das linhas de água. Os tons mais escuros representam as zonas com vegetação mais dispersa, ocorrem com maior frequência junto à faixa litoral (a W), com uma vegetação característica do tipo *gramineae* e cactos da família *opuntias ficus*.

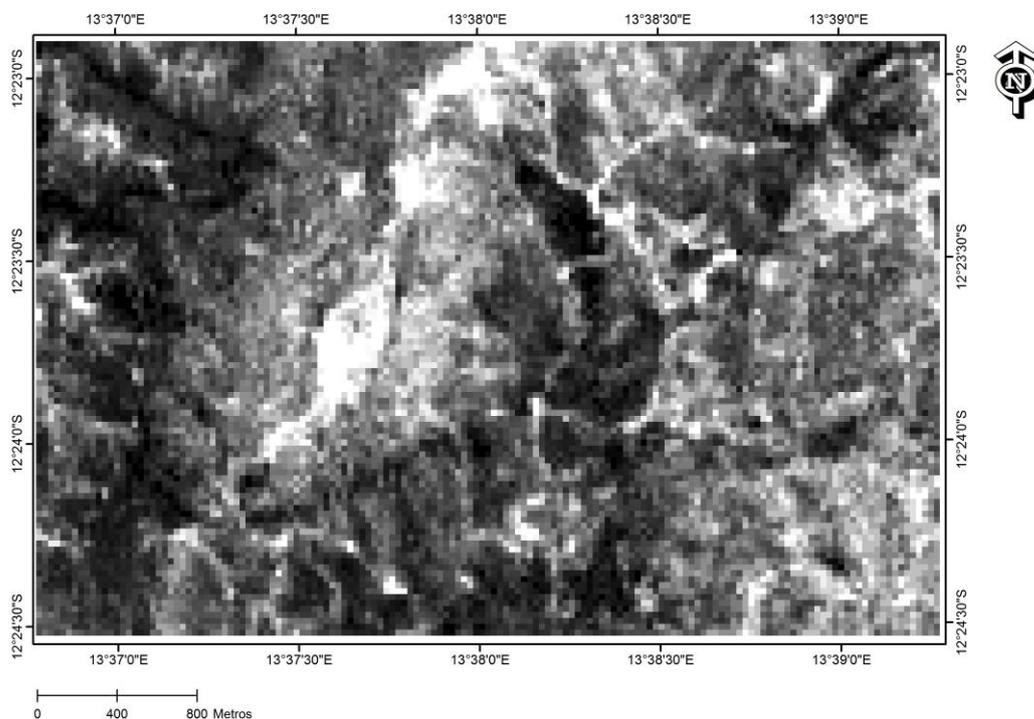


Figura 5.7 - Imagem NDVI da área de estudo.

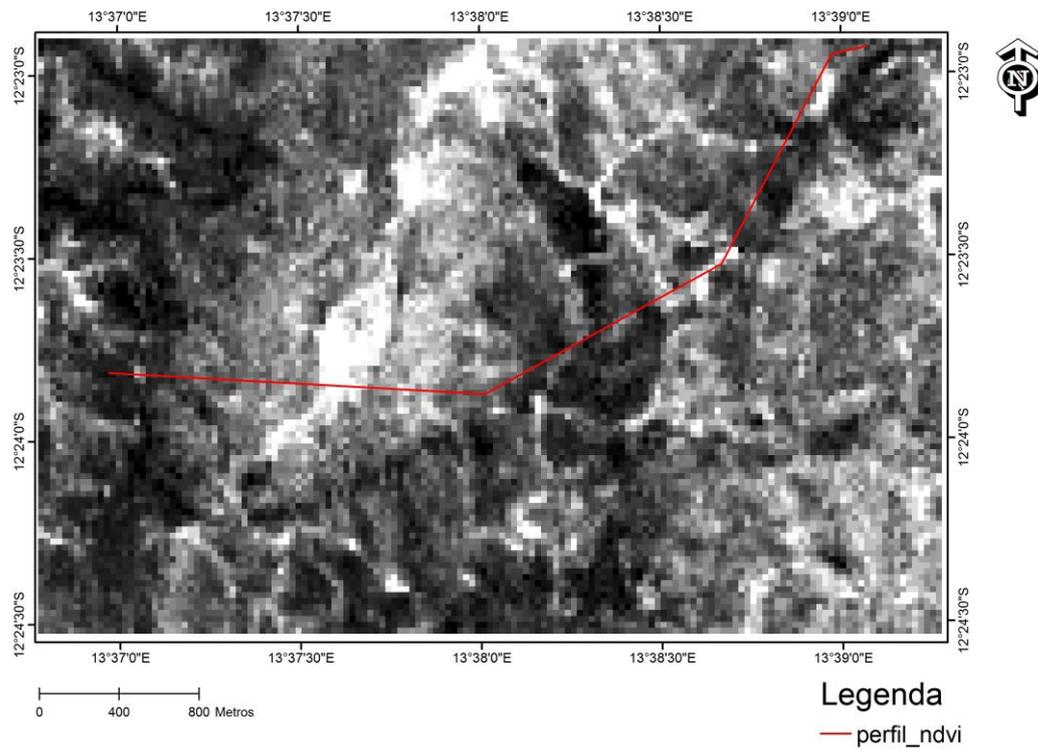


Figura 5.8 - Imagem NDVI da área de estudo com o traçado do perfil NE - SW.

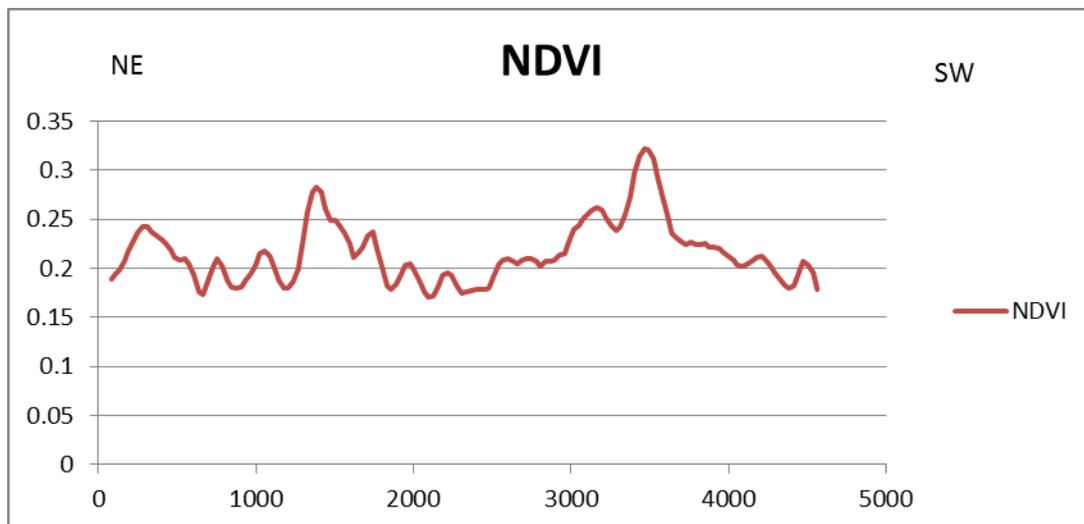


Figura 5.9 - Perfil radiométrico NE-SW efectuado sobre a imagem correspondente ao parâmetro NDVI.

5.2.4. Modelo digital do terreno (MDT)

Com suporte nos SRTM da área em estudo construiu-se um modelo digital do terreno (MDT) que se representa na figura 5.10; sobre este MDT foi definido um perfil similar ao que foi usado para análise do parâmetro NDVI, na direcção aproximada NE-SW, apresentando-se os resultados na figura 5.11.

As cotas são mais baixas no sector W, nas proximidades da costa atlântica e, em média, são mais elevadas para E. Na zona central da imagem, e com desenvolvimento aproximado NE-SW, ocorrem duas elevações, paralelas e relativamente estreitas, sendo sobre estas que são medidas as cotas mais elevadas da região em estudo. Estas cristas separam duas áreas relativamente aplanadas mas situadas a cotas diferenciadas.

Comparando estes resultados com os dados relativos ao parâmetro NDVI, observa-se que a vegetação nas encostas é do tipo arbustivo e mais densa do que a que se encontra em zonas mais baixas, facto que pode ser influenciado pelas brisas marinhas provenientes da faixa litoral.

