

Universidade de Coimbra
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Departamento de Ciências da Terra

The seal of the University of Coimbra is a circular emblem. It features a central shield with various heraldic symbols, surrounded by a border containing text in Portuguese. The seal is rendered in a blue, slightly translucent style.

**APLICAÇÃO DE DADOS DE
DETECÇÃO REMOTA À
CARTOGRAFIA GEOLÓGICA DA
REGIÃO DE VISEU**

Pedro Nuno Gomes Venâncio

Licenciatura em Geologia (Ramo Científico)

Coimbra, Setembro de 2007
Ano lectivo 2006/2007

Universidade de Coimbra
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Departamento de Ciências da Terra

**APLICAÇÃO DE DADOS DE
DETECÇÃO REMOTA À
CARTOGRAFIA GEOLÓGICA DA
REGIÃO DE VISEU**

Estágio Científico da Licenciatura em Geologia

Pedro Nuno Gomes Venâncio

Orientação:

Professor Doutor Manuel Maria Godinho (Professor Catedrático)
Professor Doutor Luís Figueiredo Neves (Professor Catedrático)
Professor Doutor Alcides Pereira (Professor Associado c/ Agregação)

Setembro de 2007

Agradecimentos

Gostaria de aqui deixar os meus mais sinceros agradecimentos a todos aqueles que, de uma ou de outra forma, contribuíram para o trabalho agora apresentado.

Aos Professores coordenadores, Manuel Godinho e Luís Neves, pela liberdade na escolha do tema e por todas sugestões, conselhos e apoio prestados durante a elaboração deste trabalho.

Ao meu orientador, Professor Alcides Pereira, por todo o apoio, dedicação, incentivo, confiança e paciência demonstradas ao longo das jornadas passadas no Laboratório de Radioactividade Natural do Departamento de Ciências da Terra.

À mestre Ana Vicente, investigadora daquele Laboratório, por todos os ensinamentos técnicos prestados, sem os quais este trabalho não teria sido possível.

À Rita, por todo o apoio, incentivo, força e compreensão e também pela paciência na revisão dos textos.

A todos eles, o meu muito obrigado.

Resumo

O uso de dados de Detecção Remota em cartografia geológica é um tema ainda pouco explorado em Portugal. Contudo, as suas vantagens são evidentes, a começar pela rapidez com que se obtém o conhecimento geológico básico de uma região.

A utilização de imagens Landsat 7 ETM+ e RADAR JERS-1 da região de Viseu permitiu, através de um intensivo processo de correcção, realce, transformação e fusão dos dados, obter informações de ocupação e uso do solo e de carácter litológico e estrutural que culminaram na elaboração de uma nova versão da carta geológica na escala 1:50.000 da região de Viseu, correspondente à folha 17-A da Carta Geológica de Portugal.

As bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 da imagem Landsat mostraram mais aptidão para a cartografia litológica e de ocupação. A banda pancromática permitiu obter resultados notáveis de carácter estrutural.

A imagem RADAR apresentou resultados excelentes para a cartografia estrutural, corroborando os dados da banda pancromática. A sua fusão com dados altimétricos permitiu realçar os aspectos geomorfológicos e destacar as fracturas que condicionaram esses mesmos aspectos na região.

Palavras-chave: Detecção Remota, Geologia, Landsat 7, ETM+, JERS-1, RADAR, SAR, MDT, Viseu, Carta Geológica.

Índice

Agradecimentos

Resumo

Índice

Índice de figuras

Índice de quadros

Capítulo I – Introdução

1. Introdução e Objectivos	1
2. Princípios Físicos da Detecção Remota	3
2.1 – O Espectro Electromagnético	4
2.2 – Emissão de Radiação Electromagnética	6
2.3 – Interacção da Radiação Electromagnética com a Matéria	7
2.3.1 – Interacção da Radiação Electromagnética com a Atmosfera	9
2.3.2 – Interacção da Radiação Electromagnética com a Superfície Terrestre	11
3. Cartografia da Superfície Terrestre	13
3.1 – Cartografia do Substrato Rochoso	13
3.1.1 – Cartografia Litológica	14
3.1.2 – Cartografia estrutural	19
3.2 – Cartografia de Solos	19
3.3 – O Efeito da Cobertura Vegetal no Comportamento Espectral dos Solos e do Substrato Rochoso	21
3.3.1 – Atenuação do Efeito da Cobertura Vegetal	24
4. Sistemas de Detecção Remota	25
4.1 – Detectores Ópticos	26
4.1.1 – Detectores de Varrimento Mecânico (DVM)	28
4.1.2 – Detectores de Matriz Linear (DML) ou CCD	28

