

UNIVERSIDADE DOS AÇORES
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA



**ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DA OCUPAÇÃO DA ORLA COSTEIRA
USANDO TÉCNICAS DE DETECÇÃO REMOTA**

MARIA GABRIELA SERRA MEDEIROS OLIVEIRA

MESTRADO EM ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO E PLANEAMENTO AMBIENTAL

**Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre em Ordenamento do
Território e Planeamento Ambiental pela Universidade dos Açores**

Orientador
Paulo Jorge Amaral Borges
Co-orientador
Artur Gil

2009

Agradecimentos

Um agradecimento muito especial a todos os que indirectamente me ajudaram a concluir este trabalho.

À Prof. Helena Calado, agradeço pela forma entusiástica com que sempre me apoiou e pelo o seu empenho e força motivadora.

Ao Prof. Paulo Borges pela forma dedicada com que acompanhou a realização deste trabalho, um muito obrigada.

Ao Artur os meus mais sinceros agradecimentos, pela disponibilidade, pela paciência, pela excelência.

Índice Geral

Resumo

1	Introdução.....	6
2.	Enquadramento Geral.....	11
2.1	O Arquipélago dos Açores.....	11
2.2	A Ilha de São Miguel.....	13
2.3	Localização e caracterização da área de estudo.....	16
2.3.1	Ocupação Humana.....	16
2.3.3	Sector económico.....	19
2.3.4	Áreas Protegidas.....	20
2.3.5	Geologia.....	21
2.3.6	Tipologia da faixa costeira.....	21
2.3.7	Erosão Costeira.....	23
3	Gestão Integrada das Zonas Costeiras (GIZC).....	25
3.1	Enquadramento.....	25
3.1.1	Origem e conceito da GIZC.....	26
3.1.2	O ordenamento da zona costeira em Portugal.....	29
3.1.3	O POOC da costa sul da ilha de S. Miguel.....	31
3.2	A Detecção Remota e a GIZC.....	33
3.2.1	Conceitos gerais de Detecção Remota.....	33
3.2.2	O Projecto Landsat.....	36
3.2.3	Aplicação de Detecção remota na GIZC.....	38
3.2.4	Escolha do sensor e bandas espectrais para aplicação temáticas.....	40
3.2.5	Pré-processamento Digital de Imagem de Satélite.....	42
3.2.6	Detecção de diferenças estatisticamente significativas entre imagens de satélite da mesma área.....	45
4.	Objectivo.....	48
5.	Metodologia.....	49
6.	Apresentação e Discussão de Resultados.....	52
7	Conclusões.....	69
8	Bibliografia.....	77

Anexos

Índice de Figuras

Figura 1 - Posicionamento geográfico do Arquipélago dos Açores	12
Figura 2 – S. Miguel e divisões administrativas	14
Figura. 3 - Delimitação da área de estudo	16
Figura. 4 - Aglomerados populacionais, em 2001, no troço em análise	18
Figura 5 - Identificação das classes de ocupação do solo no troço em estudo.....	19
Figura 6 - Mapa de erosão da ilha de S. Miguel.....	24
Fig. 7 - Ilustração do comportamento espectral de alguns elementos	35
Figura 9 - Histograma com a distribuição dos valores de uma imagem de diferença e com o limiar de alteração de um desvio padrão (σ) a partir da média (μ)	47
Fig. 10 – Fluxograma do procedimento adoptado de PDI	51
Figura 11 – Mapa de alterações. Banda 3	53
Figura 12– Mapa de alterações. Banda 4	53
Figura 13– Mapa de alterações. Banda 7	53
Figura 14 -Técnica de diferença de imagens com reclassificação de 5 % de valores de pixel - Banda 3	54
Figura 15 - Técnica de diferença de imagens com reclassificação de 5 % de valores de Pixel – Banda 4	54
Figura 16 - Técnica de diferença de imagens com reclassificação de 5 % de valores de Pixel – banda 7	55
Fig. 17 – Comparação entre os resultados obtidos nas bandas 3, 4 e 7 e detecção de alterações. Troço Santa Cruz/Água de Pau Santa Cruz e Água de Alto, Concelho de Lagoa.	57
Fig. 18 – Comparação entre os resultados obtidos nas bandas 3, 4 e 7 e detecção de alterações. Rocha dos Campos.	57
Figura 19 Comparação entre os resultados obtidos para as bandas 3, 4 e 7 na Ribeira Quente	60
Figura 20 – Visualização das alterações identificadas (corte de imagem para análise da técnica de diferença de imagens). Troço Santa Cruz/Água d'Alto	64

Figura 21 - Aspectos das alterações ocorridas num troço do Concelho de Lagoa e pormenor da detecção das alterações, na Rocha dos Campos.....	64
Figura 22 – Visualização das alterações identificadas (corte de imagem para análise da técnica de diferença de imagens). Faixa litoral da Ribeira Quente	64
Figura 23– Aspecto da arriba da rocha dos campos	67
Fig. 24 - Cicatrizes de movimentos de massa de vertente ocorridos na noite de 31 de Outubro de 1997 na encosta da Freguesia da Ribeira Quente	68
Fig. 25 - Freguesia da Ribeira Quente em 2006.	68

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Habitantes por freguesia (Censos, 2001) e estimativa De habitantes por freguesias na área trabalho	17
Tabela 2 - Sistema de classificação do litoral	22
Tabela 3 – Princípios básicos de GIZC	28
Tabela 4 - Objectivos e princípios em observação no POOC Costa Sul	33
Tabela 5 – Especificidades técnicas do sensor TM	41
Tabela Aplicações das bandas espectrais do satélite Landsat, sensor TM.....	42,
Tab. 7 - Características das imagens de satélite seleccionadas	49

Resumo

O Processo de Gestão Integrada das Zonas Costeiras assenta num processo contínuo de recolha de informação, planeamento, tomada de decisões, gestão, execução e acompanhamento da execução. Neste sentido uma gestão eficaz do litoral terá de passar pelo aprofundamento do conhecimento das variáveis que actuam no litoral, da monitorização dos intervenientes e da constituição de equipa multidisciplinares que interajam para melhorar a informação prestada ao poder decisório no sentido de uma melhor gestão do litoral.

A identificação e avaliação das vulnerabilidades locais são um primeiro passo para a uma efectiva gestão alargada no espaço e no tempo tendo por pressuposto que as zonas costeiras são um sistema dinâmico, pelo que a sua gestão deverá ser um processo contínuo e ágil.

Neste sentido a integração de estudos multidisciplinares e multi-temporais em relação ao comportamento evolutivo do ambiente costeiro pode fornecer dados importantes para uma melhor gestão do litoral.

O recurso ao uso de imagens multiespectrais registadas pelo satélite Landsat como complemento à informação já existente, vem possibilitar a identificação de elementos presentes na paisagem, a sua localização e a percepção da sua alteração ao longo dos anos, podendo facilitar a identificação de áreas prioritárias para protecção.

1 Introdução

As zonas costeiras são uma região da superfície da Terra de extrema importância para os assuntos humanos: dela estão dependentes temas tão diversos para o homem como actividades sociais, culturais, económicas e políticas.

Factores como a localização de aglomerados habitacionais, a ocorrência de grandes áreas destinadas a uso agrícola, a presença do sector industrial e a crescente pressão turística sobre a orla costeira, junto com a desadequação dos instrumentos políticos de defesa ambiental, constituem causas que poderão levar à degradação das zonas costeiras.

A ocupação do litoral pelo homem tem aumentado muito nas últimas décadas e consequentemente a pressão antrópica sobre essa zona.

Por razões conhecidas, a faixa costeira tem sido ao longo do tempo uma das zonas mais apetecíveis ao Homem e em ilhas pequenas, a franja costeira foi, e é por vezes ainda, o único local que ofereceu condições para o Homem se poder fixar (Borges *et al*, 2009).

Contudo, e infelizmente, este crescimento nem sempre foi, ou é, acompanhado de uma política clara de planos de gestão, de ordenamento e desenvolvimento sustentado do litoral enquanto recurso natural (Borges *et al*, 2009), sendo que a erosão costeira constitui um dos principais problemas de gestão do litoral,

implicando a perda directa de território terrestre e a alteração das actividades humanas em seu redor (Fortunato *et. al.*, 2008).

Porém, a Gestão Integrada das Zonas Costeira (GIZC), conceito recente de gestão territorial, propõe a compatibilização dos factores naturais e humanos, integrando o desenvolvimento económico e as utilizações humanas com protecção, preservação e restauração das zonas costeiras, efectuado de forma sustentável, ou seja, através do aprofundamento do conhecimento das variáveis que actuam no litoral, da monitorização dos intervenientes e da constituição de equipa multidisciplinares que interajam para melhorar a informação prestada ao poder decisório no sentido de uma melhor gestão do litoral.

Um dos elementos que concretizam o processo de planeamento e gestão integrada das zonas costeiras são os Planos de Ordenamento da Orla Costeira (POOC), cujos objectivos traduzem simultaneamente preocupações de desenvolvimento sustentável do litoral integrando desenvolvimento socioeconómico, valorização e protecção ambiental e defesa costeira, de acordo com as suas capacidades e do território confinante.

O POOC da Costa Sul de Ilha de São Miguel, Decreto Regulamentar Regional nº 29/2007/A de 5 de Dezembro, tem por objecto as águas marítimas costeiras e interiores e respectivos leitos e margens, denominadas zona terrestre de protecção, cuja largura máxima é de 500 m contados da linha que limita a margem das águas do mar; e faixa marítima de protecção, que tem como limite

máximo a batimétrica dos 30 m. Como instrumento de gestão territorial, tem como objectivo e principio estabelecer regras a que deve obedecer a ocupação e uso e transformação dos solos abrangidos pelos seus âmbitos de aplicação.

Em estudos de monitorização costeira, a existência de imagens de sensores remotos de satélite, de diferentes épocas, converte a análise multi-temporal numa excelente ferramenta para auxiliar estudos geomorfológicos costeiros, ao estender informações pontuais de uma área para um contexto geográfico, possibilitando o entendimento da história evolutiva destes sistemas (Trebossen *et al.*, 2005; Chu *et al.*, 2006; Batista, 2007)

A motivação para a realização do presente trabalho justifica-se porquanto, em ilhas, para além das questões de protecção e salvaguarda de valores naturais costeiros, as questões do litoral assumem particular importância do ponto de vista social e económico, tendo em conta que a quase totalidade dos aglomerados populacionais na Região Autónoma dos Açores, nomeadamente na ilha de São Miguel, situam-se junto à costa.

O POOC dada a sua natureza regulamentar estabelece um conjunto de princípios de actuação relativos ao litoral, com a ambição de um desenvolvimento sustentável, da integração do progresso económico, do planeamento e gestão urbanística, da protecção e valorização ambiental tal como da defesa costeira.

A possibilidade de monitorizar as zonas costeiras de forma a reorientar a sua gestão é talvez uma das maiores virtudes previstas nos POOC.

Porém, existe pouca informação relacionada com a evolução das zonas costeiras da ilha ao longo do tempo tendo por base uma perspectiva integradora dos vários agentes intervenientes nestas zonas e dos seus impactos.

Neste sentido a integração de estudos multidisciplinares e multi-temporais em relação à avaliação do comportamento evolutivo da faixa costeira pode fornecer dados importantes para uma melhor gestão do litoral.

O recurso ao uso de imagens multiespectrais registadas pelo satélite Landsat como complemento à informação já existente, vem possibilitar a identificação de elementos presentes na paisagem, a sua localização e a percepção da sua alteração ao longo dos anos, podendo facilitar a identificação de áreas prioritárias para intervenção.

A presente dissertação explora a utilização de dados de detecção remota para detectar alterações em zonas costeiras, numa área definida pelo POOC Costa Sul de São Miguel. Este troço costeiro apresenta constituição litológica diferente cuja ocupação de solo compreende zonas urbanas, agrícolas, florestais, espaços naturais e protegidos. Os dados utilizados são provenientes de imagens captadas nos dias 05/07/1990 e 16/5/2007 pelo sensor Thematic Mapper (TM) do satélite Landsat 4 e Landsat 5.

São objectivos do presente trabalho:

- Aplicação de conhecimentos adquiridos no âmbito do programa curricular do Mestrado de Ordenamento do Território e Planeamento Ambiental;
- Apresentar a metodologia empregue, como um possível instrumento de apoio na decisão em planos de gestão territorial, como eficaz e de fácil actualização e um recurso com aplicação em ilhas.
- Confirmar as bandas espectrais 3, 4 e 7 como adequadas para estudos de monitorização da orla costeira;
- Produção de mapas de alterações na orla costeira.

2. Enquadramento Geral

2.1 O Arquipélago dos Açores

O Arquipélago dos Açores localiza-se no Oceano Atlântico Norte, entre as latitudes 36°55` e 39°43` Norte e longitude 24°46` e 31°16` Oeste e é formado por 9 ilhas de origem vulcânica que se dispersam por uma área de 2 322 km² ao longo de uma faixa com orientação NW-SE em que os extremos distam 630 km (Fig. 1). As ilhas emergem da plataforma dos Açores que tem uma forma geral triangular correspondente a uma superfície de cerca de 400 000 km² de crosta oceânica, elevada à isóbara dos 2000 (Needham & Francheteau, 1974; Lourenço *et al.*, 1998).

As ilhas do arquipélago, agrupam-se em três grupos distintos – Grupo Oriental composto por São Miguel e Santa Maria, Grupo Central formado pelas ilhas da Terceira, Graciosa, São Jorge, Faial e Pico e o Grupo Ocidental formado pelas ilhas das Flores e Corvo.

O extremo ocidental do arquipélago dista cerca de 3 900 km da América do Norte e o extremo oriental dista aproximadamente 1 570 km do continente Europeu.

O clima nos Açores está relacionado com a dinâmica global no contexto de uma bacia oceânica aberta, quer em direcção ao pólo norte, quer aos trópicos. Outros factores como a altitude, a distancia à linha de costa e o grau de

exposição do relevo marcam igualmente o clima nas ilhas, em que as zonas climáticas em geral desenvolvem-se em faixas mais ou menos paralelas à costa e acompanhando o relevo (SRA, 2003).

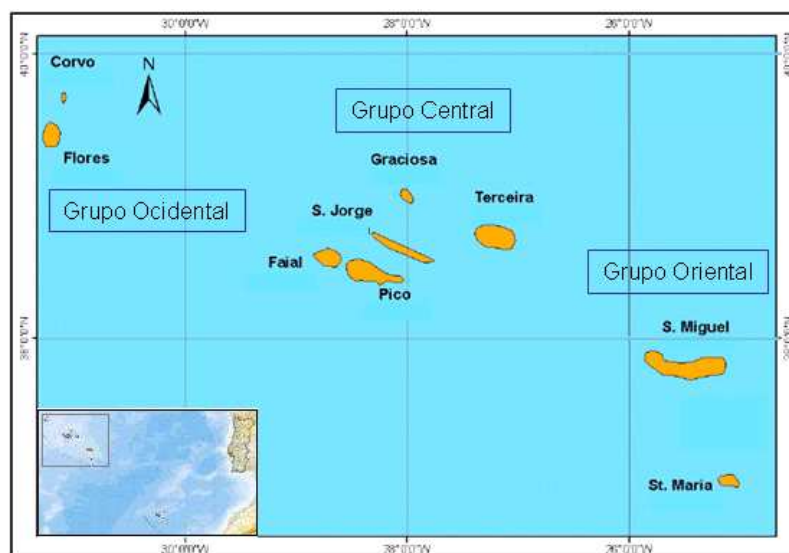


Fig 1 - Localização geográfica do Arquipélago dos Açores

As condições meteorológicas no arquipélago dos Açores são condicionadas pela sua localização na zona subtropical de anticlones do hemisfério norte sob a influência do anticiclone dos Açores. A superfície frontal polar também tem um papel importante da climatização dos Açores em consequência da sua deslocação anual para sul, durante o Inverno, muitas vezes atingindo o arquipélago (Borges, 2003).

O clima é temperado marítimo, o que se reflecte na baixa amplitude térmica, elevada pluviosidade, humidade relativa e vento persistente. Outra característica marcante é a ocorrência de uma estação seca e uma estação

húmida. A precipitação média no Arquipélago é de 1930 mm. (Cruz, *et.al*, 2007).

A dinâmica do enquadramento tectónico é o elemento responsável pelas características petrológicas e geoquímicas dos materiais lávicos emitidos pelos aparelhos vulcânicos da região (França *et al.*, 2003)

Do ponto de vista administrativo, o arquipélago dos Açores constitui uma Região Autónoma da República Portuguesa possuindo autonomia política e administrativa desde 1976, e possui um Governo Regional com capacidade legislativa.

2.2 A Ilha de São Miguel

A área de trabalho localiza-se em São Miguel, a maior ilha do Arquipélago dos Açores, com uma área de 747 km². A ilha mede em linha aérea, 65 km de comprimento e 16 km de largura máxima.

São Miguel integra seis Concelhos: Ponta Delgada, Lagoa, Vila Franca, Povoação, Nordeste e Ribeira Grande (fig 2). Ponta Delgada é o concelho com mais habitantes 64.616, seguido por Ribeira Grande com 28.507, Lagoa com 14.214, Vila Franca do Campo com 11.150, Povoação e Nordeste com 6.624 e 5.209 respectivamente.



Fig.2 – São Miguel e divisões administrativas. Fonte WWW.igeo.pt

A edificação da ilha resultou de importantes erupções traquíticas, traquibasálticas e basálticas (França *et al*, 2005) .

As unidades vulcanoestretográficas definidas por Forjaz, (1997), são da mais antiga para a mais recente: Complexo Vulcânico do Nordeste, Complexo Vulcânico da Povoação, Complexo Vulcânico das Furnas, Complexo Vulcânico das Sete Cidades, Complexo Vulcânico do Fogo, Complexo Vulcânico dos Picos e Erupções Históricas.

A morfologia costeira de São Miguel é variada, indo de plataformas basálticas baixas a praias arenosas e elevadas falésias (Morton, 1998). A ilha é em geral, dominada por escarpas bem desenvolvidas, em consequência da erosão marinha, originando uma orla muito recortada com situações diversas intercaladas: arribas altas/baixas, fajãs, praias de areia escura ou litoral baixo rochoso (SRA, 2007).

Segundo os dados USNOO, (1963) no Grupo Oriental os rumos de W, NW, N e NE são os mais representativos da vaga na Primavera e no Verão. No Inverno,

os rumos de S, SW e W adquirem grande importância. Em relação à ondulação, os rumos de W e NW apresentam maior número de ocorrências e de maior energia.

O regime de agitação costeira que afecta São Miguel é de alta energia, sendo este regime mais energético na costa norte, contudo, os temporais mais violentos vem de SW (Borges, 2003).

A maré no litoral de São Miguel é do tipo semidiurno denunciando um litoral microtidal (Borges, 2003).

A tempestuosidade apresenta uma variabilidade interanual, com uma frequência média de ocorrência de tempestades de 3.1/ano com uma duração média de 2.3 dias (Borges, 2003).

Em relação à ocupação do solo, ao longo dos anos, a intensificação da pressão urbanística e a alteração de muitos solos para a actividade agro-pecuária fez com que o espaço disponível na Região se tornasse num recurso limitado (SRA, 2003).

A ocupação actual do solo na ilha é caracterizada pela predominância das áreas agrícolas e ruderalizadas, o que corresponde a quase dois terços da superfície da São. Miguel. (SRA, 2003).

2.3 Localização e caracterização da área de estudo

A área de estudo corresponde ao troço costeiro desde Santa Cruz no concelho de Lagoa, a totalidade da faixa costeira de Vila Franca do Campo, até à Ribeira Quente no Concelho da Povoação. Este troço costeiro está incluído na zona terrestre de protecção definida nos POOC, cuja largura é de 500 m contados da linha que limita a margem das águas do mar (fig 3).

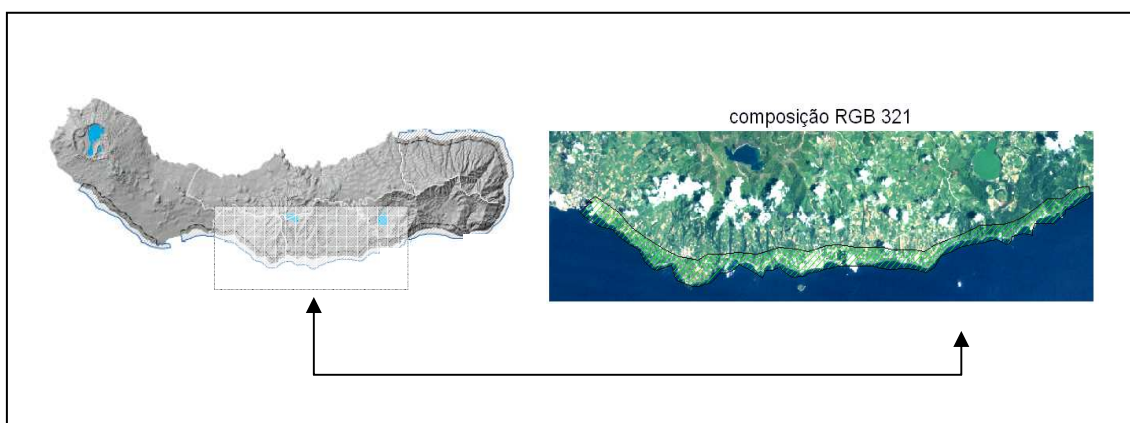


Fig. 3 - Delimitação da área de estudo.

2.3.1 Ocupação Humana

A ocupação Humana é marcada pela elevada litorização dos aglomerados populacionais que procuram melhores condições para se poderem fixar de forma a estar mais perto dos centros económicos e de decisão (fig. 4).

Segundo o Relatório não Técnico do POOC Costa Sul, a população nos 500 m de faixa costeira, corresponde a cerca de 58% da população total residente nas

freguesias abrangidas pelo POOC, e, por sua vez, a 34% da população total dos respectivos concelhos (SRA, 2007)(Tab.1).

Na área do POOC costa Sul residiam em 2001 cerca de 35 300 indivíduos (Censos 2001).

O troço seleccionado apresenta uma ocupação humana baixa entre a Freguesia de Santa Cruz e Água d'Alto e entre Ponta Garça e Ribeira Quente. O maior aglomerado urbano é em Vila Franca do Campo seguido por Ponta Garça, Ribeira Quente, Agua d'Alto, Ribeira das Tainhas e Caloura.