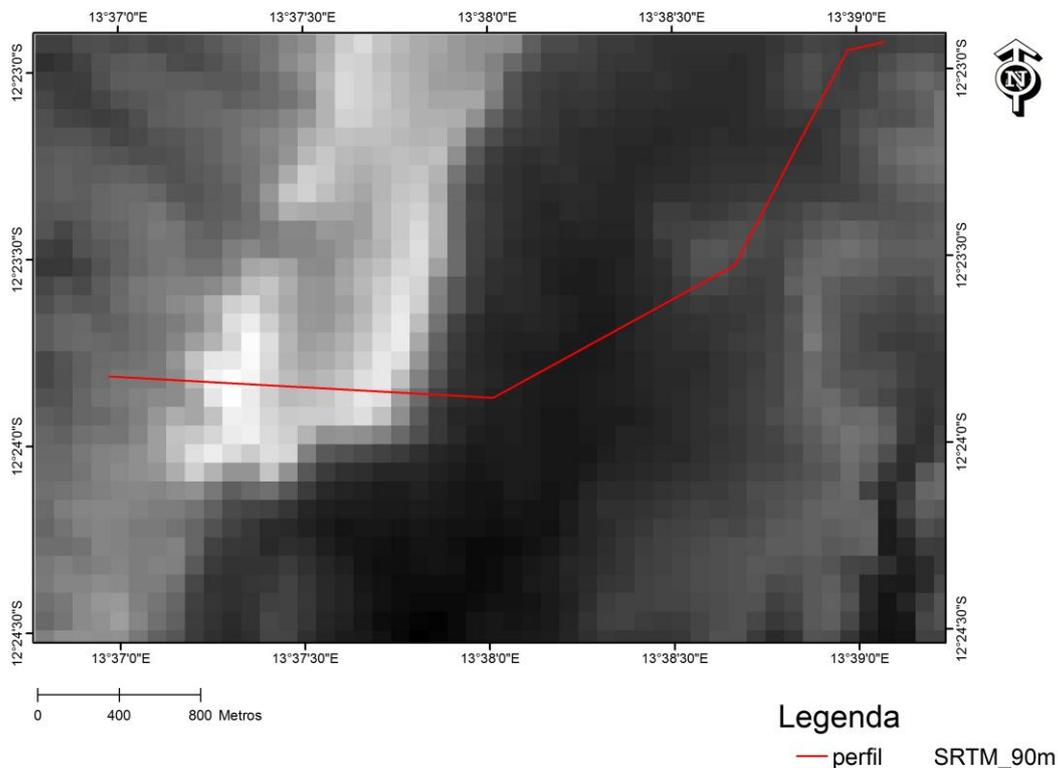


Figura 5.10 – Imagem SRTM com perfil NE – SW da area estudada

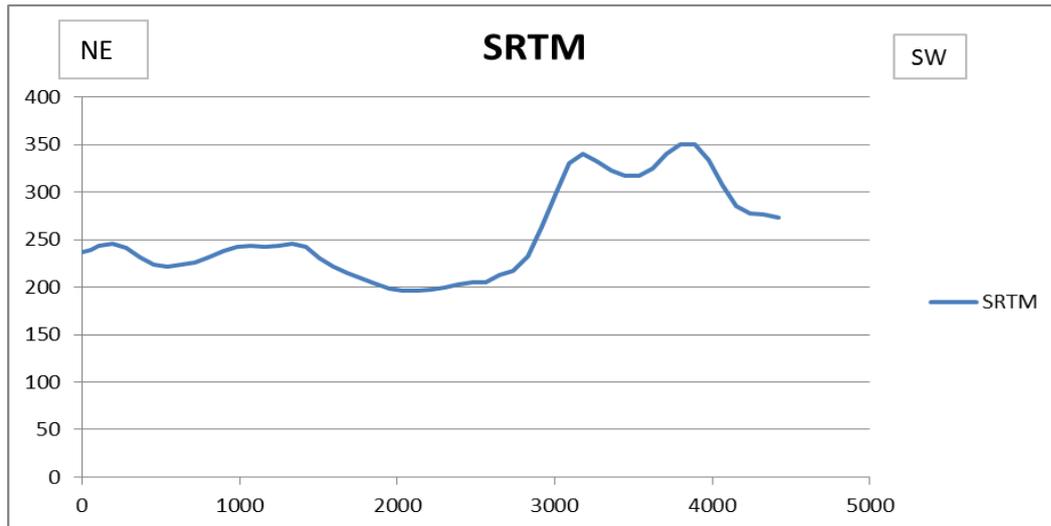


Figura 5.11 - Perfil obtido dos dados SRTM; altitude (em metros) em ordenada.

A partir do MDT foram ainda calculados os mapas de orientação de vertentes (figura 5.12) e de declives (figura 5.13).

No primeiro caso observa-se que as vertentes na zona central, atrás descrita como uma elevação alongada segundo NE-SW, orientam-se claramente na direcção E e SE, enquanto que na área restante o rumo é mais variável.

Aplicação de técnicas da detecção remota à cartografia temática: o caso da região do Lobito (Angola)

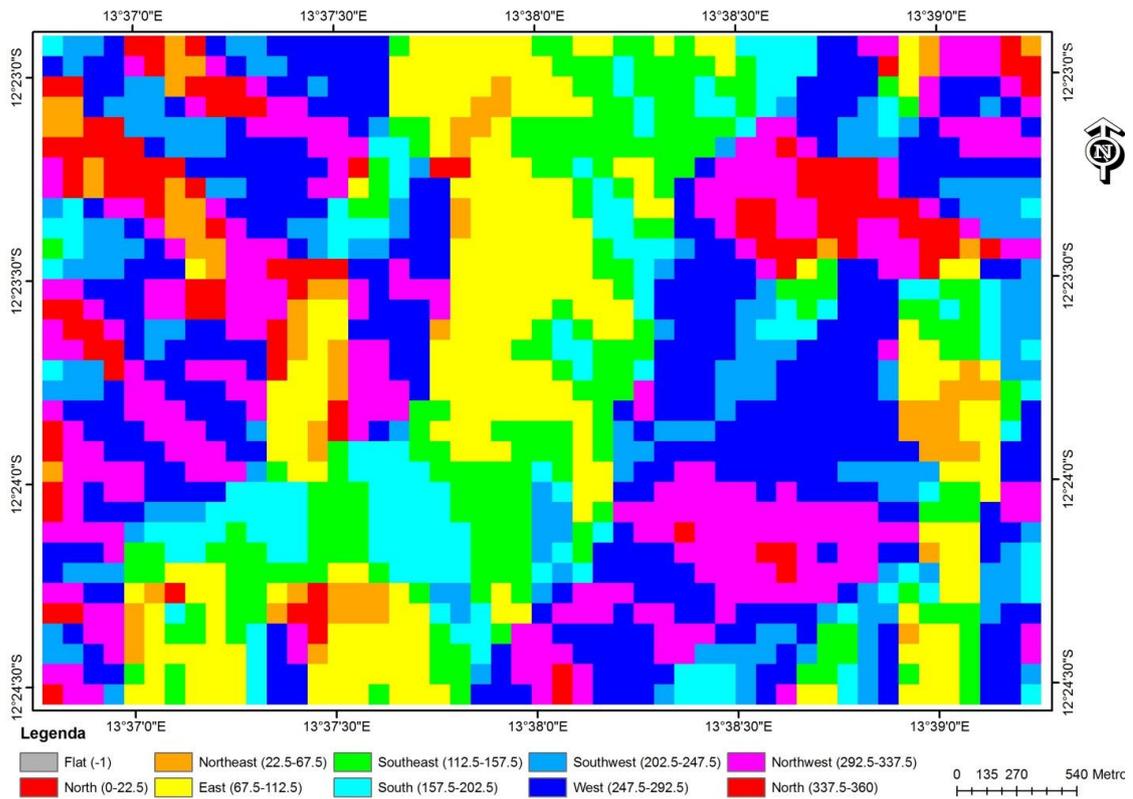


Figura 5.12 - Orientação segundo os pontos cardeais das encostas na área de estudo.

