



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR  
Engenharias

***Modelação de um SIG para a Cartografia Geotécnica  
com recurso a plataformas de código aberto e livres.  
Área urbana da Guarda***

**António Figueiredo Monteiro**

Tese para obtenção do Grau de Doutor em  
**Engenharia Civil**  
(3º ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutor Luís José Andrade Pais  
Co-orientador: Prof. Doutor Carlos Manuel Gonçalves Rodrigues

**Covilhã, março de 2020**



# Dedicatória

Dedico este trabalho à minha família, em especial à Carla, ao Guilherme e ao Alexandre.



# Agradecimentos

Agradeço a todos aqueles, que de uma forma direta ou indireta, promoveram e incentivaram o desencadear e avanço deste trabalho.

Agradeço ao Professor Doutor Luís José Andrade Pais, meu orientador científico, pelo apoio incondicional e disponibilidade ao longo deste caminho, em especial pela sua orientação e crítica ao trabalho desenvolvido, agradeço também a sua compreensão e amizade.

Ao Professor Doutor Carlos Manuel Gonçalves Rodrigues, meu co-orientador científico, pelo seu apoio e disponibilidade, em especial na componente prática desta tese, pelas indicações sobre as observações de campo e práticas a utilizar, agradeço também a sua amizade.

Ao Professor Doutor Victor Cavaleiro, pelo incentivo, apoio científico e disponibilidade.

Ao Professor Doutor Paulo Carvalho, pelo seu apoio e disponibilidade.

Ao Instituto Politécnico da Guarda, atualmente na pessoa do seu Presidente, Professor Doutor Joaquim Brigas e à Direção da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do IPG, na pessoa do seu Diretor, Professor Doutor António Martins, e da sua Subdiretora Professora Doutora Manuela Natário, pelo apoio moral e material deferido.

Aos Professores Doutores, Eufémia da Glória Patrício, Maria João Gomes, nomeadamente Diretora do Curso de Engenharia Topográfica, Coordenadora da Área Científica de Engenharia Topográfica e Coordenadora da Unidade Técnico Científica de Engenharia e Tecnologia da ESTG, pelo seu apoio e compreensão.

Aos colegas das áreas científicas de Ciências Geográficas e Engenharia Civil, pela sua amizade e solidariedade.

À Camara Municipal da Guarda, pela disponibilidade dada na recolha da informação solicitada, necessária para o desenvolvimento dos trabalhos práticos.

À família, em particular à minha esposa e companheira Carla pela ajuda constante e incentivo, e aos meus filhos Guilherme e Alexandre, pela compreensão e ânimo.



# Resumo

A execução de cartografia em áreas urbanas confronta-se com a permanente reorganização do meio urbano, quer pelo aparecimento de novas construções quer pela reorganização do espaço existente, nomeadamente em zonas de reabilitação de edifícios.

Na cartografia geotécnica em particular, a reorganização urbana permite a observação e realização de escavações, de fundação, abertura de valas, poços e furos de sondagem, que constituem um grande acervo de dados para a cartografia geotécnica, sendo que a principal dificuldade está na exposição mínima, temporal e espacial, do terreno natural.

A utilização dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), no desenvolvimento da cartografia geotécnica veio dar um passo significativo, pelo recurso à utilização de bases de dados geográficas, novas ferramentas de análise e mais recentemente a utilização de *softwares* e plataformas livres.

Desenvolveu-se ao longo deste trabalho metodologias para utilizar dados de plataformas de informação geográfica livres (Google maps, Bing maps e OpenStreetMap). Estes dados, devidamente tratados em *software* livre de código aberto (QGIS), poderão contribuir para se elaborar cartografia de índole geotécnica. O trabalho propõe a demonstração da ferramenta abrangendo várias temáticas: delimitação de áreas identificadoras do grau de alteração do granito, ângulo de atrito, capacidade de carga admissível e mapa de perigosidade (mapa a duas variáveis, declive e grau de alteração do granito). Outras temáticas poderão vir a ser tratadas, como por exemplo a delimitação de áreas com o grau de fracturação do maciço rochoso, parâmetros mecânicos, ou outras derivadas de informação de geologia de engenharia e/ou geotécnica.

A utilização destas plataformas permite colmatar o limite temporal referido acima, pois permite em alguns casos, ter acesso a imagens recolhidas durante a execução de trabalhos de escavação, contendo dados importantes para a caracterização geológica e geotécnica da área em estudo.

Relativamente à caracterização do grau de alteração do granito, foi numa primeira fase efetuada através de módulos com ligação à plataforma *streetview* e numa segunda fase com observação *in situ*. Verificou-se que não havia diferenças significativas entre as duas amostras. Efetuou-se uma análise estatística, utilizando o SPSS versão 25, através do teste t (t de *student*) para as amostras emparelhadas das informações recolhidas, verificou-se que

não havia diferenças significativas entre a utilização das imagens obtidas pelo *Google Street View* e a observação *in situ*.

Por último, para se obter informação tridimensional, foi gerado o Modelo Digital de Terreno (MDT), que permitiu posteriormente gerar o mapa de declive. Alguns dos temas foram sobrepostos ao MDT obtendo-se deste modo uma representação tridimensional desse mesmo tema. A representação destes mapas poderá ser feita através de num navegador da internet, permitindo a rotação e translação deste modelo tridimensional.

## Palavras-chave

Decisão, SIG; QGIS; Cartografia Geotécnica; Open Source Software.

# Abstract

In urban areas, the cartographic execution is confronted with their permanent reorganization, either by the appearance of new constructions or by the reorganization of existing area, namely in rehabilitation buildings 'areas.

Particularly in geotechnical cartography, the urban reorganization allows the observation and realization of excavations, foundations, trenches, drilling sampling wells and holes, which constitute a great data collection for geotechnical cartography, being the main difficulty the minimum temporal and spatial exhibition of the natural land.

The use of Geographic Information Systems (GIS) in the geotechnical cartographys' development has taken a significant step by using geographic databases, new analysis tools and, more recently, the use of free software and platforms.

Methodologies for using data from free geographic information platforms (Google maps, Bing maps and OpenStreetMap) were developed throughout this work. These data, properly processed in free open source software (QGIS), may contribute to the elaboration of geotechnical cartography. This work shows the demonstration of the tool covering several themes: delimitation of areas that identify the degree of granite alteration, friction angle, maximum allowable load capacity and hazard map (two-variable map, slope and degree of granite alteration). Other issues may be addressed, such as the delimitation of areas with the degree of fracture of the rock mass, mechanical parameters, or other derived from geology for engineering and/or geotechnical information.

The use of these platforms makes it possible to close the time limit mentioned above, as it allows in some cases to have access to images collected during the excavation work, containing important data for the geological and geotechnical characterization of the area under study.

Regarding the characterization of the degree of granite alteration, it was initially made through modules connected to the *streetview* platform and in a second phase with *in situ* observation. We verified that there were no significant differences between the two samples. We performed a statistical analysis using SPSS version 25 through the t (student's t-test) test for the paired samples of the collected information and found that there were no significant differences between the use of the Google Street View imagery and the *in-situ* observation.

Finally, in order to obtain three-dimensional information, the Digital Terrain Model (DTM) was generated, which later allowed the slope map to be generated. Some of the themes were superimposed on the DTM, thus obtaining a three-dimensional representation of the same theme. These maps can be represented using a web browser, allowing the rotation and translation of this three-dimensional model.

## **Keywords**

Decision, GIS, QGIS, Geotechnical Cartography, Open Source Software.

# Índice

<b>Capítulo 1 - Introdução</b> .....	<b>1</b>
1. Contexto e Justificativa da Pesquisa .....	1
2. Objetivos .....	1
3. Metodologia .....	2
4. Estrutura da Dissertação .....	3
<b>Capítulo 2 - Sistemas de Informação Geográfica, Estado da Arte</b> .....	<b>7</b>
1. Considerações Gerais .....	7
2. Definição de SIG .....	7
3. Componentes de um SIG .....	8
4. Armazenamento de dados .....	10
4.1. Estrutura Hierárquica .....	10
4.2. Estrutura em Rede .....	11
4.3. Estrutura Relacional .....	11
4.4. Estrutura Orientada por Objetos (OO) .....	12
4.5. Escolher o modelo, de base de dados, mais apropriado.....	13
5. Sistema de Gestão de Base de Dados (SGBD) .....	13
6. Estrutura de dados para representar a geometria de um fenómeno espacial .....	14
6.1. Estrutura Matricial ou Raster .....	14
6.2. Estrutura Vetorial .....	16
7. Sistemas Abertos/ <i>Open Source</i> .....	19
7.1. <i>Software Desktop Gis</i> .....	19
7.2. <i>Free Open Source Software</i> .....	21
<b>Capítulo 3 - Cartografia Geotécnica</b> .....	<b>23</b>
1. Evolução da Cartografia Geotécnica, referências históricas.....	23
1.1. Enquadramento .....	23
1.2. No Mundo.....	24
1.3. Em Portugal.....	28
2. Princípios.....	30
3. Classificação .....	32
4. Fases da Cartografia .....	33
5. Unidades Geotécnicas .....	35
6. Obtenção de dados .....	36
7. Aplicações da Cartografia Geotécnica .....	37
8. Aplicações Informáticas e SIG .....	38
9. Considerações Finais - O Modelo .....	42
<b>Capítulo 4 - Sistemas de Referência</b> .....	<b>45</b>

1. Generalidades .....	45
2. <i>Data</i> e Projeções Cartográficas em Portugal .....	48
2.1. Sistema Bessel-Bonne .....	49
2.2. Sistema Gauss-Kruger .....	50
2.3. Sistema Hayford-Gauss Militar .....	51
3. Erros Inerentes às Transformações e Conversões entre Sistemas de Coordenadas .....	53
4. Sistema de Coordenadas QGis, EPSG .....	54
<b>Capítulo 5 - Métodos de Interpolação Espacial .....</b>	<b>57</b>
1. Generalidades .....	57
2. Classificação dos Métodos de Interpolação .....	58
2.1. Modelos de Interpolação Determinísticos .....	59
<b>Capítulo 6 - Modelos Digitais de Terreno .....</b>	<b>65</b>
1. Enquadramento .....	65
2. Conceitos Básicos Sobre Relevo .....	66
2.1. As Formas de Relevo .....	67
3. Construção de um Modelo Digital de Terreno .....	67
3.1. Triangulação de Delaunay .....	69
3.2. Linhas de Rotura .....	74
3.3. Matrizes de Cotas .....	76
4. Modelos Digitais de Terreno e Sua Aplicação em Engenharia .....	77
4.1. Perfis .....	78
4.2. Curvas de Nível .....	79
4.3. Carta Hipsométrica .....	80
4.4. Cálculo de Volumes .....	81
4.5. Modelação de Superfícies de Projeto .....	82
4.6. Zonas de Intervisibilidade Potencial .....	85
4.7. Cartas de Declive e Orientações de Encostas .....	85
4.8. Cartas de Relevo Sombreado .....	87
4.9. Rede de Drenagem e Bacias Hidrográficas .....	88
<b>Capítulo 7 - Quantum GIS-QGis .....</b>	<b>89</b>
1. Generalidades .....	89
2. Características .....	89
3. Ampliar as Funcionalidades do QGIS Através de Plugins .....	91
3.1. Módulos Internos .....	91
3.2. Módulos Externos .....	91
3.2.1. Consola Python .....	91
3.2.2. PyQt .....	91
3.2.3. Como criar um Plugin/Arquitetura Plugin .....	91
4. Publicar Mapas Na Internet .....	95

5. QGIS, Dispositivos Móveis .....	99
6. QGIS, Otimização de Formulários.....	101
7. Alternativa ao Open Layer Plugin.....	108
<b>Capítulo 8 - Enquadramento da Área em Estudo .....</b>	<b>109</b>
1. Enquadramento Regional Carta Geológica (folha nº 18-C) .....	109
1.1. Localização .....	109
1.2. Geomorfologia.....	110
1.3. Geologia.....	111
1.4. Tectónica .....	114
2. Enquadramento Geomorfológico.....	115
3. Classificação e Descrição da Alteração dos Maciços Rochosos para Engenharia Geológica e Mapeamento .....	116
3.1. Alteração.....	116
3.2. Classificação de Maciços Rochosos .....	118
3.3. Descrição Básica dos Maciços Rochosos.....	121
3.4. Descrição Básica dos Maciços Terrosos - Residuais.....	121
<b>Capítulo 9 - Aplicação do Modelo Desenvolvido .....</b>	<b>125</b>
1. Introdução.....	125
2. Aplicações Informáticas .....	126
3. <i>Software</i> “Free Open Source”.....	127
4. Utilização de Identificadores Epsg.....	128
5. Sistema de Informação Geográfica - QGIS .....	128
6. Base Geográfica .....	129
7. Resultados.....	144
8. Mapas temáticos .....	148
8.1. Modelo Digital de Terreno MDT .....	148
8.2. Mapa de Declives.....	152
8.3. Mapa ângulo de atrito .....	155
8.4. Mapa Capacidade de Carga Admissível.....	159
8.5. Mapa Grau de Perigosidade (Declive/Grau de Alteração do Granito) .....	163
8.6. Representação 3D do Mapa .....	169
<b>Capítulo 10 - Conclusões e Perspetivas Futuras .....</b>	<b>175</b>
1. Conclusões .....	175
2. Perspetivas Futuras .....	177
<b>Referências Bibliográficas .....</b>	<b>179</b>
<b>APÊNDICE 1 (QGIS - módulos internos, adaptado de Guia do Utilizador do QGIS) .....</b>	<b>191</b>
<b>APÊNDICE 2 (QGIS - script usado em substituição da aplicação “Open Layer Plugin”) ....</b>	<b>195</b>

**ANEXO (Tabela com a Imagem recolhida do *Street View* e fotografia captada in situ para cada ponto de observação ID) ..... 199**

# Lista de Figuras

Figura 1 - Classificação dos Desktop GIS por grupos de funcionalidades disponibilizadas, (Cosme, 2012) .....	20
Figura 2 - Utilizações primordiais dos <i>softwares</i> de SIG e alguns programas de referência, (Cosme, 2012) .....	20
Figura 3 - Modelação da Cartografia Geotécnica a partir da dinâmica do meio ambiente e o papel do meio físico, relação com a cartografia geotécnica, (DINIZ, 1998) .....	31
Figura 4 - Tipos e combinações possíveis de cartas geotécnicas, (Rodrigues, 1995) .....	32
Figura 5 - Fases da cartografia geotécnica (DINIZ, 1998). .....	33
Figura 6 - Carta geotécnica do Porto, elementos constituintes (Oliveira et al., 2006) .....	39
Figura 7 - GEODATA, carta geotécnica do Porto, estrutura do modelo da base de dados relacional (Oliveira et al., 2006) .....	40
Figura 8 - GEODATA, menu principal, submenu e tabelas (Oliveira et al., 2006) .....	41
Figura 9 - Base de Dados, Caracterização Geotécnica. (Veiga, 2011) .....	42
Figura 10 - Modelo, SIG-Carta Geotécnica .....	43
Figura 11 - Superfícies de referência, Geoide e Elipsoide, DGT ( <a href="http://www.dgterritorio.pt/">http://www.dgterritorio.pt/</a> ), 2019 .....	45
Figura 12 - Datum Local e Datum Global, (Vasconcelos M. 2017) ( <a href="http://www.dgterritorio.pt/">http://www.dgterritorio.pt/</a> ), 2019 .....	46
Figura 13 - Representação esquemática do sistema de eixos BBLx, adaptado de (Matos, J. 2001) .....	50
Figura 14 - Representação esquemática do sistema de eixos HGDLx e HGD73, adaptado de (Matos, J. 2006) .....	51
Figura 15 - Representação esquemática do sistema de eixos HGDLxMil, adaptado de (Matos, J. 2001) .....	52
Figura 16 - Representação esquemática do sistema de eixos HGD73, adaptado de (Matos, J. 2001) .....	53
Figura 17 - Conversões e transformações entre sistemas de coordenadas, adaptado de (Matos, J. 2008) .....	54
Figura 18 - Interpolação linear dados 2 pontos, estimam-se os valores das células intermédias .....	57

Figura 19 - Interpolação <i>Spline</i> e IDW.....	59
Figura 20 - Modelo TIN .....	60
Figura 21 - Modelo IDW.....	61
Figura 22 - Relevo, tipos de curvatura .....	62
Figura 23 - Comparação de resultados dos métodos IDW e SPLINE .....	63
Figura 24 - Interpolação entre pontos cotados, adaptado de (Matos, J. 2008) .....	66
Figura 25 - Declive entre dois pontos, adaptado de (Matos, J. 2008) .....	67
Figura 26 - Triangulação, varrimento radial, adaptado de (Matos, J. 2008) .....	68
Figura 27 - Triangulação de Delaunay- Diagrama de Voronoi, adaptado de (Matos, J. 2001)..	70
Figura 28 - Passo1, conjunto de pontos inicial cada qual com a sua altitude; adaptado de (Matos, J. 2001) .....	70
Figura 29 - Passo 2, para cada diagrama é desenhado o respetivo invólucro convexo; adaptado de (Matos, J. 2001) .....	71
Figura 30 - Passo 3, Diagramas de Voronoi de cada um dos conjuntos; adaptado de (Matos, J. 2001).....	71
Figura 31 - Passo 4, unem-se os dois invólucros convexos por forma a constituírem um único invólucro convexo e inicia-se o desenho da cadeia de junção na perpendicular a um desses segmentos, prosseguindo até tocar num dos raios de um dos diagramas; adaptado de (Matos, J. 2001) .....	72
Figura 32 - Passo 5, o segmento de junção passa para o ponto seguinte do invólucro convexo associado ao raio em que tocou e prossegue na perpendicular a este até tocar num novo raio (e assim sucessivamente); adaptado de (Matos, J. 2001) .....	72
Figura 33 - Passo 6, Cadeia de Junção completa, adaptado de (Matos. J. 2001) .....	73
Figura 34 - Passo 7, cortam-se os raios infinitos pela cadeia de junção e obtém-se assim o Diagrama de Voronoi completo; adaptado de (Matos, J. 2001) .....	73
Figura 35 - Triangulação de Delaunay; adaptado de (Matos, J. 2001).....	74
Figura 36 - Triangulação, linhas de rotura; adaptado de (Matos, J. 2008) .....	75
Figura 37 - Diferentes critérios de interpolação e respetivos resultados; adaptado de (Matos, J. 2008).....	75
Figura 38 - Geração de linhas de cota máxima e mínima; adaptado de (Matos, J. 2008) .....	76
Figura 39 - Matriz de cotas; adaptado de (Matos, J. 2008) .....	77
Figura 40 - Modelo Digital de Terreno; ESRI, 2019. ( <a href="https://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/exploring-digital-elevation-models.htm">https://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/exploring-digital-elevation-models.htm</a> ) .....	78