O troço seleccionado apresenta uma ocupação humana baixa entre a Freguesia de Santa Cruz e Água d'Alto e entre Ponta Garça e Ribeira Quente. O maior aglomerado urbano é em Vila Franca do Campo seguido por Ponta Garça, Ribeira Quente, Agua d'Alto, Ribeira das Tainhas e Caloura.

Tab 1 - Habitantes por freguesia (Censos, 2001) e estimativa de habitantes por freguesias na área de trabalho

Concelhos	Habitantes	Estimativa hab. área estudo	Area km ²
Lagoa	13214	-	45,6
Santa Cruz	3501	2030.58	-
Ribeira Chã	366	212.28	-
Água de Pau	3122	1810.76	-
Vila Franca do Campo	11150	-	78,0
Água d'Alto	1624	941.92	-
S. Miguel	4047	2347.26	-
S. Pedro	1120	649.6	-
Ribeira das Tainhas	782	453.56	-
Ponta Garça	3577	2074.66	-
Povoação	6624	-	108,0
Ribeira Quente	798	10521	-

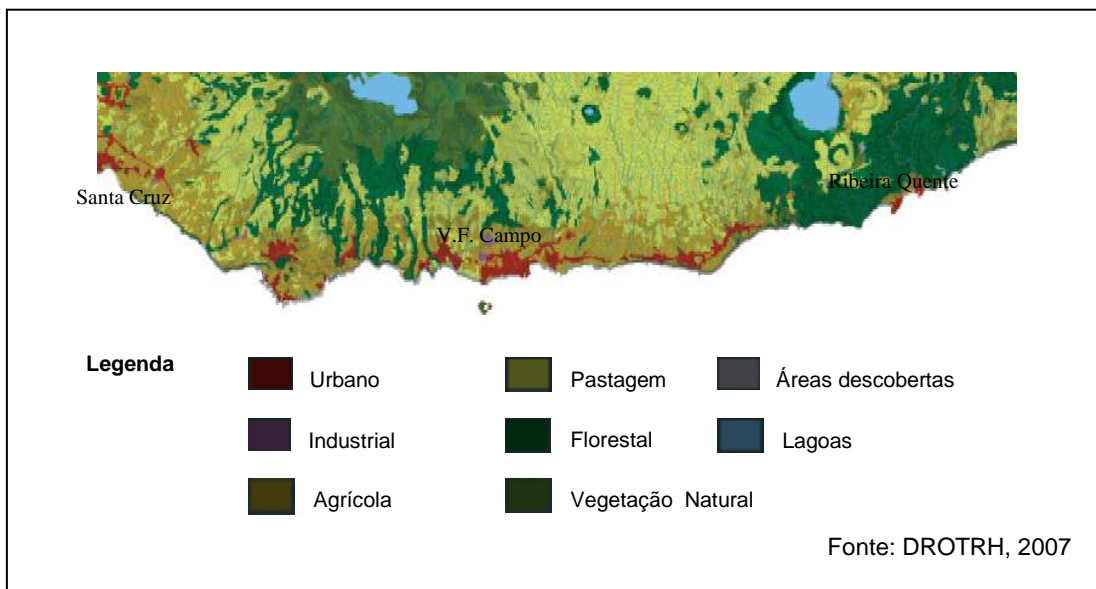


Fig. 5 - Identificação das classes de ocupação do solo no trecho em estudo, adaptado de DROTRH

2.3.3 Sector económico

O sector industrial no trecho em estudo é reduzido, sendo que a base económica tem a sua origem na agricultura, pesca, comércio e turismo.

Em termos de pressão turística, o trecho seleccionado tem elevada procura, principalmente as zonas balneares de Prainha do Sul e Praia de Agua d`Alto e Praia de Vinha da Areia, no Concelho de Vila Franca e Praia do Fogo na Ribeira Quente. Prainha do Sul e Praia de Agua d`Alto, estão classificadas como zona balnear tipo 2, e Praia de Vinha da Areia e Praia do Fogo, classificadas como zona balnear tipo 1 (artº 15º do Decreto Regulamentar Regional nº 29/2007/A). Esta denominação é atribuída considerando a

proximidade aos centros urbanos e as infraestruturas de apoio existentes naquelas praias.

Neste troço encontram-se infraestruturas de apoio turístico desde unidades hoteleiras a marinas, nomeadamente os Hotéis da Caloura, Baia Palace e Vila Mar Franca Mar e a Marina de Vila Franca.

De acordo com o Plano de Ordenamento Turístico da Região Autónoma dos Açores, deve-se perspectivar para o troço em questão um aumento de pressão, não só de novos alojamentos, mas também de utilização do espaço para equipamentos de suporte e apoio à actividade turística, tais como piscinas, infra-estruturas de recreio náutico, zonas balneares e circuitos pedestres.

Por este motivo escolheu-se caracterizar este sector económico em detrimento dos restantes sectores, pois o turismo tem sido a grande aposta da economia regional na última década, prevendo-se como consequência um impacto significativo nas zonas costeiras em virtude da melhoria das condições de oferta turística. A procura de novas zonas balneares a construção de marinas e de novos alojamentos serão num futuro próximo um problema acrescido na gestão da qualidade da faixa costeira.

2.3.4 Áreas Protegidas

A faixa litoral terrestre e marinha entre Água de Pau e a Ribeira das Tainhas, incluindo o Sítio de Interesse Comunitário da Caloura/Ponta da Galera e o ilhéu de Vila Franca do Campo, estão classificadas como áreas de especial

interesse ambiental, cuja gestão cabe á unidade gestora base da Rede Regional de Áreas Protegidas (artº 17º, Decreto Legislativo Regional nº 15/2007/A).

2.3.5 Geologia

Em termos geológicos o troço costeiro em estudo corresponde à margem sul dos Complexos Vulcânicos do Fogo e das Furnas. O Complexo Vulcânico do Fogo é rico em escoadas lávicas basálticas e traquíticas, resultantes da actividade vulcânica antiga, para além de domos traquíticos, cones adventícios, escoadas piroclásticas, lahars, depósito de cinzas e pedra pomes (França *et al.*,2005).

O Complexo Vulcânico das Furnas é essencialmente de composição traquítica e a actividade vulcânica responsável pela sua formação foi predominantemente explosiva, acompanhada por vezes pela instalação de domos e escoadas lávicas muito espessas, sendo formado também por depósitos piroclásticos de queda e de fluxo (França *et al.*, 2005).

2.3.6 Tipologia da faixa costeira

Apesar da sua recente história geológica e da preponderância dos processos vulcânicos, o litoral apresenta formas costeiras diversas como litorais baixos, rochosos, alcantilados, praias encaixadas, em materiais de resistência variável (Borges, 2003).

De acordo com Borges, (2003) a faixa costeira sul corresponde predominantemente a um litoral secundário, remodelado pelos agentes dinâmicos de natureza marinha. De acordo com Borges, (2003; Tab. 2) é possível encontrar troços da categoria 'litoral primário de construção' das classes 'costa de escoada lávica' (e.g. fajã lávica da Caloura), 'costa de hialoclastitos (Ilhéu de Vila Franca do Campo) e subclasse 'costa de leque aluvionar' (leque aluvionar da Ribeira da Praia), bem como da categoria 'litoral secundário de construção' subclasse 'praia' (e.g. Praia de Água d'Alto, Praia da Vinha da Areia) e da categoria 'litoral secundário de erosão' classes 'costa mista' (e.g. Banquetas), 'costa composta' (e.g. Ponta Garça), 'costa tefra' (e.g. Rocha dos Campos) e subclasse 'costa de movimento de massa de vertente' (e.g. Ponta da Albufeira). De acordo com aquele autor a faixa costeira correspondente à área de estudo pertence essencialmente à categoria 'litoral secundário de erosão' classe 'costa mista'.

Tabela 2 – Sistema de Classificação do Litoral (adaptado de Borges, 2003)

Litorais Primários	Litorais Secundários
<p>A. Construção</p> <ul style="list-style-type: none"> . Costa de escoada lávica . Costa de hialoclastitos . Costa de deposição subaérea 3.1. Costa de leque aluvionar 	<p>A. Construção</p> <ul style="list-style-type: none"> . Costa de deposição marinha . Praia <p>B. Erosão</p> <ul style="list-style-type: none"> Costa de deposição subaérea . Costa de movimento de massa de vertente Costa composta Costa de tefra Costa mista

2.3.7 Erosão Costeira

A erosão costeira sendo um processo natural, é um perigo costeiro com dispersão e expressão geográfica diversa mas que em muitas situações constitui um risco que importa levar em conta. (Borges *et.al*, 2009).

Segundo Borges, (2003), na ilha de São Miguel o fenómeno de recuo da faixa costeira tem uma importância considerável, ocorrendo ao longo desta, a taxas de erosão elevadas que podem fazer perigar as populações ribeirinhas e eventuais ocupações futuras (Fig 6).

Com base na figura 6, o sector alvo desta dissertação apresenta as taxas de erosão costeira que estão seleccionadas.

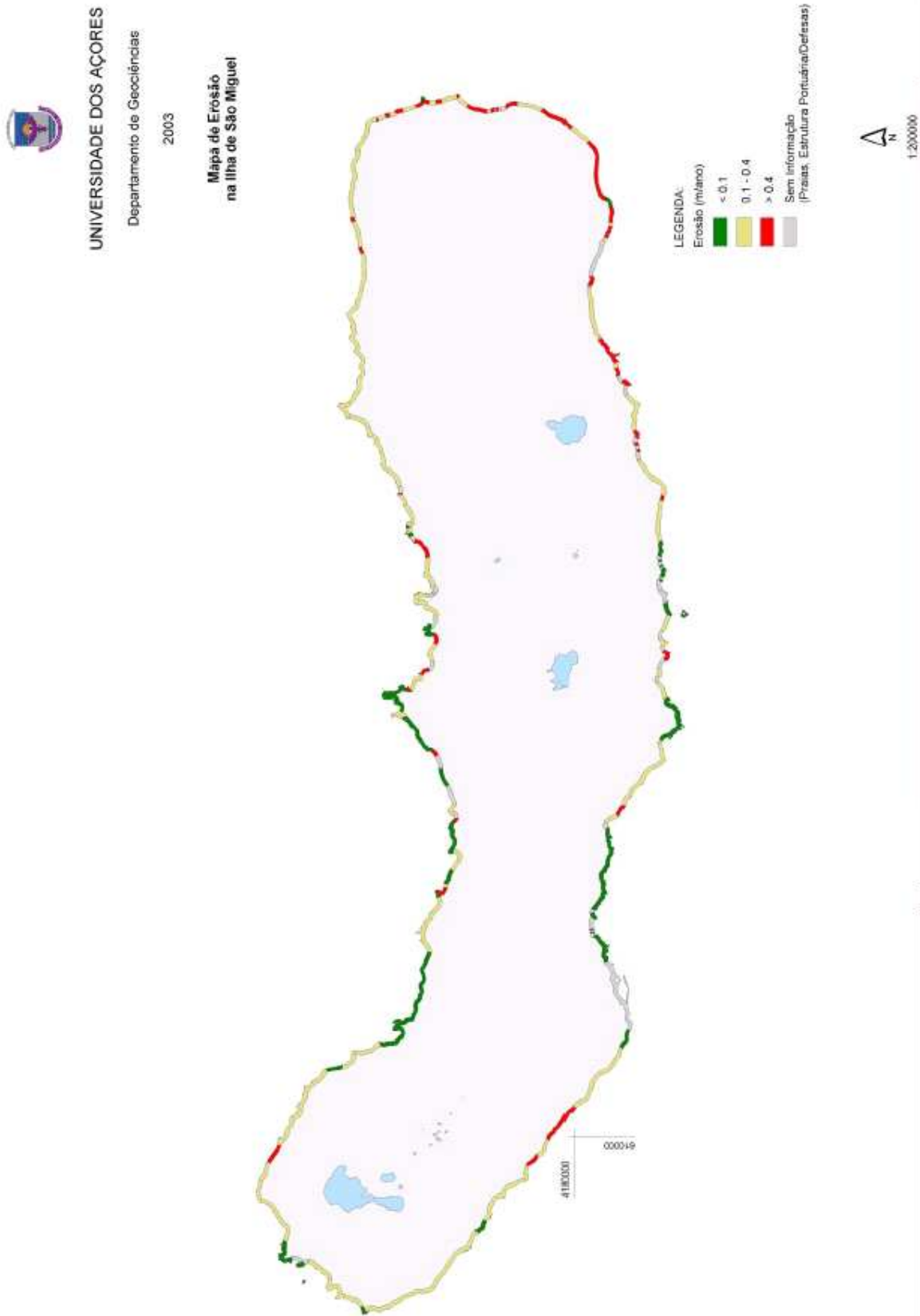


Fig. 6 - Mapa de erosão da ilha de S. Miguel (in Borges, 2003)

3 Gestão Integrada das Zonas Costeiras (GIZC)

3.1 Enquadramento

Existem muitos ecossistemas costeiros mundiais que se encontram potencialmente ameaçados pelo desenvolvimento não sustentável.

Na Europa, cerca de 86% das suas costas encontram-se em alto ou moderado risco (Botelho, 2004).

Tem sido de variada ordem os factores comuns na União que levaram à formulação de medidas no sentido de prevenir ou manter situações não sustentáveis.

1. Tradição de má gestão costeira em muitas áreas costeiras;
2. Zonas costeiras com limitada capacidade de recuperação de graves situações de má gestão;
3. Dinâmicas costeiras de curto espaço de tempo de evolução,
4. Potencial elevado da zona costeira, com atractividade para pessoas e para actividades económicas;
5. Muitos problemas de poluição e de gestão de sedimentos (formados a montante ou em mar alto, mas com repercussões na zona costeira);
6. Limites e desafios ao ordenamento do território e à gestão dos transportes, face à fronteira física entre terra e o mar;

7. Risco de ocorrência de catástrofes naturais (ex. inundações, pelo mar ou por terra);
8. Vasto número de actividades que rivalizam pela utilização dos mesmos recursos;
9. Proximidade ao alargamento da EU a outros países, com zonas costeiras que apresentam problemas e desafios semelhantes;
10. Falta de coordenação ao nível da legislação e de políticas existentes, uma vez que estas têm sido sectoriais;
11. Decisões isoladas de planeamento sectorial têm prejudicado os interesses a longo prazo da gestão sustentável;
12. Existências de sistemas burocráticos rígidos contribuíram para limitar a criatividade e a capacidade de adaptação a nível local;
13. Carência de recursos suficientes e de apoio dos níveis administrativos superiores no desenvolvimento de iniciativas de gestão sustentável do litoral;
14. Conhecimento limitado dos processos costeiros o que leva a uma inadequada gestão do litoral;
15. Restrição de dados, provenientes quer da investigação científica quer da sua recolha, aos utilizadores finais. (CE, 1999)

3.1.1 Origem e conceito da GIZC

O processo teve origem com a carta Europeia do Litoral, adoptada em 1991, que afirmou um conjunto de princípios para salvaguardar e valorizar o litoral

européu. Desde essa data que o litoral é considerado como uma unidade de ordenamento de abordagem integrada.

Em 1996, foi lançado um Programa de Demonstração sobre a Gestão Integrada de Zonas Costeiras. Este programa teve por móbil um conjunto de projectos de âmbito local e regional que visaram demonstrar a aplicação da GIZC. Dos documentos elaborados no âmbito deste programa, entre 1996 e 1999, resultou uma carta sobre os princípios gerais e opções políticas para a GIZC.

Em 2000 é elaborado em documento que traça a estratégia para a União Europeia em matéria de gestão costeira – “Gestão Integrada das zonas costeiras: uma estratégia para a Europa”. Com esse documento é feita uma recomendação aos estados membros para que iniciem a nível nacional a preparação de estratégias de gestão costeira.

O Processo de GIZC assenta num processo contínuo de recolha de informação, planeamento, tomada de decisões, gestão, execução e acompanhamento da execução (Comunidade Europeia, 1999) que procura equilibrar a longo prazo, os benefícios do desenvolvimento económico e das utilizações humanas da zona costeira; os benefícios que advêm da protecção, preservação e restauração das zonas costeiras; os benefícios da minimização da perda de vidas humanas e de bens: e os benefícios do acesso e usufruto públicos das zonas costeiras, sempre dentro dos limites estipulados pela dinâmica e capacidade de carga naturais.

Enquanto que a necessidade de preservar o funcionamento dos ecossistemas naturais constitui um dos principais objectivos da estratégia, a GIZC pretende igualmente melhorar a qualidade de vida das zonas costeiras, a nível económico e social, bem como apoiar o desenvolvimento de todo o seu potencial enquanto comunidades modernas e dinâmicas. De facto, no que se refere às zonas costeiras, estes objectivos ambientais e sócio-económicos encontram-se intrinsecamente interligados (Comunidade Europeia, 2001)

Abaixo se referem os princípios pelos quais se deve guiar a abordagem à problemática costeira e a elaboração de um estratégia integrada, consensual com a sua dinâmica.

Tab. 3 - Princípios básicos da GIZC. CE (2001)

Principios básicos da GIZC
Adoptar uma perspectiva abrangente dos problemas interligados
Basear as decisões em dados e informações fiáveis
Tentar trabalhar tendo em conta os elementos naturais
Ter em conta as evoluções imprevisíveis
Promover a participação de todas as partes interessadas e de todos os organismos competentes ao nível da administração
Utilizar um conjunto de instrumentos (leis, planos, ferramentas económicas, campanhas de informação, acções locais no âmbito da Agenda 21, acordos voluntários, promoção de boas praticas, etc.).

Rodrigues *et al.*, (2009) resume a integração de todos os aspectos e factores que intervêm na problemática da gestão das zonas costeiras por um fluxo dinâmico entre o conhecimento dos processos ambientais e uma apropriada gestão territorial.

A GIZC Identifica como problemas actuais e comuns:

A erosão costeira, destruição dos habitats, perda da biodiversidade, contaminação de recursos, qualidade e quantidade da água, o desemprego e instabilidade social (declínio dos sectores tradicionais), concorrência na utilização dos recursos, destruição do legado cultural e tecido social, prejuízos materiais (erosão) (CE, 2001).

3.1.2 O ordenamento da zona costeira em Portugal

Em Portugal pelo menos desde à 30 anos que a importância estratégica da faixa costeira e a consciência da importância de se proceder à sua protecção e gestão integrada foram reconhecidas e suscitaram iniciativas legislativas.

Os primeiros regulamentos sobre o tema da protecção e salvaguarda da faixa de protecção da orla costeira datam de 1971, com a publicação do regime jurídico dos terrenos de domínio público hídrico (Decreto-Lei nº 468/71 de 5 de Novembro).

Com a entrada, em 1986, de Portugal na então Comunidade Económica Europeia e com o reforço das preocupações relativas à protecção da orla costeira emanadas da Carta Europeia do Litoral, adoptada em 1991, em que se afirmam um conjunto de princípios para salvaguardar o litoral europeu, é publicado em Portugal o Decreto-Lei nº 309/93, de 2 de Setembro, que veio regulamentar a elaboração e a aprovação dos planos de ordenamento da orla costeira (POOC).

Neste Decreto-Lei, reconhece-se a orla costeira como um recurso natural que apesar da grande diversidade de usos, e de suporte de actividades económicas, caracterizado por elevada sensibilidade ambiental. Neste sentido afirmava-se a intervenção no litoral de modo a ser enquadrada numa política de protecção e valorização, baseada em princípios adequados de ordenamento do território.

Posteriormente, com a entrada em vigor do regime jurídico dos Instrumentos de Gestão Territorial, Decreto-Lei nº 380/99, de 22 de Setembro, os POOC passam a ser instrumentos de gestão territorial de natureza especial. De acordo com o artº 44º deste diploma “Os planos especiais de ordenamento do território estabelecem regimes de salvaguarda de recursos e valores naturais fixando os usos e o regime de gestão compatíveis com a utilização sustentável do território”. Em articulação com os Planos Directores Municipais têm como objectivo: o ordenamento dos diferentes usos e actividades específicas da orla costeira, a classificação das praias e a regulamentação do uso balnear, a valorização e regulamentação das praias consideradas estratégicas por motivos ambientais e turísticos, a orientação do desenvolvimento das actividades específicas dessas áreas e a defesa e conservação da natureza (Pontes, 1999).

Os POOC através de uma abordagem multidisciplinar:

- Promovem a articulação entre as inúmeras entidades que directa ou indirectamente intervêm na orla costeira;

- Contemplam as interdependências entre zonas costeiras e o território envolvente.

Em Portugal só em 2005 se iniciou o processo de elaboração de uma estratégia GIZC.

Actualmente a estratégia para a GIZC portuguesa trabalha em quatro frentes: propor uma lei de bases da zona costeira, o sistema organizativo, o programa de acção e a monitorização, aguardando-se a implementação destas medidas.

Os POOC são actualmente o único instrumento de planeamento e gestão dedicado à orla costeira portuguesa, e por conseguinte o único instrumento de planeamento ao dispor da Região Autónoma dos Açores para a problemática costeira.

3.1.3 O POOC da costa sul da ilha de S. Miguel

Na Região Autónoma dos Açores a elaboração dos POOC foi feito através do Decreto Legislativo Regional nº 18/98/A de 9 de Novembro, que adapta à RAA o Decreto-Lei nº 309/93, (elaboração dos POOC) de 2 de Setembro, alterado pelo Decreto-Lei nº 218/94, de 20 de Agosto.

Com a aplicação da Portaria nº 767/96, de 30 de Setembro, que aprovou as normas técnicas e de referência a observar na elaboração dos POOC, prevendo igualmente a uniformização dos seus conteúdos, a RAA tem à

disposição um documento indicativo dos procedimentos a observar na elaboração dos POOC previstos para a região.

Contudo, só no ano 2000 é que foram adaptadas e aprovadas as linhas de orientação relativas ao litoral do arquipélago dos Açores, através da Resolução nº 138/2000, de 17 de Agosto cujos conteúdos são:

- Importância e especificidade do planeamento do litoral em ilhas;
- Orientações a observarem no planeamento do litoral;
- A gestão do litoral;
- Objectivos gerais subjacentes à elaboração dos POOC;
- Planeamento participativo como forma de obter consensos.

Ainda de acordo com esta resolução a delimitação da zona litoral abrangida por cada POOC, no meio insular, será realizada em função das especificidades de cada contexto de acordo com as linhas de orientação propostas pela Administração Regional.

Finalmente, a resolução 152/2000, de 12 de Outubro manda proceder à elaboração do POOC do troço Feteiras/Lomba de São Pedro , integrando os concelhos de Ponta Delgada, Lagoa, Vila Franca do Campo, Povoação e Nordeste (POOC da costa sul de S. Miguel).