4.1.3 – Sensibilidade Radiométrica	29
4.1.4 – Resolução	30
4.2 – Detectores de RADAR	31
4.2.1 – Aquisição da Informação	32
4.2.2 – Geometria de Aquisição das Imagens RADAR	35
4.2.3 – Distorções das Imagens de RADAR	39
4.2.4 – Altimetria RADAR	41
4.2.5 – Vantagens do RADAR sobre os Detectores Ópticos	43
5. Processamento e Análise de Imagens de Detecção Remota ...	45
5.1 – Imagens Digitais do Tipo Raster	45
5.2 – Pré-Processamento	47
5.2.1 – Distorções geométricas	47
5.2.2 – Distorções radiométricas	52
5.3 – Processamento Unibanda	56
5.3.1 – Técnicas de Realce	56
5.4 – Processamento Multibanda	63
5.4.1 – Composição colorida RGB	63
5.4.2 – Quocientes (Razões entre Bandas)	64
5.4.3 – Transformada HSI	66
5.4.4 – Imagens a Três Dimensões	69
5.4.5 – Análise em Componentes Principais	69
5.4.6 – Transformada “Tasseled Cap”	70
5.4.7 – Mosaicos Digitais	71
5.5 – Classificação Digital	72
5.5.1 – Classificação Não Supervisada	73
5.5.2 – Classificação Supervisada	74
5.5.3 – Avaliação da Precisão e Validação dos Resultados	76
6. Imagens LANDSAT	79
6.1 – Cartografia Litológica	85
7. Imagens JERS-1	87

Capítulo II – Caracterização da Área em Estudo

8. Localização Geográfica e Caracterização Fisiográfica	89
9. Caracterização da Ocupação do Solo	94
10. Geologia da Área em Estudo	96
10.1 – Enquadramento Estrutural	100
10.2 – Petrografia	101
10.2.1 – Rochas Básicas	101
10.2.2 – Granitóides hercínicos pós-F3 (280-292 Ma)	101
10.2.3 – Granitóides hercínicos tardi- a pós-F3 (305-316 Ma)	102
10.2.4 – Granitóides hercínicos sin-F3 (310-328 Ma)	106
10.2.5 – Metassedimentos	106
10.3 – Aspectos Petrogenéticos	107

Capítulo III – Apresentação de Métodos e Resultados

11. Caracterização das Imagens Utilizadas	108
11.1 – Imagem Landsat 7	108
11.2 – Imagem JERS-1	109
12. Métodos de Processamento	111
12.1 – Imagem Landsat 7	111
12.1.1 – Processamento com Vista à Cartografia Litológica	116
12.1.1.1 – Composições coloridas RGB	116
12.1.1.2 – Quocientes (Razões entre Bandas)	122
12.1.1.3 – Análise em Componentes Principais	125
12.1.1.4 – Transformada “Tasseled Cap”	128
12.1.1.4 – Transformada HSI	131
12.1.2 – Processamento com Vista à Cartografia Estrutural	136
12.2 – Imagem JERS-1	139
12.2.1 – Processamento com Vista à Cartografia Litológica	141
12.2.2 – Processamento com Vista à Cartografia Estrutural	144

12.3 – Fusão dos Dados Espectrais dos Domínios Óptico e das Microondas	145
12.4 – Modelos Digitais de Terreno (MDT)	146
13. Apresentação e Discussão dos Resultados	148
13.1 – Cartografia Litológica	148
13.2 – Cartografia Estrutural	156