Figura 41 - Desenho automático de perfis dada uma diretriz; adaptado de (Matos, J. 2008) ..	79
Figura 42 - Curvas de nível a partir de uma RIT; adaptado de (Matos, J. 2008).....	80
Figura 43 - Cores em função da classe de altitude, carta hipsométrica de Portugal; DGT (2019) .....	81
Figura 44 - MDT de superfície original e superfície do projeto; adaptado de (Matos, J. 2008)	82
Figura 45 - Desenho das curvas do projeto em função da largura do coroamento e dos declives dos parâmetros de montante e jusante; adaptado de (Matos, J. 2008) .....	83
Figura 46 - Visualização tridimensional do projeto; adaptado de João Matos (2008) .....	83
Figura 47 - Desenho da linha tridimensional unindo as interseções da superfície de projeto com a superfície do terreno -linha de rotura; adaptado de (Matos, J. 2008) .....	83
Figura 48 - Corte de linhas do projeto nas interseções com o terreno; adaptado de (Matos, J. 2008) .....	84
Figura 49 - Visualização tridimensional dos elementos desenhados; adaptado de (Matos, J. 2008) .....	84
Figura 50 - RIT e Matriz de Cotas; adaptado de (Matos, J. 2008) .....	84
Figura 51 - Zonas de intervisibilidade, (Matos, J. 2008) .....	85
Figura 52 - Matriz de cotas 3x3; adaptado de (Matos, J. 2008).....	86
Figura 53 - Carta de declives, adaptado de Município de Terras de Bouro, (2015) .....	87
Figura 54 - Relevo sombreado; adaptado de (Matos, J. 2008) .....	87
Figura 55 - Direções de escoamento; adaptado de (Demers, 2009) .....	88
Figura 56 - Bacia hidrográfica; adaptado de (Calçada, 2004) .....	88
Figura 57 - QGIS Plugin Builder .....	92
Figura 58 - Abertura do mapa, com os polígonos referentes ao grau de alteração do maciço rochoso, no Microsoft Edge a partir do link gerado pelo plugin “qgis2web”.....	97
Figura 59 - QField, identificação dos temas a). QField com GPS ativo e seleção de elementos do tema GrauAlterarGranito b) .....	100
Figura 60 - Propriedades de ferramentas de edição de formulários (QGIS, 2016) .....	101
Figura 61 - Definições dos atributos para o tema grau de alteração do granito, (QGIS, 2018) .....	103
Figura 62 - Definições do atributo GrauAlterar, (QGIS, 2018).....	103
Figura 63 - Definições do atributo GrauAlterar, valores da caixa de combinação, (QGIS, 2018) .....	104

Figura 64 - Definições do atributo GrauAlterar, campo Data, (QGIS, 2018) .....	104
Figura 65 - Definições do atributo GrauAlterar, campo Fotografia, (QGIS, 2018) .....	105
Figura 66 - Definições do atributo GrauAlterar, campo Fotografia, tipo de anexo, (QGIS, 2018) .....	105
Figura 67 - Formulário, (QGIS, 2018).....	106
Figura 68 - Criação de formulário, Qt Designer .....	106
Figura 69 - Formulário no QGIS, (QGIS, 2018).....	107
Figura 70 - Criação de formulário, Qt Designer .....	107
Figura 71 - Portugal, distritos e regiões .....	109
Figura 72 - Distrito da Guarda.....	110
Figura 73 - Estrato da carta Geológica, folha nº 18-C (Guarda), correspondente à área abrangente da cidade da Guarda .....	113
Figura 74 - Maciço Ibérico e Cadeias Alpinas, unidades morfoestruturais da Península Ibérica (Adaptado de Pérez-Estaún et al. (2004)).....	114
Figura 75 - Classificação ISRM (1981) do Solo Residual e espessura das respetivas camadas .	122
Figura 76 - QGIS, Sobreposição OpenStreetMap- GuardaAreaResidencial com imagem aérea	126
Figura 77 - QGIS, cruzamento com carta geológica .....	126
Figura 78 - Camadas vetoriais do ficheiro osm.....	132
Figura 79 - Atributos associada ao tema linha .....	132
Figura 80 - QGIS, Sobreposição do tema GuardaAreaResidencial com a imagem aérea .....	133
Figura 81 - QGIS, Sobreposição OpenStreetMap- GuardaAreaResidencial, Bing Roads e carta geológica .....	134
Figura 82 - Google Street View, granito (grau de alteração do maciço rochoso, W1 e W2) ...	134
Figura 83 - QGIS com plugin “go2streetview”.....	135
Figura 84 - QGIS área coberta pela plataforma “Streetview” .....	137
Figura 85 - QGIS criação de elemento gráfico e respetivo formulário.....	139
Figura 86 - QGIS, formulário, caixa de combinação.....	140
Figura 87 - QGIS, delimitação do grau de alteração do maciço rochoso .....	141
Figura 88 - QGIS, conversão de linhas para polígonos .....	142
Figura 89 - QGIS, áreas com delimitação do grau de alteração do maciço rochoso .....	142
Figura 90 - QField com GPS ativo e seleção de elementos do tema GrauAlterarGranito .....	143

Figura 91 - Classificação grau de alteração do maciço rochoso, polígonos da área urbana, Guarda .....	144
Figura 92 - Fotos e imagens do Street View da Classificação do grau de alteração do maciço rochoso, da área urbana da Guarda .....	145
Figura 93 - Comparação do grau de alteração do maciço rochoso, polígonos da área urbana, Guarda .....	146
Figura 94 - Alterações na classificação do grau de alteração do maciço rochoso, polígonos da área urbana, Guarda.....	147
Figura 95 - Área Urbana, Curvas de Nível e Pontos Cotados .....	149
Figura 96 - Início do plugin Interpolação .....	150
Figura 97 - Modelo Digital de Terreno .....	152
Figura 98 - Estatísticas do MDT .....	152
Figura 99 - Mapa de declive em percentagem.....	153
Figura 100 - Mapa de declive em graus, sistema Sexagesimal .....	154
Figura 101 - Estatísticas do mapa de declives em percentagem.....	154
Figura 102 - Menu de acesso aos modelos de elevação, QGIS .....	155
Figura 103 - Mapa Ângulo de Atrito (valores estimados empiricamente para validação do modelo digital) .....	157
Figura 104 - QGIS, Calculadora de campo.....	158
Figura 105 - Sapata Tipo, em perfil e em planta .....	160
Figura 106 - Mapa de capacidade de carga admissível (valores estimados empiricamente para validação do modelo digital) .....	162
Figura 107 - Modelo conceptual do Risco, adaptado de (Panizza, 1990) .....	164
Figura 108 - Tipologia dos riscos com incidência significativa em Portugal Continental (Gaspar, 2004). .....	164
Figura 109 - QGIS, Conversão vetor raster .....	166
Figura 110 - QGIS, calculadora raster .....	167
Figura 111 - Mapa de Perigosidade, combina o declive com o grau de alteração do granito .	168
Figura 112 - Estatísticas do Mapa de Perigosidade .....	169
Figura 113 - Vista 3D da cidade da Guarda .....	169
Figura 114 - Janela de opções da Vista 3D.....	170
Figura 115 - Vista 3D do mapa de Perigosidade .....	171

Figura 116 - Vista 3D da cidade da Guarda, com elevação acima dos 1000m .....172

# Lista de Tabelas

Tabela 1 - Princípios Open Source / Free Software, (Cosme, 2012) .....	21
Tabela 2 - Vantagens e desvantagens dos Softwares Livres/Open Source SIG, (Cosme, 2012) .....	22
Tabela 3 - Síntese de procedimentos gerais para elaboração de cartas geotécnicas (DINIZ, 1998) .....	34
Tabela 4 - Propriedades Geológicas vs. Propriedades Geotécnicas (Costa Pereira, 2011) .....	35
Tabela 5 - Unidades para classificação geotécnica, (Costa Pereira, 2011).....	35
Tabela 6 - Síntese relativo a métodos de obtenção de dados para cartografia geotécnica/fonte de dados, (Costa Pereira, 2011).....	36
Tabela 7 - Carta geotécnica do Porto, principais características das unidades geotécnicas (Oliveira et al., 2006).....	39
Tabela 8 - Classificação dos métodos de interpolação espacial .....	59
Tabela 9 - Comparação distância e inverso da distância para $\alpha = 1$ .....	61
Tabela 10 - Comparação entre interpolação IDW e Spline .....	63
Tabela 11 - Unidades geomorfológicas, adaptado da carta geológica, folha nº 18-C (Guarda) .....	110
Tabela 12 - Rochas de soco antigo, adaptado da carta geológica, folha nº 18-C (Guarda) ...	112
Tabela 13 - Classificação e descrição de maciços rochosos com diferentes graus de alteração, segundo a ISRM (1977) .....	118
Tabela 14 - Grau de alteração dos maciços rochosos, ISRM (1978, 1981) .....	119
Tabela 15 - Classificação dos maciços com base no RQD, (Dreere, 1988).....	120
Tabela 16 - Grau de fracturação dos maciços rochosos, ISRM (1978, 1981).....	120
Tabela 17 - Códigos EPSG de Portugal Continental .....	128
Tabela 18 - Tabela com os dados da componente descritiva da ShapeFile, carta geológica, 203-Guarda.....	130
Tabela 19 - Ângulo de atrito das discontinuidades (ISRM, 1981) .....	156
Tabela 20 - Resistência à compressão uniaxial da rocha (ISRM, 1981).....	156
Tabela 21 - Intervalos típicos para parâmetros mecânicos de resistência do solo residual granítico, segundo a compilação (Capítulo 8 pg.122) .....	156
Tabela 22 -Pré-dimensionamento de fundações superficiais (Moreira, 2011) .....	160

Tabela 23 - Tensões admissíveis em terrenos (para estudos preliminares), adaptado de (Folque, 1979).....	161
Tabela 24 - Matriz de unidades litológicas e limiares de declive utilizada para a determinação das áreas suscetíveis a movimentos de vertente, (Zêzere, et. al. 2005) .....	165
Tabela 25 - Grau de perigosidade da instabilidade das vertentes .....	165

# Lista de Acrónimos

Os símbolos e Acrónimos utilizados no texto são definidos no momento de leitura de modo ao seu fácil entendimento, contudo apresenta-se uma listagem dos mais importantes.

ABGEA	Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental
BD	Base de Dados
BDR	Base de Dados Relacional
CAD	Computer Aided Design
CTCG	Comissão Técnica de Cartografia Geotécnica e Geoambiental
DGT	Direção-Geral do Território
DTM	Digital Terrain Model
EPSG	European Petroleum Survey Group”, atualmente “OGP Surveying & Positioning Committee”, <a href="http://www.epsg.org/">http://www.epsg.org/</a>
ESRI	Environmental Systems Research Institute
ETRF89	European Terrestrial Reference Frame 1989
ETRS89	European Terrestrial Reference System 1989
EUREF	European Reference Frame
FS	Fator de Segurança
GIS	Geographic Information Systems
GNSS	Global Navigation Satellite System
IAEG	International Association of the Engineering Geology
IDW	Inverse Distance Weighted
IGeoE	Instituto Geográfico do Exército
ISRM	International Society of Rock Mechanics
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
MBD	Modelo de Base de Dados
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDT	Modelo Digital de Terreno
OGC	Open Geospatial Consortium
RDBMS	Relational Database Management Systems
RIT	Rede Irregular Triangular
RQD	Rock Quality Designation
SGBD	Sistema de Gestão de Bases de Dados
SGBDR	Sistemas de Gestão de Bases de Dados Relacional
SIG	Sistemas de Informação Geográfica
SPSS	Statistical Packedge for the Social Sciences
SQL	Standard Query Language
TIN	Triangular Irregular Network
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
WCS	Web Coverage Service
WFS	Web Feature Service
WMS	Web Map Service
ZUG	Zona Urbana da Guarda



# Lista de Símbolos

$\phi$	Ângulo de atrito
$\phi'$	Ângulo de atrito interno efetivo
$\sigma$	Carga vertical
$\sigma_{Rd}$	Capacidade resistente ou última
$\varphi_D$	Latitude do datum
$\lambda_D$	Longitude do datum
$c'$	Coesão
$q$	Carga vertical
$q_{adm}$	Capacidade de carga admissível
$q_{ult}$	Capacidade resistente ou última
$M_0$	Moda
$N_0$	Frequências absolutas
$S$	Desvio padrão
$X$	Média



# Capítulo 1 - Introdução

## 1. Contexto e Justificativa da Pesquisa

Neste trabalho pretende-se a integração de dados geográficos e descritivos (modelo relacional), num SIG, que permita descrever a informação geológica e geotécnica de uma área correspondente ao perímetro urbano da cidade da Guarda. A ferramenta é aplicada, a título experimental ao perímetro urbano da cidade da Guarda, como teste, mas pretende ser de aplicação universal por aplicação simples a outros locais públicos ou privados.

Procura-se assim atualizar e otimizar a informação das cartas existentes, aglutinando num modelo a implementar em SIG toda a informação que esteja disponível, numa primeira fase, e que venha a ser criada em fases posteriores. O modelo permitirá a sua expansão de modo a englobar a informação disponível em trabalhos de índole geológico/geotécnico, nomeadamente resultados de trabalhos de prospeção como sondagens, ensaios *in situ*, laboratoriais e também provenientes de várias entidades.

## 2. Objetivos

Propõe-se com este trabalho, desenvolver um modelo baseado em metodologias de Sistemas de Informação Geográfica no âmbito da cartografia geotécnica com o intuito de atingir os seguintes objetivos:

- Utilizar dados de uma base de informação geográfica, vindos de plataformas abertas (Google maps, Bing maps e OpenStreetMap), devidamente tratada em *software* livre de código aberto (QGIS), elaborar cartografia de índole geotécnica, que contenha a delimitação de áreas identificadoras do grau de alteração do granito, através de módulos com ligação à plataforma “streetview”;
- Melhorar o modelo criando rotinas interativas, por exemplo caixas de diálogo, para que a entrada, edição e visualização dos dados seja mais eficiente;
- Desenvolver saídas gráficas, do tipo cartas temáticas e gráficos, como resultado das análises espaciais;
- Desenvolver saídas gráficas para a criação de cartas geotécnicas temáticas, tais como: mapa de declives, mapa de ângulo de atrito, mapa de capacidade de carga admissível e mapa de perigosidade;

- Verificar se existem ou não diferenças significativas na utilização de fontes cartográficas de plataformas abertas, juntamente com *software* livre e a observação *in situ* na classificação do grau de alteração do maciço rochoso.
- Elaboração do modelo digital do terreno a partir das curvas de nível e correspondente Rede Irregular Triangular (RIT).

A prossecução do objetivo tem a estratégia que o modelo seja replicado a outras zonas ou espaços cartografados com atualização e melhoria de geração de cartas temáticas geotécnicas, que ajudem na decisão de ordenamento, construção e sustentabilidade.

### 3. Metodologia

Tendo em consideração os objetivos pretendidos, foi efetuado uma pesquisa bibliográfica sobre a cartografia da área de estudo, tendo sido adquirida a carta geológica do LNEG, folha 203-Guarda, à escala 1:25.000 e solicitado à Câmara Municipal da Guarda a carta topográfica à escala 1:10.000 com cobertura da área urbana da cidade da Guarda. Enquanto se aguardava pela decisão do Município relativamente à cartografia, investigou-se a possibilidade de recolher a informação geográfica necessária a partir de plataformas de acesso livre, por exemplo o Open Street Map, o Google e outros. Nesse sentido, optou-se por utilizar, sempre que possível, dados e *software* que fossem de origem livre, ou seja não comercial, proporcionando assim uma diminuição de custos no trabalho a desenvolver e a aplicação do modelo proposto a qualquer entidade singular ou coletiva, privada ou pública.

A pesquisa bibliográfica e revisão foram efetuadas ao longo de todo o trabalho, tendo sido mais intensivo no início para se delinear o caminho a percorrer e em simultâneo ter mais segurança para enfrentar os problemas que foram surgindo.

A metodologia após esta fase preliminar assentou nas seguintes fases:

- Numa primeira fase, definiu-se a área de estudo e conseqüentemente a escolha da cartografia e *software* a utilizar. Utilizou-se no formato vetorial a carta geológica acima referida e a informação geográfica proveniente da plataforma Open Street Map, em formato matricial, foi utilizada uma imagem proveniente da plataforma Google, posteriormente alterada para Esri Satellite e Bing Maps, pois apresentavam melhor qualidade;
- Na segunda fase, foi efetuada a preparação dos dados, em especial os provenientes da plataforma Open Street Map. Do conjunto total de dados importados da plataforma, houve a necessidade de filtrar através da criação de consultas, de modo a obter apenas os dados necessários para o desenvolvimento do trabalho;
- Na terceira fase, relativa à preparação da interface gráfica, foi feita a criação de formulários para a aquisição de novos dados e para a sua visualização, permitindo

uma visualização clara dos dados e não na forma de tabela. Por outro lado, os formulários permitem um preenchimento dos campos de forma mais controlada e rápida, evitando erros de escrita e de integridade dos dados;

- Quarta fase, correspondente à delimitação das áreas, foi efetuada a classificação do grau de alteração do maciço rochoso, como poderia ter sido qualquer outro parâmetro qualitativo ou quantitativo de cariz geotécnico ou de geologia de engenharia. Por observação de imagens da plataforma da *Google Street View*, foram delimitadas as áreas que apresentavam o mesmo grau de alteração do maciço rochoso;
- Quinta fase, recolha de dados de campo, para confirmação da classificação efetuada. Foram observadas e fotografadas *in situ*, as áreas detetadas no item anterior;
- Sexta fase, validação do modelo e saídas gráficas. Os resultados obtidos com o *Street View* foram confrontados com os dados obtidos *in situ*;
- Sétima fase, os resultados das classificações obtidas por ambos os métodos foram tratados informaticamente através do programa de tratamento estatístico SPSS (Statistical Package for the Social Sciences - Pacote Estatístico para Ciências Sociais), versão 25. Os dados foram analisados com recurso a estatística descritiva com o objetivo de descrever e sistematizar todos os dados obtidos, nomeadamente frequências absolutas (No) e relativas (%); medidas de tendência central, como a média (X) e moda (Mo); e medidas de dispersão, como o desvio padrão (S), foi aplicado o teste t de Student para amostras emparelhadas uma vez que ambas as amostras apresentam uma distribuição normal.
- Por último, elaboração do modelo digital do terreno e elaboração dos mapas temáticos citados nos objetivos.

## 4. Estrutura da Dissertação

A presente dissertação encontra-se estruturada em 10 capítulos.

No primeiro capítulo apresenta-se uma breve introdução, os objetivos da investigação e a metodologia utilizada para os alcançar.