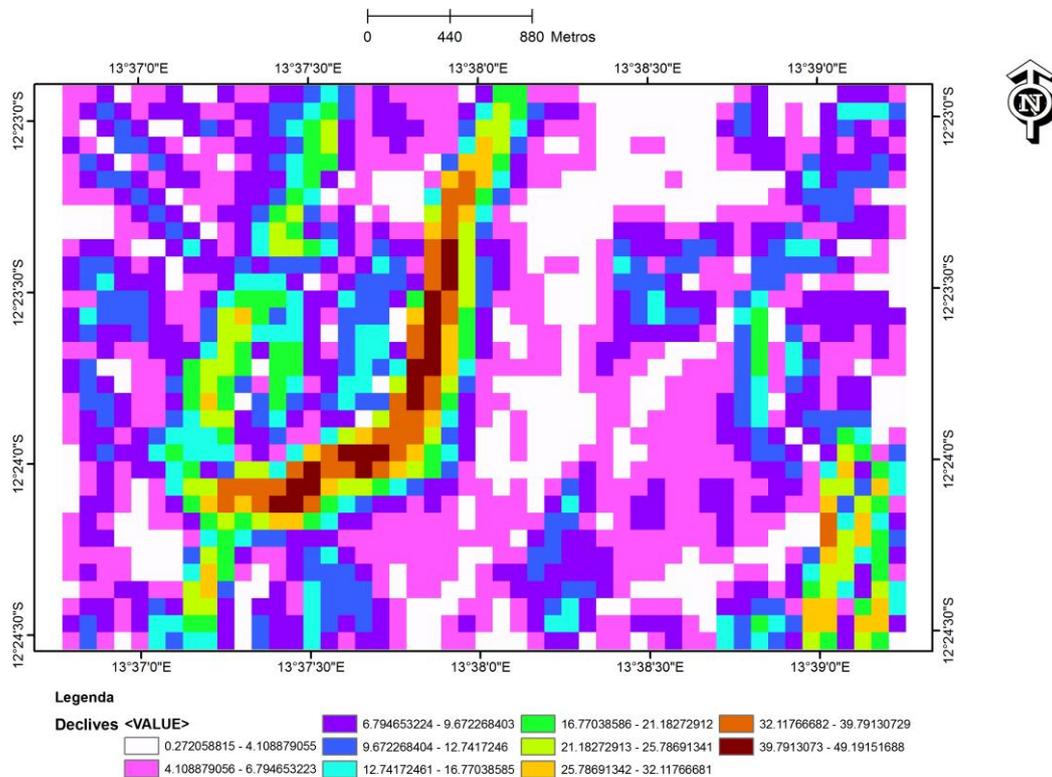


Figura 5.13 – Imagem com declives da área estudada

O mapa de declives da área em estudo revela que os maiores declives, ocorrem, como seria expectável da discussão anterior, na zona central da imagem, associadas às elevações topográficas já citadas. De acordo com a modelação dos dados do SRTM a bordejar esta elevação para E, ocorre uma área relativamente aplanada onde corre o rio Hanha.

5.2.5. Classificação da imagem e validação

No sentido de estabelecer a carta de uso do solo da área em estudo, foram aplicadas técnicas de classificação digital de imagem. Esta classificação foi feita de forma supervisionada (ver 2.6.6), recorrendo-se às classes definidas com base nas observações de campo e descritas na tabela 5.7.

Pela classe “solo” (6) entende-se a superfície não coberta por vegetação ou estruturas antrópicas, podendo ser composta por rocha aflorante, alterada e desagregada ou solo, com maior ou menos grau de alteração. Para o coberto vegetal foram consideradas 2 classes, função da tipologia e densidade da vegetação; a vegetação do tipo arbustivo, ocorrendo localmente com alguma densidade, compõe a classe 7, enquanto a vegetação rasteira, tipo *graminae*, pouco densa, constitui a classe 8. Finalmente, na classe 9 ficaram incluídas as estruturas antrópicas, em geral compostas por superfícies que conduzam a uma impermeabilização das superfícies. Exceptuou-se o caso particular de uma lixeira, composta por resíduos sólidos urbanos, que serve a população do Lobito, englobada numa classe independente (3). Esta estrutura foi individualizada para permitir estudos autónomas sobre a sua evolução, como a seu tempo será discutido. As áreas da qual não consta informação na imagem Landsat (zonas de sombra) foram integradas numa classe à parte (999).

Aplicação de técnicas da detecção remota à cartografia temática: o caso da região do Lobito (Angola)

Tabela 5.7 – Classes usadas para classificação das imagens

Classes	Foto referencia	Codigo
Lixeira		3
Solo (pedreiras, rochas)		6
Vegetação arbustiva		7
Vegetação dispersa		8
Superfícies impermeáveis (edifícios; estradas)		9
Sombras	-----	999

Na figura 5.14 projecta-se a área que foi objecto da aplicação das técnicas de classificação digital. Nesta imagem definiram-se as áreas de treino correspondentes a cada uma das classes atrás descritas; as áreas treino foram

definidas com base nos dados de campo e observações efectuadas nas imagens de alta resolução espacial.

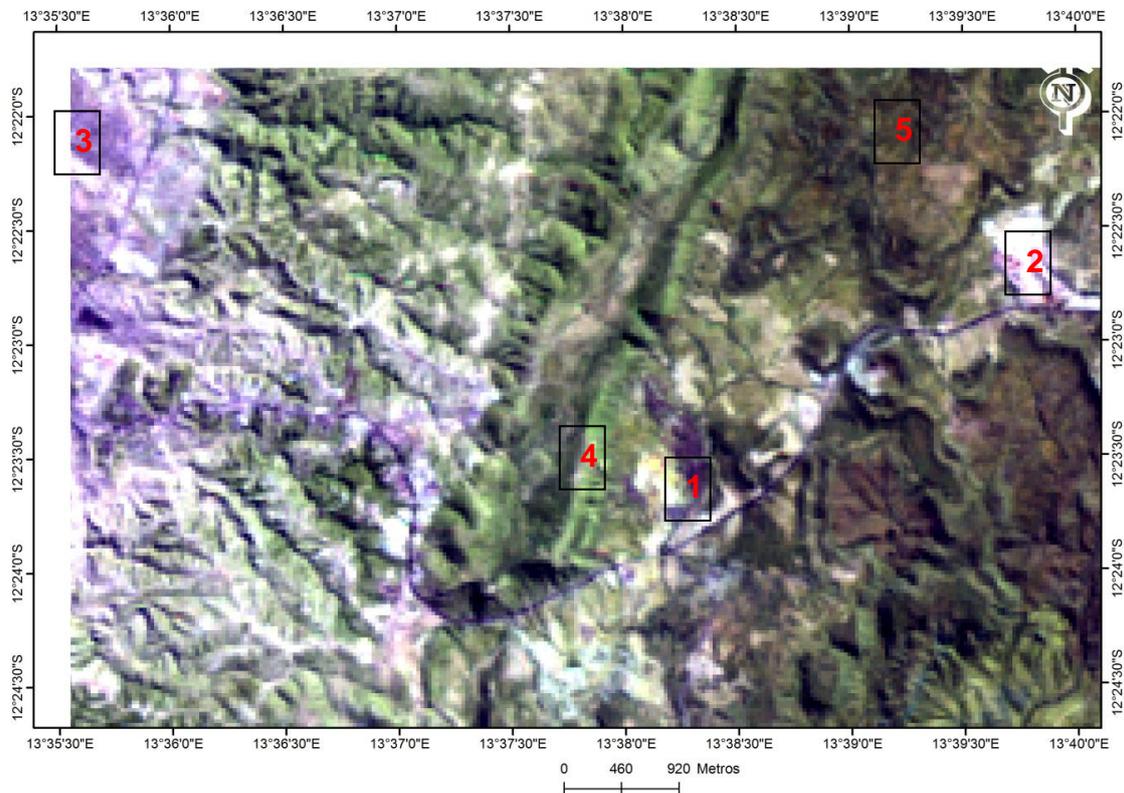


Figura 5.14 – Áreas de treino sobre imagem do Landsat (composição colorida RGB753) para efeitos de classificação correspondentes às classes 1 – lixeira, 2 – pedreira, 3 – superfícies impermeáveis, 4 – vegetação arbustiva, 5 – vegetação dispersa.