Porém, só em 2007 através do Decreto Regulamentar Regional nº 29/2007/A de 5 de Dezembro é aprovado o POOC da Costa Sul de S. Miguel. “Este Plano

tem como objectivos a identificação dos recursos e valores do património natural e cultural a proteger, bem como a definição de orientações e critérios para a sua conservação, uso e valorização no quadro dos instrumentos de gestão territorial” Decreto Regulamentar Regional nº 29/2007/A, de 5 de Dezembro, conforme é descrito no 1 do seu artigo nº 2º (Tab. 4).

Tab. 4 - Objectivos e princípios em observação no POOC Costa Sul

(artº 2º)
Objectivos e princípios
1 - O POOC estabelece as regras a que deve obedecer a ocupação, uso e transformação dos solos abrangidos pelo seu âmbito de aplicação, nomeadamente a regulamentação dos usos preferenciais, condicionados e interditos na área de intervenção, visando os objectivos específicos seguintes:
a) A salvaguarda e valorização ambiental dos recursos naturais e da paisagem, em especial dos recursos hídricos;
b) A protecção e valorização dos ecossistemas naturais com interesse para a conservação da natureza, quer na zona terrestre quer no meio marinho;
c) A minimização de situações de risco e de impactos ambientais, sociais e económicos;
d) A classificação e valorização das zonas balneares;
e) A orientação do desenvolvimento de actividades específicas da orla costeira;
f) A promoção da qualidade de vida da população;
g) A melhoria dos sistemas de transporte e comunicações.

Sendo até à data os únicos instrumentos de planeamento de zonas costeiras, não são contudo, instrumentos de gestão costeira integrada.

3.2 A Detecção Remota e a GIZC

3.2.1 Conceitos gerais de Detecção Remota

A informação extraída via detecção remota constitui uma boa fonte para produzir mapas temáticos como os que representam o uso do solo, pois fornece uma reprodução da superfície da Terra que é espacialmente contínua e

altamente consistente, e está disponível em várias escalas espaciais e temporais. (Foody, 2002).

A detecção remota por satélite baseia-se no princípio de que todos os objectos à superfície terrestre reemitem a energia que recebem do Sol sob a forma de radiação electromagnética. Essa energia é captada pelos sensores do satélite sendo depois convertida para valores digitais e enviada para estações terrestres, para poder ser devidamente tratada e interpretada. Por vezes, é a energia do próprio objecto observado que é captada pelos sensores (temperatura), uma vez que todos os corpos têm uma energia própria devida ao movimento a nível atómico ou molecular.

A radiação solar incidente na superfície terrestre interage de modo diferente para com cada tipo de alvo (Fig. 7). Esta diferença é determinada principalmente pelas diferentes composições físico-químicas dos objectos. Cada objecto tem uma assinatura espectral, isto é, reflecte a luz recebida de uma forma característica. Desta forma, o tratamento dado às imagens de satélite permite identificar o tipo de ocupação do solo e até mesmo distinguir entre certos tipos de vegetação (Barrett & Curtis, 1999).

Dito de outra forma, o procedimento de extracção de informação, é resultante da interacção da energia versus matéria. Nos diferentes componentes da superfície da terra, esta interacção ocorre de maneira diferenciada, com os objectos observados reflectindo uma resposta espectral singular para cada objecto.

O conhecimento prévio do comportamento espectral dos alvos naturais ou artificiais, e o auxílio de algoritmos de processamento de imagem (PDI), facilita bastante a tarefa de interpretação e busca de novas informações a nível espectral.

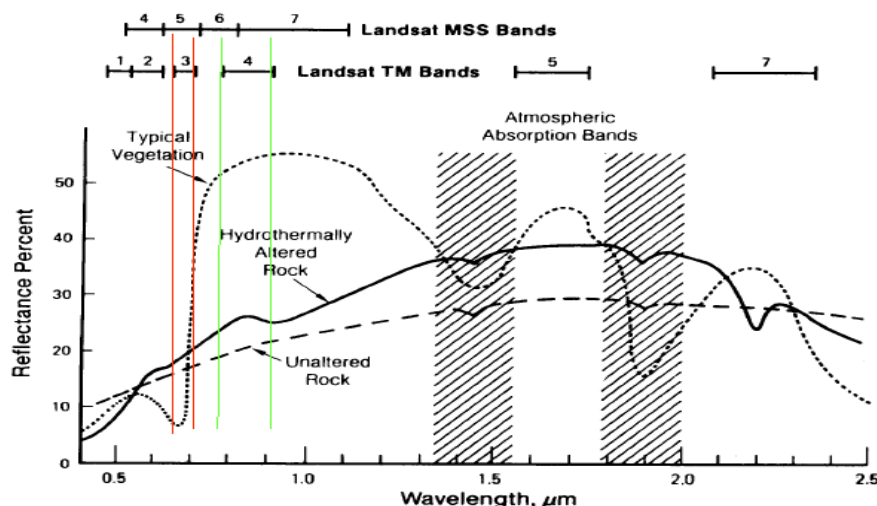


Fig. 7 - Ilustração do comportamento espectral de alguns elementos (Figueiredo, 2005)

Uma imagem de satélite não é mais do que um conjunto de matrizes de valores numéricos, que correspondem aos níveis radiométricos registados pelo sensor em cada uma das bandas espectrais. Devido a este facto, as imagens de satélite são também designadas por imagens multiespectrais (Tenedório, 2005).

O objectivo da maioria das aplicações em detecção remota é discriminar e pré-determinar através de mapas as informações das classes a serem encontradas no campo, normalmente com a ajuda de agrupamentos estatísticos ou métodos discriminantes, partindo-se do princípio de que a evolução do solo é gradual, e

que as características que se pretendem analisar raramente sofrem uma transição brusca.

A elaboração de mapas georeferenciados serve como ferramenta para a monitorização ambiental, pois além de identificar os elementos biológicos e sócio-económicos, possibilita a identificação de áreas mais sensíveis e portanto prioritárias no que se refere à sua conservação e protecção (Poletto, 2006).

A Detecção Remota constitui uma técnica de grande utilidade para pesquisas voltadas para a monitorização ambiental de áreas críticas, pois permite num curto espaço de tempo a obtenção de uma grande quantidade de informações espaciais (Souto, 2004). A detecção e monitorização de alterações nas regiões costeiras, devido a causas naturais e humanas é fundamental para o sucesso de gestão desses ambientes.

A Detecção Remota tem aplicações nas mais diversas áreas, tais como: cartografia, geologia, agricultura, climatologia, meteorologia, hidrologia, oceanografia, pedologia, geografia, planeamento, e outros.

3.2.2 O Projecto Landsat

O Projecto Landsat utiliza uma série de satélites para obter dados acerca dos recursos naturais (fig. 8). A missão é a de captar imagens de uma forma contínua e repetida das massas continentais, das áreas costeiras, dos recifes de coral e garantir que os dados obtidos são úteis à comunidade científica de

modo a que esta possa atingir os seus objectivos de observação sobre o ambiente e a superfície terrestre (Ervideira, 2007).

Ao longo da história, até ao ano de 2004, a série LANDSAT foi a que mais produziu e forneceu imagens para todos tipos de estudos e aplicações (Figueiredo, 2007).

As aplicações Landsat voltadas para o planeamento do território sempre estiveram associadas às principais características do satélite, como o curto período de resolução temporal, o seu carácter sinóptico de mapeamento e resolução espacial das suas imagens.

O recurso ao uso de imagens multiespectrais registadas pelo satélite Landsat como complemento à informação já existente, possibilita a rápida identificação de elementos presentes na paisagem, a sua localização e a percepção da sua alteração ao longo dos anos.

	Landsat 1 (ETRS 1)	Landsat 2 (ETRS 2)	Landsat 3 (ETRS 3)	Landsat 4	Landsat 5	Landsat 6	Landsat 7
Entidade Responsável	NOAA (National Oceans and Atmospheric Administration)						
Data de Lançamento	23.JUL.72	22.JAN.75	05.MAR.78	16.JUL.82	01.MAR.84	05.OUT.93	15.ABR.99
Data de Fim de Vida	1978	1982	1983	1987	1988	05.OUT.93	Não Disponível
Situação Actual	Desactivado	Desactivado	Desactivado	Desactivado	Activo	Desactivado	Activo
Tipo de Órbita	Circular, quase polar, sincronizada com o Sol						
Altitude Média	907 km	908 km	915 km	705,3 km	705,3 km	-	705 km
Inclinação	99,9°	99,2°	99,1°	98,3°	98,3°	-	
Período	103,14 min	103,16 min	103,15 min	98,94 min	98,94 min	-	99 min
Peso	816 kg	953 kg	960 kg	1942 kg	1938 kg	1740 kg	2000 kg
Hora Local no Nodo Descendente	8:50	9:08	9:31	9:39	9:39	-	10:00
Finalidade	Observação da Terra	Observação da Terra	Observação da Terra	Observação da Terra	Observação da Terra	Observação da Terra	Observação da Terra
Sensores	RBV e MSS	RBV e MSS	RBV e MSS	TM e MSS	TM e MSS	ETM	ETM+

Fig 8 - Principais características do programa Landsat e destaque da série TM (Adaptado de (Tenedório, 2005))

3.2.3 Aplicação de Detecção remota na GIZC

A maior parte dos trabalhos contemporâneos sobre vulnerabilidade costeira são realizados através da modelação de variáveis, sendo que, para tal, são utilizados SIG - Sistemas de Informação Geográfica (Mazzer *et al.*, 2008).

No entanto, em relação às variáveis utilizadas para estudos da orla costeira, que podem ser tão diversas, dependendo da área em questão e dos fenómenos em si (erosão costeira, inundação costeira, elevação do nível do mar, entre outros), a aplicação de um método que seja abrangente a diversas áreas de estudo pode ser uma mais valia. Muitas das consequências dos fenómenos referidos repetem-se ao longo da história, muitas vezes por falta de interligação entre as acções a montante e a jusante das causas que lhe estão na origem, acarretando elevados prejuízos para os sistemas naturais mas também para as populações.

A identificação e avaliação das vulnerabilidades locais são um primeiro passo para a uma efectiva gestão alargada no espaço e no tempo tendo por pressuposto que as zonas costeiras são um sistema dinâmico, pelo que a sua gestão deverá ser um processo contínuo e ágil.

A detecção remota ao extrair informação em diferentes comprimentos de onda permite a análise de vários componentes das zonas costeiras, como por exemplo a qualidade das águas, a evolução do sistema de praia, a ocupação dos solos ou a identificação de elementos geológicos. É um método

extremamente versátil ao permitir a sua utilização a um leque variado de ciências.

A utilização de mapas produzidos através de imagens multiespectrais de satélite vem reforçar a base de dados referente às zonas costeiras pois permite, numa só imagem, extrair informação sobre grandes áreas de uma forma bastante célere e de baixo custo, tendo em conta que a sua manipulação não exige grandes meios técnicos nem equipas numerosas. Além disso, existem numerosos satélites com diferentes características, sendo possível adquirir imagens para um sem números de finalidades ligados à gestão costeira.

A detecção remota por satélite permite ainda a análise entre imagens multiespectrais adquiridas em períodos distintos, permitindo a análise multitemporal e o acompanhamento detalhado das diversas situações a monitorizar, podendo ser uma ferramenta útil na reformulação de políticas costeiras.

No que diz respeito ao apoio à implementação e monitorização de Planos de Ordenamento e Gestão Costeira, como é o caso no presente estudo do POOC Costa Sul da Ilha de São Miguel, o recurso à detecção remota espacial pode constituir uma ferramenta de baixo custo e elevados benefícios, nomeadamente no que se refere à detecção e minimização de situações de risco, à caracterização e à modelação e posterior reorientação de actividades na zona costeira.

3.2.4 Escolha do sensor e bandas espectrais para aplicação temáticas

Segundo Campagnolo, (2004), as principais características de um sistema de detecção remota para observação da superfície terrestre são:

- Resolução espectral: número e características dos intervalos (bandas) de comprimento de onda captadas pelo sensor. Uma imagem é *pancromática* se contém apenas uma banda e é multiespectral se contém mais do que uma.
- Resolução espacial: comprimento do lado de um pixel da imagem obtida pelo sistema.
- Resolução temporal: intervalo de tempo entre duas imagens consecutivas da mesma parcela de terreno.

A escolha da imagem mais apropriada para analisar a evolução ocorrida num determinado trecho costeiro depende, principalmente da resolução espacial e da temporal. (Rodriguez *et al.*, 2007) No primeiro caso, teremos de encontrar um tipo de sensor que ofereça um tamanho de pixel adequado às características dinâmicas do nosso sistema, de forma que a magnitude das mudanças não fique debaixo do tamanho do pixel. Quanto à resolução temporal, o intervalo de tempo do estudo dependerá das datas em que há disponibilidades de imagens. Assim, e atendendo a estas características, as imagens mais usadas para este tipo de análise são as Landsat, que apresentam uma resolução espacial e temporal de 30 m e 16 dias respectivamente (Rodriguez *et al.* 2007; Figueiredo, 2007).

Para a elaboração do presente estudo, e tendo em conta a disponibilidade das imagens de satélite sobre os Açores e o mínimo intervalo de tempo aceitável para a detecção significativa de alterações na orla costeira, a escolha recaiu sobre as imagens extraídas pelos Satélites Landsat 4 e Landsat 5, ambos com um sensor TM, pelo que a análise multitemporal que se leva a cabo neste trabalho apenas implica as correcções radiométrica e geométrica necessárias à correcta sobreposição, manipulação e análise destas duas imagens. A Tabela 5 mostra o conjunto de características técnicas deste tipo de sensor.

Tab. 5 – Especificidades técnicas do sensor TM

Especificações técnicas	TM
Resolução espacial	30 m 120 m (thermal)
Alcance espectral	0,45-12,5 μm
Numero de Bandas	7
Resolução Temporal	16 dias
Tamanho da imagem	185 km x 172 km

As bandas espectrais são normalmente seleccionadas de modo a estar adaptadas ao tipo de fenómeno/objecto que se pretende detectar, conduzindo a um aumento de probabilidade de encontrar esse mesmo fenómeno/objecto (Tenedório, 2005).

As bandas disponíveis do sensor TM e a sua gama de aplicações são mostrada na Tabela 6.

Tab. 6- Aplicações das bandas espectrais do satélite Landsat, sensor TM (Tenedório, 2005; Batista, 2007)

Bandas	µm TM	Resolução	Aplicações
1	0,45 a 0,53 azul	30 m	Apresenta grande penetração em corpos de água, permitindo estudos batimétricos. Sofre absorção pela clorofila e pigmentos fotossintéticos auxiliares (carotenóides). Pode apresentar atenuação pela atmosfera.
2	0,53 a 0,60 verde	30 m	Apresenta grande sensibilidade à presença de sedimentos em suspensão, possibilitando a sua análise em termos de quantidade e qualidade. Boa penetração em corpos de água. Fornece informação sobre o estado de desenvolvimento da vegetação.
3	0,63 a 0,69 vermelho	30 m	A vegetação verde, densa e uniforme, apresenta grande absorção, ficando escura, permitindo bom contraste entre as áreas ocupadas com vegetação e não vegetação (ex: solo exposto e áreas urbanas). Permite análise da variação litológica em regiões com pouca cobertura vegetal.
4	0,76 - 0,90 infravermelho próximo	30 m	Os corpos de água absorvem muita energia nesta banda e ficam escuros. Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo a obtenção de informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia. Muito útil na quantificação da biomassa.
5	1,55 a 1,75 infravermelho médio	30 m	Apresenta sensibilidade ao teor de humidade das plantas, servindo para observar stresse na vegetação, causado por desequilíbrio hídrico. Melhora o contraste da linha de costa. Util para diferenciar a neve das nuvens.
7	2,08 a 2,35 infravermelho médio	30 m	Permite a discriminação dos minerais, tipos de rocha e aplica-se a estudos de solos. Oferece melhor imagem do contorno de linha de costa. Elevada sensibilidade à humidade. Potencialmente favorável à discriminação de produtos de alteração hidrotermal.

A gama de aplicações de cada banda espectral é substancial, e a combinação de bandas proporciona a escolha das melhores bandas para ir ao encontro dos objectivos do trabalho. Porém, da análise das características e aplicabilidade prática de cada uma das bandas Landsat TM, depreende-se que as bandas 3, 4 e 7 serão as de maior utilidade e pertinência para a detecção de diferenças substanciais ao nível da ocupação do solo e morfologia entre duas imagens de satélite, razão pela qual serão as utilizadas neste estudo.

3.2.5 Pré-processamento Digital de Imagem de Satélite

As técnicas de Processamento Digital de Imagem (PDI) consistem na manipulação das imagens por um computador de modo que a entrada e saída do processo sejam imagens, sendo que o objectivo principal é o realce do aspecto visual da informação.

Antes de se iniciar qualquer processo de extracção de informação útil, a partir de dados espectrais, é necessário corrigir esse dados de erros decorrentes do processo de aquisição e “optimizá-los” tendo em vista a sua utilização por um utilizador humano (Tenedório, 2005).

As imagens produzidas por Detecção Remota apresentam uma série de distorções espaciais, resultantes dos seguintes factores (Souto 2004):

- Rotação da Terra;
- Curvatura da Terra;
- Variações de altitude, posição e velocidade da plataforma;
- Distorção topográfica.

O Pré-processamento corresponde à correcção, rectificação geométrica e georreferenciação das mesmas, tendo em conta a eliminação de dois tipos de erros frequentes que ocorrem em dados de satélites, e que são devidos ao movimento do satélite e à curvatura da terra.

- Distorção radiométrica (causada por interferências da atmosfera, erros do sensores, instabilidade física do satélite, entre outros);
- Distorção geométrica (devida à rotação da Terra e à sua curvatura e às variações na posição da plataforma).

A correcção radiométrica é um termo genérico que designa as técnicas que modificam os números digitais (ND) originais, para torná-los mais próximos dos valores que deveriam estar presentes na imagem. Esta correcção engloba as

distorções provocadas pela atmosfera e os problemas derivados do mau funcionamento dos sensores (Richards, 1993).

Os efeitos atmosféricos podem diminuir a capacidade de interpretação e/ou extração de informação obtida por teledetecção na medida em que, ou provocam um aumento no ND registado pelo sensor (dispersão) ou conduzem a uma diminuição deste valor (absorção) (Tenedório, 2005).

Na correcção radiométrica a única forma de remover todas as fontes de variância que atingem o sensor que não estão relacionadas com a ocupação do solo é a conversão dos Números Digitais (ND) em valores físicos, i.e., valores de reflectância (Caetano, 1995).

A correcção da imagem pode ser feita por meio de modelos matemáticos baseados em parâmetros atmosféricos que normalmente são desconhecidos, dificultando a aplicação dos modelos. Uma técnica comum é a técnica do mínimo histograma que consiste em subtrair de cada pixel de cada banda espectral de toda a imagem, o menor valor medido nestas áreas (Figueiredo, 2007; Tenedório, 2005).

A correcção geométrica tem a função de reorganizar os “pixéis” da imagem em função dum determinado sistema de projecção cartográfica. O objectivo é minimizar as distorções geométricas, provenientes das características do sensor utilizado e das variações decorrentes do movimento do mesmo durante a passagem sobre o alvo. (Santos, 2003). Este procedimento é feito com

recursos a pontos de controlo e à avaliação dos erros geográficos cometidos em relação às coordenadas no solo e na imagem (controlo geométrico).

3.2.6 Detecção de diferenças estatisticamente significativas entre imagens de satélite da mesma área

De acordo com UNITAR (2007), a detecção de diferenças entre imagens de satélite da mesma área constitui uma importante aplicação no domínio dos SIG e do Processamento de Imagem, dadas as crescentes necessidades quer de identificar e quantificar alterações na ocupação e morfologia do território, quer de simular e prever essas mesmas alterações ambientais, da escala local à global.

O estudo desenvolvido no âmbito desta Tese de Mestrado usa uma das principais técnicas de comparação conhecidas para detectar diferenças do ponto de vista quantitativo (estatisticamente significativas) entre imagens de satélite incidindo sobre a mesma área mas obtidas em datas diferentes (análise multitemporal): a análise comparada por diferença de imagens.

Na prática, em termos de Processamento Digital de Imagem é efectuada uma subtração pixel a pixel. A imagem resultante representa as alterações ocorridas entre as duas datas, obtendo-se uma escala de valores de brilho negativos e positivos.

Segundo Singh (1989), a aplicação desta técnica, excepto se baseada na comparação de classificações, requer a decisão de onde colocar o limiar que separa as áreas alteradas das não-alteradas. Este limiar pode ser encontrado empiricamente pelo analista ou ser retirado de estatísticas descritivas.

Uma maneira de determinar valores limite é assumir que a distribuição dos valores nas imagens é normal ou Gaussiana. Neste caso, podemos usar a média e o desvio-padrão da imagem para definir os valores limite. Numa distribuição normal, 90% dos valores na imagem vão estar dentro dos valores de 1 desvio-padrão da média, 95% dentro de 2 desvios-padrão da média, e 99,5% dentro de 3 desvios-padrão da média. Podemos decidir arbitrariamente que qualquer mudança que esteja no intervalo de dois desvios da média (95% de todos os valores) é realmente apenas uma variação normal e não deve ser considerado uma alteração significativa (UNITAR, 2007).

Seguindo esta lógica, 5% dos pixéis que estão fora deste intervalo representarão a verdadeira mudança. Tendo como referencial uma distribuição normal dos valores de uma imagem-diferença (Figura 9), os pixéis que exibirem uma alteração no seu brilho estarão posicionados nas caudas da função de distribuição da imagem de diferença, enquanto que os pixéis inalterados estarão próximos da média (Santos, 2003).

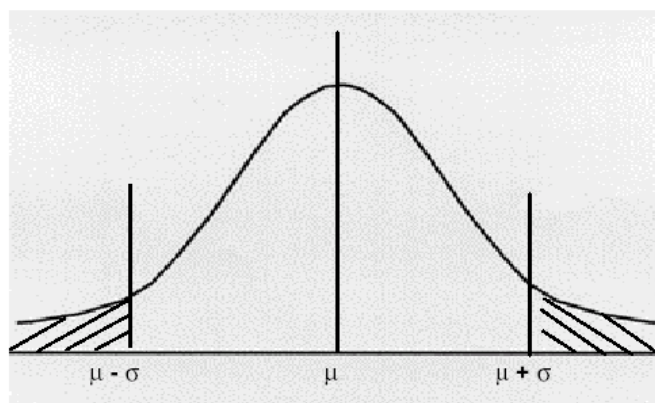


Fig. 9 Histograma com a distribuição dos valores de uma imagem de diferença e com o limiar de alteração de um desvio padrão (σ) a partir da média (μ). (Santos, 2003)

À execução deste procedimento está normalmente associada a criação e utilização, sempre que pertinente, de “máscaras” correspondentes às áreas ocupadas por água e cobertas por nuvens, de modo a que os valores associados a estes fenómenos não viessem a análise efectuada e a respectiva distribuição de valores.