No capítulo seguinte, apresenta-se o estado da arte sobre Sistemas de Informação Geográfica, nomeadamente o conceito, os seus componentes, o modelo de armazenamento de dados, o Sistema de Gestão da Base de Dados (SGBD), a estrutura de dados para representar geometricamente um fenómeno espacial. Por fim definem-se e apresentam-se as vantagens e desvantagens dos sistemas *open source* e *free open source software*.

No terceiro capítulo, aborda-se a cartografia geotécnica, a sua evolução no mundo e em Portugal, a sua importância como técnica de integração, síntese e representação, de áreas de Geologia, Engenharia Civil, Planeamento, Gestão Ambiental, Urbana e Territorial. Aborda-se

ainda a classificação das cartas geotécnicas, as diferentes fases de elaboração da cartografia, as suas aplicações e o aparecimento de aplicações informáticas com aplicações na área da cartografia geotécnica.

No quarto capítulo, expõem-se os sistemas de referência, os data e projeções cartográficas em Portugal. Abordam-se os erros inerentes à transformação e conversão entre sistemas de coordenadas, indicam-se ainda os códigos EPSG utilizados nos SIG.

Os métodos de interpolação e a sua classificação são apresentados no quinto capítulo, expõem-se de uma forma mais aprofundada os modelos de interpolação determinísticos, nomeadamente: *Spline*, IDW e RIT/TIN. Os métodos probabilísticos, nomeadamente o *Kriging* é referido, mas não aprofundado dado que não foi utilizado nesta investigação.

No sexto capítulo, apresentam-se as noções básicas sobre o relevo, indica-se como se elabora um modelo digital de terreno, começando nos vários métodos de triangulação (que servem de base), as matrizes de cotas, a introdução de linhas de rotura, e por último as aplicações que o Modelo Digital de Terreno pode ter.

No capítulo número sete, é apresentado o QGIS, que é um sistema de informação geográfica livre e de código aberto, adotado para este trabalho, são referidas as suas características, funcionalidades, a possibilidade de ampliar essas mesmas funções através de *plugin's*, a sua customização através de otimização de formulários e instalação em dispositivos móveis.

No oitavo capítulo, elabora-se o enquadramento da área em estudo, ao nível da sua localização, geomorfologia, geologia e tectónica. Aborda-se a classificação do grau de alteração dos maciços rochosos tendo em conta o ponto de vista da Geologia e da Engenharia.

No nono capítulo, apresenta-se o trabalho desenvolvido com aplicação do modelo a uma área urbana específica, delimitou-se a área urbana da cidade da Guarda, importou-se informação cartográfica de plataformas abertas. Construiu-se o mapa com polígonos que representam o grau de alteração do maciço rochoso sendo posteriormente validados com observações de campo. Foi construído o Modelo Digital de Terreno (MDT), com as curvas de nível pertencentes à cartografia à escala 1:2.000 de 2005, cedida pela Câmara Municipal da Guarda, a cartografia e modelos existentes em plataformas abertas não têm a resolução e pormenor necessários para a criação destes modelos para áreas urbanas. Foram criados mapas temáticos, exemplificando a aplicação do modelo, em formato vetorial e matricial: mapa de grau de alteração dos maciços rochosos, mapa de declives, mapa de ângulo de atrito, mapa de capacidade de carga admissível e mapa de perigosidade. Por último foram criadas perspectivas tridimensionais com sobreposição de imagens e mapas temáticos sobre o MDT.

Concluiu-se este trabalho com o capítulo número dez, onde se apresentaram as principais conclusões do trabalho e algumas perspectivas futuras.



# Capítulo 2 - Sistemas de Informação Geográfica, Estado da Arte

## 1. Considerações Gerais

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) tiveram o seu início na década de 60, do século XX, tendo surgido como uma evolução da cartografia automática.

Pelo facto de ser um poderoso Sistema de Informação, em que os dados estão de algum modo referenciados à Terra, ou seja, georreferenciados, acabam por ser uma ferramenta bastante transversal. Talvez por este motivo, aliado ao facto de ser considerado uma área científica bastante recente, não há ainda uma definição única, como se poderá constatar de seguida.

## 2. Definição de SIG

É um poderoso conjunto de ferramentas para recolha, armazenamento, recuperação seletiva, transformação e visualização de dados relativos ao mundo real, para um conjunto particular de circunstâncias. Os dados geográficos ou espaciais, representam fenómenos ou objetos do mundo real, em termos de (Burroughs e McDonnell, 2000):

- Posição em relação a um conhecido sistema de coordenadas;
- Atributos não relacionados à posição, como seja cor, custo, grau de alteração e de fracturação do maciço rochoso, ou seja, parâmetros qualitativos e/ou quantitativos;
- Inter-relações espaciais, as quais descrevem como os objetos estão ligados entre si, (conhecido como topologia que descreve o espaço e propriedades espaciais).

O conceito de SIG emergiu nos EUA na década de 60 (Aronoff, 1989, Coppock e Rhind, 1991), desde então têm sido várias as definições propostas para SIG, umas com base no conjunto de ferramentas, outras no armazenamento de dados espaciais e por fim aspetos organizacionais.

Por último, citamos ainda Mendes (1995), com uma definição muito específica e particular: *“Um sistema de informação geográfica pode ser considerado um caso particular e especial dos sistemas de informação em geral, o que implica que o SIG tenha os seguintes atributos gerais:*

- i) *A informação armazenada no sistema deve ser organizada de tal forma que possa ter utilidade quando extraída;*

- ii) *O acesso à informação no sistema deve ser gerido e cuidadosamente regulamentado;*
- iii) *A assistência e manutenção da informação e da tecnologia associada ao sistema, deve ser garantida ao longo do tempo;*
- iv) *É necessário proporcionar formação adequada quer ao staff que garante o funcionamento do sistema quer aos utilizadores”, (Maguire, 1991 e Mendes, 1995).*

Existe ainda alguma dificuldade em encontrar uma definição para SIG, aceite por toda a comunidade, devido essencialmente a:

- Origem relativamente recente;
- Rápido desenvolvimento, quer a nível técnico, quer a nível tecnológico e organizacional;
- Heterogeneidade de utilizadores e diversidade de aplicações;
- Discussão académica sobre qual será o elemento chave do SIG: *software/hardware*, processamento de informação ou aplicações, (Maguire, 1991).

Os aspetos mais comuns à maioria das definições são a referência ao carácter espacial dos dados, por um lado e a consideração de um conjunto de componentes funcionais para a alimentação, armazenamento, recuperação, manipulação, análise e apresentação dos dados, por outro lado (Mendes, 1995).

### 3. Componentes de um SIG

Segundo os autores Burrough e McDonnell, 2000, um SIG deverá ser constituído por três importantes componentes:

- i) Componentes físicas (hardware). Constituído pelo computador e pelos periféricos (digitalizadores, *scanners*, impressoras, *plotters*, etc);
- ii) Conjunto de programas informáticos (*software*). As componentes físicas do sistema para funcionarem necessitam de programas informáticos designados genericamente por *software*. Ao nível dos SIG estes podem ser divididos em cinco grupos funcionais:
  - i. Entrada de dados e verificação;
  - ii. Armazenamento e gestão da base de dados;
  - iii. Saída e apresentação dos dados;
  - iv. Transformação dos dados;
  - v. Interação com o utilizador.

De referir que Mendes (1995), considera dez componentes funcionais, de acordo também com os autores Maguire e Dangermond, sendo elas: aquisição, transferência, validação e edição, armazenamento e estruturação,

reestruturação, generalização, transformação, inquérito, análise e por último a apresentação.

- iii) Um contexto organizacional apropriado incluindo pessoas especializadas.

Estes componentes devem estar em “equilíbrio” para o sistema funcionar satisfatoriamente. Respondendo de um modo aceitável aos designados requisitos básicos de um SIG, sendo eles:

- a) Mostra a localização das entidades do tipo A;
- b) Mostra a localização da entidade A em relação à entidade B;
- c) Conta o número de ocorrências da entidade tipo A e a sua distância D da entidade tipo B;
- d) Avaliar a função f na posição x;
- e) Calcular o tamanho de B (área, perímetro, contagem de inclusões);
- f) Determinar o resultado da sobreposição de vários tipos de dados espaciais;
- g) Determinar o caminho de menor custo, resistência ou distância no terreno de x para y numa rede ou superfície contínua;
- h) Lista de atributos ou entidades localizadas nos pontos  $x_1, x_2$ ;
- i) Determinar quais as entidades mais próximas de outras entidades, combinando vários atributos;
- j) Reclassificar ou alterar a cor de entidades com determinada combinação de atributos;
- k) Saber o valor de Z nos pontos  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , o valor preditivo de Z nos pontos  $y_1, y_2, \dots, y_n$ ;
- l) Usar métodos numéricos para derivar novos atributos a partir dos atributos existentes ou novas entidades a partir das entidades existentes;
- m) Usar uma base de dados digitalizada como modelo do mundo real, simular o efeito do processo P num tempo T para um dado cenário C.

A forma como os SIG são projetados, permitem aos utilizadores uma recuperação e transformação dos dados, praticamente ilimitada. Por isso, a maioria dos sistemas proporcionam uma série de interfaces, através das quais o utilizador pode interatuar com o sistema. Alguns sistemas de SIG possuem as chamadas - linguagens de macro - simplificadas, linguagens de programação formal que podem ligar entre si muitas aplicações básicas. Noutras situações, o SIG é utilizado para reunir os dados para um modelo complexo que está programado fora do sistema, utilizando linguagem de computador *standard* (Burrough, 1996). Uma vez que o modelo entrou em funcionamento, os dados são transferidos novamente para o SIG, para apresentação. A interação entre o utilizador e o SIG (Hearnshaw and Unwin, 1994), tem sido melhorada, com a introdução do computador pessoal, do rato ou outro tipo de apontador, multi-janelas, e mais recentemente com a interação de voz, realidade virtual e multimédia.

## 4. Armazenamento de dados

Os dados descritivos ou atributos descrevem entidades do mundo real, são passados para computador em ficheiros simples ou listas organizadas. O modelo de organização dos ficheiros armazenados e as suas interligações são muito importantes porque refletem um fenómeno do mundo real, asseguram a eficiência do armazenamento e a recuperação seletiva dos dados.

A primeira abordagem para a organização dos dados é uma abordagem formal (Mendes, 1995), modelação conceptual mais conhecida pelo modelo entidades-relações (Chen, 1976), baseado nos conceitos:

- Entidades e classes de entidades;
- Relações entre entidades e classes de entidades;
- Atributos das entidades e das relações;
- Cardinais das relações.

Segundo Mendes (1995), no processo de criação de uma base de dados, à modelação conceptual deverá seguir-se a modelação lógica que constitui uma base matemática e corresponde à transformação do modelo conceptual no sentido do armazenamento dos dados, utilizando as ferramentas do modelo lógico.

As principais abordagens para a modelação lógica de dados são as seguintes:

- Hierárquica;
- Em Rede;
- Relacional;
- Orientada por Objetos.

Seguidamente e de uma forma sucinta, serão abordados estes Modelos de Base de Dados (MBD).

### 4.1. Estrutura Hierárquica

Há uma verdadeira relação de hierarquia entre os vários dados, é uma estrutura em “árvore”, sendo que, cada elemento de nível superior está relacionado com um ou mais elementos de nível inferior. Portanto, cada elemento está ligado a um só elemento de nível superior e a um ou mais elementos de nível inferior. É uma estrutura bastante rígida, o que a torna difícil de aplicar na área da engenharia, pois é necessário com frequência refazer o MBD, especialmente quando é necessário inserir novos atributos ou criar relações entre eles, por exemplo relacionar listas de amostras recolhidas em campo com os resultados obtidos em laboratório.

Uma das principais vantagens é que permite uma grande velocidade de acesso em grandes bases de dados e uma fácil atualização e inclusão de novos dados, mas só a um nível inferior.

Os inconvenientes são:

- É um sistema inflexível que não permite a criação de novas ligações, uma vez estabelecido o modelo;
- Ocupa muito espaço, em relação a outros modelos;
- Há redundância de dados.

De salientar ainda, que não há relações entre elementos do mesmo nível, assim como entre elementos de ramos diferentes.

## **4.2. Estrutura em Rede**

Esta estrutura, permite ao contrário da anterior, uma relação de um elemento para muitos elementos. As relações entre entidades são feitas através de ponteiros, mas não permitindo relações entre elementos do mesmo nível.

Em relação à estrutura anterior evita-se a redundância de informação (dados) e permite buscas rápidas, através das ligações existentes.

A grande desvantagem é que a base de dados aumenta com a introdução de ponteiros e continua ainda a existir o inconveniente de só se permitirem ligações já existentes.

## **4.3. Estrutura Relacional**

Nesta estrutura introduz-se o conceito de relação ou tabela bidimensional, constituída por linhas e colunas, sendo estas designadas, respetivamente, por registos e atributos. As tabelas relacionam-se entre si, através das chamadas colunas chave. Cada tabela pode ter uma ou mais colunas chave.

A parametrização geotécnica em determinado ponto ou perfil, implica a existência de amostras que podem ser georreferenciadas através de coordenadas (X,Y,Z) ou (latitude, longitude, altitude), num determinado sistema de coordenadas. Portanto obtemos um registo de campo, conjunto de dados, para cada amostra, referente a atributos necessários para a identificação, caracterização descritiva e posicional da amostra. Quando são extraídos de cada amostra os respetivos parâmetros físicos, químicos e mecânicos vamos obter um segundo conjunto de dados que são valores particulares dos atributos ou parâmetros que as caracterizam. Portanto, vamos obter duas tabelas, uma com os registos de campo e outra com a parametrização estas duas tabelas podem estar relacionadas entre si desde que partilhem um atributo em comum, este atributo deverá ser um atributo que em cada tabela identifique a amostra de uma forma unívoca.

As tabelas permitem uma melhor estruturação da base de dados, tendo a vantagem de poder cruzar a informação, quando necessário e em qualquer altura do trabalho, incluindo a criação de tabelas temporais.

A manipulação e o cruzamento de informação são feitos através de procedimentos e comandos traduzidos e entendidos pelos Sistemas de Gestão de Bases de Dados Relacional (SGBDR) também conhecido por RDBMS do inglês *Relational Database Management Systems*, que deram origem a um tipo de linguagem standard - Standard Query Language- (SQL).

As vantagens desta estrutura de base de dados são:

- Flexibilidade, tanto na sua criação, como na consulta ou posterior alteração da própria base de dados;
- Permite que novos dados sejam pesquisados, combinados e comparados;
- Fácil remoção ou adição de dados (basta adicionar ou remover colunas).

As principais desvantagens são:

- Cada pesquisa realizada na base de dados, é feita de uma forma sequencial (desde o início da tabela), tornando-a algo morosa;
- Redundância de dados;
- Apresenta grandes volumes de dados.

#### **4.4. Estrutura Orientada por Objetos (OO)**

Não há uma definição clara e concordante entre a comunidade científica de informática, para esta estrutura, Jacobsen et al (1992), afirma o seguinte: *“O termo baseado no objeto ou centrado no objeto, tem um significado mais nebuloso do que definir as características do objeto, em linguagem de programação”*.

Chance et al (1995), Kim and Lochovsky (1989), elaboraram a seguinte definição: *“A estrutura de armazenamento de dados, desenvolveu uma linguagem de programação orientada por objetos, que combina a velocidade da estrutura hierárquica e a rede, com a flexibilidade da estrutura relacional e com a organização dos dados em rede das entidades atuais, em oposição às funções que se tem vindo a processar”*.

A melhor característica de uma base de dados OO é que, o conceito de objeto autossustentável, aumenta a facilidade de implementar uma base de dados bem distribuídos. Assim uma base de dados muito extensa, como por exemplo o de uma empresa de abastecimento de água, pode separar-se em unidades mais pequenas (produção de água, canalizações, roturas, utilizadores, etc.). Estas unidades podem ser tratadas em diferentes departamentos (divisões), inclusive em diferentes sistemas operativos. Pode criar-se então uma rede do tipo “intranet” criando-se assim conexões entre as diferentes bases de dados.

## 4.5. Escolher o modelo, de base de dados, mais apropriado

Deveremos ter presente que todas as quatro estruturas de base de dados, têm algo para oferecer aos sistemas de informação espacial. Seguem-se algumas considerações (Burroughs e McDonnell, 2000):

- Modelo Hierárquico: permite que grandes bases de dados se dividam para cima, sucessivamente, em troncos manipuláveis, mas são inflexíveis para construir novas vias de pesquisa e podem conter muitos dados redundantes;
- Modelo em rede: contém poucos dados redundantes, proporcionam ligações rápidas, diretas e talvez inflexíveis entre entidades relativas;
- Modelo Relacional: aberto, flexível, adaptável, mas também apresenta grandes volumes de dados, redundância e pesquisas muito demoradas;
- Modelo OO: permite a construção de um sistema com relações, funcionalidade, persistência e independência, através da programação de ferramentas complexas e comandos mais pesados, para a capacidade do computador.

Em consequência do que acabamos de ver, é natural que estas técnicas sejam utilizadas, em conjunto, num sistema de informação espacial para se complementarem, em vez do trabalho ser executado apenas por uma delas.

A abordagem hierárquica é muito útil para dividir os dados espaciais em temas manuseáveis ou em áreas manuseáveis, de forma que o mapeamento contínuo se torne possível.

A abordagem em rede é ideal para ligações topológicas entre linhas vetoriais e poligonais.

A abordagem relacional é boa para recuperação seletiva de objetos, com base nos seus atributos, para criar novos atributos ou para atribuir valores aos dados existentes.

A abordagem OO é útil quando as entidades partilham atributos ou interagem de uma maneira especial.

De referir que o MBD seguido neste trabalho é o Modelo Relacional, não só pelas vantagens deste modelo em que a estrutura base é a relação (vulgarmente conhecida como tabela), mas também porque a maioria dos SIG, nomeadamente o QGIS, utilizam este modelo para armazenar os dados descritivos ou atributos.

## 5. Sistema de Gestão de Base de Dados (SGBD)

SGBD pode ser entendido como um conjunto de *software* destinado a gerir todo o armazenamento e manipulação dos dados do sistema, fazendo a interface entre o nível aplicacional e a base de dados propriamente dita, (Pereira, 1998). São construídos usando qualquer combinação das estruturas hierárquicas, em rede, relacional ou OO.

O objetivo principal de um SGBD é tornar os dados facilmente acessíveis para vários utilizadores, manter a sua integridade, proteger os dados contra a eliminação, corrupção e facilitar a adição, remoção e atualização dos dados necessários.