As classes observadas possuem uma reflectância própria em cada uma das 6 bandas do Landsat 7 conforme histograma da figura 5.15. Observa-se claramente que a classe 6 (solo ou rocha exposta) possui maior reflectância em todas as bandas do Landsat, justificando o facto de estas superfícies serem as que apresentam maior brilho nas imagens. As sombras e a vegetação arbustiva apresentam uma reflectância baixa, sendo que a vegetação dispersa reflecte num nível intermédio.

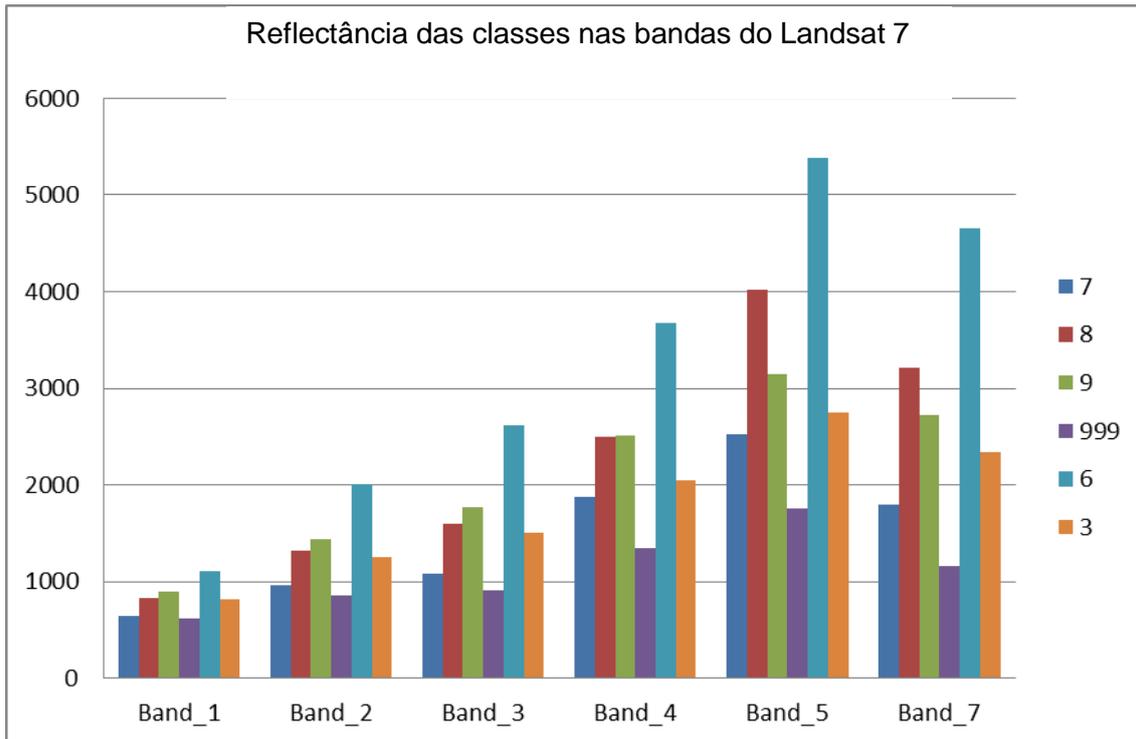


Figura 5.15 - Histograma de reflectância das classes nas 6 bandas do Landsat7

Na figura 5.16 apresenta-se o resultado da aplicação das técnicas de classificação à imagem correspondente à área em estudo. Para validação preliminar da carta de ocupação de solos compararam-se os resultados obtidos por via numérica com os dados de campo complementados com os colhidos em imagens de satélite de alta resolução espacial, num total de várias dezenas de locais (Figura 5.17). A comparação entre os dois conjuntos de dados foi feita com suporte numa matriz de confusão, cujos resultados estão expressos na tabela 5.8.

Em geral, o resultado é muito satisfatório como pode concluir-se da análise desta tabela; assim, observa-se que as classes 3, 6, 8 e 999 foram bem classificadas em todas as situações. Já a classe 9 (superfícies antrópicas) deu piores resultados, com apenas cerca de 88% de casos com classificação certa; a confusão foi com as classes 3 e 6, provavelmente por serem zonas com características similares.

Aplicação de técnicas da detecção remota à cartografia temática: o caso da região do Lobito (Angola)

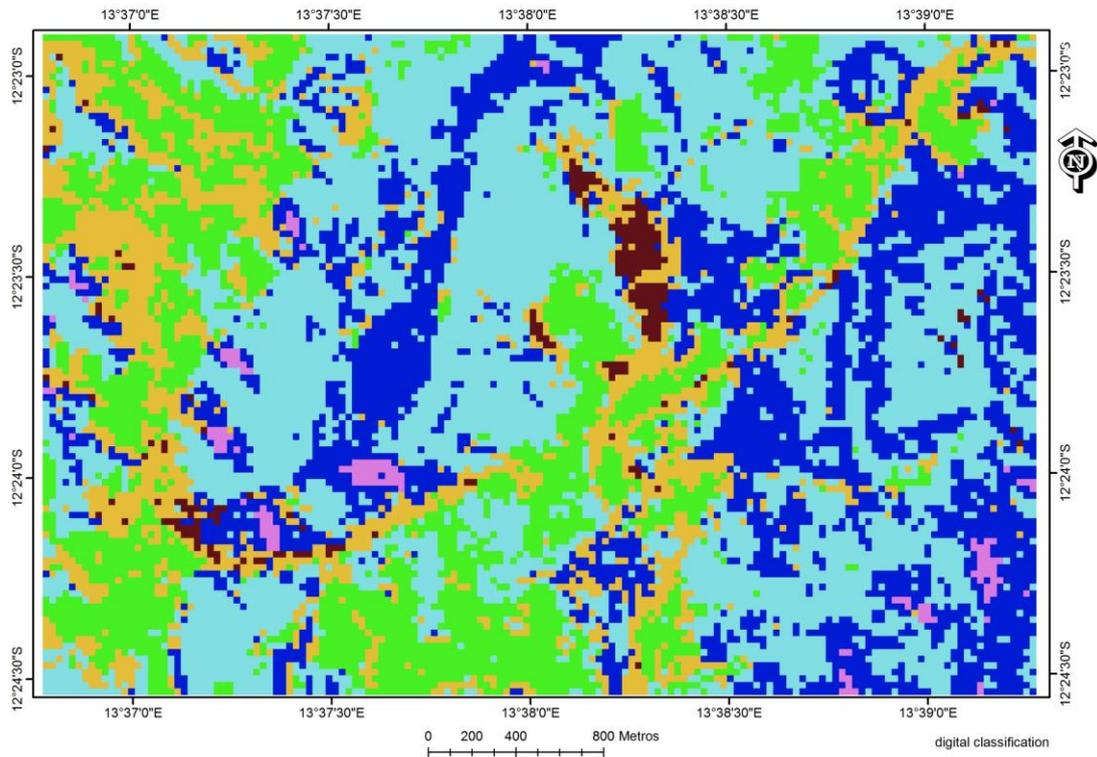


Figura 5.16 – Imagem com o resultado da classificação digital supervisionada (azul escuro – vegetação arbustiva; azul claro – vegetação dispersa; laranja – superfícies impermeáveis; castanho – lixeira; verde - solo; cor de rosa – sombras).