4. Objectivo

Em consonância com as revisões bibliográficas efectuadas nos capítulos anteriores sobre a Caracterização da Orla Costeira de S. Miguel, sobre o Planeamento e Gestão Costeiro na Região Autónoma dos Açores, e finalmente sobre o uso de Técnicas de Processamento Digital aplicadas a imagens de satélite , esta Tese tem como principal objectivo aplicar e validar o uso da detecção remota (em geral) e da análise comparada por diferença de imagens (em particular) como método tecnicamente fiável e de boa relação custo/benefício para a detecção e identificação de alterações significativas na Costa Sul de S. Miguel, para apoio à monitorização de Políticas de Gestão e Planeamento Integrados desta zona costeira.

5. Metodologia

De modo a concretizar o objectivo operacional desta Tese (ver capítulo anterior), foi desenvolvido um estudo prático baseado na metodologia proposta por UNITAR (2007), recorrendo a imagens Landsat TM 4 e 5 (Tabela 8) e ao uso do software Idrisi Taiga ®, tendo como área de estudo a Costa Sul da Ilha de S. Miguel.

A metodologia utilizada neste estudo pode ser sintetizada do seguinte modo:

- 1) Definição da Área de Estudo: Costa Sul da Ilha de S. Miguel (área abrangida e regulamentada pelo POOC – Plano de Ordenamento da Orla Costeira da Costa Sul de S. Miguel)
- 2) Selecção de Imagens de Satélite com as mesmas características espectrais e geométricas abrangendo a mesma área geográfica (Tabela 8):

Tab. 7 - Características das imagens de satélite seleccionadas

Sensor/plataforma	Data	Hora	Path/Row	Resolução Espacial	Bandas Espectrais
TM landsat 4	05/07/90	11:46	034 214	30 m	7
TM landsat 5	16/05/2007	12:17	034 215	30 m	7

A aquisição das imagens obedeceu a três critérios fundamentais:

- Diferença temporal significativa (17 anos), propícia ao registo de alterações significativas no uso de solo e morfologia da orla costeira no decorrer desse período, por razões antrópicas ou naturais;
- Índice de nebulosidade abaixo dos 10%;
- Mesmo período anual, para atenuar as alterações devidas a variações na irradiância solar, nos ângulos zenital e azimutal, e a variações climatéricas.
- Datas próximas do Verão, para evitar ensombramento.

3) Selecção de Bandas Espectrais a utilizar para a aplicação da análise comparada por diferença de imagens:

Da análise das características e aplicabilidade prática de cada uma das bandas Landsat TM (Tabela 6), depreendeu-se que as bandas 3, 4 e 7 serão as de maior utilidade e pertinência para a detecção de diferenças substanciais ao nível da ocupação do solo e morfologia costeira entre duas imagens Landsat TM, razão pela qual serão as utilizadas neste estudo.

4) Pré-processamento digital das Imagens de Satélite seleccionadas:

- Obtenção de sub-imagens de todas as bandas utilizadas para cada imagem, abrangendo somente a área de estudo definida;
- Correção radiométrica das sub-imagens de 2007 usando como referência o histograma da imagem de 1990;

- Correção geométrica das sub-imagens de 2007 usando como referência a imagem de 1990;
- Criação de uma máscara correspondente ao conjunto de todas as áreas ocupadas por água e cobertas por nuvens em todas as sub-imagens a utilizar.

5) Aplicação da técnica de análise comparada por diferença de imagens (baseada no descrito em 3.2.6 e no uso da função IMAGEDIFF do software Idrisi Taiga®) proposta por UNITAR (2007).

6) Produção de Mapas de Alterações Significativas Potenciais na Costa Sul da Ilha de S. Miguel entre 1990 e 2007.

7) Validação da Proposta Metodológica por selecção e confirmação de Casos de Estudo, recorrendo a trabalho de campo.

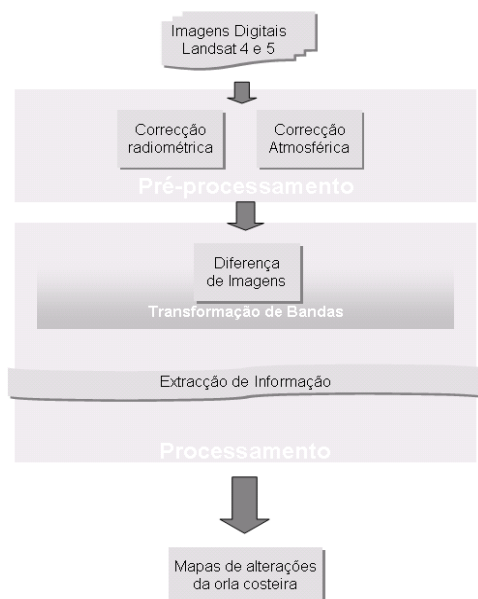


Fig. 10 – Fluxograma do Procedimento adoptado de PDI

6. Apresentação e Discussão de Resultados

Tal como referido anteriormente, as três bandas Landsat TM seleccionadas para o desenvolvimento deste exercício (3, 4 e 7) foram-no com base nas suas características espectrais:

- Banda 3: apresenta grande contraste entre áreas vegetadas e não vegetadas; permite ainda a análise da variação litológica em áreas pouco vegetadas;
- Banda 4: apresenta grande sensibilidade à morfologia do território, sendo adequada ao estudo de solos, geologia e geomorfologia;
- Banda 7: indicada para a definição do contorno da linha de costa; apresenta grande sensibilidade à humidade; permite discriminação de diferentes tipos de minerais, rochas e solos.

É portanto à luz destas características que devem ser avaliadas as alterações significativas detectadas através pela aplicação da técnica de análise comparada por diferença de imagens.

As figuras 11, 12 e 13 ilustram os resultados preliminares obtidos na aplicação desta técnica usando respectivamente as Bandas 3, 4 e 7 das imagens Landsat TM de 1990 e 2007.

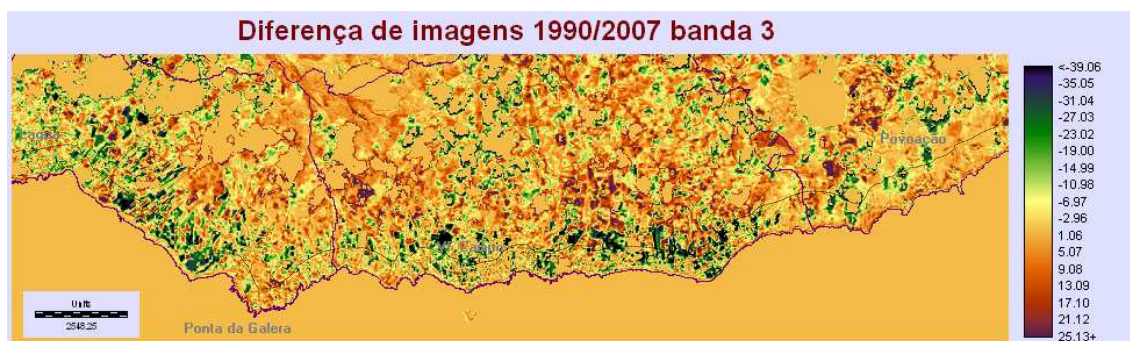


Fig.11 – Mapa de alterações obtidos para a Banda 3

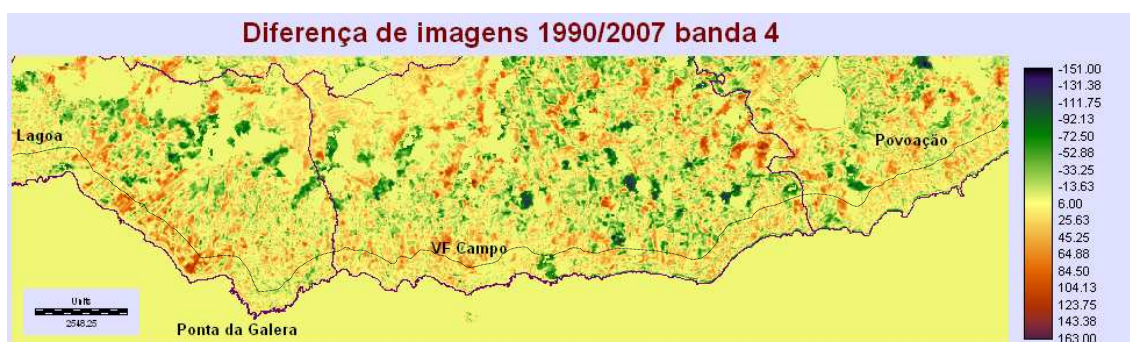


Fig 12 – Mapa de alterações obtido para a Banda 4

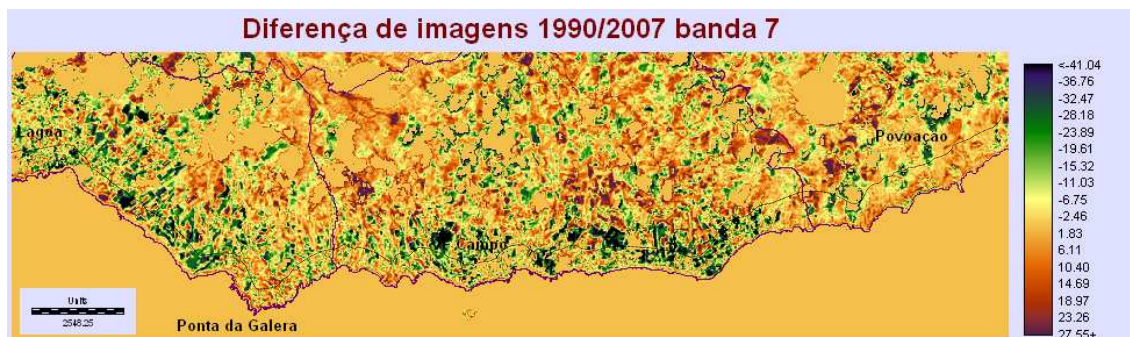


Fig.13 – Mapa de Alterações obtido para a banda 7

As figuras 14, 15 e 16 ilustram os resultados obtidos após a aplicação da técnica complementar (descrita no sub-capítulo 3.2.6) de limiar de alterações às imagens ilustradas anteriormente (figuras 12, 13 e 14 respectivamente), representando as análises referentes às Bandas 3, 4 e 7 das imagens Landsat TM de 1990 e 2007.

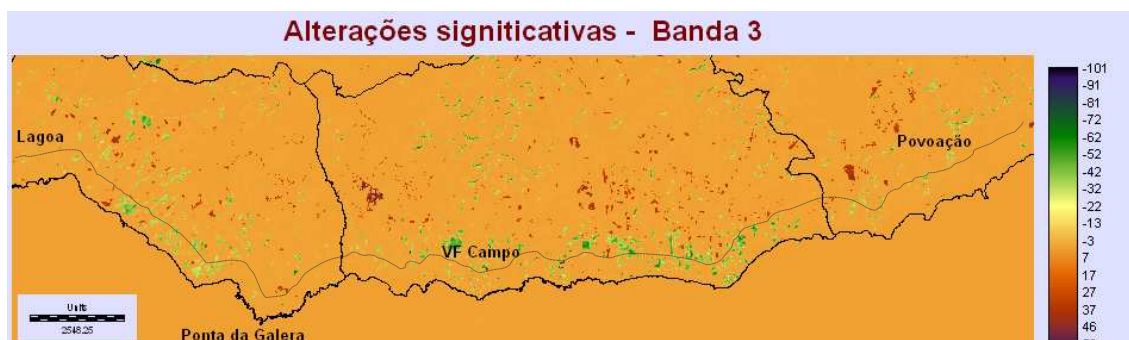


Fig 14 -Técnica de diferença de imagens com reclassificação de 5 % de valores de pixel

Da análise visual da figura 14, que ilustra a localização e intensidade de diferenças detectadas na sua aplicação às Bandas Landsat TM 3 de 1990 e 2007, depreende-se que as poucas mudanças significativas (valores extremos na escala) registadas na área abrangida pelo POOC da Costa Sul de S. Miguel se localizam no troço situado entre a Lagoa e a Ponta da Galera, sendo as restantes de intensidade fraca a moderada. Estas alterações poderão estar relacionadas com uma alteração significativa na ocupação do solo ao nível do estrato vegetativo por fenómenos de erosão ou por razões antrópicas.

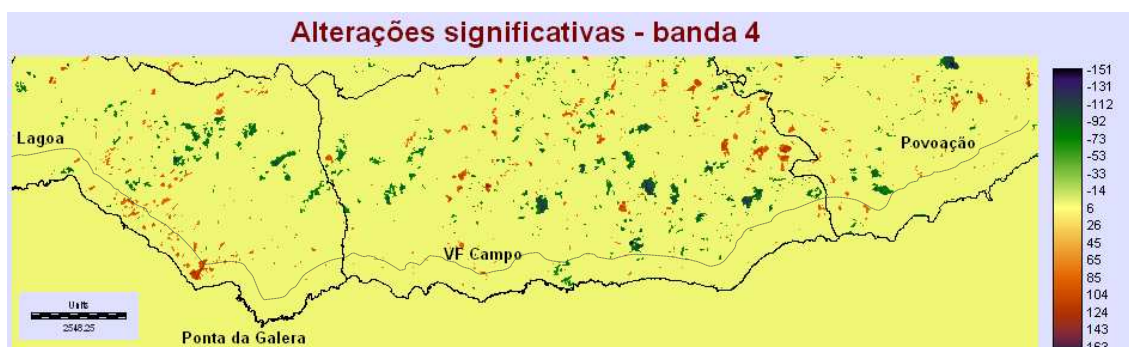


Fig 15 - Técnica de diferença de imagens com reclassificação de 5 % de valores de pixel

Da análise visual da figura 15, que ilustra a localização e intensidade de diferenças detectadas na sua aplicação às Bandas Landsat TM 4 de 1990 e 2007, depreende-se que as mudanças significativas (valores extremos na escala) registadas na área abrangida pelo POOC da Costa Sul de S. Miguel se localizam no troço situado entre a Lagoa e a Ponta da Galera, sendo as restantes de intensidade fraca a moderada. Estas alterações poderão estar relacionadas com a alteração da morfologia costeira, quer por fenómenos de erosão, quer por razões antrópicas.

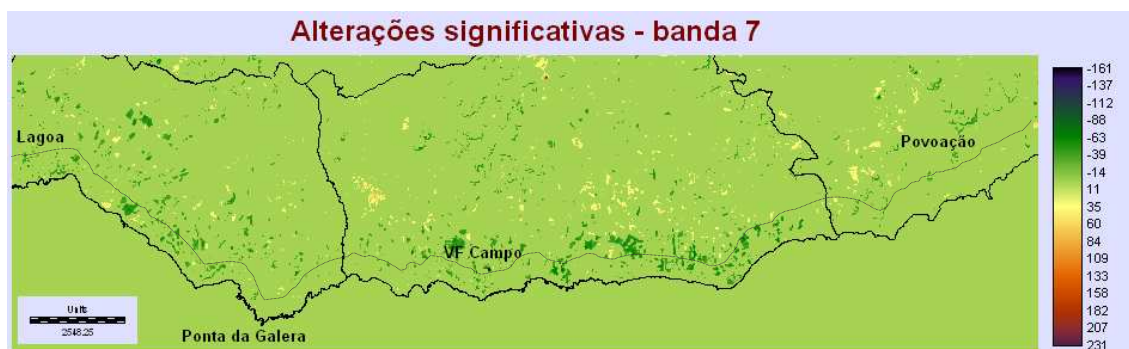


Fig 16 - Técnica de diferença de imagens com reclassificação de 5 % de valores de pixel

Da análise visual da figura 16, que ilustra a localização e intensidade de diferenças detectadas na sua aplicação às Bandas Landsat TM 7 de 1990 e 2007, depreende-se que as mudanças significativas (valores extremos na escala) registadas na área abrangida pelo POOC da Costa Sul de S. Miguel se localizam sobretudo nas áreas da Ponta da Galera e Vila Franca do Campo, sendo as restantes de intensidade fraca a moderada. Estas alterações poderão estar relacionadas com a alteração da linha de costa, quer por fenómenos de erosão costeira, quer por razões antrópicas.

De modo a evidenciar e validar os resultados obtidos, foram seleccionados três casos de estudo representativos: (1) Troço costeiro “Santa Cruz/Água de Pau” (Ponta da Galera); (2) o sítio da Rocha dos Campos”; (3) a orla costeira da Freguesia de Ribeira Quente.

Considerando que a ocupação do solo no troço costeiro entre Santa Cruz e Agua de Pau é essencialmente agrícola, os valores a verde indicam que pode ter ocorrido uma alteração de ocupação agrícola ou uma mudança de situação de vegetação para não vegetação (bandas 3 e 7), como por exemplo a que ocorre a que se verifica após a ocorrência de movimentos de massa de vertente (e.g. escorregamentos), ou em esbarracamentos. Os valores a vermelho (positivos), nestas bandas indicam claramente a perda de vegetação. Na faixa costeira dos 500 metros tal perda deverá estar ligada a fenómenos de erosão de origem essencialmente natural ou resultante do tipo de prática agrícola, pois a ocupação humana neste troço costeira é bastante reduzida.

A banda 4 fornece informação que podemos considerar fiável, pois apresenta grandes manchas cujo valor de variação é positivo (a vermelho) (fig 17). No entanto a aplicação desta banda implica outro tipo de informação. Nesta banda os corpos de água absorvem muita água e ficam escuros, sendo ainda para discriminação do solo. A grande mancha em tons vermelhos, situa-se sobre uma área em que a rede hidrográfica é razoavelmente densa. Verifica-se que neste local, no bordo da vertente situa-se um ponto de vigia da baleia, utilizado como suporte para actividades turísticas. Recentemente foi melhorado o acesso a esse ponto, alargando-se e melhorando a via, que continua a ser de

terra, podendo contudo, essa esta intervenção antrópica ter influenciando a drenagem e a escorrência superficial, razão pela qual poderá ter havido um aumento do teor de água retidos/acumulado nesses terrenos.

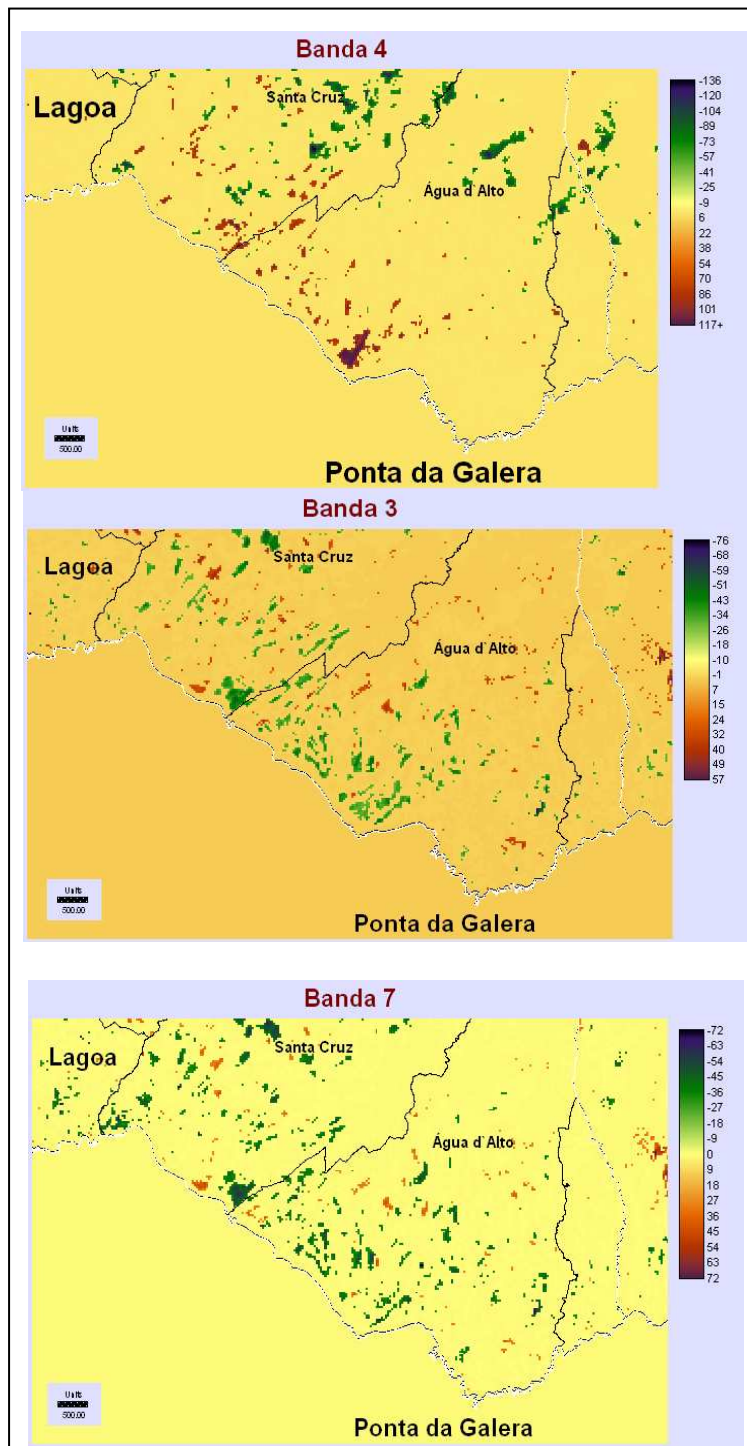


Fig. 17 – Comparação entre os resultados obtidos nas bandas 3, 4 e 7 e detecção de alterações na faixa costeira dos 500, nas Freguesias de Santa Cruz e Água de Alto, Concelho de Lagoa. Alterações a verde e avermelhado.

De salientar que no mapa de erosão da ilha de São Miguel (Fig 6) o troço analisado apresenta uma taxa de erosão entre 0,1 e 0,4 m/ano.