Os SGBD devem ter a seguinte funcionalidade (Frank, 1988):

1. Permitir o armazenamento, a recuperação seletiva dos dados e a seleção dos mesmos, baseada em um ou mais atributos ou relações;
2. Uniformizar o acesso aos dados, separar dados, armazenar e recuperar dados usuais no programa de aplicação para manter a independência desses programas;
3. Proporcionar uma interface entre a base de dados e o programa de aplicação baseada na descrição lógica dos dados sem requerer detalhes de armazenagem física;
4. Tornar as funções acessíveis em aplicações independentes da estrutura de armazenamento físico, de forma que os programas não sejam afetados pelas alterações no tipo de armazenamento;
5. Permitir o acesso dos dados a vários utilizadores em simultâneo;
6. Proteger a base de dados de alterações indiscriminadas e ilegais;
7. Promover regras sonoras para dados consistentes que serão impostas automaticamente. Estas regras são uma forma excelente para remover erros e incoerências da base de dados.

Muitos SIG usam um SGBD como parte do seu sistema para tirar vantagem dos seus dados e capacidades.

## **6. Estrutura de dados para representar a geometria de um fenómeno espacial**

### **6.1. Estrutura Matricial ou Raster**

Esta estrutura é baseada numa sobreposição de números, de acordo com a perceção do utilizador. O principal objetivo é organizar um esquema para otimizar o acesso aos dados, minimizar o armazenamento e processamento dos dados, dado o grande volume de coordenadas (Burrough e McDonnell, 2000).

Na estrutura raster simples, cada célula, em cada tema, é considerada como uma unidade independente da base de dados (1:1, relação entre o valor dos dados e a localização do pixel).

Cada célula é identificada por um par de coordenadas e um determinado valor do atributo, para cada tema. Esta estrutura carece de dados sobre o tamanho das células, não mostra os

símbolos, não tem técnicas de compressão de dados, para reduzir as necessidades de armazenamento.

No Método alternativo, cada tema pode ser representado na base de dados, como uma matriz de pontos bidimensional e possuindo ainda o valor de um atributo. Isto necessita ainda de mais espaço para armazenamento, pois contem listas redundantes de coordenadas, que são repetidas para cada tema e carecem também de símbolos e dados sobre o tamanho de células.

A estrutura hierárquica (utilizada no mapa de análise de Tomlim (1983)), estabelece uma relação de muitos para um, entre valores dos atributos e determinados pontos da unidade do mapa, de forma que, áreas uniformes (polígonos) podem ser localizadas facilmente. Recodificar e alterar variáveis como “mostrar símbolos”, são realizadas facilmente, pois necessitam de reescrever só um número por unidade de mapa, por tema, ao contrário das duas estruturas prévias, que necessitam de reescrever o valor de todas as células. Esta estrutura também permite o código em sequência e a técnica da árvore quaternária para compactação de dados, que diminui as necessidades de armazenamento e melhora a eficiência da estrutura de dados. O SPANS GIS é baseado na forma de árvore quaternária da estrutura hierárquica. A sua grande desvantagem é que é muito confusa para campos com muitas variáveis de dados.

Com a 4ª estrutura, cada tema é armazenado como um ficheiro separado por um cabeçalho geral que contém informações como: a projeção de mapas, tamanho das células, o número de linhas, o número de colunas e tipo de dados; seguido de uma lista de valores, que é ordenada de acordo com a sequência de linhas e colunas. Isto é obviamente mais eficiente, que os valores de coordenadas não armazenados por cada célula, a geometria genérica e os valores (*display values*) são escritos no cabeçalho do tema. O sistema PCRaster (Burrough e McDonnell, 2000) usa esta estrutura.

Quando a estrutura raster é usada para representar uma superfície contínua, cada célula tem um valor único, é necessário “*nlinhas x mcolunas*”, para codificar cada tema, mais a informação geral da projeção do mapa, a grelha de origem, o tamanho da grelha e tipo de dados.

A camada com menor capacidade de armazenamento de dados, é aquela que contém dados do tipo escalas e em que cada célula contém um número real, como no caso da matriz de altitude, para a elevação digital e outras superfícies contínuas, obtidas por interpolação. Outros tipos de dados irão requerer menos espaço porque estes podem codificar os seus dados em pequenos bites.

Quando a estrutura raster é utilizada para representar linhas ou áreas em que os píxeis têm todos o mesmo valor, é possível salvar os dados raster nas necessidades de armazenamento, promovendo assim que a estrutura de dados seja apropriada.

Há 4 principais formas de compactar dados espaciais, unidade de mapa:

- Cadeia de códigos;
- Códigos em sequência;
- Código em blocos;
- Árvore quaternária e Árvore binária.

Poder-se-à então concluir que, se cada célula representar um valor potencial diferente, então a estrutura simples, como tabela  $n \times m$  é difícil de impor. Estas limitações são largamente relacionadas com o volume de dados e tamanho de memória necessária. Quando utilizadas regiões, isto é de áreas de valores uniformes, como é suposto ser o caso em muitos mapas temáticos, a necessidade de armazenamento de dados pode ser consideravelmente reduzida usando, cadeia de códigos, cadeia em sequência, código em bloco ou árvore quaternária. A cadeia em sequência parece ser a mais eficaz quando o tamanho do pixel é grande em relação à área da região selecionada, com o aumento da resolução melhora o número de píxeis por região, no entanto, a cadeia em bloco e árvore quaternária têm-se tornado extremamente atrativas.

A árvore quaternária tem mais vantagens nas resoluções variáveis. O fácil processamento varia com a estrutura de dados usada.

## 6.2. Estrutura Vetorial

A estrutura vetorial de dados é construída sobre aquilo que o utilizador apreende como o número de níveis utilizados para separar diferentes classes de fenómenos (Burrough e Mcdonnel, 2000). Na descrição dos dados espaciais, baseados em vetores, supõe-se que um elemento pode ser localizado em qualquer local, sem obrigação como no modelo matricial. (Paredes, 1994).

A representação vetorial de um elemento é uma tentativa de reproduzi-lo o mais exatamente possível. Assume-se o espaço como contínuo o que permite que todas as exposições de distâncias e áreas sejam definidas com um grau de precisão muito maior.

Os métodos vetoriais assumem que as coordenadas dos pontos, são matematicamente exatas. Além disso, usam relações implícitas, permitindo que dados complexos sejam armazenados em menos espaço no computador.

Na estrutura vetorial, qualquer elemento pode ser reduzido a três formas:

- Pontos. Abrangem todas as entidades geográficas e gráficas que, podem ser posicionados por, pelo menos, um único par de coordenadas (x,y). Além das coordenadas, outros dados devem também indicar o tipo de ponto, entre outro tipo de informação associada.
- Linhas. São construídas a partir de segmentos de reta situados entre, pelo menos, dois pontos coordenados. A linha mais simples possui apenas um ponto inicial e outro final para serem armazenados.
- Polígonos ou áreas. O objetivo da estrutura poligonal é descrever as propriedades topológicas de áreas como, a forma, a vizinhança, a hierarquia, etc., de tal maneira que os atributos associados aos blocos espaciais básicos, possam ser manipulados como num mapa temático analógico.

A forma vetorial tem uma grande qualidade de informação visual, maior precisão, melhor apresentação de resultados, sob ponto de vista estético e o produto final é mais similar à forma convencional (analógica) de elaboração de mapas.

As estruturas vetoriais representam os tipos de bases de dados cartográficas de SIG. Estas representações transformam-se em padrões para transferência de dados entre os sistemas (Paredes, 1994).

Breve comparação entre os Modelos raster e vetorial, enumerando vantagens e desvantagens existentes entre eles.

Estrutura vetorial.

Vantagens:

- Boa representação de entidades de dados;
- Estrutura de dados compacta;
- A topologia pode ser descrita explicitamente, por isso é boa para uma análise em rede;
- A coordenação, a transformação e a eliminação de dados de uma folha é fácil;
- Diminuição da redundância;
- Representação gráfica exata e precisa a todas as escalas;
- Permite a extração de informação, atualização, generalização gráfica e de atributos.

Desvantagens:

- Estrutura de dados complexa;
- Combinação de *layers* complexa, requer tarefa intensa e requer um computador potente;

- Análise espacial e filtragem dentro dos polígonos não são possíveis.

Estrutura Raster.

Vantagens:

- Estrutura de dados simples;
- A localização específica e manipulação dos atributos dos dados são fáceis;
- Podem ser utilizados muitos tipos de análise espacial e filtragem;
- A modelação matemática é fácil porque todas as entidades espaciais têm uma forma simples e regular;
- Tecnologia barata;
- Muitos tipos de dados são disponíveis.

Desvantagens:

- Grandes volumes de dados;
- A utilização de uma grelha de células maior, para reduzir o volume de dados, resulta na perda de informação e incapacidade para reconhecer as estruturas definidas do fenómeno;
- As transformações de coordenadas são muito difíceis e morosas, exceto quando algoritmos e hardware especial são utilizados e mesmo nestas condições, pode haver perda de informação ou distorção da grelha das células.

Paredes (1994), refere ainda as seguintes desvantagens:

- Ineficaz na análise espacial complexa, condicionadas por vários atributos descritivos e temas mapeados;
- Incapacidade de realizar aplicações com elevada resolução;
- As fronteiras entre feições só podem ser detetadas como descontinuidades nos valores dos píxeis.

Atualmente, o debate entre estrutura vetorial versus raster, já não é muito relevante e ambos têm mostrado que não se excluem mutuamente. Tem-se tornado claro que, o que à primeira leitura pode ser um problema conceptual, passa a ser largamente uma questão de tecnologia. O problema da representação gráfica, de cópias pesadas e armazenamento de dados, na estrutura raster, tem sido resolvido com o aparecimento de monitores, impressoras e computadores de alta resolução, e programas para compilação de dados armazenados.

Atualmente muitos dos SIG têm ambas as estruturas (vetorial e raster), além de um programa de conversão. Para uma análise entre *layers* é necessário que os dados estejam na mesma forma estrutural.

Recentemente uma organização diferente na base de dados, através do método orientado por objetos, permite que a estrutura vetorial e raster sejam utilizadas ao mesmo tempo, dependendo da forma como são tratadas as várias unidades espaciais, ou seja, dependendo se forem pontos, linhas, polígonos ou píxeis, como objetos únicos.

## **7. Sistemas Abertos/*Open Source***

### **7.1. *Software Desktop Gis***

É um grupo de programas, cujo objetivo é a integração de informação geográfica, a sua gestão, análise e exploração. Estes programas têm evoluído para disponibilizar um maior número de ferramentas de edição com maior qualidade, procurando trazer os modelos vetoriais de uma fase anterior à fase de aquisição e validação. São vocacionados para a integração, possuindo ainda ferramentas de validação topológica eficiente (Cosme, 2012).

As soluções Desktop GIS são *softwares* instalados num computador pessoal, permitindo visualizar, pesquisar, atualizar e analisar informação geográfica e seus modelos de dados relacionados. Podem ser definidas de diversas formas, nomeadamente pelo sítio onde são executadas, computador local ou remotamente, ou pelas funcionalidades que disponibilizam.

As funções específicas que possuem são:

- Visualização;
- Aquisição e edição;
- Tratamento e validação;
- Sobreposição e análise;
- Acesso, pesquisa e inquirição;
- Produção e modelação.

A divisão dos Desktop GIS pelo agrupamento de funcionalidades pode ser em 3 grupos de trabalho de acordo com as funcionalidades (figura 1), destacando entre elas, a sua capacidade de integração, análise e modelação:

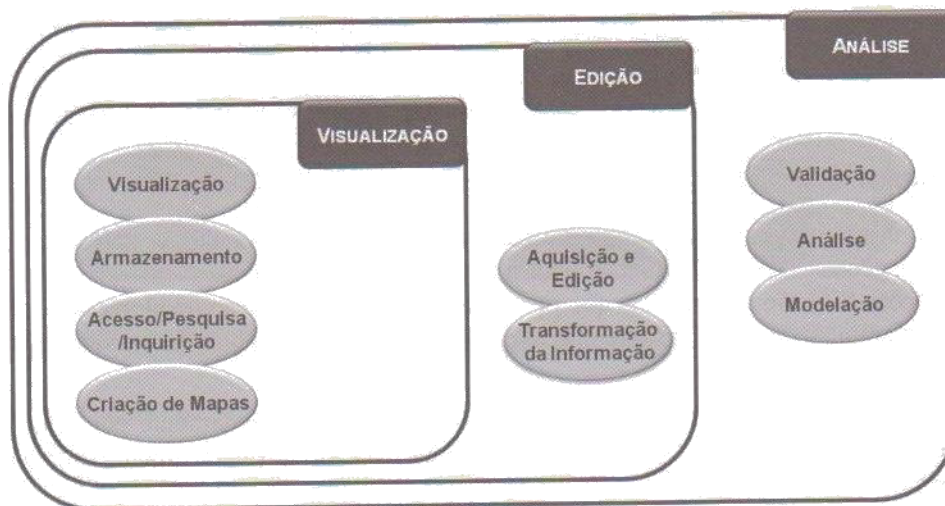


Figura 1 - Classificação dos Desktop GIS por grupos de funcionalidades disponibilizadas, (Cosme, 2012)

Os SIG podem ainda ser classificados relativamente às suas funcionalidades, custo, dimensão, plataforma ou modelos de dados. As suas utilizações enquadram-se em sistemas de gestão e sistemas de apoio à decisão. Na figura 2, estão também indicados alguns programas informáticos de referência, agrupados por programas comerciais e programas livres/“open source”.

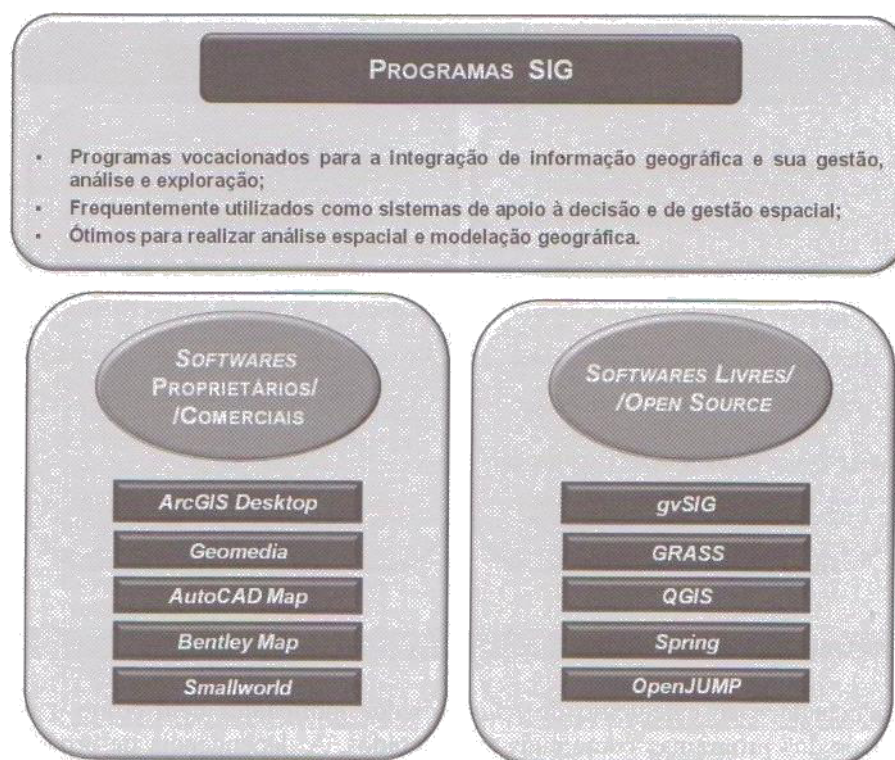


Figura 2 - Utilizações primordiais dos softwares de SIG e alguns programas de referência, (Cosme, 2012)

## 7.2. Free Open Source Software

Os programas informáticos “open source”, ou código aberto pretendem estimular a deteção de erros, criação, modificação e investigação de novos recursos, com o objetivo de desenvolver e melhorar o programa.

Os projetos de código aberto envolvem pessoas com diferentes capacidades de programação e necessidades, como é o caso de académicos, estudantes, designers de interface, autores da documentação para utilizadores e programadores, de forma criar um produto completo. Trata-se de uma metodologia de desenvolvimento que permite acesso à fonte de um produto, ou seja, aos bens e conhecimento.

No *free software* a questão é ética e social, sendo importante o carácter gratuito dos programas. Existem excelentes aplicações gratuitas, mas cujo código não é aberto, como é o caso de SPATIAL COMMANDER (Alemanha), Forestry Gis (Winsconsin department of natural resources-EUA), Google Earth (Google-EUA), ArcExplorer (ESRI-EUA), TNTlite (microimages, inc-EUA) e TatukGIS Viewer (TatukGIS-Polónia).

A tabela 1 sistematiza os princípios de visão da “Open Source Initiative” e da “Free Software Foudation”.

Tabela 1 - Princípios Open Source / Free Software, (Cosme, 2012)

OPEN SOURCE	FREE SOFTWARE
1. Garantir a redistribuição gratuita	1. Liberdade para utilizar o programa para qualquer propósito (liberdade 0)
2. Permitir acesso ao código - fonte	2. Liberdade para estudar como o programa trabalha e mudá-lo para o desejado (liberdade 1)
3. Deve permitir modificações e trabalho derivado	3. Liberdade para distribuir cópias de forma a ajudar os colegas (liberdade 2)
4. Garantir a integridade do código-fonte do autor	4. Liberdade para distribuir cópias de versões modificadas a outros (liberdade 3)
5. Garantir a não discriminação de pessoas e grupos	
6. Garantir a não discriminação relativamente ao contexto da aplicação	
7. Garantir que a distribuição da licença garante direitos aos utilizadores	
8. Garantir independência da licença relativamente à distribuição de um produto específico	
9. Garantir que a licença não restrinja a utilização de outros <i>softwares</i>	
10. Garantir a neutralidade da licença relativamente à tecnologia	

Os Desktop GIS Open Source mais conhecidos são: GRASS GIS, Quantum GIS, uDig, OpenJump e gvSIG. Algumas das quais direcionadas para campos específicos de aplicação, como são os desenvolvimentos nas linguagens de programação C++ e Java que apresentam elevado grau de flexibilidade, consequência das interfaces uniformizadas e da capacidade de poderem ser lançadas no interior de arquiteturas orientadas por serviço.

A crescente necessidade de uma informação mais completa e diversa parecem favorecer positivamente os *softwares* de código aberto, por outro lado a necessidade de se tornarem competitivos perante *softwares* comerciais, levou ao aparecimento de programas informáticos livres, *Free open source software*.

Na tabela 2 estão indicadas as vantagens e desvantagens deste tipo de programas informáticos, livres e de código aberto. Sobressai logo como vantagem, o facto de o programa ser de fácil aquisição e sem obrigatoriedade de atualizações, o que para um programa comercial é bastante penoso, pois muitas vezes o utilizador é obrigado a pagar uma renda anual para manter o programa atualizado.