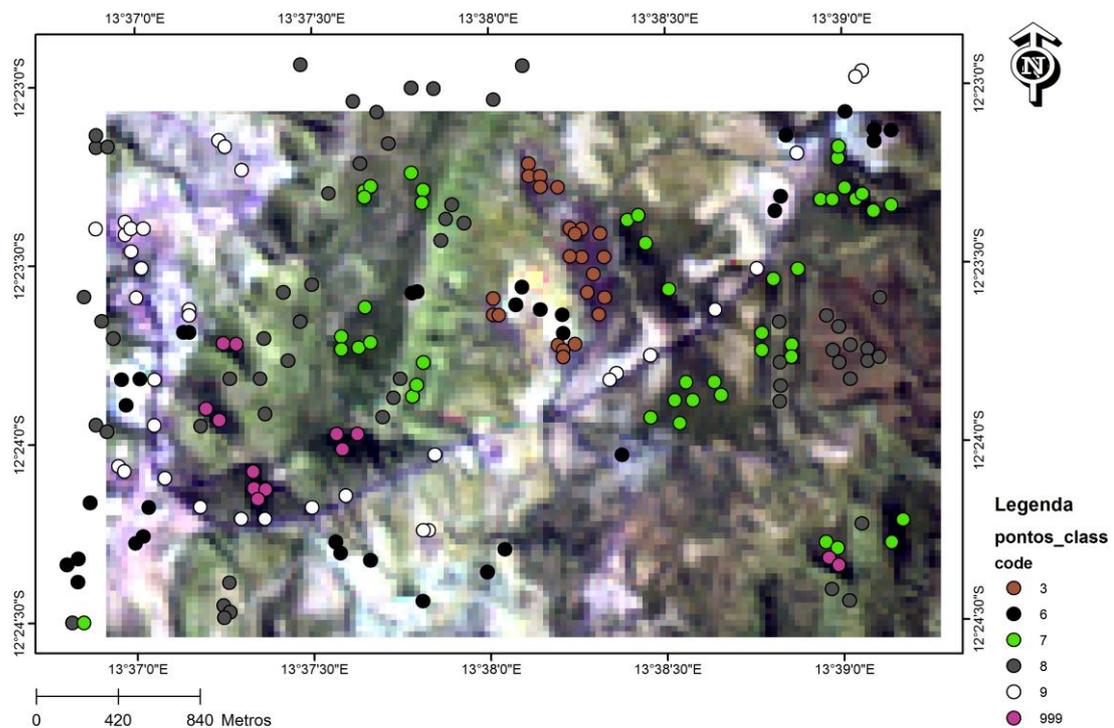


Figura 5.17 – Localização dos pontos que foram usados para validar, numa primeira aproximação, a classificação obtida por meios digitais.

Tabela 5.8 – Matriz de confusão da classificação supervisionada

Classes	Código						Total	%
	3	6	7	8	9	999		
Lixeira	23	0	0	0	0	0	23	100
Solo/rocha exposta	0	33	0	0	0	0	33	100
Vegetação arbustiva	0	0	43	1	0	1	45	95.6
Vegetação dispersa	0	0	0	56	0	0	56	100
Superfícies impermeáveis (antrópicas)	3	1	0	0	30	0	34	88.2
Sombras	0	0	0	0	0	13	13	100

Para tornar mais robusto o processo de classificação e ganhar sensibilidade às classes que são mais difíceis de classificar, calculou-se uma nova matriz de confusão a partir do procedimento a seguir descrito.

Sobre a imagem do Landsat que foi objecto de classificação definiu-se aleatoriamente um conjunto de pontos (figura 5.18) e em cada um deles fez-se uma classificação meramente visual, com base nas classes anteriormente definidas. Depois comparou-se, através da matriz de confusão, os resultados da classificação visual com a classificação digital; os resultados obtidos apresentam-se na tabela 5.9.

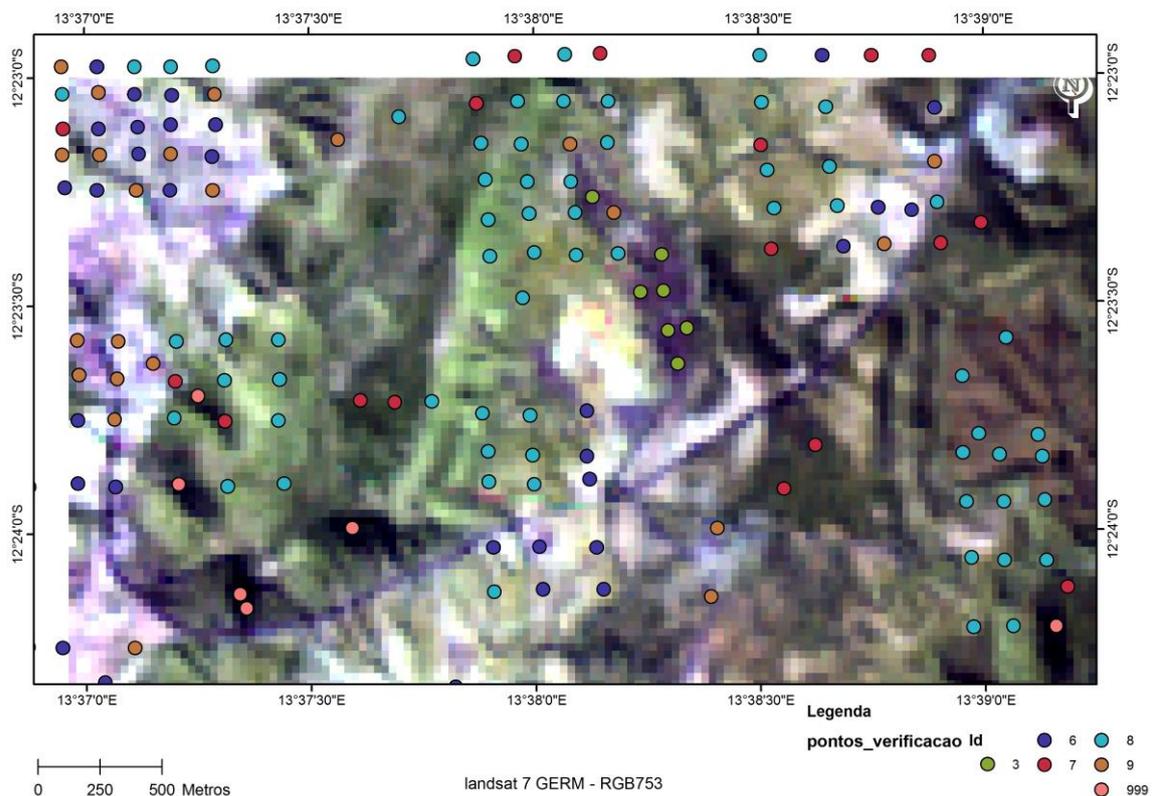


Figura 5.18 – Imagem Landsat7 com a marcação dos pontos de amostragem u classificados visualmente e utilizados na validação da classificação obtida por meios digitais.

Com excepção da classe correspondente às superfícies ocupadas por estruturas antrópicas, em todas as restantes a proporção de pontos classificados correctamente é superior a 90% (tabela 5.9). No primeiro caso, a proporção é inferior a 60% observando-se que esta classe é facilmente confundida com a classe 6 (solo ou rocha exposta). Tal facto seria já expectável dado que, por limitação da dimensão do pixel da imagem de satélite, áreas de baixa densidade de ocupação antrópica, como edifícios ou bairros de baixa densidade populacional, implantados em rocha ou solo exposto, serão difíceis de distinguir da superfície envolvente. Nos restantes casos, no entanto, a classificação parece ser robusta e o procedimento passível de ser estendido para as regiões envolventes.

Tabela 5.9 – Matriz de confusão da validação da classificação

Classe	Código						Total	%
	3	6	7	8	9	999		
Lixeira	7	0	0	0	0	0	7	100
Solo/rocha exposta	0	38	1	2	0	0	41	92.68
Vegetação arbustiva	0	0	19	2	0	0	21	90.48
Vegetação dispersa	0	2	4	67	1	0	74	90.54
Superfícies impermeáveis (antrópicas)	1	5	2	4	16	0	28	57.14
Sombras	0	0	1	1	0	4	6	66.67

5.3. Caracterização da ocupação do solo na área em estudo

A ocupação do solo ao longo da área é diversificada, a classificação efectuada permitiu efectuar a caracterização na área estudada. Para o efeito procura-se também comparar a carta de uso do solo agora obtida com a carta geológica da região.

A análise da classificação feita na área de estudo, mostra claramente a tendência da distribuição da ocupação do solo em função da geologia da área (figura 5.19 e 5.20). A área correspondente às diferentes classes de uso dos solos dispõe-se em faixas mais ou menos paralelas, coincidente com a organização espacial das unidades geológicas.

A ocupação humana tende a centrar-se mais próximo da faixa litoral composta maioritariamente por substrato sedimentar. Na área em estudo ocorrem rochas integradas nas seguintes unidades: Albiano superior (0), médio (1), inferior (2) e Pré-apciano (Ci), todas do Mesozóico. Após classificação da imagem Landsat e sobreposição da vectorização da carta geológica, constatou-se que a distribuição das unidades são paralelas umas às outras, as habitações e outros empreendimentos antrópicos estão mais distribuídos sobre o Albiano superior (unidade 0). A vegetação mais arbustiva acomoda-se mais junto do Albiano médio (unidade 1) e Pré-apciano (unidade 3), que são unidades com significativa diversidade litológica: calcários, grés e

conglomerados, salientando-se também o facto de nestas zonas termos as cotas mais elevadas da área de estudo.