A imagem representada na figura 18 refere-se evolução das alterações ocorridas na faixa costeira da Rocha dos Campos, situada, no Concelho de Vila Franca do Campo e ilustra a localização e intensidade de diferenças detectadas na sua aplicação às Bandas Landsat TM 3, 4 e 7 de 1990 e 2007, relacionadas com a alteração da morfologia costeira, quer por fenómenos de erosão costeira, quer por razões antrópicas.

De acordo com a classificação proposta por Borges, (2003) as arribas e vertentes costeiras da Rocha dos Campos são da categoria “litoral secundário de erosão” classe “costa de tefra”.

Em relação à informação que a banda 3 disponibiliza a Rocha dos Campos não apresentou alterações nos períodos analisados.

Com a aplicação da Banda 4 foram identificadas duas alterações de valor radiométrico semelhante, no limite da faixa dos 500 m.

Sendo esta banda usada na discriminação solo/vegetação, a alteração no aumento de valores de radiância deverá ser devido a uma maior exposição do solo em 2007.

Analisando as alterações identificadas com a banda 7, foram quantificados dois pontos positivos indicativos de um aumento de reflectância e que deverão significar uma maior exposição do substrato em 2007 pois a discriminação de rochas e minerais é uma das aplicações desta banda.

Analisando as alterações identificadas com a banda 7, foram quantificados dois pontos positivos indicativos de um aumento de reflectância e que deverão significar uma maior exposição do solo (rochas e minerais) em 2007 pois a discriminação de rochas e minerais é uma das aplicações desta banda.

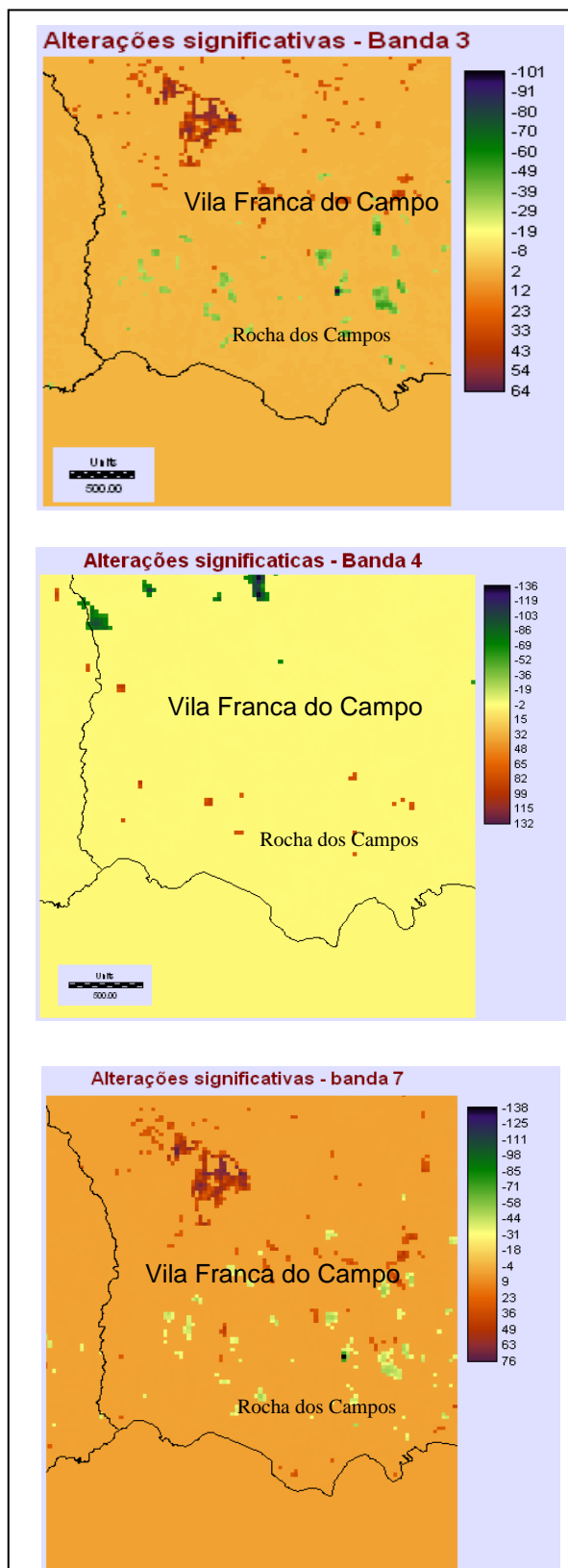


Fig. 18 Comparação entre os resultados obtidos para as bandas 3, 4 e 7 na faixa costeira da Rocha dos Campos

Da análise visual da figura, 19 que ilustra a localização e intensidade de diferenças detectadas na faixa abrangida pelo POOC na freguesia de Ribeira Quente, no Concelho de Povoação, pode-se identificar manchas que indicam alteração intensa no período estudado.

Os resultados obtidos com a aplicação da banda 3 ilustram alterações moderadas que poderão estar relacionadas com perda de vegetação (pixéis a vermelho ou alteração da linha de costa (pixéis a verde), embora estes últimos se encontrem distantes desta, razão pelo que é de excluir a possibilidade de neste caso concreto representarem alterações de linha de costa.

A imagem representada na figura 19 para a banda 4 refere-se à evolução das alterações ocorridas num troço Costeiro da Ribeira Quente. Estas alterações de grande intensidade, extensas e lineares poderão ter sido ser causadas por factores naturais como o enchimento sedimentar da praia de areia pela acção das ondas do mar em períodos de calmaria (ocorreu no domínio litoral uma grande descarga de sedimentos fluviais veiculada essencialmente pela ribeira da Ribeira Quente em Outubro/Novembro de 1997 tendo este material sedimentar sido re-trabalhado pela acção das ondas do mar e depositado na praia subaérea em períodos de calmaria (Borges, 2003), ou da alteração da linha de costa.

A análise visual do troço costeiro da Ribeira Quente (fig 19) que ilustra a localização e intensidade de alterações na faixa dos 500 m, para a banda 7 na

faixa Costeira da Ribeira Quente exprime alterações na linha de costa (pixéis a verde) e maior exposição do solo (pixéis a vermelho).

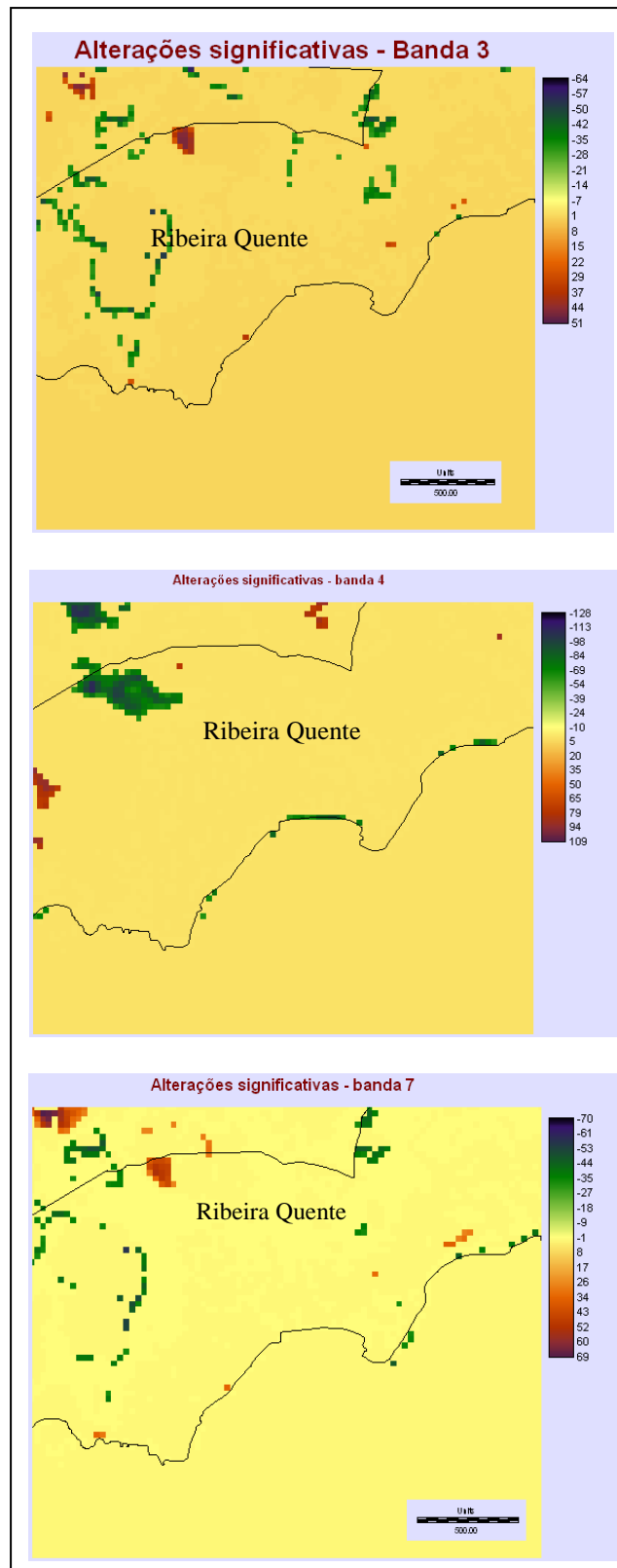


Fig. 19 Comparação entre os resultados obtidos para as bandas 3, 4 e 7 na faixa costeira

Ribeira Quente

Com a técnica de Análise Comparada de Diferença de Imagens, como o nome indica, utiliza-se a diferença entre duas imagens de datas distintas para detectar as alterações ao longo do território entre dois intervalos de tempo. As imagens das figuras 20, 21 e 22 mostram o conjunto de dos troços costeiros que foram analisados recorrendo à técnica referida e às respectivas bandas.

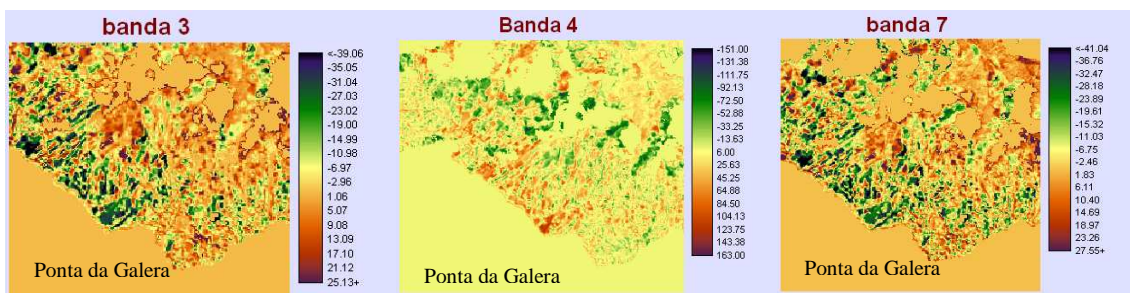


Fig 20 - Visualização das alterações identificadas (corte de imagem para análise da técnica de diferença de imagens). Troço Santa Cruz, Agua d´Alto. Bandas 3, 4 e 7

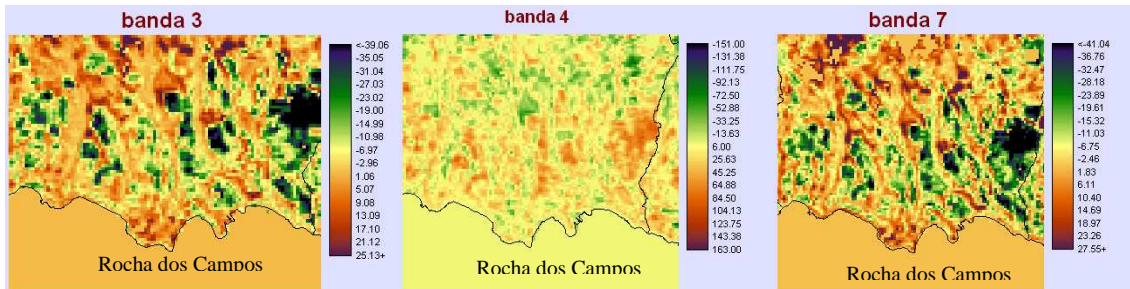


Fig. 21 - Visualização das alterações identificadas (corte de imagem para análise da técnica de diferença de imagens). Rocha Quebrada Bandas 3, 4 e 7

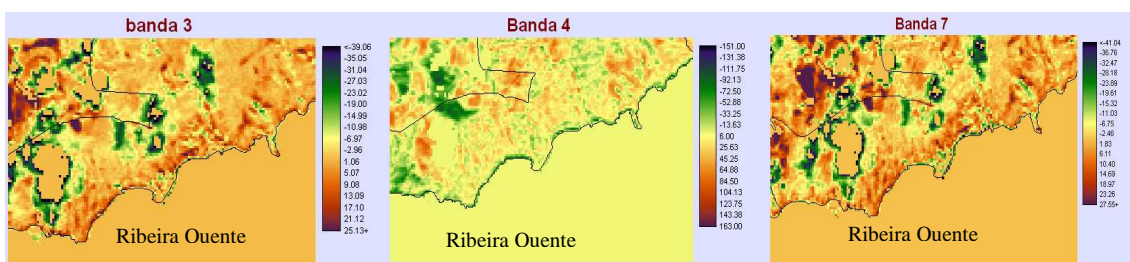


Fig. 22 - Visualização das alterações identificadas (corte de imagem para análise da técnica de diferença de imagens).

Da análise visual da figura 20, 21 e 22 que ilustra a localização e intensidade de diferenças detectadas na sua aplicação às Bandas Landsat de 1990 e 2007, depreende-se que as mudanças significativas (valores extremos na escala) registadas no troço em estudo na área abrangida pelo POOC da Costa Sul de S. Miguel se localizam sobretudo nas áreas da Ponta da Galera e Ribeira Quente, sendo as restantes de intensidade fraca a moderada. Estas alterações poderão estar relacionadas com a alteração da linha de costa, quer por fenómenos naturais (e.g. erosão costeira), quer por razões antrópicas.

Da análise visual das imagens extraídas pela banda 3 figura 20 B3, 21B3, e 22B3 é possível constatar que as alterações mais intensas de valores negativos ocorreram no troço de Santa Cruz, Água de Pau, indicando mais alterações negativas sendo que estas alterações deverão ser essencialmente de origem natural, ou resultantes do tipo de prática agrícola, tendo em conta a baixa ocupação humana neste troço.

Da análise visual das imagens extraídas pela banda 4 figura 20 B4, 21B4, e 22B4, as alterações identificadas são moderadas não havendo ocorrências de valores extremos.

Da análise visual das figuras 20B7, 21 B7 e 22 B7 observam-se valores positivos e negativos. Tal como já observado anteriormente, o troço Santa Cruz/Água de Pau apresentou maior número de alterações negativas.

Observando as imagens como um todo, é possível constatar-se que as bandas 3 e 7 são as que mais intensamente captaram as alterações ocorridas.

Estas bandas também nos fornecem alguma informação sobre a topologia do terreno, informação bastante útil em estudos de evolução da orla costeira, enquanto que a banda 4 não acomoda essa informação. A Banda 4 foi também a mais comediada em termos de detecção de manifestação de fenómenos em termos de intensidade extrema pois estes raramente foram detectados com esta banda.

Porém, foi com o recurso à banda 4 que se detectou as possíveis alterações na rede hidrográfica em Santa Cruz (fig. 17B4) e o enchimento da Praia do Fogo na Ribeira Quente (fig. 19 B4).

As restantes bandas mostram-se complementares e eficientes na detecção de alterações mas a natureza das alterações são difíceis de avaliar e só com o profundo conhecimento do terreno é que podemos inferir se a causa da alteração tem origem natural ou se é humana.

Com o conhecimento actual do terreno é possível efectivamente sugerir a origem das alterações ocorridas (fig. 23).

Conforme referido anteriormente a zona da Rocha dos Campos corresponde a um "litoral secundário de erosão" onde segundo Borges (2003) ocorreu o recuo

da arriba costeira nomeadamente entre 1995 e 1999, com uma taxa de recuo médio ponderado de 0,06 m/ano.



Fig. 23 – Aspecto da arriba da rocha dos campos. (Fotografia de Paulo Borges)

Na figura 23 através da imagem executada com a mesma técnica verifica-se que ocorreram alterações não sendo possível inferir com segurança que tipo de mudança ocorreu mas sim inferir com a sua intensidade.

Com base no conhecimento do terreno e de dados iconográficos, sabemos que ocorreram melhoramentos na estrada marginal entre o porto de pesca e a Praia do Fogo e que igualmente no período entre 1990 e 2007 (de um modo especial em Outubro/Novembro de 1997) ocorreram uma série de movimentos de massa de vertente nas vertentes costeiras da freguesia da Ribeira Quente (ver Borges, 2003), que causaram directamente e indirectamente alteração da morfologia e do coberto vegetal.



Fig. 24 - Cicatrizes de movimentos de massa de vertente ocorridos na noite de 31 de Outubro de 1997 na encosta da Freguesia da Ribeira Quente (Fotografia de P. Borges).

É possível ver nas fotografias das fotografias das figuras 24 e 25 as alterações detectadas com a técnica de Diferença de Imagens tanto para alterações de origem natural como as antrópicas.



Fig. 25 - Freguesia da Ribeira Quente em 2006 onde são visíveis os melhoramentos efectuados na zona do porto e na marginal que liga o porto à praia do Fogo (Fotografia de P. Borges).

7 Conclusões

Do ponto de vista geral do uso de imagens de Detecção Remota para apoio à Gestão Integrada de Zonas Costeiras, o presente trabalho permitiu confirmar que o uso deste tipo de Informação Geográfica pode constituir uma ferramenta com uma relação custo/benefício bastante positiva. O seu baixo preço (ou mesmo gratuitidade no caso das imagens Landsat) e a grande dimensão da área abrangida por cada imagem de satélite aliadas à fiabilidade de algumas técnicas de Processamento Digital de imagens - entre as quais se inclui a utilizada neste trabalho, a “técnica de análise comparada por diferença de imagens” – fazem com que uma imagem de satélite com resolução espacial (maior/menor detalhe) e espectral (maior/menor capacidade de discriminação entre objectos) adequadas sejam elementos imprescindíveis a integrar em qualquer estratégia de caracterização e monitorização da orla costeira.

Do ponto de vista específico da aplicação desenvolvida neste estudo, pode-se afirmar que as três bandas seleccionadas para o efeito são representativas do tipo de fenómenos que podem configurar alterações na orla costeira (ocupação do solo, geologia e geomorfologia), pelo que a resolução espectral das imagens Landsat TM será adequada para este tipo de estudo. Contudo, no que diz respeito à resolução espacial destas mesmas imagens (píxel com 30 metros de lado, 900 m² de área), ela impede a detecção rigorosa de fenómenos mais localizados e de menor dimensão, o que constitui um obstáculo à pronta intervenção e mitigação preventiva de alterações negativas (como o recuo da linha de costa, por exemplo).

O ideal seria portanto dispor, para este tipo de estudo, de imagens com resolução espectral igual ou superior e com resolução espacial superior à das imagens Landsat (imagens ASTER por exemplo). Contudo, um arquivo histórico de imagens como o do Projecto Landsat permite por si só a elaboração de estudos multitemporais de elevado valor e pertinência.

Quanto à aplicação da “técnica de análise comparada por diferença de imagens”, a sua simplicidade permite uma utilização rápida e eficaz, embora a natureza dos resultados obtidos obrigue à elaboração de trabalho de campo para identificar, classificar e validar as alterações registadas.

A técnica utilizada para a detecção de alterações significativas não nos fornece informação sobre a tipologia do câmbio (se do foro morfológico ou da ocupação do solo), apenas nos indica que houve alterações e qual o seu grau de intensidade em termos de número digital da imagem. Consequentemente, é fundamental o uso de trabalho de campo e de informação geográfica auxiliar (altimetria, modelo digital do terreno, rede hidrográfica, rede viária, ocupação do solo, edificado, etc) de modo a poder aferir quais as razões destas alterações, bem como em alguns casos confirmar as alterações efectivamente ocorridas.

No entanto, após a aplicação desta técnica são identificadas as zonas mais críticas sujeitas a alterações, o que poderá redundar numa maior optimização e melhor gestão de recursos humanos, logísticos e financeiros usados na mitigação e resolução destes problemas.

Um possível desenvolvimento deste trabalho do ponto de vista da Detecção Remota será portanto a aplicação de Técnicas de Detecção de Alterações mais complexas (Análise de Vectores de Mudança, por exemplo) sobre imagens de satélite com maior resolução espacial e espectral (imagens ASTER por exemplo).

No entanto, é fundamental sublinhar que as características meteorológicas e morfológicas da área de estudo e das ilhas dos Açores em geral (se pretendermos aplicar esta metodologia a toda a região) são factores que condicionam bastante a existência de imagens de satélite que cumpram os requisitos necessários ao seu processamento e análise.

Em qualquer das técnicas utilizadas foi possível visualizar a evolução da orla costeira com um intervalo de tempo de 17 anos.

Tendo em conta que o troço costeiro analisado, na sua maior área é de ocupação agrícola, alternado com ocupação urbana e em muito pequena percentagem é ocupada por outros usos, a escolha das bandas espectrais 3, 4 e 7 revelou ser uma escolha acertada para o tipo de análise em questão.

O POOC Costa Sul confere diferentes tipologias de uso de protecção às 3 áreas seleccionadas como caso de estudo nesta tese:

- O troço Santa Cruz/Água d'Alto está classificado como "área de utilização sustentável da orla costeira", sendo delineadas como medidas de ordenamento a integração dos ecossistemas litorais de interface, nomeadamente as arribas e

os cursos de água e respectivas zonas de protecção, bem como a faixa marítima de protecção. Integra também a “área de especial interesse ambiental” da Caloura/Ponta da Galera cujas medidas de ordenamento propõem a conservação dos recursos e do património natural e paisagístico existentes e, num sentido mais lato, a preservação da integridade biofísica e cultural do território. Finalmente, integra ainda as “zonas balneares” da Baixa da Areia e Poças da Caloura que como medidas de ordenamento previstos no POOC incluem um conjunto de regras com o objectivo de assegurar o seu uso. A faixa terrestre de protecção neste troço integra áreas agrícolas em que os princípios de ocupação definidos pelo POOC visam como prioridade a contenção dos processos de disseminação das edificações de forma a salvaguardar a qualidade da paisagem e a manutenção do espaço rural. Nas áreas agrícolas localizadas entre Santa Cruz/Lagoa e Água de Pau admite-se a instalação de empreendimentos turísticos.