Tabela 2 - Vantagens e desvantagens dos *Softwares Livres/Open Source SIG*, (Cosme, 2012)

<i>Softwares Livres/Open Source SIG</i>	
VANTAGENS	DESVANTAGENS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Software</i> livre</li> <li>• Código Aberto</li> <li>• Fácil Aquisição</li> <li>• Sem obrigatoriedade de atualizações</li> <li>• Uso não restrito</li> <li>• Contributos da comunidade académica e empresarial</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Componente gráfica</li> <li>• Instalação e configuração</li> <li>• Operacionalidade</li> <li>• Suporte técnico</li> <li>• Suporte de apoio à aprendizagem</li> <li>• Formação</li> </ul>

Relativamente às desvantagens, algumas delas têm vindo a diminuir de relevância, pois com o avanço tecnológico a instalação e configuração destes programas tornou-se bastante mais compreensível, por outro lado o surgimento de grupos de utilizadores e de fóruns de discussão permitem obter alguma informação técnica, minimizando assim algumas das desvantagens. Poderemos pensar que poderá ser por estes motivos que este tipo de programas informáticos está cada vez mais a ser utilizado em detrimento dos comerciais.

# Capítulo 3 - Cartografia Geotécnica

## 1. Evolução da Cartografia Geotécnica, referências históricas

### 1.1. Enquadramento

A literatura nacional e internacional sobre as cartas geotécnicas indica que existem basicamente dois tipos de documentos: os voltados para o planeamento, gestão do uso e ocupação do solo e os destinados para a implantação de obras de engenharia. São entendidas como importantes para os profissionais de diferentes formações que atuam nesses domínios.

Em 1968 a IAEG (International Association of Engineering Geology), propôs a criação da Engineering Geological Mapping Commission com a finalidade de regulamentar a elaboração de mapas e cartas geotécnicas e difundir as suas tendências. O princípio condutor nesta forma de comunicação dá importância ao estudo da percepção visual dos seus utilizadores, ou seja, representações com boa leitura e compreensão do meio físico e suas propriedades. Os dados geológicos-geotécnicos devem ser representados com respeito a regras e convenções cartográficas. Além disso, a representação deve ser clara e objetiva, prescindindo de um projeto cartográfico elaborado de modo consciente e fundamentado. Dearman (1991) segue também esta tendência organizando no seu livro, um conjunto de regras e normas fundamentais para a elaboração de cartografia geotécnica.

Segundo a IAEG, mapa geotécnico é um tipo de mapa geológico que classifica e representa os componentes do ambiente geológico que influenciam as atividades de engenharia, planeamento, construção, exploração e preservação do ambiente. Zuquete (1987) também considera que o levantamento geotécnico tem por finalidade básica caracterizar, classificar, avaliar e analisar os atributos que compõem o meio físico: geológicos, hidrogeológicos, hidrológicos entre outros.

Os mapas geotécnicos devem incluir informações descritivas sobre os materiais e processos geológicos com dados quantitativos dos diferentes componentes do meio geológico e das propriedades físicas e mecânicas dos materiais, e ainda informação interpretativa para a sua aplicação geotécnica.

O grande volume de dados pode tornar-se uma das dificuldades de representação dos domínios com as mesmas características, e por este facto as cartas deixam de representar

todas as informações disponíveis, dando prioridade para aquelas mais significativas e essenciais ao uso a ser dado.

A representação é entendida como um trabalho técnico para comunicar uma ideia sem dar margem a interpretações contraditórias e procurando a harmonia dos diversos componentes gráficos: símbolos, toponímia e cores.

Os mapas geotécnicos devem incluir:

- materiais e processos geológicos (petrologia, estrutura, história...);
- componentes do meio geológico (hidrologia, hidrogeologia, morfologia...);
- propriedades físicas e mecânicas dos materiais (densidade, índice de vazios, porosidade, permeabilidade, ângulo de atrito, coesão, módulo de elasticidade...);
- a base interpretativa para a sua aplicação geotécnica (capacidade de carga para fundações; posição do Bed Rock; atitude de descontinuidades, declives, suscetibilidade a escorregamentos...).

## 1.2. No Mundo

Os primeiros passos do desenvolvimento da cartografia geotécnica estão estritamente ligados com a exploração mineira e prospeção para diferentes obras, de forma a solucionar problemas de engenharia, nomeadamente estabilidade de rochas e solos, potenciais riscos gerados por alterações do meio físico através de construções civis, (Rodrigues, 1995) e (Veiga, 2011).

Com a revolução industrial a partir do final do século XIX houve um crescimento acentuado das cidades com maiores exigências de planeamento baseados nos conhecimentos de geociências para entender os limites e recursos geoambientais. No Sec. XIX surgiu a primeira associação de geologia associada às minas de carvão e minério, sendo, no entanto, extinta em 1850.

Em 1913, na Alemanha em Leipzig, foram apresentadas as primeiras cartas geotécnicas com condições geotécnicas de estruturas e fundações de várias cidades alemãs (Erfurt, Frankfurt, Danzig, etc...), na Exposição Técnica de Construção.

Moldenhauer em 1919, edita o mapa geotécnico de Danzig, tendo por base o mapa geológico da cidade, técnica ainda hoje utilizada na elaboração de mapas geotécnicos. Seguiram em 1926, na ex-Checoslováquia, cartas para apoio ao desenvolvimento da cidade de Praga. Nos anos 30-40, na ex-URSS, cartas para apoio à construção do canal entre Mar Branco e Mar Báltico e o projeto de irrigação na margem direita do Volga. Em 1936, na Polónia, cartas para apoio ao desenvolvimento de Varsóvia. (Rodrigues Carvalho et al. 2004).

Muller em 1938, produziu vários mapas da freguesia de Marke sendo: mapa de localização dos solos, mapa interpretativo das condições para a construção, mapa hidrogeológico, mapa com a localização dos solos que necessitavam de tratamento e melhoramento e mapa de planeamento.

Após a II Guerra Mundial há um crescimento progressivo da cartografia geotécnica no Leste Europeu devido aos grandes esforços de reconstrução do pós-guerra e à necessidade de otimizar o crescimento da ocupação urbana. Destacam-se os trabalhos de Zebera, 1947, na Ex-Checoslováquia, com a publicação de um conjunto de normas para elaboração de cartas geotécnicas utilizando o método das bandas. Em 1955, na Ex-URSS, publica-se um livro sobre técnicas para elaboração de cartas geotécnicas, é feita uma aproximação ao conceito de zonamento (Popov et al., 1950 in Rodrigues Carvalho e Silva, 2010). Com Gwinner, surge o conceito de unidade geotécnica em 1954 na República Federal Alemã. Destacando-se ainda em 1967, na República Democrática Alemã, a publicação de instruções para a produção uniforme de cartas geológicas com fins de engenharia (Bachmann et al., 1967 in Rodrigues Carvalho e Silva, 2010).

Só na década de 60 e 70 é que as metodologias foram disseminadas ao resto da Europa. Destacando-se a execução sistemática da cartografia geotécnica da cidade de Paris pela Escola Nacional Superior de Minas em 1967, desenvolvendo um sistema automatizado de armazenamento e recuperação de dados, constituindo assim um atlas de cartas geotécnicas de algumas regiões da cidade à escala 1:5.000 (Arnould et al., 1979). Em Turim, 1979, é iniciada a cartografia de subsolo da região metropolitana de Turim, tendo por base a recolha de sondagens realizadas durante 30 anos elaborando mapas temáticos. Este processo permite assim a individualização de regiões com diferentes comportamentos face a obras de engenharia, (Bottino e Civita, 1986). Na Finlândia, na cidade de Helsínquia, armazenam-se dados geotécnicos desde 1955 tendo sido elaborados mapas de solos à escala 1:2.000, para toda a cidade e 1:500, e em 1970 para o centro (Vähäaho, 1996). Em 1992 iniciou-se na Finlândia um projeto tecnológico de planeamento subterrâneo de cidades, permitindo a formulação de um conjunto de ideias que resultaram num referencial de procedimentos de planeamento subterrâneo (Anttikoski *et al.*, 1994). Em Tóquio desde 1969 que se desenvolvem mapas geotécnicos, no entanto só a partir de 1985 se iniciaram atividades de sistematização de informações geotécnicas em 2000 o sistema marcava 55000 sondagens (Takasaki *et al.*, 2000). Em Seul o sistema de informações geotécnicas desenvolveu-se no sentido de dar apoio a obras no metro iniciadas em 1971 (Chon *et al.*, 1997). Os documentos gerados têm por objetivo prever zonas problemáticas em futuras obras subterrâneas da cidade. Na Universidade do Minnesota desenvolvem-se pesquisas sobre este tema desde a década de 70 (século XX), incidindo em particular sobre o subsolo de Minneápolis. Em 1993, Lindner desenvolveu um trabalho de caracterização das condições de subsuperfície de

Minneapolis, o resultado final consistiu num mapa de zonamento das dificuldades para a construção de túneis (Lindner, 1993).

De referir que as principais publicações internacionais relativamente a este tema dizem respeito ao grupo de trabalho da IAEG. Em 1976 foi publicado pela Unesco Press um guia para a preparação de mapas de geologia de engenharia (IAEG, 1976). Em 1979 sai a classificação de rochas e solos para mapas de geologia de engenharia (IAEG, 1979). Em 1981 são publicadas recomendações dos símbolos e a descrição e classificação das rochas e solos a utilizar na elaboração de mapas de geologia de engenharia (IAEG, 1981). Em 1991 Dearman publica um livro com indicações para a elaboração de cartografia geotécnica, nele ilustra através de mapas, a evolução histórica deste tema Dearman (1991) e em 2005 é publicado o documento “Special Purpose Mapping for Disposal Sites” (IAEG, 2005). A realização de grandes obras de engenharia civil fez despertar a necessidade do estabelecimento da cooperação entre geólogos e engenheiros tendo como resultado o desenvolvimento da cartografia geotécnica e, a realização em 1979, por parte da IAEG, do Simpósio “Engineering geological mapping”.

É de realçar o início da referência a meios informáticos de apoio à cartografia geotécnica como é o caso dos SIG, muito embora se subentenda a utilização de sistemas CAD anteriormente. Em Amesterdão, na Holanda, iniciou-se a elaboração de um mapa geotécnico para um distrito da cidade em 1986, e em 1990 desenvolveu-se um sistema de base de dados, chamado INGEOBASE contendo informações geotécnicas para uma área de 4 km<sup>2</sup>, posteriormente desenvolveu-se um SIG 3D para gerir os riscos de subsidência de uma linha do metro de Amesterdão, que permitiu armazenar, analisar, estruturar e visualizar todos os dados relativos a este tipo de problema (Netzel e Kaalberb, 1999). No Quebec, nos anos 80 do século XX, desenvolveu-se um projeto visando fornecer ferramentas para o planeamento adequado do uso do espaço subterrâneo. O método consistiu na reunião de todos os trabalhos existentes seguindo-se a cartografia geológica das unidades litológicas presentes considerando a sua distribuição tridimensional. Realizaram-se estudos geotécnicos nas diferentes formações litológicas para chegar ao uso potencial do espaço subterrâneo (Boivin, 1990).

Em relação ao Brasil, Zuquette em 1981 apresenta o trabalho de mapeamento geotécnico preliminar da região de São Carlos, na Universidade de São Paulo no Brasil (Zuquette, 1981), e desde aí tem liderado o processo de desenvolvimento de aspetos metodológicos para o mapeamento geotécnico. Inúmeros trabalhos de cartografia geotécnica e geoambiental têm vindo a ser realizados, na maioria de carácter académico (dissertações, teses e artigos). A maioria destes trabalhos é relativo a planeamento regional e urbano (e.g. Martins, 2005; Andrade, 2005; Souza, 2001) e alguns são relativos à resolução de problemas (e.g. CTCG, 2004). Alguns destes trabalhos apresentam diversas metodologias a aplicar na elaboração de cartas geotécnicas (e.g. Silveira, 2002; Júnior, 2007; Rodrigues, 2008). Verifica-se que essas metodologias foram surgindo e foram sendo aplicadas conforme as características e necessidades de cada região. Desde 1993 a Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e

Ambiental (ABGEA) realiza de três em três anos um simpósio de cartografia geotécnica e geoambiental com o objetivo de reunir investigadores e profissionais da área e para divulgar os resultados de pesquisas, diagnosticar tendências, debater e propor novos caminhos (ABGEA, 2010).

Em 2008 é apresentado um trabalho de georreferenciação de dados geotécnicos para a cidade de Atenas, Grécia, onde é apresentada uma metodologia para o microzonamento sísmico a partir de dados sismológicos e com a ajuda de um SIG (Antoniou *et al.*, 2008).

Hearn *et al.* (2009) alertam para a necessidade de gerar informação geológica e geotécnica nos países em desenvolvimento, dando exemplos de situações de deslizamentos de terras que danificaram significativamente estradas no Butão e na Etiópia. O trabalho foi publicado no *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology* e demonstra a importância da realização atempada e adequada de estudos de geologia de engenharia no dimensionamento de infraestruturas como contribuição para a investigação, análise e mitigação de riscos (Hearn *et al.*, 2009).

A cidade de Roma possui uma base de dados de sondagens com ensaios SPT. Segundo Folle (2009) esta base de dados conta com mais de 6000 sondagem desde 1980, além de informações estratigráficas, mapas geológicos e ensaios *in situ*. Em Roma decorre um projeto que prevê a obtenção de modelos tridimensionais e mapas de risco, e em que todas as informações farão parte de um SIG que terá por objetivo orientar, definir, prevenir e gerir riscos geológico-geotécnicos da cidade de Roma (Folle, 2009).

Foram produzidos mapas de geologia de engenharia para Tunis City (Tunísia) no sentido de apoiar o desenvolvimento urbano recorrendo a um SIG, tendo resultado mapas de aptidão à construção com categorização de áreas em função do risco (inundação, deslizamento e liquefação) (El May *et al.*, 2010).

No Irão, combinando dados geofísicos e geotécnicos foram recentemente elaborados mapas geológicos de aplicação à engenharia envolvendo microzonamento sísmico de modo a facilitar a reconstrução da cidade de Bam destruída pelo sismo de 2003 (Tabatabaei *et al.*, 2010).

A cartografia geotécnica em zonas urbanas tem vindo progressivamente a sofrer avanços muito importantes, apesar do seu desenvolvimento ao longo do tempo ter sido muito irregular. A difusão dos SIG, intensificada na última década do século passado, veio proporcionar um passo significativo no desenvolvimento da cartografia geotécnica por recurso à utilização de bases de dados e novas ferramentas de análise (Rodrigues-Carvalho *et al.*, 2010).

### 1.3. Em Portugal

O trabalho de cartografia geológica da escavação do túnel do Rossio em Lisboa, realizado nos finais do século XIX por Paul Choffat (Choffat, 1889), e onde foram considerados aspetos importantes para a engenharia da obra, constitui um documento histórico que importa referir.

No entanto é a partir do fim da 2ª Guerra Mundial, que a caracterização geotécnica de terrenos adquire maior importância com o projeto e construção de inúmeras obras de engenharia e intervenções no meio geológico (Rodrigues-Carvalho *et al.*, 2010).

Em 1962 surge em Portugal o primeiro projeto de carta geotécnica com aplicação ao planeamento regional e urbano, que consistiu na reunião de um conjunto de elementos para a elaboração da Carta Geotécnica de Lisboa (LNEC, 1962). Este trabalho resultou da colaboração do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) e da Câmara Municipal de Lisboa (Coelho, 1980).

O LNEC publica em 1968 a especificação E 220 onde apresenta a simbologia a utilizar em registos, por exemplo de sondagens, para ilustrar os tipos de terrenos atravessados (LNEC, E 220, 1968). Seguiram-se vários trabalhos de caracterização geotécnica de terrenos tendo por objetivo contribuir para uma ocupação mais racional do espaço territorial e melhor servir as necessidades das populações. Os estudos geológicos e geotécnicos permitiram dar apoio ao plano urbanístico do Monte da Caparica (LNEC, 1973), a elaboração da carta geotécnica da área de Sines (LNEC, 1974) e a elaboração da carta geotécnica da área do plano de recuperação da Brandoa-Falagueira (LNEC, 1979).

A cartografia geotécnica no planeamento regional e urbano, realizada na região de Setúbal (Coelho, 1980) constitui um documento de referência.

Aplicado a obras especiais, albufeiras da Aguieira e do Coiço, o trabalho de caracterização e aptidão geotécnica dos terrenos envolventes a estas obras (Saraiva, 1986) constitui um contributo para a experiência portuguesa.

Em 1989 foram apresentados a carta de riscos de movimentos de terrenos dos taludes da margem sul do Tejo (Lamas, 1989) e um trabalho sobre planeamento urbano para a zona litoral entre Faro e Olhão (Silva, 1989).

A década de 90 foi rica na realização de trabalhos de caracterização geotécnica aplicada a espaços urbanos. Estes trabalhos foram realizados sobretudo em ambiente académico, no âmbito de dissertações de mestrado e teses de doutoramento, e são relativos a várias regiões do país: Coimbra (Tavares, 1990), Porto (Barbosa *et al.*, 1991; Oliveira *et al.*, 1995, 2005), Lisboa (Almeida, 1991), Aveiro (Ferreira Gomes, 1992), Águeda (Duarte, 1993), Ovar (Oliveira,

1994), Oliveira do Bairro (Rodrigues, 1995), Sesimbra e Santana (Sobreira, 1995), Anadia (Aguilar, 1997), Bragança (Rocha, 1998). Em 1995 é realizado em Portugal o 1º Seminário Nacional de Cartografia Geotécnica.

Em 1989, Silva apresenta um trabalho académico versando a cartografia geotécnica assistida por computador, e em 2000 disserta sobre a aplicação de um sistema de informação à cartografia geotécnica do concelho de Almada, o Geo-Almada (Silva, 1989 e 2000). Em 1999 foi iniciado um projeto de Base de Dados Geotécnicos, desenvolvido com a colaboração da Câmara Municipal de Lisboa (Almeida *et al.*, 1991) para a urbe de Lisboa. Na sequência deste trabalho, em 2008 iniciou-se um projeto de investigação para modelação geológica e geotécnica 3D, associada ao desenvolvimento de uma nova Base de Dados, e que permite a atualização constante e a validação cruzada do modelo e dos dados.

Em 2000 foi apresentado na Universidade de Coimbra o trabalho de aplicação das geociências ao ordenamento do território com um exercício de aplicação à vila da Batalha, tendo resultado uma carta de zonamento geotécnico (Veiga, 2000).

No início do Sec. XXI, a camara municipal do Porto verificando a pouca existência de dados de cariz geotécnico associado ao reduzido número de trabalhos científicos de natureza geológico-geotécnica existentes sobre o Porto, levaram à constatação da necessidade de elaboração da Carta Geotécnica da cidade, à escala 1:10.000. Iniciou um conjunto de procedimentos para a criação de cartografia geotécnica da cidade, tendo sido revista em 2003. O objetivo da cartografia geotécnica foi a caracterização do solo e do subsolo com vista a uma gestão mais adequada do território, através da definição de critérios de ocupação de terrenos e de unidades geotécnicas que permitam o dimensionamento adequado das diversas obras de engenharia civil. A inventariação de recursos naturais, do património geológico e de áreas de risco natural foram fatores incluídos na elaboração deste tipo de documento.