Capítulo IV – Conclusões

14. Conclusões	163
15. Bibliografia	165

Anexos

Índice de Figuras

Fig.1 – Propagação da radiação electromagnética	4
Fig.2 – Espectros electromagnéticos	5
Fig.3 – Processos de interacção entre a radiação electromagnética e a matéria	7
Fig.4 – Tipos de reflexão da radiação electromagnética	8
Fig.5 – Transmitância da radiação electromagnética na atmosfera	9
Fig.6 – Curvas de Reflectância Espectral das principais coberturas da superfície terrestre	11
Fig.7 – Factores intervenientes no comportamento espectral do substrato rochoso	13
Fig.8 – Reflectância dos diferentes tipos de rochas ígneas	16
Fig.9 – Curvas de reflectância espectral dos principais tipos de rochas sedimentares	17
Fig.10 – Curvas de reflectância espectral de alguns tipos de rochas metamórficas	18
Fig.11 – Alteração do albedo dos minerais com a variação da sua granulometria	18
Fig.12 – Curvas de reflectância espectral de um solo arenoso em função do teor de humidade ...	20
Fig.13 – Comportamento espectral típico do coberto vegetal e representação dos intervalos das bandas dos sensores MSS e TM dos satélites Landsat	21
Fig.14 – Comportamento espectral de uma folha ao longo do seu ciclo de vida	22
Fig.15 – Efeito do teor em água na reflectância de folhas de milho	22
Fig.16 – Classificação dos satélites em função das suas órbitas	25
Fig.17 – Áreas observadas por alguns satélites geostacionários	26
Fig.18 – Sistematização dos tipos de detectores espaciais	27
Fig.19 – Sistemas de obtenção de imagens no domínio óptico	29
Fig.20 – Sistemas de obtenção de imagens do sistema RADAR	32
Fig.21 – Mecanismos de retroreflexão em função da superfície reflectora	33
Fig.22 – Resposta do terreno a um impulso de microondas	33
Fig.23 – Comprimentos de onda e frequências usados em Detecção Remota por RADAR	34
Fig.24 – Geometria de aquisição da imagem de RADAR	35
Fig.25 – Resolução de alcance	36
Fig.26 – Resolução de alcance para diferentes ângulos de depressão	36
Fig.27 – Resolução azimutal	37
Fig.28 – RADAR de Abertura Sintetizada – SAR	38
Fig.29 – Distorções de escala nas imagens de RADAR	39
Fig.30 – O efeito de encurtamento nas imagens de RADAR	40
Fig.31 – O efeito de cavalgamento nas imagens de RADAR	40
Fig.32 – O efeito de sombra nas imagens de RADAR, com diferentes ângulos de depressão	41
Fig.33 – Configuração das antenas a bordo do Endeavour para a missão SRTM	42

Fig.34 – Número final de passagens da missão SRTM	43
Fig.35 – Representação e organização dos dados numa imagem digital	46
Fig.36 – Modos de visualização numérica/gráfica de uma imagem digital	46
Fig.37 – Modos de visualização numérica/gráfica de várias bandas espectrais de uma imagem digital	47
Fig.38 – Erros geométricos provocados pela plataforma e rotação da Terra	48
Fig.39 – Distorção provocada pelos detectores de varrimento mecânico	49
Fig.40 – Deslocamento radial	51
Fig.41 – Distorções radiométricas provocadas pelos sensores espectrais	53
Fig.42 – Processo de remoção do ruído aleatório por aplicação de um filtro de médias móveis ...	54
Fig.43 – Métodos de determinação da influencia atmosférica em bandas individuais TM	55
Fig.44 – Aumento de contraste de uma imagem digital	58
Fig.45 – Exemplo de aplicação de um filtro não direccional	60
Fig.46 – Filtros direccionais e exemplos de aplicação de dois deles	62
Fig.47 – Remoção das diferenças de reflectância de vertentes opostas, pela utilização de quocientes entre bandas	64
Fig.48 – Diferenças radiométricas entre vegetação vigorosa e senescente	65
Fig.49 – Representação do sistema HSI	67
Fig.50 – Representação esquemática de uma transformação em componentes principais	70
Fig.51 – Representação esquemática da Transformada “Tasseled Cap”	71
Fig.52 – Construção de um mosaico digital	72
Fig.53 – Representação tridimensional do conceito de classificação digital	73
Fig.54 – Classificador de máxima verosimilhança, considerando duas bandas	76
Fig.55 – Satélite Landsat7	81
Fig.56 – Falha do SLC	82
Fig.57 – Satélite JERS-1	87
Fig.58 – Localização geográfica da área em estudo	89
Fig.59 – Carta hipsométrica da área em estudo	90
Fig.60 – Carta hipsométrica da área em estudo, com representação de um perfil transversal	91
Fig.61 – Carta de declives da área em estudo	92
Fig.62 – Rede hidrográfica da área em estudo	92
Fig.63 – Carta de ocupação do solo da área em estudo, com base na Cartografia de Ocupação do Solo de 1990	94
Fig.64 – Carta de ocupação do solo da área em estudo, com base na cartografia Corine Land Cover 2000	95
Fig.65 – Excerto da Carta Geológica do Atlas do Ambiente, na escala 1:1.000.000	96
Fig.66 – Excerto da Carta Geológica de Portugal, na escala 1:5.00.000	97