De acordo com os resultados obtidos na análise efectuada, as alterações registadas sugerem que o POOC classifica correctamente esta área, tendo em conta a sua elevada vulnerabilidade, propondo portanto medidas de ordenamento e gestão adequadas à protecção deste troço da Orla Costeira da Costa Sul de S. Miguel. Porém, em relação à ocupação da faixa terrestre de protecção para instalação de empreendimentos turísticos, aconselha-se um estudo de implantação e impacte ambiental rigoroso em virtude da sensibilidade das vertentes e ecossistemas associados.

- O sítio da “Rocha dos Campos” está classificado como “outras áreas naturais e culturais”, sendo delineadas como principais medidas de ordenamento na área por si abrangida “a integração dos ecossistemas litorais de interface, nomeadamente as arribas e os cursos de água e respectivas zonas de protecção, bem como a faixa marítima de protecção”. De acordo com os resultados obtidos na análise efectuada, as alterações registadas sugerem que o POOC classifica correctamente esta área, tendo em conta a sua elevada vulnerabilidade, propondo portanto medidas de ordenamento e gestão adequadas à protecção deste troço da Orla Costeira da Costa Sul de S. Miguel. No entanto, esta área integra também a zona balnear da Pedreira que, como medidas de ordenamento, propõe um conjunto de regras com o objectivo de assegurar o seu uso sustentável. Tais regras preconizam assegurar a tipologia das construções e regularizar os acessos e estacionamento. De acordo com os resultados obtidos na análise efectuada, as alterações registadas sugerem que o POOC classifica correctamente esta área, tendo em conta a sua elevada vulnerabilidade e perigosidade, propondo portanto medidas de ordenamento e gestão inadequadas à protecção deste troço da Orla Costeira da Costa Sul de S. Miguel.

- A faixa costeira da Ribeira Quente está sub-classificada em várias subáreas para as quais são definidas medidas de protecção diferenciadas que de oeste para leste são:

1) A zona oeste (Lobeira) da faixa costeira da Ribeira Quente está classificada como “outras áreas naturais e culturais” sendo delineadas como principais

medidas de ordenamento na área por si abrangida "a integração dos ecossistemas litorais de interface, nomeadamente as arribas e os cursos de água e respectivas zonas de protecção, bem como a faixa marítima de protecção". De acordo com os resultados obtidos na análise efectuada, as alterações registadas sugerem que o POOC classifica correctamente esta área, tendo em conta a sua elevada vulnerabilidade, propondo portanto medidas de ordenamento e gestão adequadas à protecção deste troço da Orla Costeira da Costa Sul de S. Miguel.

2) "Zona balnear da Praia do Fogo", cujas principais medidas de ordenamento visam um "conjunto de regras com o objectivo de assegurar o seu uso", tal com assegurar a tipologia das construções, regularizar os acessos e estacionamento, promover a construção de infraestruturas de apoio, nomeadamente as de saneamento básico e assegurar os serviços de interesse público. As regras são as mesmas De acordo com os resultados obtidos na análise efectuada, as alterações registadas sugerem que o POOC classifica correctamente esta área, tendo em conta a sua elevada vulnerabilidade, propondo portanto medidas de ordenamento e gestão inadequadas à protecção deste troço da Orla Costeira da Costa Sul de S. Miguel.

3) "Áreas de edificados da Ribeira Quente", cujas medidas principais de ordenamento na área por si abrangida visam "a requalificação e a valorização dos povoamentos litorais ao nível da execução urbanística, assim como com o regime de gestão e intervenção nas situações de áreas edificadas em zonas de risco". De acordo com os resultados obtidos na análise efectuada, as

alterações registadas sugerem que o POOC classifica incorrectamente esta área, não tendo em conta a sua elevada vulnerabilidade, propondo portanto medidas de ordenamento e gestão inadequadas à protecção deste troço da Orla Costeira da Costa Sul de S. Miguel.

Genericamente, em termos morfológicos, o troço estudado desde Santa Cruz, no Concelho da Lagoa, até à Ribeira Quente no Concelho da Povoação é formado por arribas/vertentes altas com excepção dos sectores correspondentes a “litorais secundários de construção” subclasse “praia” e do sector referente à frente ribeirinha de Vila Franca do Campo.

A morfologia costeira dos três sectores alvo do estudo de casos, apesar de não serem completamente representativos da variedade morfológica que ocorre no litoral açoriano, apresentam uma tipologia muito comum, nomeadamente no litoral sul de São Miguel, razão pela qual este exercício contribuiu de alguma forma para validar as técnicas utilizadas em função do propósito em causa – monitorização de alterações na faixa costeira – ou seja, uma ferramenta capaz de fornecer aos gestores e planeadores ambientais e do território, informação sensível para uma primeira análise ou abordagem imediata e eficaz à problemática mencionada.

Contudo, as técnicas utilizadas neste exercício, e para o propósito em causa, necessitam uma validação mais lata, nomeadamente em outras tipologias litorais cuja frequência seja igualmente importante e representativa nos Açores,

bem como em troços da faixa costeira com outros tipos de ocupação e de carga antrópica.

No futuro imediato, esta validação é seguramente a continuidade lógica do presente trabalho.

8 Bibliografia

- Alves, A.L.(2001). Cartografia temporal e análise geoambiental da dinâmica da foz do Rio Piranhas-Acu, Região de Macau-RN, com base em imagem Landsat 5-TM. Dissertação de mestrado em Geodinâmica. Natal, Brasil
- Barrett, E. C. e L. F. Curtis (1999), Introduction to Environmental Remote Sensing, 4ª Edição, Tanley Thornes Publishers, Cheltenham, Gloucester, Reino Unido.
- Batista, T. (2007) Detecção Remota e Sistemas de Informação Geográfica em Ambiente. Apresentação do Departamento de Ecologia. Universidade de Évora
- Borges, P. (1995) Contribuição para o conhecimento geológico do Litoral de S. Miguel (Açores). Ponta Delgada, Açores: Universidade dos Açores, Relatório de provas PAI, 168 pp
- Borges, P. (2003) Ambientes litorais nos grupos Central e Oriental do Arquipélago dos Açores: Conteúdos e dinâmica de Microescala. Ponta Delgada, Açores, Universidade dos Açores, Dissertação para obtenção de grau de Doutor em Geologia

Borges, P., Lameira, G., e Calado, H. (2009). A erosão costeira como factor condicionante da sustentabilidade. 15º Congresso da APDR.

Botelho, A.Z.C., (2004) Proposta de indicadores de monitorização ambiental de POOC na Região Autónoma dos Açores. Tese de dissertação para obtenção do grau de Mestre em Gestão e Conservação da Natureza. Universidade dos Açores

Caetano, M., Santos, T. e Gonçalves L. (s/d) Cartografia de Ocupação do solo com imagens de satélite: estado da arte

Campgnolo, M. L., (2004) Elementos de Apoio à disciplina de sistemas informação geográfica e de detecção Remota.

WWW.isa.utl.pt/sigdr03-04/detecção_remota.pt

Comissão Europeia (2001) A União Europeia e as zonas Costeiras.

Luxemburgo: Serviço das Publicações Oficiais das Comunidades Europeias

Correia, M.M. (2003). Monitorização temporal do uso do solo no estuário do Tejo. Dissertação apresentada para a obtenção do Grau de Mestre em Gestão dos Recursos Biológicos. Universidade de Évora

Cruz, J.V. , Pacheco, D.M., Mendes, S.M e Medeiros M.C, 2007. Atlas da água nos Açores. Ficha técnica. Secretaria Regional do Ambiente e Mar. 2ª Edição

Dias, J.M. (s/d). Gestão Integrada Das Zonas Costeiras: Mito Ou Realidade?. II Congresso sobre Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa

Ervideira, A., (2007) Classificação temática da imagens Lansat recorrendo ao software Ecognition. Universidade de Lisboa. Dissertação apresentada para obtenção do grau de mestre em Engenharia Geográfica e Geoinformática.

http://ervideira.com.sapo.pt/PDFs/PADR_trabalhoescrito.pdf

Figueiredo, D. (2005) .Conceitos Básicos de sensoriamento remoto

Foody, G.M. (2002).Status of land cover accuracy assessment. Remote Sense of Environment 80 (2002) 185-201

Fortunato, A.B, Clímaco, M., Oliveira, F., Sancho, A., e Freire, P. (2008) Dinâmica Fisiográfica da Orla Costeira: Estudos de Reabilitação e Protecção. Revista da Gestão Costeira Integrada 8(1):45-63 (2008)

Forjaz, V.H. 1997, Alguns vulcões da ilha de S.Miguel, I Parte. Edição do Observatório Vulcanológico e Geotérmico dos Açores, Ponta Delgada, 160 pp

França, Z., Cruz, J.V., Nunes, J.C., Forjaz, V.H., 2005. Geologia dos Açores: uma perspectiva actual. *Açoreana*, 10(1): 11-140

França, Z., Cruz, J.V., Forjaz, V.H., Borges, P., 2003. Geologia dos Açores: Uma Perspectiva Actual. *Revista Açoreana*. Sociedade Afonso de Chaves. Ponta Delgada

Gonçalves, R.F.A., (2005). Cartografia multi-escala de alterações de coberto vegetal com imagens de satélite. Dissertação de mestrado em SIG. Universidade Nova de Lisboa

Governo Regional dos Açores (2003). Censos 2001. XIV Recenseamento Geral da população. Serviço Regional de Estatística dos Açores. (Acedido em a 5 de Outubro de 2009).
Website [http:// www.azores.gov.pt/srea/censos2001](http://www.azores.gov.pt/srea/censos2001)

IGP (2009). Informação Geográfica do IGP. (acedido em 5 de Outubro de 2009). Instituto Geográfico Português
Website <http://www.igeo.pt>

Jensen, J.R. *Introductory digital images processing: a remote sensing perspective*. 2nd edition. Upper Saddle River: Prendice Hall 1996 *

MACHADO J. (2000). *A Emergência dos Sistemas de Informação Geográfica na Análise e Organização do Espaço*. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian.

- Mazzer, A.M. Dillenburg S.M. & Souza, R. (2008) Proposta de método para análise de vulnerabilidade à erosão costeira no sudeste da ilha de Santa Catarina, Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*. 38(2): 278-294
- Mello, M. P., Lima, F. B., Silva, G. B. S., Viana, D. R., (2008), *Estudo de Correlações entre Dados Radiométricos*, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE Divisão de Sensoriamento Remoto – DSR, Geografia, Ensino & Pesquisa, Vol. 12, nº. 1, pp. 3948-3960.
- Moreira, M. A. Fundamentos de Sensoriamento Remoto e metodologias de aplicação. Universidade Federal de Viçosa, 2. ed. 2003.
- Morton, B., Britton, J.C. e Martins, A.M.F. (1998). *Ecologia Costeira dos Açores*. Sociedade Afonso de Chaves. Ponta Delgada
- Needham, H.D., Francheteau, J. (1974) Some characteristic of the rift valley in the Atlantic ocean near 36°48`noth. *Earth& Planet. Sci.Lett* 22:29-43
- Pontes, M.S. (1999) Proposta de delimitação e *Corredores Verdes* do Concelho de Cascais por Integração da Detecção Remota com um Sistema de Informação Geográfica. Trabalho Final de Licenciatura. Departamento de Geografia e Planeamento Regional. Universidade Nova

Oliveira, S.M.C. (2005) Evolução Recente da Linha de Costa no Troço Costeiro Forte Novo – Garrão (Algarve). Dissertação submetida para a obtenção do grau de Mestre em Ciências e Engenharia da Terra. Faculdade de Ciências da Universidade Nova de Lisboa. Setembro de 2005

Poletto, C.R.B. e Batista G.T. (2006), Metodologia para o georreferenciamento de ilhas costeiras como subsídio ao monitoramento ambiental. Artigo apresentado no PRIMEIRO SEMINÁRIO DE SENSORIAMENTO REMOTO E GEOPROCESSAMENTO PARA ESTUDOS AMBIENTAIS NO VALE DO PARAÍBA – GEOVAP 2006, 7 de Dezembro, Universidade de Taubaté, São Paulo, Brasil. Pag. 27-37

Prata, P.M.(2008). Aspectos práticos da linha de costa: experiências Problemas e desafios na gestão costeiros do ES. Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Brasil

Quartau, R.M.A.B.O, (2007) A plataforma submarina do Faial: Evolução morfológica e sedimentar. Dissertação para obtenção de grau de Doutor em Geologia. Universidade de Aveiro

RICHARDS, John A. Remote sensing digital image analysis. 2.ed. Springer-Verlag, Berlin, 1993. 281 p. Cap. 2: Error correction and registration of image data, p. 39-74.

Rogrigues, I, Sánchez M.J, Montoya, I. (2009) *Métodos en Teledetección Aplicada a la Prevención de Riesgos Naturales en el Litoral.*

Santos, R.L., Quintanilha, J.A. e Fukumori, I. (2005). *Os solos e o sensoriamento remoto: o uso de imagens Landsat 7 ETM para mapeamento dos horizontes coesos dos Tabuleiros Costeiros da Bahi.* Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 2749-2757.

Santos, T.A.G, (2003). *Actualização de cartografia temática com imagens de satélite.* Universidade Técnica de Lisboa, Instituto superior técnico. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Sistemas de Informação Geográfica

Souto, M. V.S. (2004) *Análise multitemporal dos elementos geoambientais da região da Ponta do Tubarão, área de influência dos campos petrolíferos de Macau e Serra, município de Macau/RN.* Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Secretaria Regional do Ambiente e Mar, 2003. *Relatório do Estado do Ordenamento do Território Açores.*

Secretaria Regional do Ambiente, 2007. Estudo Prévio de Ordenamento.

POOC Costa Sul da Ilha de São Miguel.

Singh, A. (1989). Digital change detection techniques using remotely sensed data. *International Journal of Remote Sensing*, 10 (6): 989-1003.

Tabosa, W.F., Amaro, V.E. e Vital, H. (2006). Análise do ambiente costeiro e marinho, a partir de produtos de sensoriamento remoto na região de São Bento do Norte, NE Brasil. *Revista Brasileira de Geofísica* (2007) 25 Supl.1: Pag 37-48

Tenedório, J.A e Rocha, J. (2005). Apontamentos de detecção remota. Lisboa

UNITAR, 2007 *Applications in Coastal Zone Research and Management*.

Volume 3 *United Nations Institute for Training And Research*

Explorations in Geographic Information Systems Technology. Clark

University, Worcester, MA 01610 USA

Valadão, P.A.R.,(2002) Contribuição para o estudo de movimentos de vertente nos Açores. Tese realizada no âmbito do Mestrado em vulcanologia e riscos geomorfológicos, Departamento de Geociências. Universidade dos Açores

Legislação

Decreto-Lei nº 309/93, de 2 de Setembro, Diário da República I Série A nº 206,
regulamento que elabora e aprova os POOC

Decreto-Lei nº 218/94, de 20 de Agosto, Diário da República I Série A nº 192,
alteração ao regulamento que elabora e aprova os POOC

- Decreto Legislativo Regional nº 18/98/A, de 9 de Novembro, Diário da
República I Série A nº 259, adapta à RAA o regulamento que elabora e aprova
os POOC

Decreto Legislativo Regional nº 15/2007/A – Rede Regional de Áreas
Protegidas dos Açores

Decreto Regulamentar Regional nº 29/2007/A, de 5 de Dezembro, Diário da
República I Série nº 234, Aprova o Plano de Ordenamento da Orla Costeira da
Costa Sul de S. Miguel

Portaria nº 767/96, de 30 de Dezembro, Diário da República Série I-B nº 301,
aprova as normas técnicas de referência a observar na elaboração dos POOC

Decreto-Lei nº 380/99 de 22 de Setembro - Regime jurídico dos instrumentos
de gestão territorial

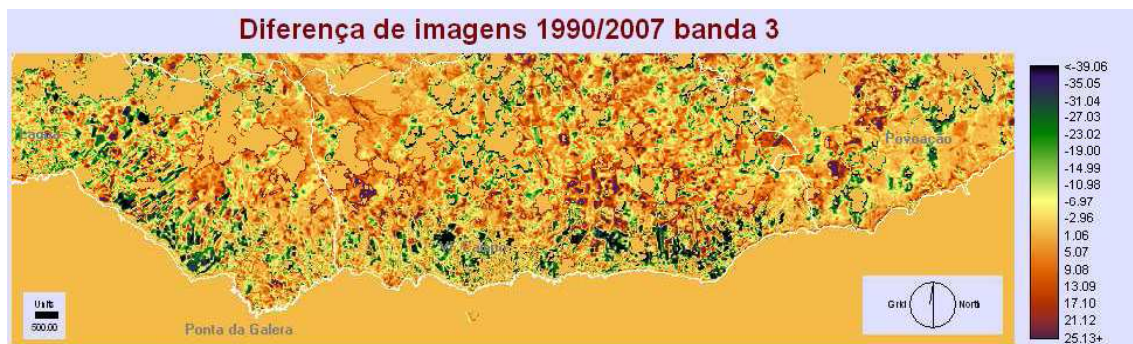
Resolução nº 138/2000, de 17 de Agosto – linhas de orientação relativas à
intervenção no litoral