As rochas do Albiano inferior (unidade 2) caracterizadas por margas, areias e níveis conglomeráticos, suportam a vegetação menos arbustiva e mais dispersa. Sobre esta unidade encontramos algumas pedreiras essencialmente de extracção de areia. É uma zona mais ou menos plana, com alguns desniveis a Este. A falha que corta as unidades 0 e 1 (figura 5.20) mostra claramente o desnivel e consequente abaixamento desta unidade (1) em relação a unidade 0.

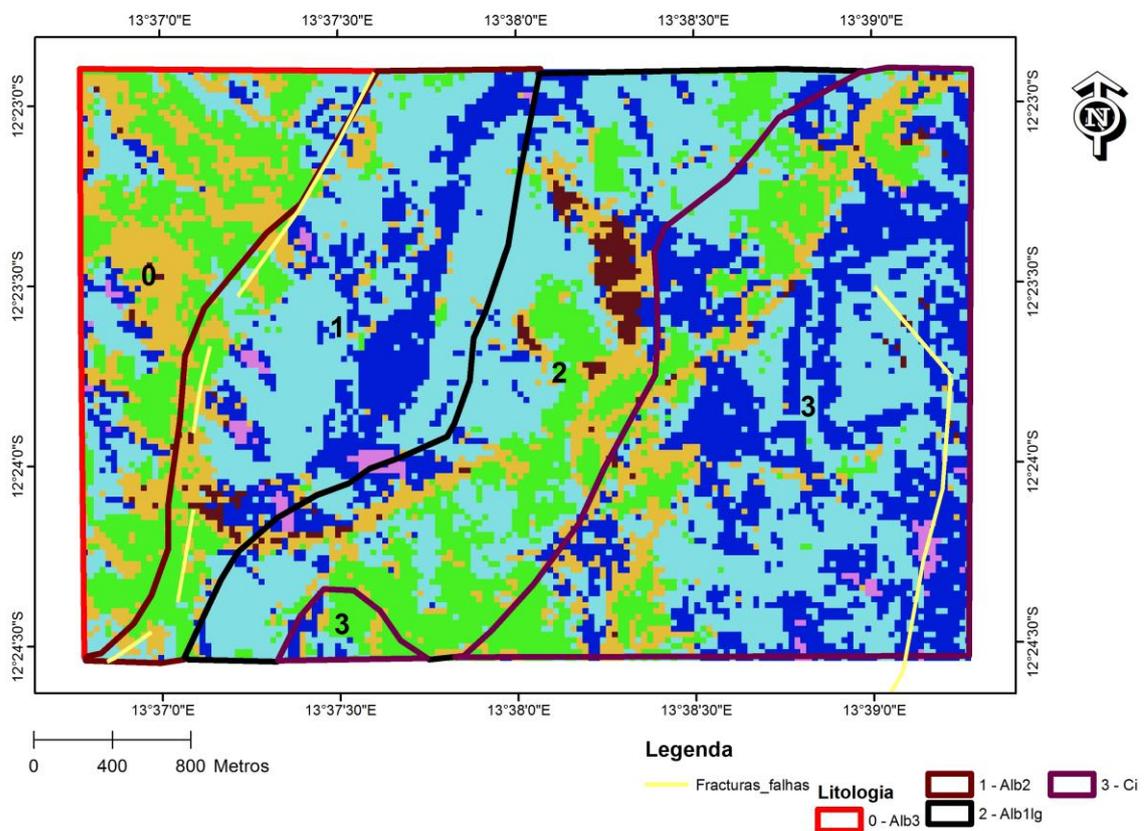


Figura 5.19 – Vectores da carta geológica e sobreposição à carta de ocupação de solos obtida no presente trabalho (azul escuro – vegetação arbustiva; azul claro – vegetação dispersa; laranja – superfícies impermeáveis; castanho – lixeira; verde - solo; cor de rosa – sombras).

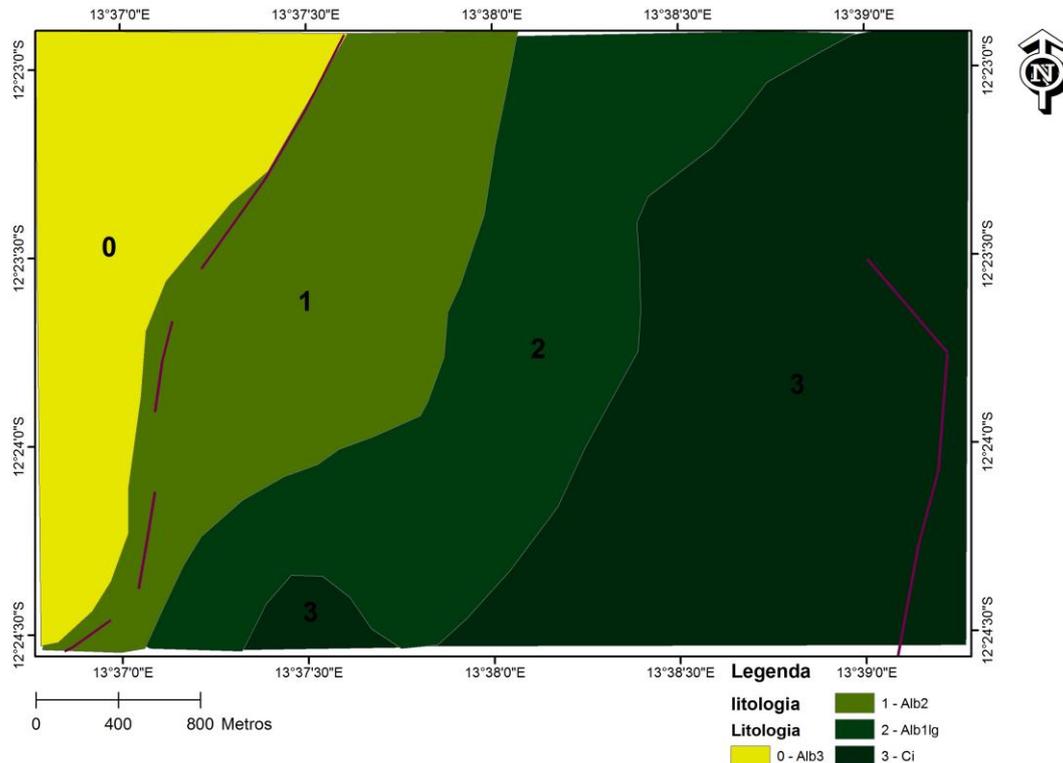


Figura 5.20 – Esboço da carta geológica (adaptado da Carta Geológica do Lobito, folhas 227/228 a escala 1:100.000; 0 – Calcários margosos; 1 – Calcários dolomíticos, oolíticos, grés; 2 – Margas argilosas avermelhadas, níveis de gesso, areias e níveis conglomeráticos; 3 – Calcários silicificados, nodulares esbranquiçados, grés e conglomerados).

5.3.1. A detecção remota na monitorização da evolução da ocupação dos solos: o caso do ciclo de vida de uma lixeira

Uma carta de ocupação de solos é uma carta dinâmica e, por esta razão, com necessidade de actualizações frequentes. Um exemplo que vai ser usado para demonstração das capacidades dos sistemas de DS neste contexto, e detectado na área em estudo, é o da evolução de um local de deposição de resíduos sólidos (de natureza, em princípio, maioritariamente urbana).

Para o efeito, recorreu-se à análise de 3 imagens Landsat de datas distintas, sendo duas do landsat 5 (2008 e 2010) e uma do landsat 7 (2012). As respectivas imagens foram recortadas para a área de estudo e depois de

georreferenciadas no mesmo sistema (UTM_WGS_33S), passou-se a vectorização da area correspondente (figura 5.22).