Fig.67 – Representatividade das diferentes litologias presentes na Carta Geológica da Região de Viseu	99
Fig.68 – Área correspondente à imagem da fiada 204 linha 032	108
Fig.69 – Banda 1 da imagem ETM+, fiada 204 linha 032	109
Fig.70 – Imagem JERS-1, fiada 337 linha 232	110
Fig.71 – Bandas ETM+ utilizadas para a cartografia litológica	112
Fig.72 – Histogramas de frequências das 6 bandas ETM+ utilizadas para a cartografia litológica	112
Fig.73 – Perfis radiométricos das 6 bandas ETM+ utilizadas para a cartografia litológica, segundo a direcção NW-SE	114
Fig.74 – Banda pancromática ETM+	115
Fig.75 – Composição colorida RGB321, com aumento de contraste por saturação linear a 2% ..	118
Fig.76 – Composição colorida RGB432, com aumento de contraste por saturação linear a 2% ..	119
Fig.77 – Composição colorida RGB754, com aumento de contraste por equalização	120
Fig.78 – Composição colorida RGB543, com aumento de contraste por saturação linear a 2% ..	121
Fig.79 – Composição colorida RGB751, com aumento de contraste por saturação linear a 2% ..	122
Fig.80 – Índice de Vegetação (RVI)	123
Fig.81 – Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI)	123
Fig.82 – Índice de Argila, com aumento de contraste por equalização	124
Fig.83 – Índice de Óxidos de Ferro, com aumento de contraste linear	125
Fig.84 – Primeira Componente Principal	126
Fig.85 – Segunda Componente Principal	126
Fig.86 – Terceira Componente Principal	127
Fig.87 – Composição colorida RGB obtida pela utilização das três primeiras Componentes Principais	127
Fig.88 – Factor Brilho da Transformada “Tasseled Cap”	129
Fig.89 – Factor Verde da Transformada “Tasseled Cap”	129
Fig.90 – Factor Humidade da Transformada “Tasseled Cap”	130
Fig.91 – Composição colorida da Transformada “Tasseled Cap” pelo método RGB	130
Fig.92 – Transformada HSI da composição RGB751	132
Fig.93 – Factor Tinta da Transformada HSI da composição RGB751	132
Fig.94 – Factor Saturação da Transformada HSI da composição RGB751	133
Fig.95 – Factor Intensidade da Transformada HSI da composição RGB751	133
Fig.96 – Retorno ao espaço RGB da Transformada HSI da composição RGB751	134
Fig.97 – Transformada HSI da composição RGB754	135
Fig.98 – Retorno ao espaço RGB da Transformada HSI da composição RGB754	135