Este documento resulta de uma exaustiva recolha de informação de natureza geológica e geotécnica junto de várias instituições e empresas públicas e privadas, de diversos trabalhos de campo e pesquisa bibliográfica. Esta informação é analisada e interpretada, dando origem a cartas analíticas ou de fatores e cartas de síntese ou interpretativas.

A Carta Geotécnica do Porto é constituída por nove cartas temáticas das quais sete são cartas de fatores e duas são cartas de síntese.

O que se pretende com o nosso modelo é uma atualização permanente através da utilização da cartografia oriunda de plataformas abertas. Estas plataformas, como a *OpenStreetMap*, permitem a qualquer cidadão, após o seu registo na plataforma, participar na criação de dados e na atualização ou edição dos dados existentes. Deste modo quando inserimos dados

de interesse geotécnico estamos a fazê-lo sobre cartografia relativamente mais atualizada do que a oficial, além de podermos também acrescentar ou corrigir dados cartográfico.

## 2. Princípios

A cartografia geotécnica é considerada uma técnica de integração, síntese e representação de áreas de geologia e engenharia voltada para obras, planeamento, gestão ambiental urbana e territorial, permitindo a formulação de modelos de previsibilidade do comportamento dos terrenos e estudos de soluções para os problemas decorrentes da intervenção antropológica sobre o meio físico (Diniz, 1998).

A cartografia geotécnica permite fornecer informações importantes para o ordenamento e desenvolvimento territorial (Vallejo et. al., 2002), tais como:

- Identificação e avaliação de problemas;
- Previsão do comportamento geotécnico dos terrenos;
- Conhecimento dos problemas de cada unidade geológica;
- Zonamento da área em diferentes graus de aptidão ou risco;
- Planeamento e desenvolvimento de acordo com as características de cada zona;
- Indicações gerais para a realização de estudos detalhados que podem conduzir à implementação de medidas corretivas ou de restrições ao desenvolvimento de determinada área.

De referir ainda que a cartografia geotécnica em área urbana debate-se com a grande e permanente reorganização deste meio, novas construções permitiram a realização de diversas escavações de fundação, a abertura de valas, poços e furos de sondagem, que constituem um importante acervo de dados, e importante suplemento a qualquer mapa geológico existente. Conta-se como principal dificuldade a exposição mínima do terreno natural, dado este se encontrar coberto por edifícios e vias de comunicação (Rodrigues, 1995).

A carta geotécnica sintetiza o conhecimento sobre o meio físico e os seus processos envolventes “*geo*” numa determinada área, a partir da qual se estabelecem medidas para a adequada ocupação dos solos “*técnica*”. Este tipo de documento é composto por uma carta de síntese, quadro legenda e texto explicativo (Freitas 2000; Bitar et. al., 2012)

A carta geotécnica também é uma ferramenta essencial à prevenção de desastres naturais e tecnológicos associados ao uso e ocupação do meio físico. Corresponde a uma interface das áreas do conhecimento científico da geologia, sismicidade, fracturação, da geomorfologia e da engenharia aplicada à geotecnia. Por meio da análise dos dados geológicos do meio físico (relevo, material não consolidado, rocha, hidrogeologia e clima), dados geotécnicos (parâmetros físicos, químicos e mecânicos), dos maciços terrosos e rochosos, prevê-se o comportamento dos terrenos em face da ocupação antrópica.

A delimitação de unidades do terreno deve ter em conta as diferenças de atributos ou parâmetros do meio ambiente (físico, biótico e antrópico).

A figura 3 mostra a interação entre os diversos componentes do meio ambiente, e como as relações entre os processos do meio físico e tecnológico (conjunto de técnicas aplicadas em operações de atividades de uso e ocupação do solo, como, por exemplo, escavações e aterros suscetíveis a instabilizações), interferem na identificação de atributos relevantes para um modelo preliminar de zonamento dos maciços na cartografia geotécnica.

Numa primeira fase (1) o meio físico condiciona as características do meio biótico e socioeconómico, os quais completam a influência mútua (2) e (3) com o meio físico, alterando os seus processos naturais. Os fluxos (4) e (5), decorrem da interação entre os meios biótico e socioeconómico. Dos condicionantes do meio físico e das alterações provocadas pelos empreendimentos, extraem-se os atributos relevantes a serem considerados na elaboração das cartas geotécnicas.

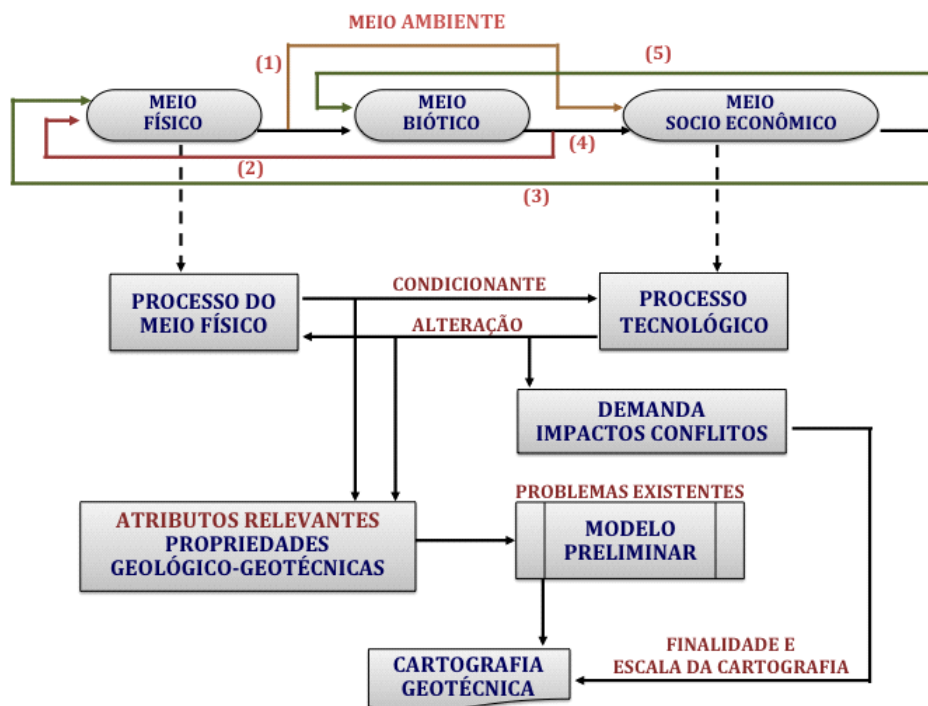


Figura 3 - Modelação da Cartografia Geotécnica a partir da dinâmica do meio ambiente e o papel do meio físico, relação com a cartografia geotécnica, (DINIZ, 1998)

Assim, os problemas resultam da alteração dos processos naturais pela ocupação, gerando os impactes ambientais e conflitos de uso. Diniz (1998) refere ainda a importância do modelo preliminar de zonamento indicado na figura 3, pois é etapa importante quando se considera as propriedades geológico-geotécnicas relevantes às alterações em questão, a partir do qual é executada verificação em campo para obtenção da Carta Geotécnica final.

### 3. Classificação

As cartas geotécnicas podem ser classificadas quanto a: Objetivo, Conteúdo e Escala, figura 4, (Rodrigues, 1995 e UNESCO-IAEG, 1976).

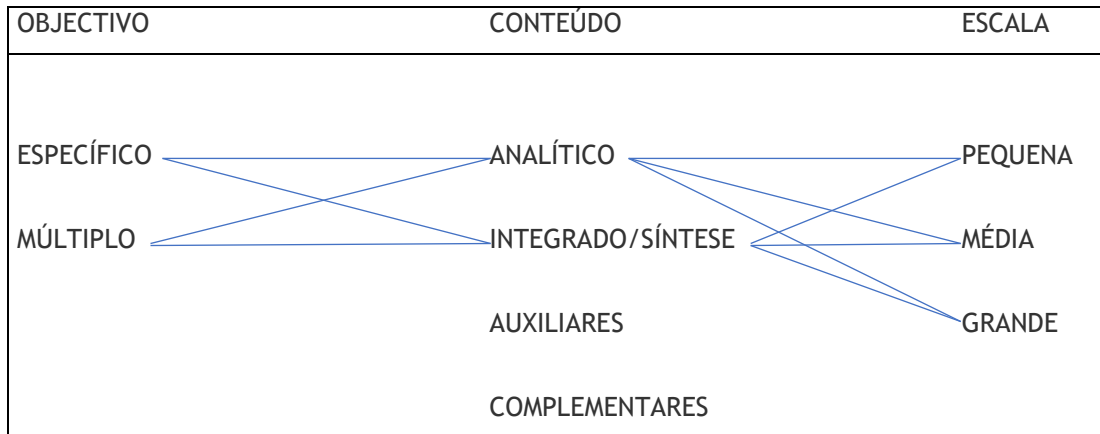


Figura 4 - Tipos e combinações possíveis de cartas geotécnicas, (Rodrigues, 1995)

Objetivo:

- Específico- Apresenta informação sobre um aspeto particular de engenharia geológica ou sobre um objetivo concreto (aterro para resíduos, escavações subterrâneas, traçados de caminhos de ferro), entre outras obras geotécnicas;
- Múltiplo ou geral- Apresenta informação referente a diversos aspetos da engenharia geológica para diversos objetivos e utilizações geotécnicas.

Em relação ao conteúdo podem ser:

- Mapas analíticos ou temáticos- Contêm detalhes ou avaliam um componente do meio geológico (ex. grau de meteorização, grau de fracturação).
- Mapas Integrados/síntese
  - Inclui os condicionalismos de todos os componentes principais do meio geológico;
  - Divide o território em zonas geotécnicas homogéneas.
- Mapas auxiliares- Apresenta dados concretos sobre algum aspeto geológico ou geotécnico;
- Mapas complementares- Informação básica sobre algum aspeto geológico, geomorfológico, hidrogeológico etc.

Em relação à escala, de acordo com a UNESCO (1976), pode-se efetuar a seguinte classificação:

- Mapas de grande escala, escala > 1:10.000 - Têm informação geotécnica, apoiada quer no caráter litológico, hidrogeológico, tectónico, bem como na sua caracterização em termos de comportamentos geomecânicos;
- Mapas de média escala, escalas entre 1:10.000 e 1:100.000;
- Mapas de pequena escala, escalas < 1:100.000.

## 4. Fases da Cartografia

O processo de elaboração da cartografia geotécnica passa por várias fases, conforme é esquematizado na figura 5, sendo estas: de inventário, análise e síntese.

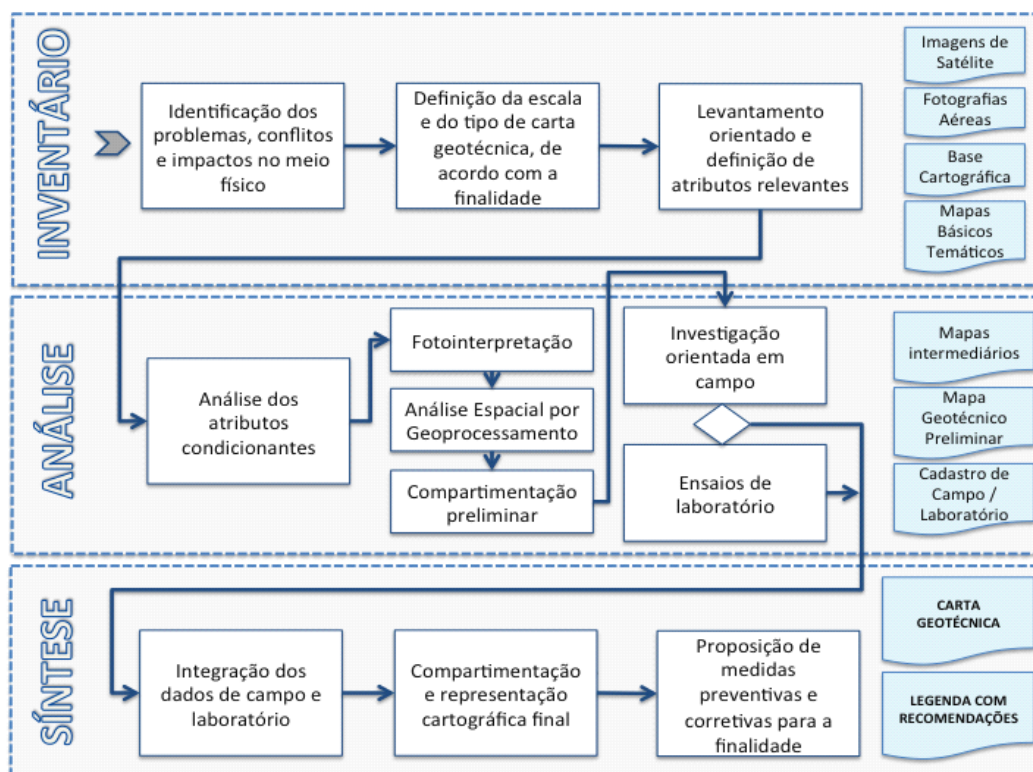


Figura 5 - Fases da cartografia geotécnica (DINIZ, 1998).

As cartas geotécnicas partem de um inventário com planeamento e levantamento orientado de dados, posteriormente, são realizadas análises e investigação de campo, para identificação dos problemas (existentes e previstos) decorrentes da interação entre os meios físico, biótico e antrópico (socioeconómico e cultural), e finalmente estabelece-se a síntese com proposição de alternativas de solução ou de evitar a instalação desses problemas.

São de fundamental importância a facilidade e a agilidade na representação, recuperação e atualização dos dados nos documentos de cartografia geotécnica produzidos. Para tanto, todo o trabalho elaborado deve ter o objetivo de preparar os dados produzidos para um sistema informatizado de Base de Dados e cartografia automatizada em SIG.

É condição fundamental a disponibilidade de bases cartográficas digitais, ortofotos aéreas ou imagens de alta resolução, MDT (Modelos Digitais de Terreno) e MDE (Modelos Digitais de Elevação), com resolução compatível às escalas da cartografia a ser desenvolvida.

Os procedimentos gerais na elaboração de cartas geotécnicas de um município, pode ser resumido em função do tipo de carta, conforme tabela 3.

Tabela 3 - Síntese de procedimentos gerais para elaboração de cartas geotécnicas (DINIZ, 1998)

Tipos de carta geotécnica	Informações básicas
Carta geotécnica de planeamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zonamento de unidades de terreno levando em conta os diferentes tipos e suscetibilidade a processos.</li> <li>• Adequabilidade da ocupação em cada unidade de terrenos (zonas favoráveis, aceitáveis e desfavoráveis).</li> <li>• Propostas de ações relacionadas à ocupação, valores ambientais e subsídios gerais para a legislação municipal.</li> <li>• Indicação de áreas que precisam de detalhamento para avaliação geotécnica voltada à aptidão urbanística, devido a restrições a loteamentos, necessidades de obras de infraestrutura viária, saneamento e drenagem, e riscos potências a desastres naturais.</li> </ul>
Carta geotécnica de aptidão urbanística	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Informações detalhadas para expansão urbana.</li> <li>• Normas para loteamentos em áreas de média suscetibilidade a processos, necessitando de estudos de avaliação geotécnica.</li> <li>• Avaliação de perigo em áreas ocupadas com riscos potenciais frente a desastres naturais.</li> </ul>
Carta geotécnica de risco	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Avaliação das condições de vulnerabilidade (grau de perda ou dano de um elemento ou conjunto de elementos, associado a uma ameaça ou processo, com uma dada intensidade ou magnitude de ocorrência) das ocupações sob risco.</li> <li>• Elaboração de sistema de gestão de risco com ações estruturais e não estruturais.</li> </ul>

## 5. Unidades Geotécnicas

Segundo metodologia proposta pelo IAEG, 1981, os solos e rochas podem ser classificados quanto às suas propriedades geológicas e geotécnicas, conforme Tabela 4.

Tabela 4 - Propriedades Geológicas vs. Propriedades Geotécnicas (Costa Pereira, 2011)

Propriedades Geológicas vs. Propriedades Geotécnicas	
Composição mineralógica e litologia	Densidade e plasticidade dos solos; dureza, resistência, alterabilidade das rochas
Textura e estrutura	Comportamento mecânico (densidade e porosidade)
Condições hidrogeológicas	Consistência dos solos, condições de alteração em solos e rochas
Frequência, distribuição e tipo de fraturas. Grau de alteração	Resistência, deformabilidade e permeabilidade

Ainda segundo a IAEG, 1981, os seguintes parâmetros geotécnicos devem constar na cartografia:

- Densidade;
- Porosidade;
- Consistência e Atividade;
- Permeabilidade;
- Resistência à compressão simples e à tração;
- Parâmetros resistentes;
- Deformabilidade;
- Durabilidade ou alterabilidade.

A informação presente nas cartas geotécnicas deve estar baseada nas características litológicas e físicas dos solos e rochas presentes na área de estudo. A história geológica determina as propriedades geotécnicas dos solos e rochas (IAEG/UNESCO, 1976). Este é um princípio básico da cartografia geotécnica, como refere Rodrigues (1995). A tabela 5, faz referência à designação das unidades geotécnicas em função do seu tipo de uniformidade.

Tabela 5 - Unidades para classificação geotécnica, (Costa Pereira, 2011)

Designação	Tipo de Uniformidade
Tipo geotécnico (escala grande)	Litológica e física. Valores médios das propriedades
Tipo litológico. (escala grande ou média)	Composicional, textural e estrutural. Intervalo de valores

Tabela 5 (continuação) - Unidades para classificação geotécnica, (Costa Pereira, 2011)

Designação	Tipo de Uniformidade
Complexo litológico. (escala média a pequena)	Génese e de tectónica - grupos de tipos litológicos relacionados. Dados de litologias individuais e comportamento geral da unidade
Conjunto litológico. (escala pequena)	Génese e de tectónica - vários complexos litológicos. Propriedades geotécnicas muito gerais

## 6. Obtenção de dados

Um dos fatores fundamentais na cartografia em geral e na geotécnia em particular é a obtenção de dados, assim como os métodos de obtenção a eles associado. É uma fase morosa, pois requer tempo e disponibilidade monetária para se atingirem os objetivos com sucesso.

Os métodos devem abarcar os métodos habituais em engenharia geológica, complementados com métodos de prospeção indireta e métodos de prospeção direta, de acordo com o tipo e objetivo do mapa e da complexidade da zona em estudo (tabela 6). O tempo disponível também poderá condicionar a realização destes mapas. A fase final compreende seleção, análise e interpretação dos dados, Costa Pereira (2011).