Anexo - Cartografia

Mapa de alterações da zona costeira realizado com recurso à Banda Landsat TM 3

Técnica de Diferença de Imagens 1990/2007

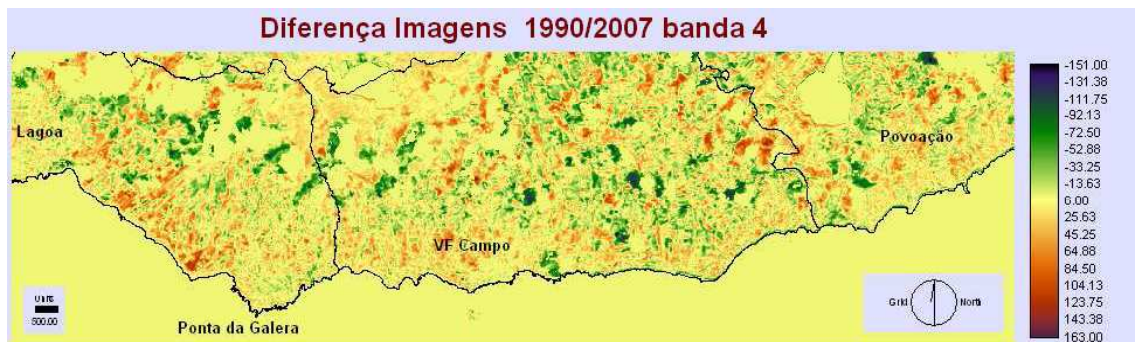
Troço Santa Cruz/Ribeira Quente



Mapa de alterações da zona costeira realizado com recurso à Banda Landsat TM 4

Técnica de Diferença de Imagens 1990/2007

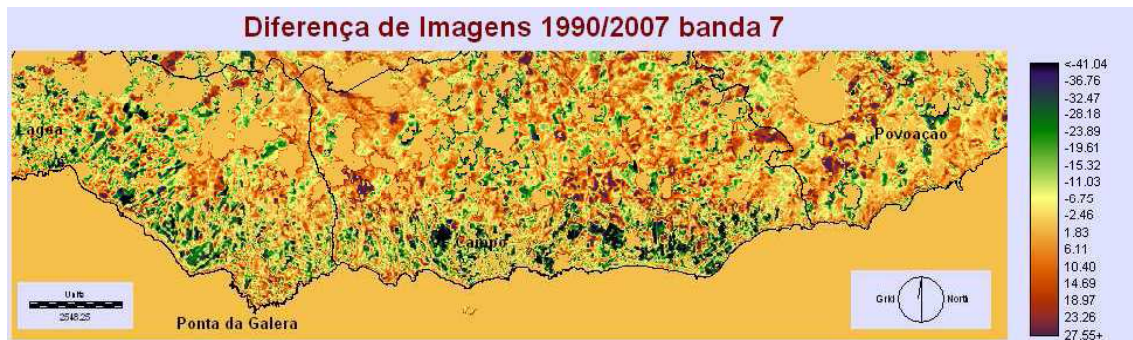
Troço Santa Cruz/Ribeira Quente



Mapa de alterações da zona costeira realizado com recurso à Banda Landsat TM 7

Técnica de Diferença de Imagens 1990/2007

Troço Santa Cruz/Ribeira Quente

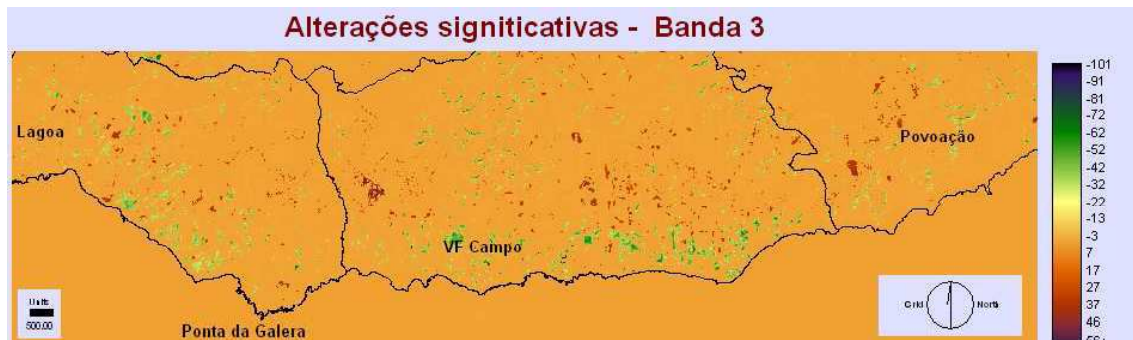


Mapa de alterações da zona costeira realizado com recurso à Banda Landsat TM 3

Técnica de Diferença de Imagens e limiar de alterações

1990/2007

Troço Santa Cruz/Ribeira Quente



Mapa de alterações da zona costeira realizado com recurso à Banda Landsat TM 4

Técnica de Diferença de Imagens e limiar de alterações

1990/2007

Troço Santa Cruz/Ribeira Quente

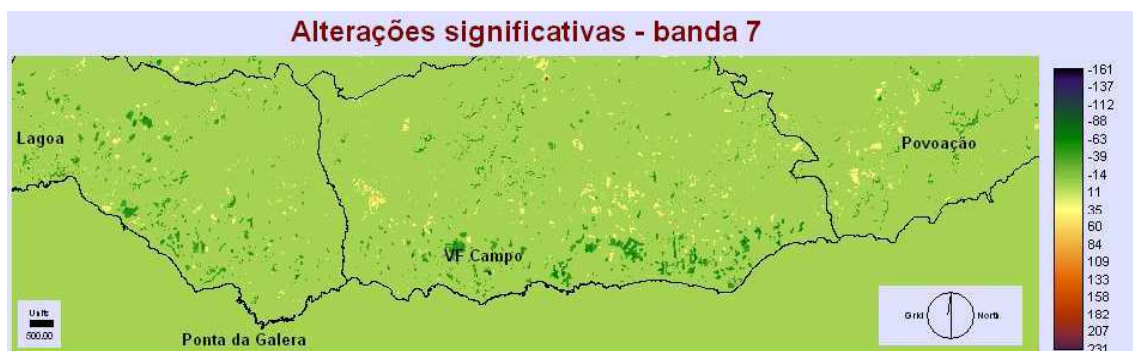


Mapa de alterações da zona costeira realizado com recurso à Banda Landsat TM 7

Técnica de Diferença de Imagens e limiar de alterações

1990/2007

Troço Santa Cruz/Ribeira Quente

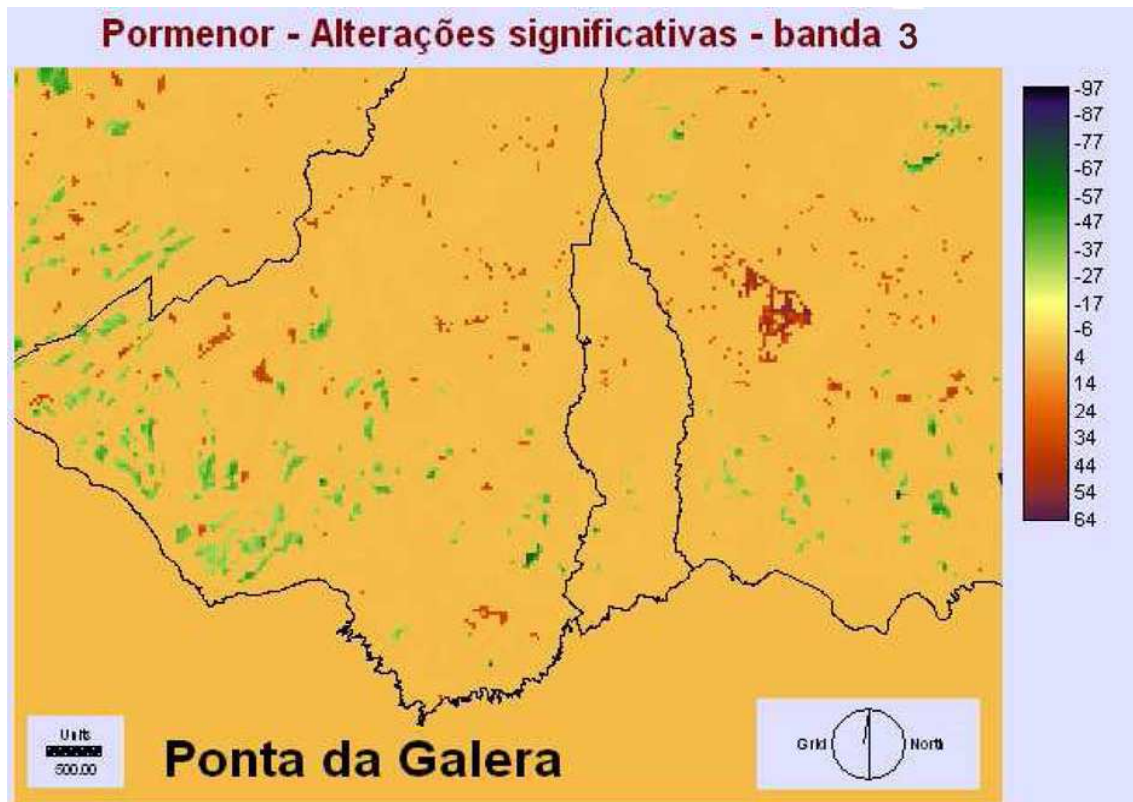


Mapa de alterações da zona costeira realizado com recurso à Banda Landsat TM 3

Técnica de Diferença de Imagens e limiar de alterações

1990/2007

Troço Santa Cruz/Água de Pau – Ponta da Galera

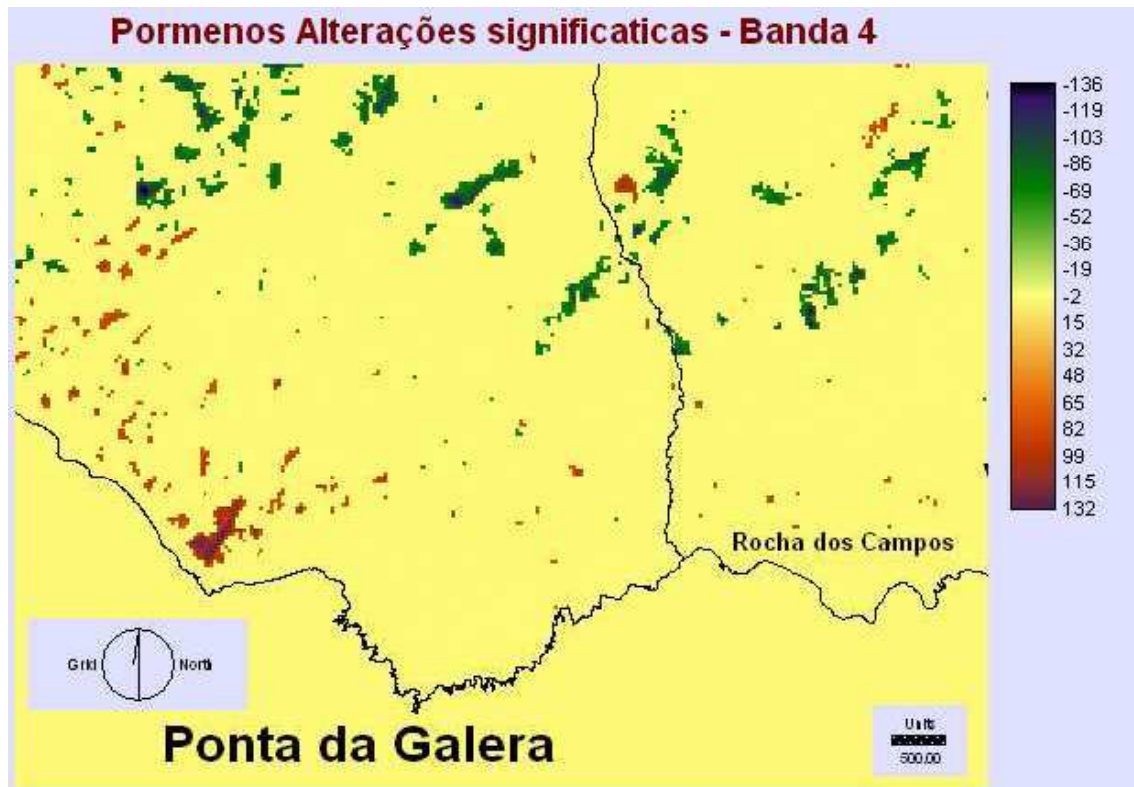


Mapa de alterações da zona costeira realizado com recurso à Banda Landsat TM 4

Técnica de Diferença de Imagens e limiar de alterações

1990/2007

Troço Santa Cruz/Água de Pau – Ponta da Galera

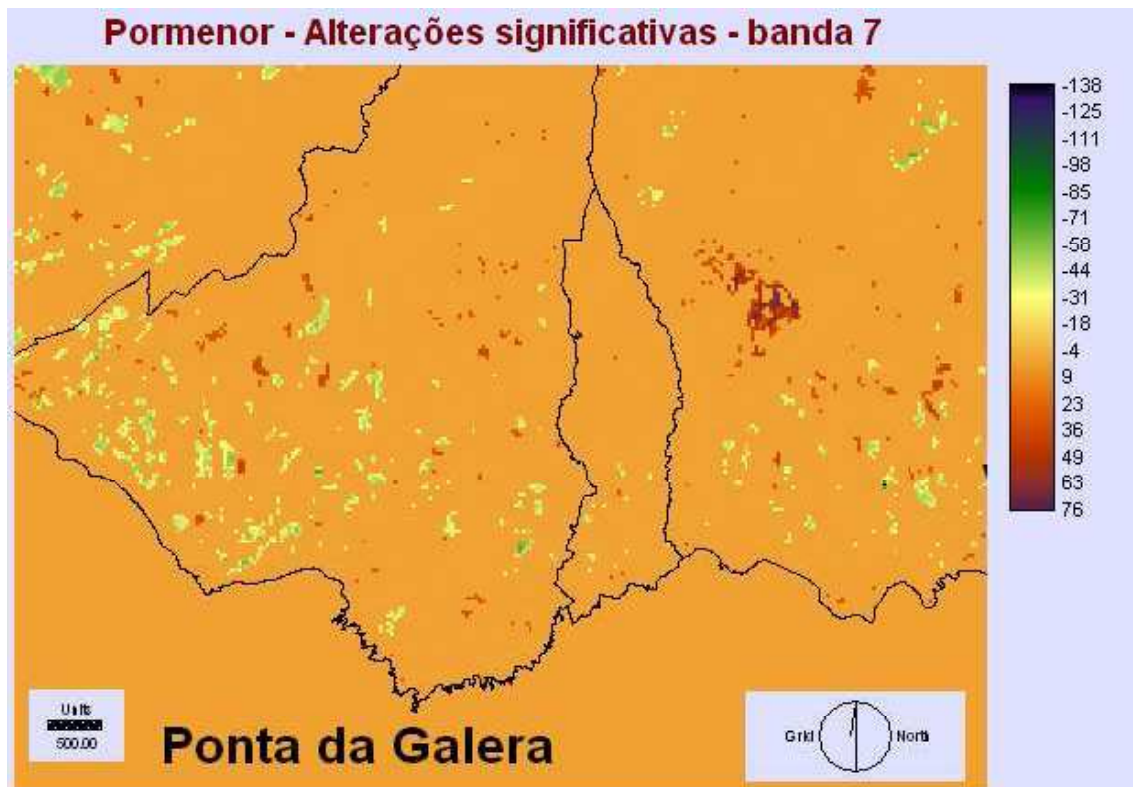


Mapa de alterações da zona costeira realizado com recurso à Banda Landsat TM 7

Técnica de Diferença de Imagens e limiar de alterações

1990/2007

Troço Santa Cruz/Água d'Alto – Ponta da Galera

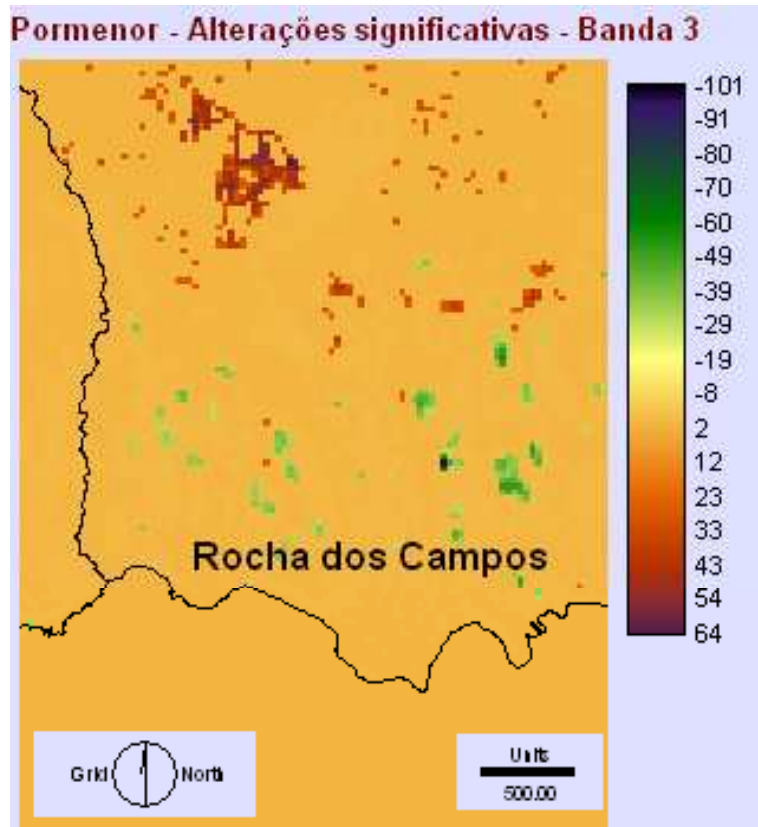


Mapa de alterações da zona costeira realizado com recurso à Banda Landsat TM 3

técnica de Diferença de Imagens e limiar de alterações

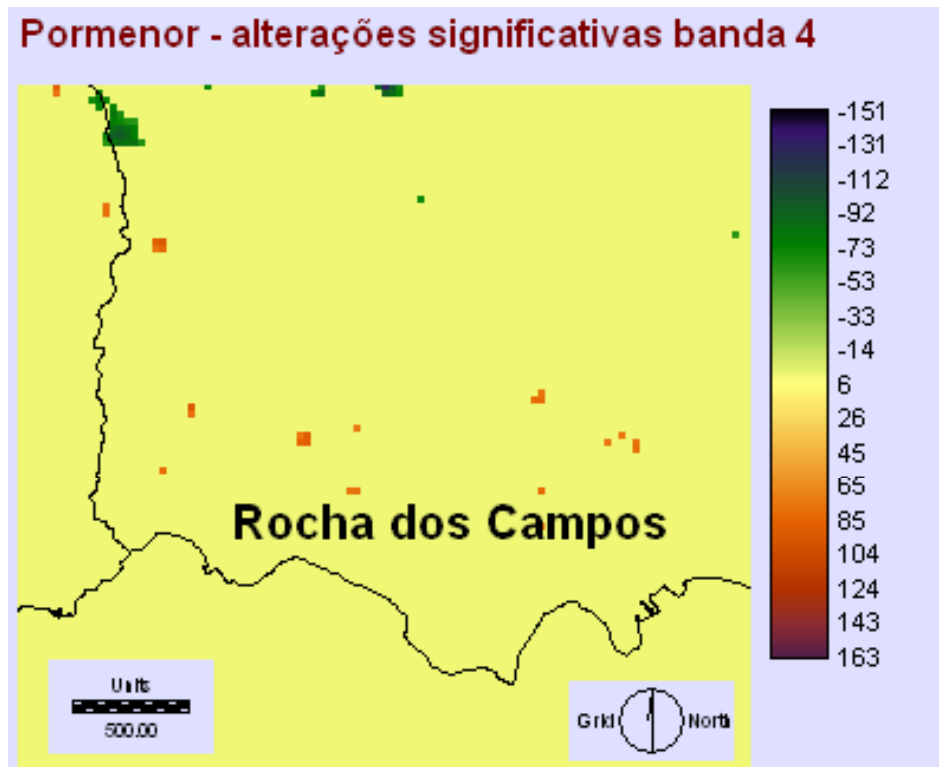
1990/2007

Rocha dos Campos



Mapa de alterações da zona costeira realizado com recurso à Banda Landsat TM 4
técnica de Diferença de Imagens e limiar de alterações
1990/2007

Rocha dos Campos

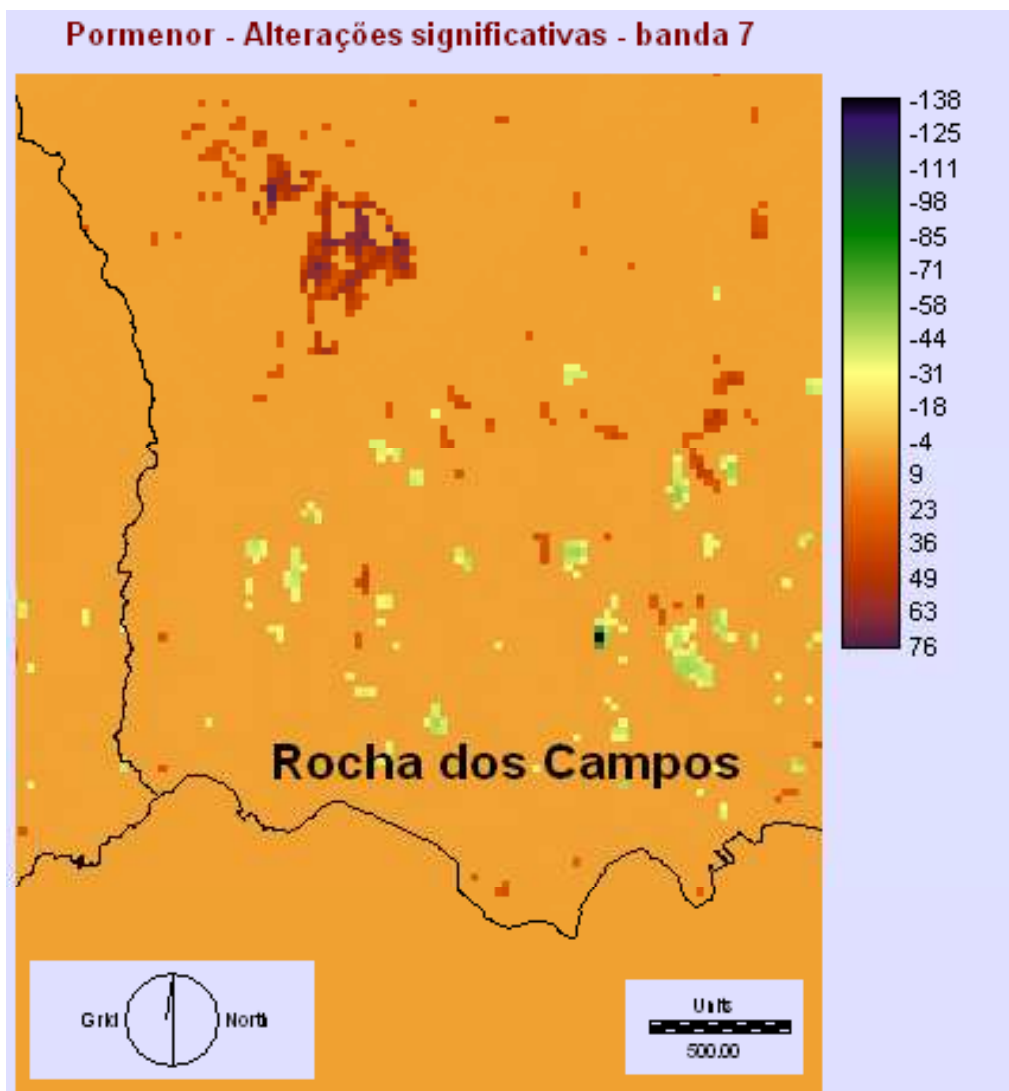


Mapa de alterações da zona costeira realizado com recurso à Banda Landsat TM 7

técnica de Diferença de Imagens e limiar de alterações

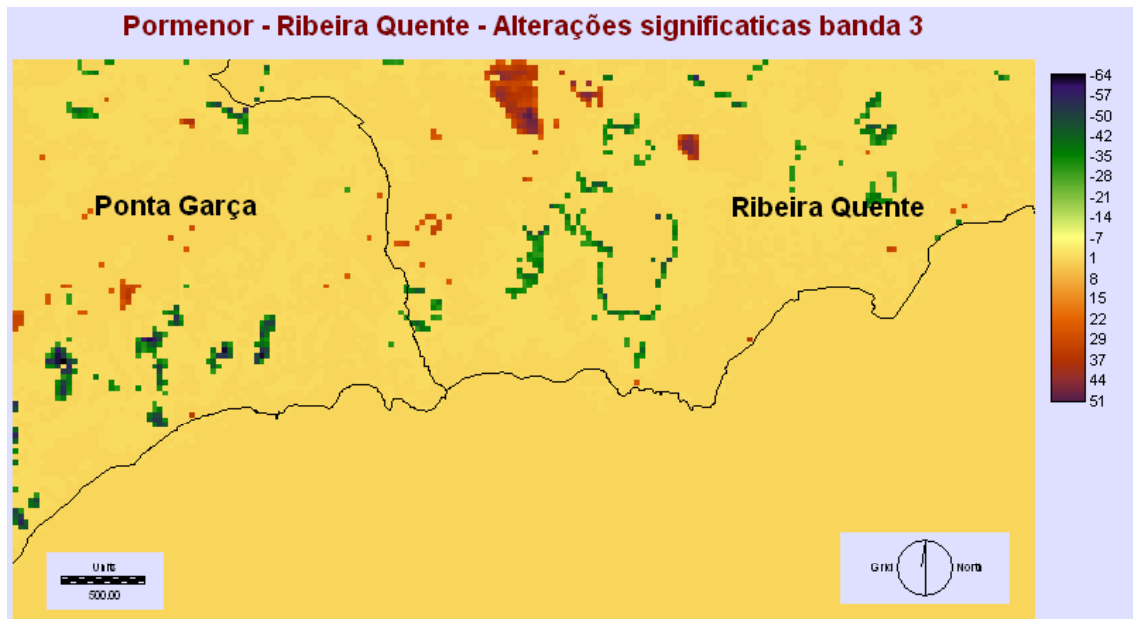
1990/2007

Rocha dos Campos



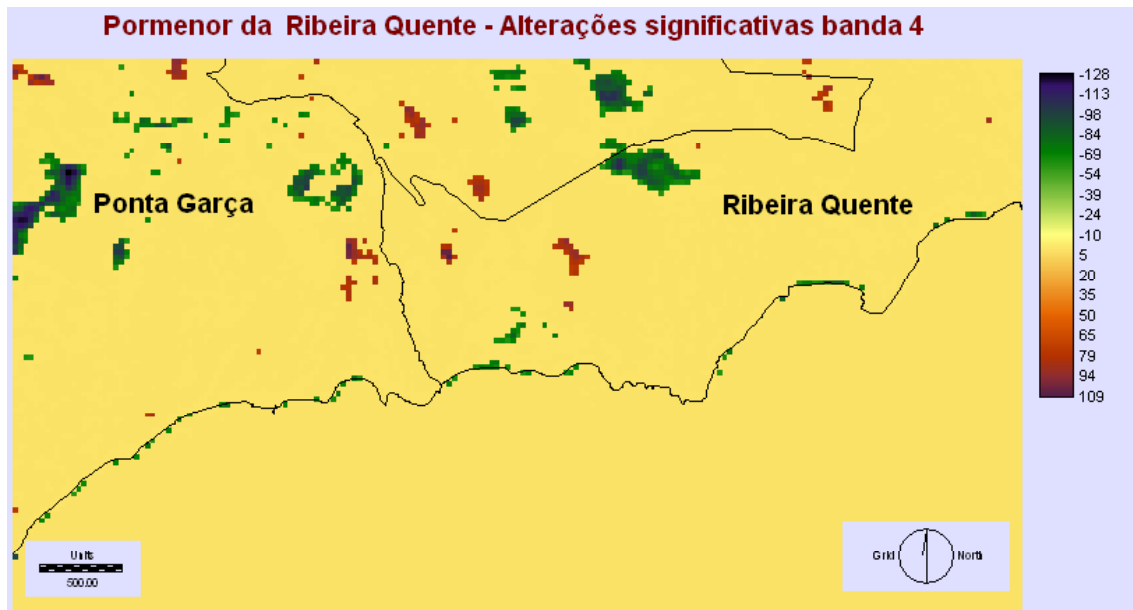
**Mapa de alterações da zona costeira realizado com recurso à Banda Landsat TM 3
técnica de Diferença de Imagens e limiar de alterações
1990/2007**