Fig.99 – Aplicação de 8 filtros direccionais à banda pancromática do sensor ETM+ do satélite Landsat 7	138
Fig.100 – Imagem RADAR do satélite japonês JERS-1	139
Fig.101 – Imagem RADAR do satélite JERS-1, com aplicação do filtro “Enhanced Lee” com matriz 5x5	142
Fig.102 – Imagem RADAR do satélite JERS-1, com aplicação do filtro “Enhanced Lee” com matriz 11x11	142
Fig.103 – Imagem RADAR do satélite JERS-1, com aplicação da análise textural	143
Fig.104 – Composição colorida sintética da imagem RADAR do satélite JERS-1	144
Fig.105 – Imagem resultante da fusão da transformada HSI da composição RGB751 após restituição ao espaço RGB, com a banda pancromática e destas com a imagem RADAR JERS-1	145
Fig.106 – Modelo Digital de Terreno	147
Fig.107 – Imagem resultante da fusão da transformada HSI da composição RGB751 após restituição ao espaço RGB, com a banda pancromática e destas com a imagem RADAR JERS-1, e sobreposição ao MDT	147
Fig.108 – Classificação supervisionada da composição colorida RGB obtida pela utilização das três primeiras Componentes Principais, em 5 classes, pelo método da máxima verosimilhança	149
Fig.109 – Histograma da ocupação e uso do solo e classes de ocupação	149
Fig.110 – Classificação supervisionada da composição colorida RGB obtida pela restituição a esse espaço da transformada HSI da RGB751	151
Fig.111 – Classificação supervisionada da transformada HSI da composição RGB751	152
Fig.112 – Classificação supervisionada da composição colorida RGB obtida pela restituição a esse espaço da transformada HSI da RGB751, escolhendo áreas de treino específicas	154
Fig.113 – Histograma das classes de litologias e percentagem de área ocupada	155
Fig.114 – Estruturas lineares principais da região de Viseu, interpretadas a partir da banda pancromática do satélite Landsat 7, por aplicação de 8 filtros direccionais	156
Fig.115 – Grandes alinhamentos estruturais da região de Viseu, interpretados a partir da imagem de RADAR	157
Fig.116 – Carta estrutural da região de Viseu	158
Fig.117 – Diagrama representando a orientação das estruturas lineares	158
Fig.118 – Diagramas representando a orientação das estruturas lineares, divididas por 4 sectores	159
Fig.119 – Imagem RADAR do satélite JERS-1 sobreposta ao MDT, com exagero vertical de 5x e com indicação dos grandes alinhamentos estruturais	160

Fig.120 – Imagem RADAR do satélite JERS-1 sobreposta ao MDT, com exagero vertical de 5x e com indicação dos troços das duas falhas que provavelmente compõem o sistema do Caramulo 161

Fig.121 – Vista de Este da imagem RADAR do satélite JERS-1 sobreposta ao MDT, com exagero vertical de 6x161

Índice de Quadros

Quadro1 – Dados espectrais das rochas ígneas	15
Quadro2 – Propostas para atenuação do efeito de camuflagem do substrato rochoso pela cobertura vegetal	24
Quadro3 – Coeficientes utilizados na transformação Tasseled Cap para imagens Landsat TM	71
Quadro4 – Tabela de Contingências	77
Quadro5 – a) Tabela de contingências; b) Precisão do Produtor e Precisão do Utilizador	78
Quadro6 – Características dos satélites da família Landsat	82
Quadro7 – Características técnicas dos sensores utilizados pelas plataformas Landsat	83
Quadro8 – Principais características e aplicações das imagens Landsat 5 e 7	83
Quadro9 – Avaliação de algumas combinações entre bandas	84
Quadro10 – Técnicas de tratamento de imagens Landsat com vista à sua utilização em Geologia	85
Quadro11 – Características do satélite JERS-1	87
Quadro12 – Características técnicas dos sensores utilizados pelo satélite JERS-1	88
Quadro13 – Estatística básica das diferentes bandas da imagem ETM+	113
Quadro14 – Matriz de correlação entre as bandas da imagem ETM+	113
Quadro15 – Cálculo do OIF para diferentes composições RGB	117
Quadro16 – Critério de separabilidade entre as classes do mapa da figura 108	150
Quadro17 – Matriz de confusão do mapa da figura 108	150
Quadro18 – Critério de separabilidade entre as classes do mapa da figura 112	154
Quadro19 – Matriz de confusão do mapa da figura 112	155