Tabela 6 - Síntese relativo a métodos de obtenção de dados para cartografia geotécnica/fonte de dados, (Costa Pereira, 2011)

Método	Dados para cartografia geotécnica
Fotointerpretação e teledeteção	Cartografia de solos e rochas Estruturas geológicas Hidrologia e redes de drenagem Processos dinâmicos
Reconhecimento e recolha de dados de campo	Aspetos geológicos e geomorfológicos Dados e medidas geológico-geotécnicas
Métodos geofísicos	Resistividade elétrica: Porosidade, fracturação, saturação, salinidade Profundidade do nível freático Profundidade do substrato rochoso Sísmica: Densidade, módulo de deformação Grau e profundidade de zonas alteradas Profundidade do substrato rochoso

Tabela 6 (continuação) - Síntese relativo a métodos de obtenção de dados para cartografia geotécnica/fonte de dados, (Costa Pereira, 2011)

Método	Dados para cartografia geotécnica
Sondagens, valas e amostras	Colheita de amostras representativas Observação direta dos materiais Propriedades físicas e características do terreno Condições hidrogeológicas
Ensaio <i>“in situ”</i>	Propriedades resistentes e deformacionais Tensões naturais Permeabilidade, pressão de água Dados de ensaios em sondagens
Ensaio de laboratório	Propriedades físicas e mecânicas dos materiais

## 7. Aplicações da Cartografia Geotécnica

A cartografia geotécnica tem um vasto leque de aplicações, tanto na área de engenharia como ao nível do planeamento regional e territorial, Vallejo et al. (2004):

- Planeamento do território;
- Mapas integrados com diversos aspetos geológico-geotécnicos regional local e urbano. Escalas média e pequena.
  - Mapas de:
    - Seleção dos locais adequados, ambientalmente favoráveis ou sustentáveis
    - Solução de compromisso entre aspetos técnicos, económicos e ambientais
    - Solução de problemas durante as fases de desenvolvimento, projeto e construção
- Engenharia
  - Estudos prévios ou de viabilidade para seleção de localização de obras ou de traçados. Informação e dados para o projeto e construção da obra
- Mapas e perfis geotécnicos (escala grande)
  - Mapas de:
    - Localização das sondagens e investigações realizadas
    - Processos dinâmicos (deslizamentos e subsidências), áreas instáveis e riscos geológicos
    - Aptidão geotécnica para fundações e suportes
    - Taludes em escavações
    - Localização e qualidade dos materiais de empréstimos

## 8. Aplicações Informáticas e SIG

Costa Pereira (2011), inúmera um conjunto de aplicações informáticas que têm surgido nos últimos tempos com aplicações na cartografia geotécnica:

- Tratamento automático dos dados;
- Mapas de elementos ou fatores individuais ou combinados entre si;
- Preparação de bases de dados;
- Atualização contínua dos mapas com dados e informação;
- Preparação de modelos 3D e simulação de ações sobre o terreno.

Como referido em 1.2, a Câmara Municipal do Porto possui cartografia geotécnica à escala 1:10.000, suportada por um SIG, constituída por nove cartas temáticas das quais sete são cartas de fatores e duas são cartas de síntese (CM Porto), conforme figura 6:

Cartas de fatores:

- Carta de Localização de Trabalhos de Prospeção;
- Carta de Ocupação de Superfície;
- Carta Geológica;
- Carta Geomorfológica;
- Carta de Drenagem de Superfície;
- Carta Hidrogeológica;
- Carta de Materiais de Construção e Explorações Mineiras.

Cartas de síntese:

- Carta de Zonamento Geotécnico;
- Carta de Condicionantes do Subsolo.

Além da componente cartográfica tem também uma base de dados informática alfanumérica, designada por Geodata/W 2.0, (figura 6 e 7). Esta base de dados reúne toda a informação existente e permite a consulta dos elementos constantes dos trabalhos de prospeção geotécnica. O documento integra também uma extensa Memória Descritiva com a descrição de todos os fatores considerados na sua elaboração, bem como o tratamento estatístico de dados de ensaios de terrenos. As cartas encontram-se digitalizadas em suporte SIG.

A figura 6, representa o modelo criado para a cartografia geotécnica do Porto, identificando os seus elementos constituintes, Oliveira et al (2006).

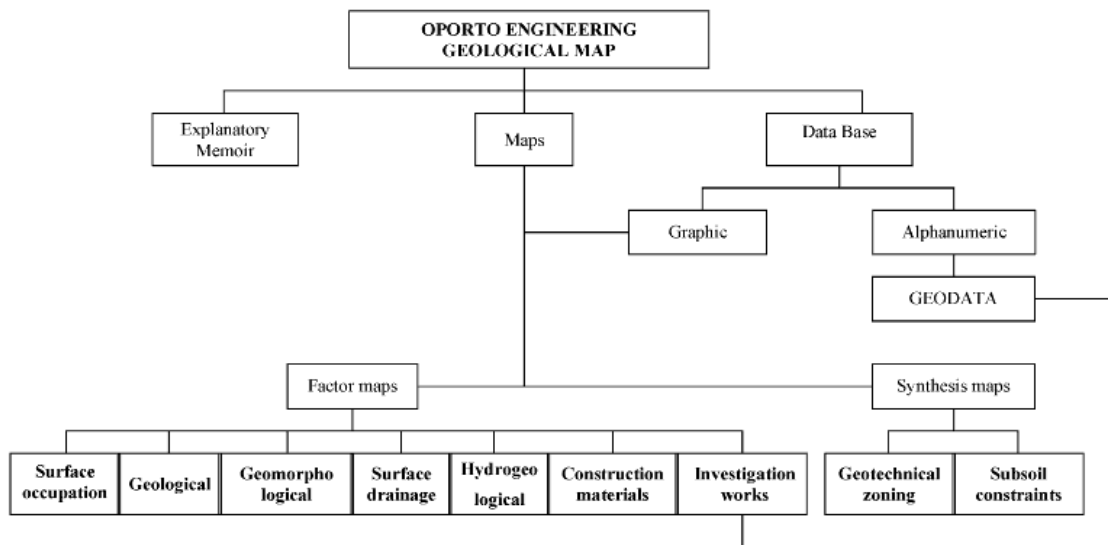


Figura 6 - Carta geotécnica do Porto, elementos constituintes (Oliveira et al., 2006)

O critério utilizado para identificar as diferentes unidades geotécnicas, foi baseado na IAEG, (1981). Considerando os seguintes aspetos:

- Identificação do tipo de litologia, baseado nas propriedades petrográficas;
- Descrição das propriedades do solo e rocha, (cor, textura, tamanho das partículas, grau de alteração (meteorização), densidade, resistência e deformabilidade);
- Descrição das características dos maciços rochosos (baseado na estrutura, descontinuidades e perfil de alteração (meteorização)).

Com base nos critérios foram definidas as unidades geotécnicas, conforme tabela 7.

Tabela 7 - Carta geotécnica do Porto, principais características das unidades geotécnicas (Oliveira et al., 2006)

Unit	Classification		Quality (a)	Angle of Friction (°)	Cohesion (kPa)	E (MPa)	V <sub>L</sub> (m/s)	Heterog.
	ASTM	AASHTO						
<b>G4-G</b>	SM, SC (CL, ML)	A-2, A-1, A-4 (A-6, A-7, A-5)	10 <N <sub>SPT</sub> < 30 (4 <N <sub>SPT</sub> < 10)	30 a 36	10 a 20	10 a 30	450 a 900	Low
<b>G4-C</b>	SM, SC, CL (MH, ML)	A-4, A-2, A-1 (A-6, A-7, A-5)	10 <N <sub>SPT</sub> < 30 (4 <N <sub>SPT</sub> < 10)	30 a 34	8 a 18	10 a 30	-	Medium
<b>G8-A</b>	SM (SC)	A-2, A-1, A-4	N <sub>SPT</sub> > 30 R0 (R1)	32 a 37	12 a 25	30 a 60	1000 a 1350	Low
<b>G8-B</b>	SM (SC)	A-2, A-1 (A-4)	N <sub>SPT</sub> > 50 R1-0 (R2)	>38	Undefined	50 a 120	1250 a 1950	Low

Unit	Weather.	Fracture spacing	Quality (b)	Angle of Friction (°)	Cohesion (MPa)	Uniax. Compres. Strength (MPa)	Ei (GPa)	V <sub>L</sub> (m/s)	Heterog.
<b>G9-A</b>	W3 (W4)	F2-4 (F5)	25% <RQD < 75% R2-3 (R1, R4)	45° a 55°	0,5 a 1,3 (W4) 2,2 a 7,0 (W3)	3,0 a 10 (W4) 15 a 50 (W3) 35 a 75 (W2)	0,5 a 3 (W4) 1 a 6 (W3)	1950-2700	Low
<b>G9-B</b>	W2-3	F2-3 (F1-2, F3-4)	RQD > 75% R2-4 (R5)	-	-	70 a 120	15 a 25	2750 - 4200	Low

(a) soils: density or consistency classification (based on SPT tests)

(b) Rock masses: classification based on RQD and uniaxial compressive strength (R)

Relativamente à base de dados (figura 7), foi desenvolvido um modelo relacional em MsAccess97 designado por GEODATA, com programação em Visual Basic 6.0. O modelo é constituído por três módulos: *Geophysical Investigations*, *Mechanical Investigations* e *In Situ Tests*.

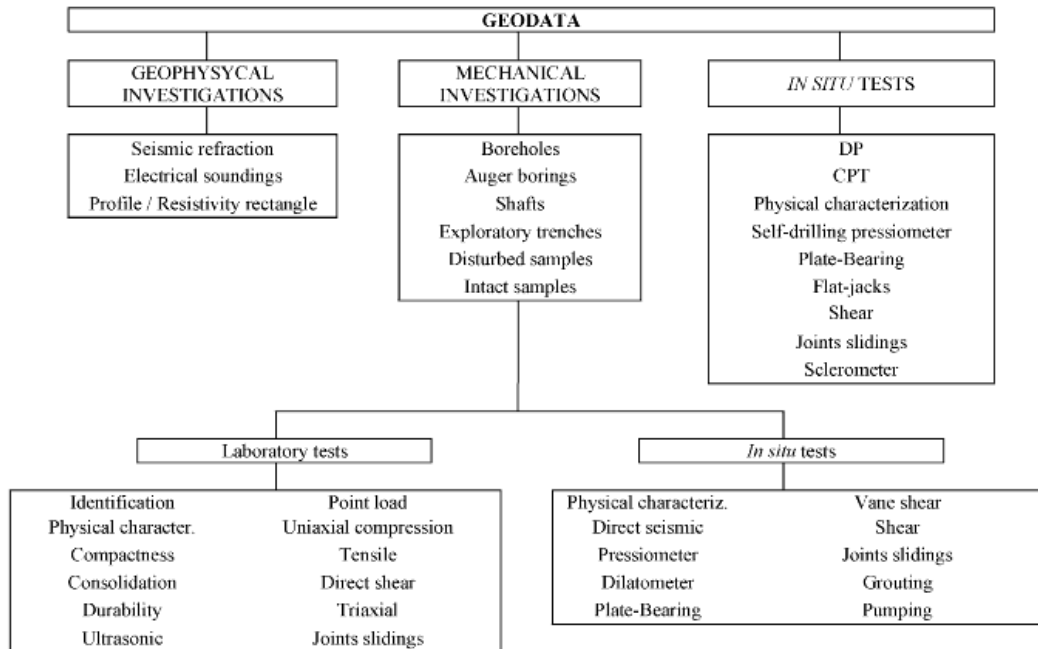


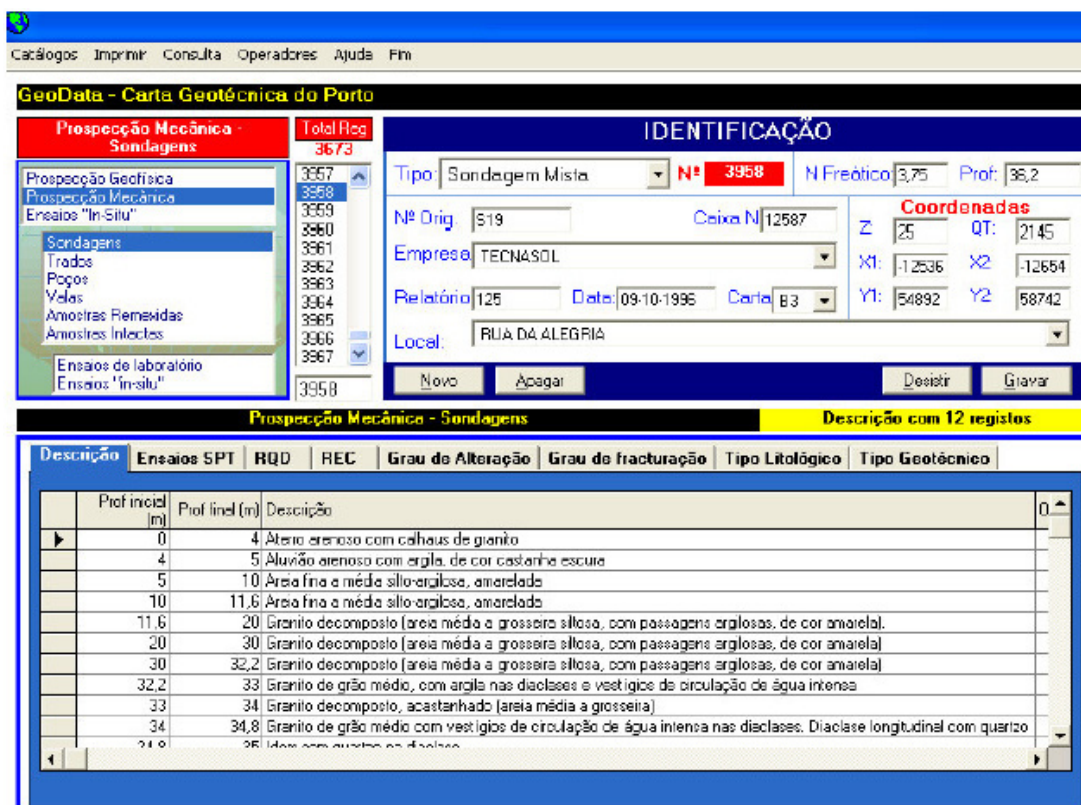
Figura 7 - GEODATA, carta geotécnica do Porto, estrutura do modelo da base de dados relacional (Oliveira et al., 2006)

A cada módulo está associado um menu que conduz o utilizador a uma ou mais tabelas. As tabelas que contém dados da mesma fonte estão relacionadas. A relação é conseguida através de uma numeração indexada, esta numeração por sua vez está presente na carta *Investigation Works Map*, (figura 6). Deste modo há uma interligação entre os dados e a carta.

As consultas no programa podem ser efetuadas por:

- Tipo de trabalho;
- Localização;
- Número;
- Litologia;
- Tipo geotécnico.

Para impressão de documentos o acesso é independente; é efetuado através do menu principal, (figura 8).



Como se pode verificar o modelo desenvolvido nesta aplicação é bastante completo, havendo uma interação entre a cartografia e a base de dados, o modelo é suportado por um SIG, que permite gerir o conjunto de dados de índole geotécnica.

Ainda em relação à BDR Veiga (2011), propôs uma base de dados criada em Microsoft Access para armazenar todos os dados de cariz, geológico e geotécnico. Na figura 9 está presente uma lista de tabelas criadas, esta base de dados é constituída por 26 tabelas.

A autora indica que tem como tabela central a tabela “Relatório” e que as tabelas que têm um atributo em comum estão relacionadas entre si.

Sendo o principal objetivo deste trabalho, a implementação de um SIG, baseado em metodologias de Sistemas de Informação Geográfica no âmbito da cartografia geotécnica, e considerando o modelo obtido pela Câmara do Porto um bom exemplo, não deixará certamente de influenciar positivamente o desenvolvimento dos trabalhos aqui propostos

<b>Amostra</b> IDAmostra IDLitologia Tipo ProfInicial ProfFinal Litologia	<b>Dissipacao</b> IDDissipacao IDPenetEstatico Profundidade FactorTempoM RaioCone IndiceRigidezSc	<b>EnsaioLaboratorio</b> IDEnsaioLabora IDAmostra 19,00-mm 4,76-mm 2,00-mm 0,420-mm	<b>Litologia</b> IDLitologia IDPocoVala IDPontoObserv IDSondagem ProfInicial ProfFinal	<b>Magnetica</b> IDMagnetica IDProspeccaoGeof
<b>NivelAgua</b> IDNivelAgua IDPocoVala IDPontoObserv IDSondagem ProfInicial ProfFinal	<b>PenetDinamico</b> IDPenetrometr MassaMartelo-I MassaBatenteV MassaVara-kg AvancoUnitario AlturaQuedaMe	<b>PenetEstatico</b> IDPenetrometro Tipo Referencia	<b>Penetrometro</b> IDPenetrometr IDRelatorio Tipo Referencia Coord_x Coord_y	<b>PocoVala</b> IDPocoVala IDRelatorio Referencia Tipo Coord_x Coord_y
<b>PontoObservaCao</b> IDPontoObserv IDRelatorio Coord_x Coord_y CotaAproximad CotaDetermina	<b>Pressiometro</b> IDPressiometro IDSondagem Profundidade ComprimentoC DiametroCamar PIMPa	<b>ProspeccaoGeofisica</b> IDProspeccaoG IDRelatorio Referencia Coord_x Coord_y CotaAproximad	<b>Radar</b> IDRadar IDProspeccaoGeof	<b>ReflexaoSismica</b> IDReflexaoSismica IDProspeccaoGeof
<b>RefracaoSismica</b> IDRefracaoSistr IDProspeccaoG Referencia x1 y1 Cota1	<b>RegistroDissipacao</b> IDRegistroDissipaca IDDissipacao Tempo-s U2-kPa	<b>RegistroPenetDinami...</b> IDRegistroPenetDin IDPenetDinamico Profundidade NumeroGolpes	<b>RegistroPenetEstatico</b> IDRegistroPenet IDPenetEstatico Profundidade Qc-MPa Fs-kPa Velocidade-cm/	<b>RegistroRefracaoSis...</b> IDRegistroRefract IDRefracaoSistr VL ProfInicial ProfFinal HorizonteGeote
<b>Relatorio</b> IDRelatorio Referencia Nome Tipo Empresa Morada	<b>ResistividadeElectrica</b> IDResistividadeEle IDProspeccaoGeof	<b>RQD</b> IDRQD IDSondagem ProfInicial ProfFinal RQD	<b>SCPTU</b> IDSCPTU IDPenetEstatico Profundidade-m Vs	<b>Sondagem</b> IDSondagem IDRelatorio Referencia Coord_x Coord_y CotaAproximad
<b>SPT</b> IDSPT IDSondagem ProfInicial ProfFinal 1_fase 2_fase				

Figura 9 - Base de Dados, Caracterização Geotécnica. (Veiga, 2011)

## 9. Considerações Finais - O Modelo

Em conformidade com os objetivos e plano propostos, pretende-se com este trabalho numa primeira etapa gerar cartas geotécnicas atualizadas, de uma forma interativa para posteriormente, com o benefício do modelo a ser criado em ambiente SIG, permitir a elaboração de diversas cartas temáticas, cartas de risco, cartas de superfície com informação geológica e geotécnica diversa.