Faixa Costeira da Ribeira Quente



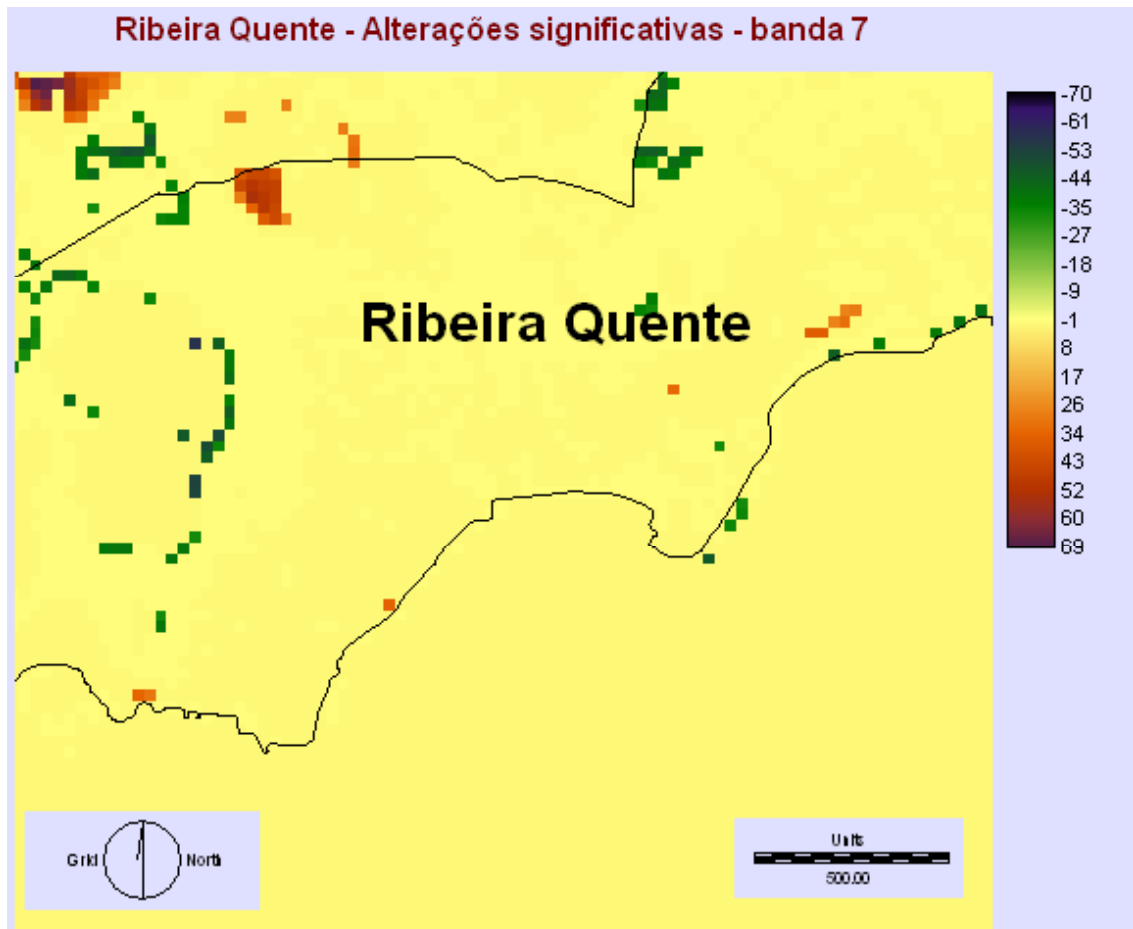
**Mapa de alterações da zona costeira realizado com recurso à Banda Landsat TM 4
técnica de Diferença de Imagens e limiar de alterações
1990/2007**

Faixa Costeira da Ribeira Quente



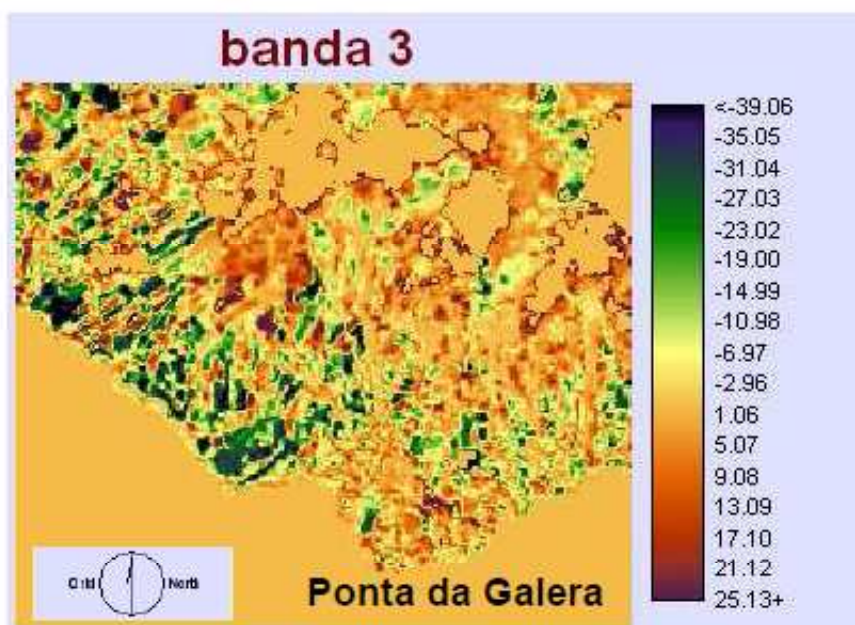
Mapa de alterações da zona costeira realizado com recurso à Banda Landsat TM 7
técnica de Diferença de Imagens e limiar de alterações
1990/2007

Faixa Costeira Ribeira Quente



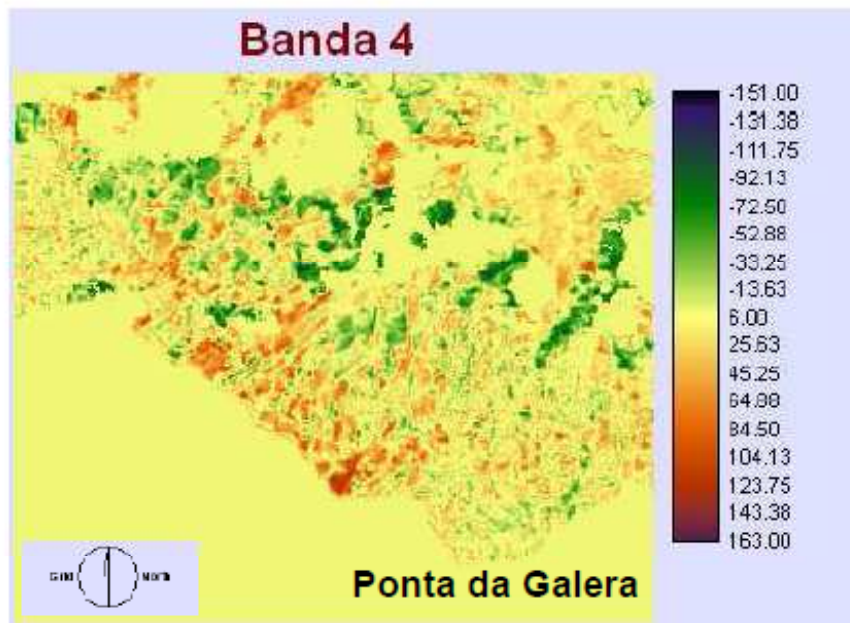
Mapa de Alterações na zona costeira com a aplicação da Técnica de Diferença de Imagens 1990/2007

Banda 3 – Troço Santa Cruz/Água de Pau



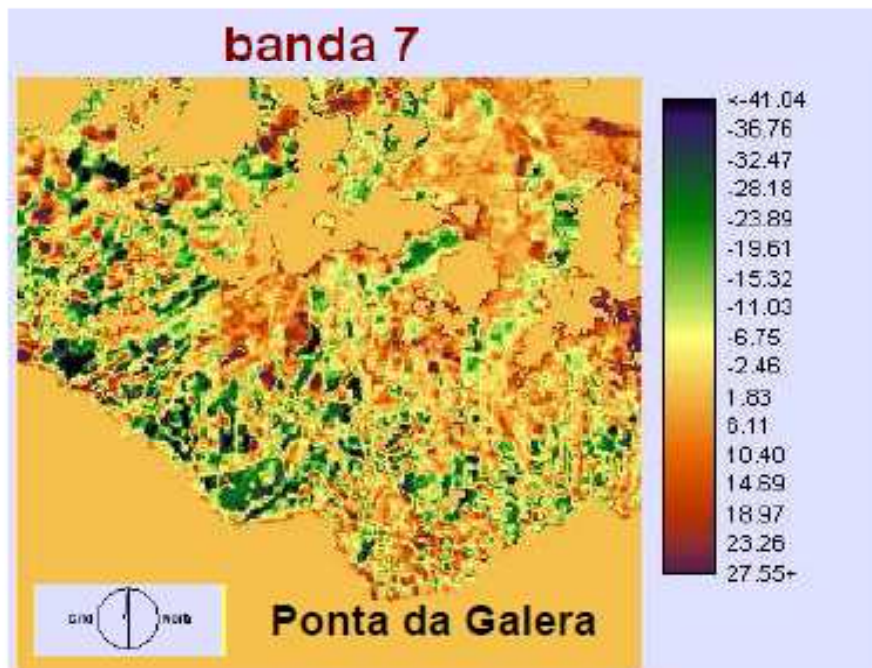
**Mapa de Alterações na zona costeira com
aplicação da Técnica de Diferença de
Imagens 1990/2007**

Banda 4 – Troço Santa Cruz/Água de Pau



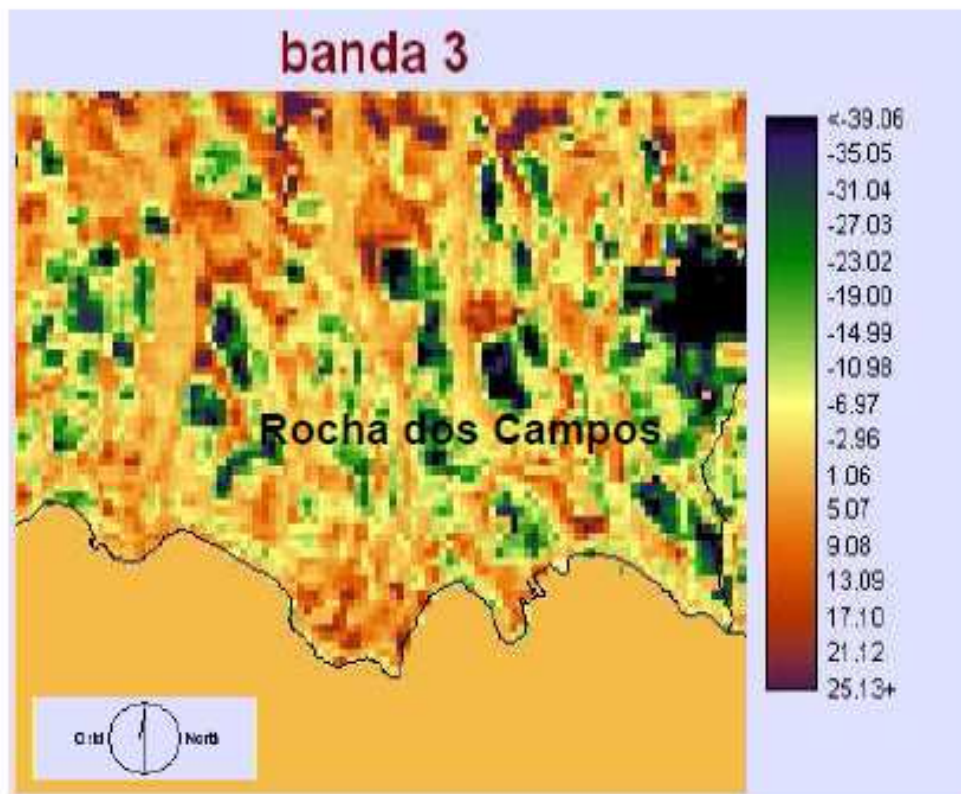
Mapa de Alterações na zona costeira com aplicação da Técnica de Diferença de Imagens 1990/2007

Banda 7 – Troço Santa Cruz/Água de Pau



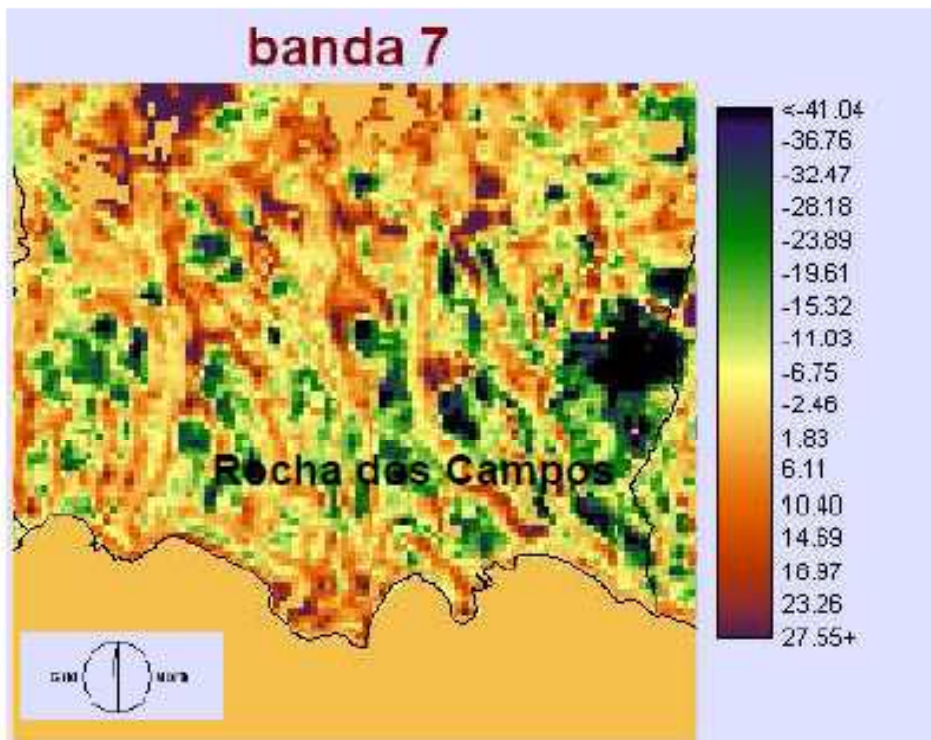
Mapa de Alterações na zona costeira com aplicação da Técnica de Diferença de Imagens 1990/2007

Banda 3 – Rocha dos Campos



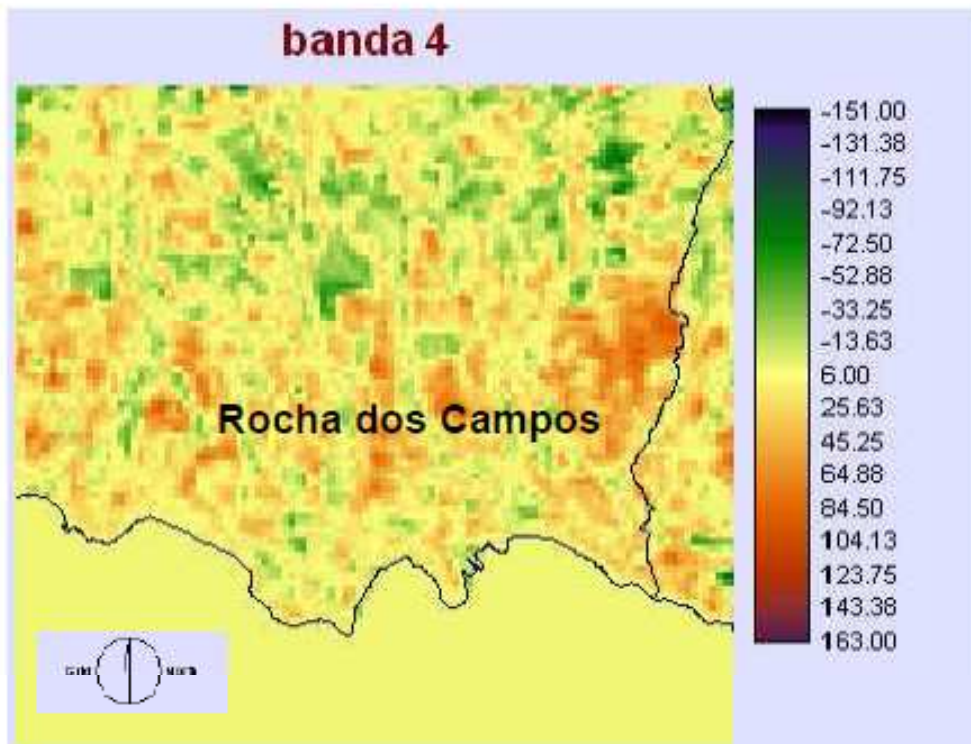
Mapa de Alterações na zona costeira com aplicação da Técnica de Diferença de Imagens 1990/2007

Banda 7 – Rocha dos Campos



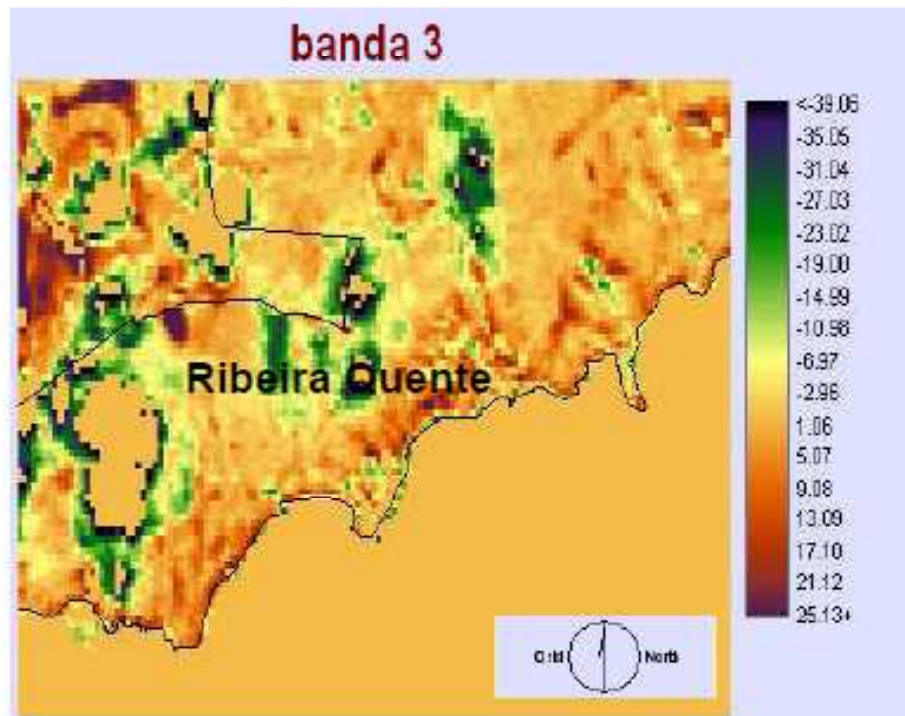
Mapa de Alterações na zona costeira com aplicação da Técnica de Diferença de Imagens 1990/2007

Banda 4 – Rocha dos Campos



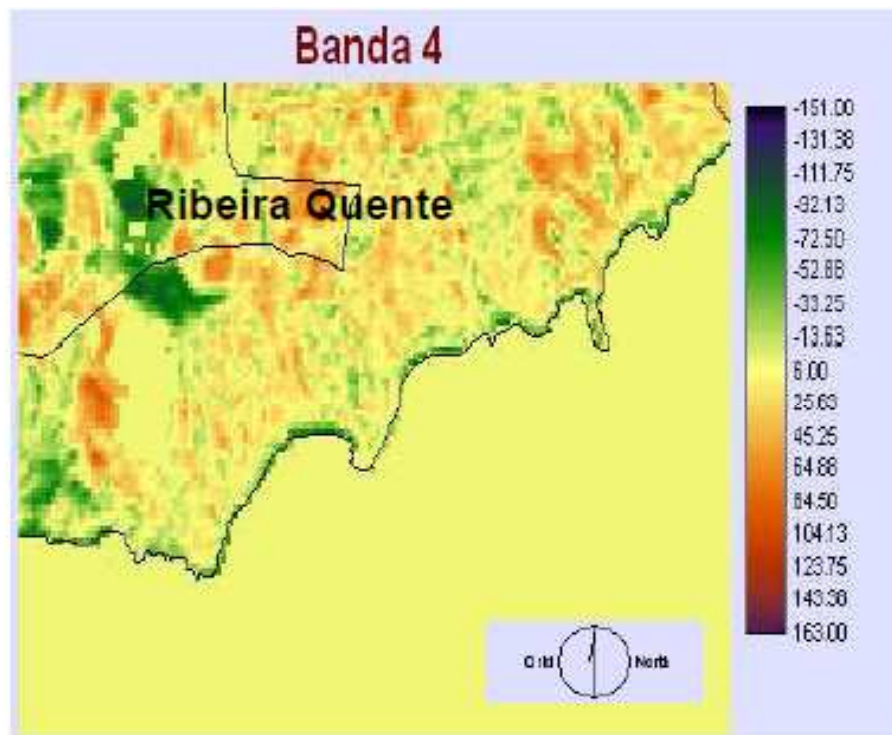
Mapa de Alterações na zona costeira com aplicação da Técnica de Diferença de Imagens 1990/2007

Banda 3 – Faixa Costeira da Ribeira Quente



Mapa de Alterações na zona costeira com aplicação da Técnica de Diferença de Imagens 1990/2007

Banda 4 – Faixa Costeira da Ribeira Quente



Mapa de Alterações na zona costeira com aplicação da Técnica de Diferença de Imagens 1990/2007

Banda 7 – Ribeira Quente