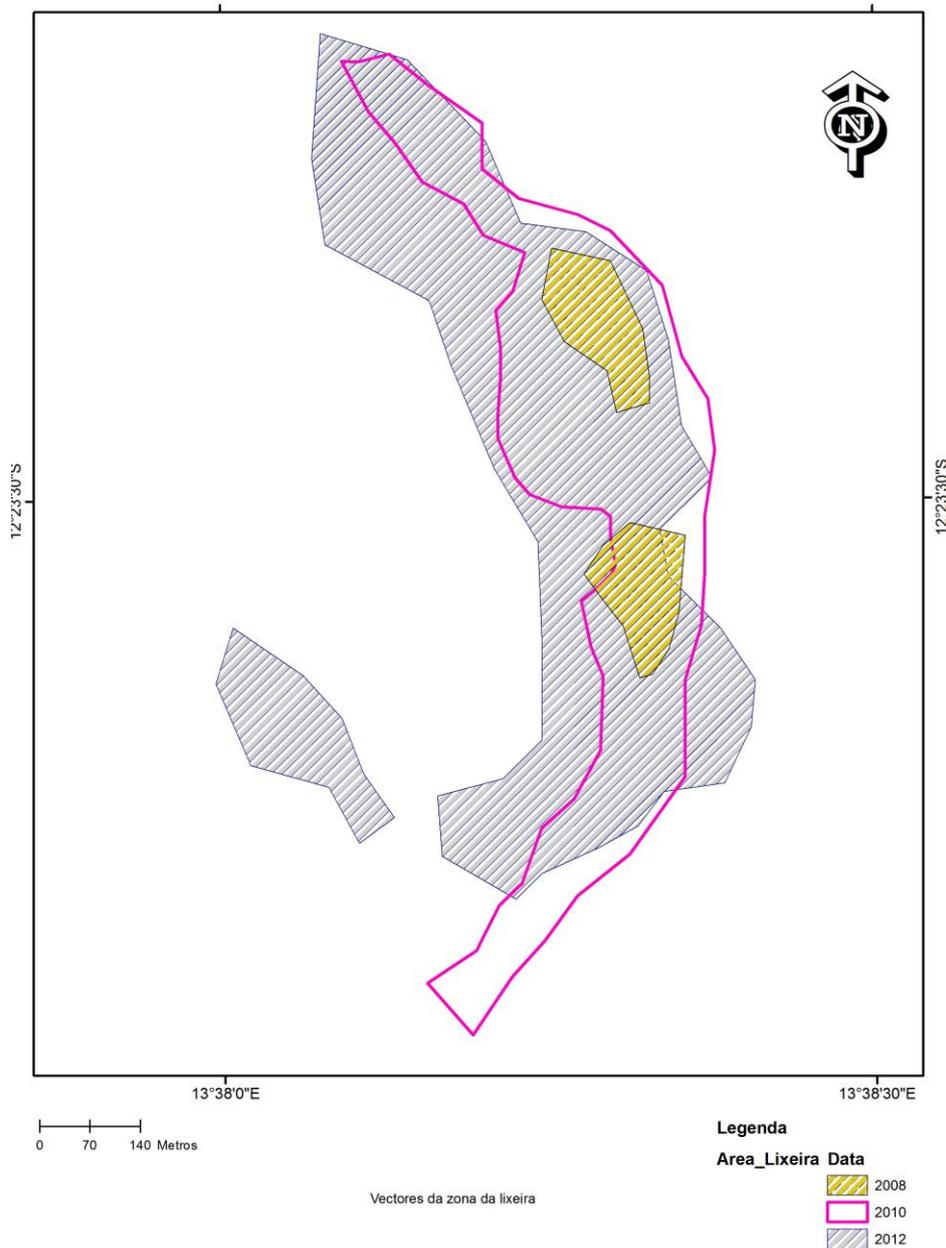


Figura 5.21 – Delimitação da área com concentração de resíduos sólidos urbanos (lixreira) em anos distintos.

Os resultados mostraram um crescimento rápido da área dos resíduos (tabela 5.10), motivados um pouco pelo crescimento urbano que a cidade sofreu nos últimos 4 anos. Também a destacar que é nesta zona onde as

empresas de recolha e tratamento de resíduos sólidos da cidade do Lobito depositavam os resíduos recolhidos da cidade.

Tabela 5.10 – Cálculo da área estimada da lixeira desde 2008 a 2012 a partir dos dados de satélite.

Ano	Area (m ²)
2008	38064
2010	211368
2012	337432

O gráfico na figura 5.22 ilustra bem a diferença e o salto dado desde 2008 na área ocupada pela lixeira. Actualmente está-se a proceder ao aterro da referida zona cobrindo com terra os resíduos depositados no local.

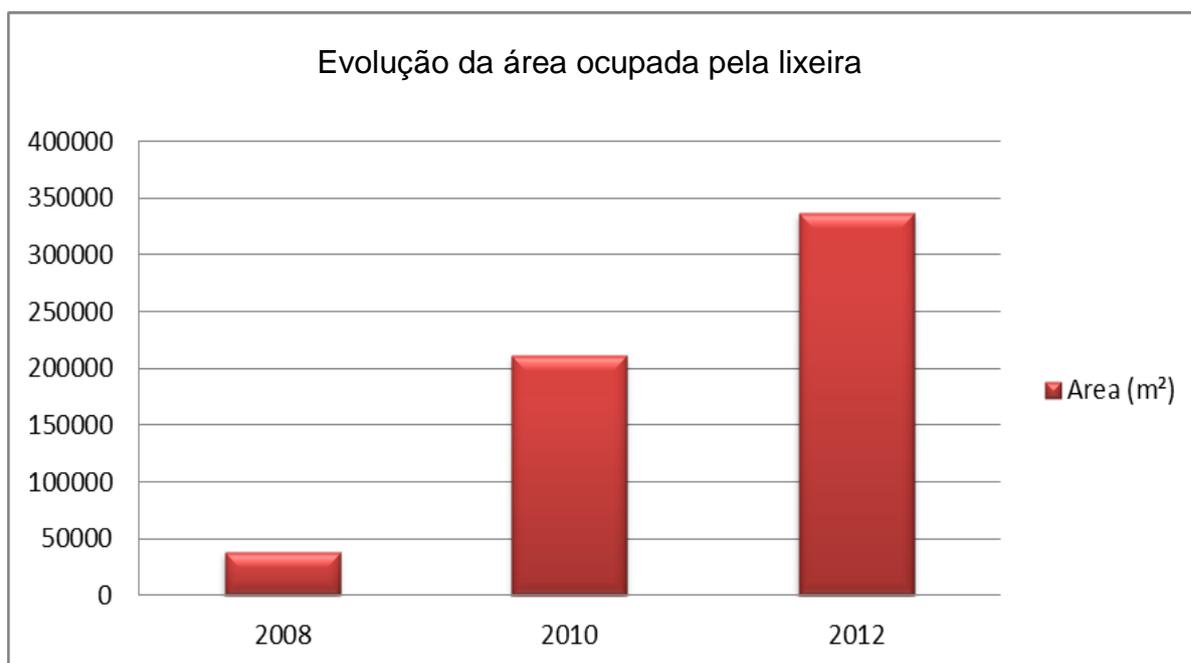


Figura 5.22 – Evolução da área ocupada pela lixeira entre 2008 e a actualidade.

6. CONCLUSÕES

O estudo efectuado na região do Lobito (Angola), como base no processamento de dados espectrais, obtidos por satélite, e os trabalhos de campo, permitiu extrair as seguintes conclusões:

- As limitações técnicas actuais do sensor Landsat 7 ETM+, associadas ao desligamento do SLC, bem como os problemas relativos à correcção atmosférica das imagens, podem ser ultrapassados recorrendo à correlação com os dados obtidos por outros sensores (Modis): no último caso, o método GERM mostrou-se particularmente eficaz;
- As observações no terreno e a análise de imagens de alta resolução espacial permitiram definir e caracterizar 4 classes principais de uso e ocupação dos solos na região;
- A aplicação de técnicas de processamento digital às imagens Landsat permitiu fazer uma classificação detalhada e precisa da distribuição das diferentes classes de uso do solo, validada pela análise comparativa com os dados do terreno ou obtidos em imagens de alta resolução e usando para o efeito matrizes de confusão;
- A distribuição das diferentes classes de uso dos solos está de algum modo condicionado pela geologia da região.
- A DR pode ser também uma excelente ferramenta para monitorizar um sistema altamente dinâmico como é o da ocupação dos solos, em especial em países em rápido desenvolvimento, como é o caso presentemente de Angola;
- A utilização de técnicas de DR aplicadas à cartografia é uma mais valia e uma ferramenta que pode ajudar os países em vias de

desenvolvimento como Angola a obter informação sobre o território, de forma rápida e com baixos custos; trabalhos como o presente contribuem para esse objectivo ao ajudar a calibrar os diferentes sistemas de DR disponíveis.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Antunes, M. (1964). O neocretácico e o cenozoico do litoral de Angola. Junta de Investigação do Ultramar, vol. 2.
- Barbosa, G., (1970). Carta Fitogeográfica de Angola. Instituto de Investigação de Angola.
- Buta-Neto, A. (2006) – Analyse des interactions tectonique salifère – sedimentation grésocarbonatée albienne dans le basin onshore de Benguela (marge sud angolaise). Tese não publicada, Université Bourgogne, Dijon, France, 180 p..
- Buta-Neto, A., Tavares, T.S., Quesne, D., Guiraud, M., Meister, C., David, B. & Morais, M.-L. (2007) – Synthèse préliminaire des travaux menés sur le bassin de Benguela (Sud Angola): implications sédimentologiques et structurales. *África Geoscience Review*, vol.13 (3), pp. 239-250.
- Boegh, E., H. Soegaard, A. Thomsen, e S. Hansen, (2003). Multi-scale remote sensing based estimation of leaf area index and nitrogen concentration for photosynthesis modelling, *Proceedings of IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 21 - 25 Julho 2003, Toulouse, França, pp. 2847-2849.
- Cruz, J. R. (1940). *Clima de Angola – Elementos de Climatologia*.
- Carvalho, G. S. (1961) – Alguns problemas dos terraços quaternários de litoral de Angola. *Bol. Ser. Geol. Minas de Angola*, vol. 2, pp. 5-15.
- Carvalho, G. S. (1963) – Problemas de sedimentologia das praias do litoral de Angola (Entre a foz do rio Coporolo e o Lobito). *Garcia de Orta. Serv. Geol. de Angola*, vol. X, pp. 12-18.
- Caetano, M., A. Nunes e T. Santos. (2002). Generalização de cartografia de ocupação do solo derivada de classificação de imagens de satélite ao nível do pixel. *Actas da III Conferência de Cartografia e Geodeseia, Aveiro 2002*.
- Caetano, M., (2004). *Apontamentos da disciplina de Detecção Remota e Monitorização do Ambiente*, Instituto Superior de Estatística e gestão de Informação, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal.
- Capão, L., H. Carrão, A. Araújo, e M. Caetano (2007). An approach for land cover mapping with multi-temporal MERIS imagery, *Proceedings of the 2007 International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS'2007)*, 23 – 27 Julho 2007, Barcelona, Espanha.
- Costa, H. A. G., (2008). *Estratégia Multi-Temporal para Produção Automática de Cartografia de Ocupação do Solo com imagens AWIFS*. Lisboa.

- Domenikiotis, C., A. Loukas, e N.R. Dalezios, (2003). The use of NOAA/AVHRR satellite data for monitoring and assessment of forest fires and floods, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 3:115-128.
- Doraiswamy, P.C., J.L. Hatfield, T.J. Jackson, B. Akhmedov, J. Prueger, e A. Stern, (2004). Crop condition and yield simulations using Landsat and MODIS, *Remote Sensing of Environment*, 92:548-559.
- Diniz, A. C., (1998). Angola o Meio Físico e Potencialidades Agrárias, Ministério dos Negócios Estrangeiros – Instituto de Cooperação Portuguesa. 2ª edição revista, Lisboa.
- Diniz, A. C., (1998). Características Mesológicas de Angola. IPAD, Lisboa, Portugal, 1ª edição, 480p.
- Fonseca, A. M. (1993) – Aquisição de informação geográfica por sensores remotos orbitais. Seu processamento e exploração – ITB11, LNEC, Lisboa.
- Fonseca, A. D. & Fernandes, J. C., (2004). Detecção Remota. 1ª edição. Lisboa, Lidel.
- Galvão, C.F.; Silva, Z. (1972) – Notícia explicativa da folha 227-228 (Lobito) à escala 1:100.000. Direcção Provincial dos Serviços de Geologia e Minas, 40 p.
- Galvão, C.F., Portugal, A. (1972) – Carta geológica do Lobito à escala 1:100 000. Direcção Provincial dos serviços de Geologia e Minas.
- Gao, F., Masek, J.G. (2008) Normalizing ASTER data using MODIS products for land cover classification. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37, B7.
- Gupta, R. P. (1991). Remote sensing geology. Springer – Verlag (Berlin Herdelberg, New York, Lond), Printed in Germany.
- Holden, E. M. J., (2010). Aplicação da Detecção Remota à Cartografia Geológica e do Uso do Solo na Região do Lubango, Angola. Coimbra: Departamento de Ciências da Terra da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. Tese para obtenção do Grau de Mestre.
- Jensen, J. R. (2000). Remote Sensing of The Environmet – An Earth Resource Perspective. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 544 pp.
- Levin, N., (1999). Fundamentals of Remote Sensing, pp. 56-118.
- Lillesand, T. M., Kiefer, R. W. e Chipman, J.W. (2003). Remote Sensing and Image Interpretation. John Wiley & Sons, Nova Iorque, 704 pp.
- Mather, P. M. (2006). Computer Procesing of Remotely-Sensed Images. An Introduction. John Wiley & Sons, Ltd., West Sussex, 324 pp.

- Motta, J.L.G., D.C. Fontana, e E. Weber, (2003). Evolução temporal do NDVI/NOAA em áreas cobertas com proporções variáveis de soja, Revista Brasileira de Agrometeorologia, 11(2):353-369.
- Matos, J., (2008). Fundamentos de Informação Geográfica. 5ª Edição. Lisboa, Lidel.
- Pinho, R. F. C. (2009). Aplicação de técnicas de detecção remota para a identificação de lineamentos estruturais num sector do noroeste de Portugal e do sudoeste da Galiza. Departamento de Geografia da Faculdade de Letras da Universidade do Porto. Tese para obtenção do grau de mestre.
- Rabaça, T. J. L., (2001). Caracterização Geoambiental da Região de Penamacor-Idanha por Aplicação de Técnicas de Detecção Remota. Coimbra. Departamento de Ciências da Terra da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. Tese para obtenção do Grau de Mestre.
- Rabaça, T. J. L., Conde, L. N., Pinto, A. F. F. e Pereira, A. J. S. C. (2004). Avaliação das potencialidades de técnicas de detecção remota como suporte à cartografia geológica na região central de Portugal. Revista electrónica de Ciências da Terra: 1-14.
- Santos, T. A. G., (2003). Atualização de cartografia temática com Imagens de Satélite. Lisboa: Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa. Tese para obtenção do Grau de Mestre em Sistemas de informação Geográfica.
- Sabins, F. F.,(1997). Remote Sensing – Principles and Interpretation. 3rd Edition. New York: W.H. Freeman and company.
- Salinero, E. C. (2007). Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el Espacio. Editorial Ariel, Barcelona, 586 pp.
- TECHNOEXPORTSTROV (1990) – Esquema para o desenvolvimento socioeconómico da província de Benguela. Comissão provincial de Benguela, Gabinete do Plano.
- Uchida, S., 2001. Discrimination of Agricultural land use using multi-temporal NDVI data, 22nd Asian Conference on Remote Sensing, 5 – 9 Novembro 2001, Singapura.
- USGS Landsat Project [WebPage] - Acedido pela última vez em 08/2012.
- Venâncio, P. N. G., (2007). Aplicação de Dados de Detecção Remota à Cartografia Geológica da Região de Viseu. Coimbra: Departamento de Ciências da Terra da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. Trabalho de Estágio de Licenciatura em Geologia (Ramo Científico).

Wiley, M. V. (2007). Integration of GIS and Remote Sensing (Mastering GIS, Technology, Applications and Management). Department of Geography, Florida State University, USA.

<http://eros.usgs.gov> – ultima consulta em Setembro de 2012.

http://gsfc.nasa.gov/landsat_7handbook - ultima consulta Outubro 2012.

http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/payload/prog_sect3_2.html - ultima consulta Outubro de 2012.

http://landsat.usgs.gov/links_educationallinks.php - ultima consulta Setembro 2012.

<http://glovis.usgs.gov/> - ultima consulta Setembro 2012.

http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/data_prod/ - ultima consulta Setembro 2012.