Nesse sentido idealizou-se um modelo, baseado em algumas aplicações existentes e referidas neste capítulo, caso do Porto referido no item 8 deste capítulo.

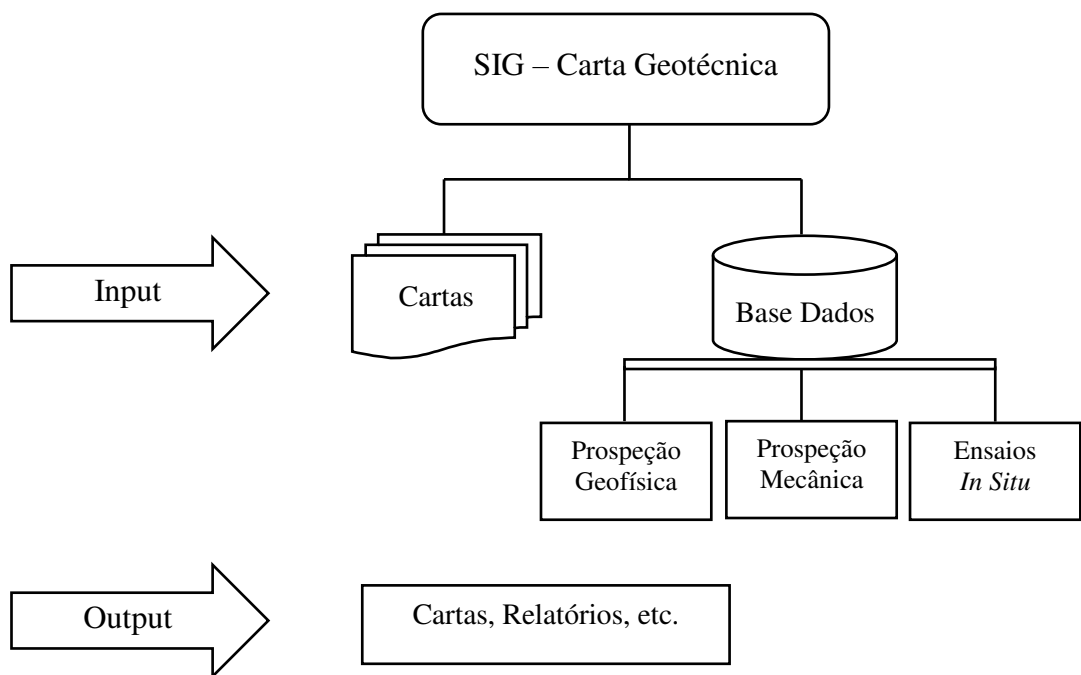


Figura 10 - Modelo, SIG-Carta Geotécnica

Este modelo é constituído por um input cartográfico e de base de dados. Relativamente à cartografia, como referido anteriormente, existe como referência a carta topográfica e carta geológica da área em estudo, não desprezando também a cartografia livre existente em arquivos web (Google, igeo, OpenStreetMap, entre outros).

Como output, podem-se gerar várias saídas gráficas, que numa primeira fase serão o resultado do cruzamento da topografia (rede viária, limites, etc.) com a carta geológica.

Delimitada a área de intervenção, neste caso à Zona Urbana da Guarda (ZUG), entraremos numa fase de construção de novos temas, com dados recolhidos em campo, especificamente a delimitação de áreas identificadoras do grau de alteração do granito. Os dados recolhidos em campo podem permitir a atualização dos dados gráficos existentes, a base de dados alfanumérica e deste modo criar novos temas de informação. Numa fase posterior poderá ser caracterizado o grau de fracturação do granito, entre outros parâmetros físicos, químicos ou mecânicos.



# Capítulo 4 - Sistemas de Referência

## 1. Generalidades

OS Sistemas de Informação Geográfica têm como uma das suas capacidades a representação da Terra, muitas vezes em pequenas porções ou áreas, em representações planas, resultantes de projeções cartográficas e num determinado sistema de referência.

A Direção Geral do Território (DGT), na sua página oficial (<http://www.dgterritorio.pt/>), define da seguinte forma sistemas de referência: “Designa-se por sistema geodésico de referência o conjunto de parâmetros que permite posicionar univocamente um objeto sobre a superfície da Terra”.

Quando se combinam dados provenientes de diferentes sistemas de referência encontram-se imprecisões ou discrepâncias que advêm da utilização de diferentes projeções cartográficas, assim como de todos os parâmetros envolvidos na conversão entre sistemas de coordenadas, que se irá abordar no item 3 deste capítulo.

O QGIS, tal como outros Sistemas de Informação Geográfica congêneres, permite trabalhar com mapas em diferentes sistemas de coordenadas, convertendo-os, de forma automática, para um mesmo sistema definido para o projeto. Outra alternativa será converter cada mapa para um mesmo sistema de coordenadas e assim haverá um esforço menor de processamento. Portanto, é necessário conhecer com rigor os parâmetros do sistema de coordenadas dos mapas utilizados em cada projeto, pois se o sistema for incorretamente indicado dará origem a transformações incorretas.

Como a forma da Terra é bastante irregular (figura 11), não existe um modelo matemático capaz de a representar, é necessário adaptar diversos modelos para a sua representação, em função dos objetivos a atingir, como seja por exemplo a área geográfica a representar.

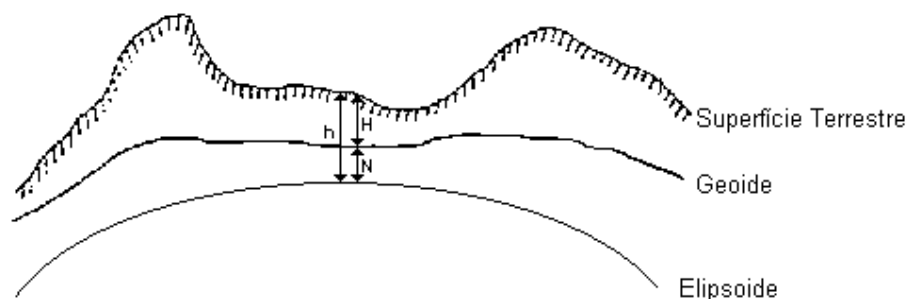


Figura 11 - Superfícies de referência, Geoide e Elipsoide, DGT (<http://www.dgterritorio.pt/>), 2019

A figura 11 representa duas superfícies de referência, o elipsoide que servirá, como veremos no parágrafo seguinte, de modelo para a superfície terrestre e o geóide que é a superfície de referência para as altitudes. Em Portugal, mais precisamente em Cascais, existe um marégrafo que mede a ondulação das marés e serve de ponto de referência para o cálculo das altitudes. Nesta figura,  $H$  representa a altitude ortométrica medida na vertical em relação à superfície de referência, tradicionalmente medida através de nivelamento geométrico e nivelamento trigonométrico,  $h$  representa a altitude elipsoidal pode ser medida com um recetor GNSS (*Global Navigation Satellite System*),  $N$  a ondulação do geóide medido por processos gravimétricos e  $H=h-N$ .

A forma da Terra é aproximadamente esférica, numa representação tridimensional simples, para se efetuar uma projeção plana, a geodesia e a cartografia utilizam como modelo da superfície da Terra o elipsoide (figura 12), do qual se terão que definir os seus parâmetros matemáticos, semieixo maior ( $a$ ), semieixo menor ( $b$ ) e achatamento ( $f=(a-b)/a$ ).

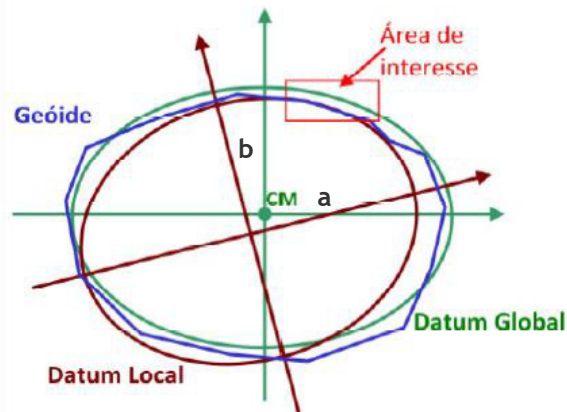


Figura 12 - Datum Local e Datum Global, (Vasconcelos M. 2017) (<http://www.dgterritorio.pt/>), 2019

Na figura 12, o geóide é a superfície que se aproxima ao nível médio das águas do mar, o datum global é a superfície que melhor se aproxima da superfície Terrestre, os recetores GNSS utilizam um datum global, e por último, o datum local aproxima-se da superfície terrestre na área de interesse em que por regra, no centro da área, o datum é tangente à superfície terrestre. A este ponto de tangencia dá-se o nome de ponto astronómico fundamental (designa-se por ponto astronómico fundamental o ponto de um datum local onde é efectuada a coincidência entre as coordenadas astronómicas e geodésicas).

A passagem de uma superfície curva para um plano, dá origem a erros, tome-se por exemplo a tentativa de espalmar uma casca de laranja sem a danificar. A cartografia, para minimizar este facto utiliza projeções cónicas e cilíndricas, pois estas minimizam as deformações.

Em termos analíticos uma projeção cartográfica consiste nas seguintes funções (4.1):

$$\begin{cases} X = f_1(\lambda, \varphi) \\ Y = f_2(\lambda, \varphi) \end{cases} \quad (4.1)$$

X e Y são as coordenadas planas retangulares correspondentes às coordenadas geodésicas  $\lambda$ (latitude) e  $\varphi$ (longitude), X e Y são normalmente expressos em metros.

Existe um grande número de projeções cartográficas, não sendo intenção deste trabalho o seu estudo, no entanto é de realçar que em qualquer projeção há deformações, que ocorrem nos seguintes elementos de representação cartográfica:

- ✓ Ângulos;
- ✓ Distâncias;
- ✓ Áreas.

Consoante o objetivo a atingir, ou seja, o tipo de elemento ao qual pretendemos minimizar o erro, assim se opta por um tipo de projeção:

- ✓ Projeção conformes, conserva os ângulos;
- ✓ Projeção equivalentes, conserva as áreas;
- ✓ Projeção equidistantes, conserva as distâncias.

As projeções, de acordo com a superfície de projeção, ou seja, a projeção da Terra ou parte dela sobre uma superfície plana, cilíndrica ou cónica, classificam-se em três grupos:

- ✓ Projeção azimutal ou plana;
- ✓ Projeção cilíndrica (a mais frequente);
- ✓ Projeção cónica.

As projeções cartográficas mais utilizadas em séries cartográficas portuguesas são baseadas nas de Bonne e de Gauss-Kruger, associados respetivamente aos elipsoides de Bessel e de Hayford ou International (Matos J. 2008).

Estes elipsoides são fixados em Portugal através de dois *data* principais de natureza astronómica. Consistem num ponto astronómico fundamental, em que se consideram as coordenadas geodésicas, sobre o elipsoide, e as astronómicas coincidentes.

O datum mais antigo foi materializado no castelo de S. Jorge, sec. XVIII, é conhecido pelo datum Lisboa ou DtLX.

Observações efetuadas em 1973, permitiram definir um datum mais rigoroso, cujo ponto astronómico fundamental se situa em Melriça. É conhecido pelo datum 73 ou Dt73.

O sistema de referência para as altitudes é distinto do utilizado para a latitude e longitude, datum horizontal. Para o datum vertical ou altimétrico, é utilizado como referência um valor

obtido a partir de medições do nível médio das águas do mar realizadas no marégrafo de Cascais.

Há um terceiro datum, ED50, que surge na cartografia portuguesa, é um datum europeu, utilizado para compatibilizar a cartografia entre os países europeus. O ponto astronómico fundamental encontra-se em Potsdam na Alemanha.

Recentemente foi ainda introduzido o datum ETRF89 (European Terrestrial reference Frame 1989) que veio assumir o papel de sistema de referência fundamental para o território de Portugal continental.

## 2. *Data* e Projeções Cartográficas em Portugal

As projeções cartográficas mais utilizadas em Portugal são:

- Projeção de Bonne - Mantém as áreas
- Projeção de Gauss-Kruger - Mantém os ângulos e as formas, mas deforma as áreas

Os data portugueses são astronómicos topocêntricos, baseados nas observações astronómicas e o elipsoide é posicionado em função de um ponto na zona abrangida pelo datum, assim para o datum Lisboa tem para a latitude do datum ( $\varphi_D$ ), longitude do datum ( $\lambda_D$ ) e altitude do datum (H) os seguintes valores,

- DtLx:
  - $\varphi_D=38^{\circ}42'43.361''N$
  - $\lambda_D=9^{\circ}07'54.862''W$
  - $H=111.229$

De referir que estes parâmetros não são os do datum mais antigo, que datava do Sec. XVIII, quando o observatório astronómico se localizava no Castelo de São Jorge.

Para o datum 73,

- Datum 73 (DT73):
  - $\varphi_D=39^{\circ}41'37.300''N$
  - $\lambda_D=8^{\circ}07'53.310W$

Para o datum Europeu,

- Datum Europeu (ED50):
  - $\varphi_D=52^{\circ}22'51.450''N$
  - $\lambda_D=13^{\circ}03'58.740''N$

Para o datum ETRS89,

- Datum ETRS89:
  - $\varphi_0=39^{\circ}40'05.73''\text{ N}$
  - $\lambda_0=8^{\circ}07'59.19''\text{ N}$

O sistema de alturas utiliza o valor obtido através do nível da água do mar realizado pelo marégrafo de Cascais (datum altimétrico)

A cartografia das regiões autónomas dos Açores e da Madeira é apoiada em vários data locais:

- Data Ocidental
- Data Oriental
- Data Central
- Data Porto Santo

Recentemente foi ainda introduzido o ETRF89 (European Terrestrial reference Frame 1989) que veio assumir o papel de sistema de referência fundamental para o território de Portugal continental.

## 2.1. Sistema Bessel-Bonne

A projeção de Bonne é atualmente utilizada com o elipsoide de Bessel posicionado pelo antigo DtLx, num cone tangente ao elipsoide num paralelo central à latitude:

$$\varphi_0=39^{\circ}40'\text{ N}$$

O ponto central da projeção é definido pela interseção do paralelo referido com um meridiano de longitude:

$$\lambda_0=8^{\circ}07'54.806''\text{ W}$$

Atualmente as coordenadas obtidas resultam de uma transformação polinomial, em coordenadas cartográficas, a partir de um sistema mais recente. Em que a origem das coordenadas cartográficas é a do ponto central da projeção. O eixo das abcissas é orientado positivamente de Este para Oeste. O eixo das ordenadas é orientado positivamente de Norte para Sul, característica que facilmente os distingue dos outros sistemas (figura 13).

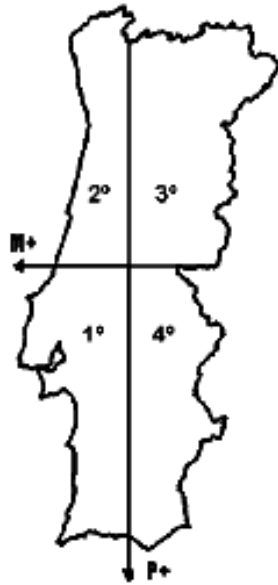


Figura 13 - Representação esquemática do sistema de eixos BBLx, adaptado de (Matos, J. 2001)

O sistema de projeção cartográfica descrito, designado abreviadamente por BBLx (Sistema Bessel-Bonne, Datum Lisboa) é utilizado na elaboração da Carta Topográfica de Portugal à escala de 1/50 000, produzida pelo IPCC, e em diversas cartas topográficas e cartografia temática (principalmente cartografia geológica) nela baseada.

## 2.2. Sistema Gauss-Kruger

Este sistema foi adotado em Portugal em 1930, por ser o sistema que melhor se adapta à tributação fiscal da propriedade rústica, dado que respeita as áreas de pequenas figuras.

Na projeção Gauss-Kruger existem dois sistemas nacionais fundamentais associados aos Data DtLx e Dt73. A projeção do elipsoide de Hayford posicionado pelo DtLx, num cilindro tangente ao meridiano central de longitude:

- $\lambda_0=9^{\circ}07'54.862''W$

É conhecida pelo sistema Hayford-Gauss do Datum de Lisboa (HGLx) ou Hayford-Gauss antigo. O ponto central do HGLx é definido pela interseção do meridiano central com o paralelo à latitude:

- $\varphi_0=39^{\circ}40'N$

A origem das coordenadas cartográficas de HGLx coincide com o ponto central. O eixo das abcissas é orientado positivamente de Sul para Norte, figura 14.

Datum LX  
(elipsóide de Hayford)  
Projeção Gauss-Kruger

Ponto Central  
Latitude: 39° 40'  
Longitude: -8° 7' 54,862"

Falsa Origem  
DX=0 m  
DY=0 m

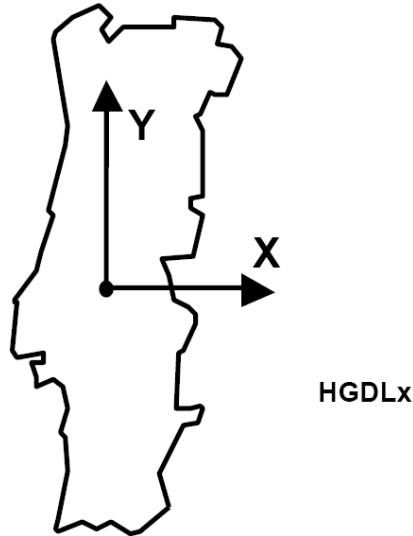


Figura 14 - Representação esquemática do sistema de eixos HGDLx e HGD73, adaptado de (Matos, J. 2006)

O sistema Hayford-Gauss serve de base ao sistema Hayford-Gauss Militar daí a sua relevância na produção da cartografia.

### 2.3. Sistema Hayford-Gauss Militar

O sistema é utilizado pelo Instituto Geográfico do Exército (IGeoE) na produção de Carta Topográfica Militar de Portugal à escala de 1/25 000 série M888, como é a série nacional de maior escala a cobrir integralmente o território, foi amplamente utilizada na produção de cartografia temática e de planeamento.

É um sistema derivado do HGLx por uma translação da origem das coordenadas cartográficas que torna positivas as coordenadas militares no território do continente (figura 15), em que:

$$M = X_{HGM} = X_{HGLx} + 200\text{km}$$

$$P = Y_{HGM} = Y_{HGLx} + 300\text{km}$$

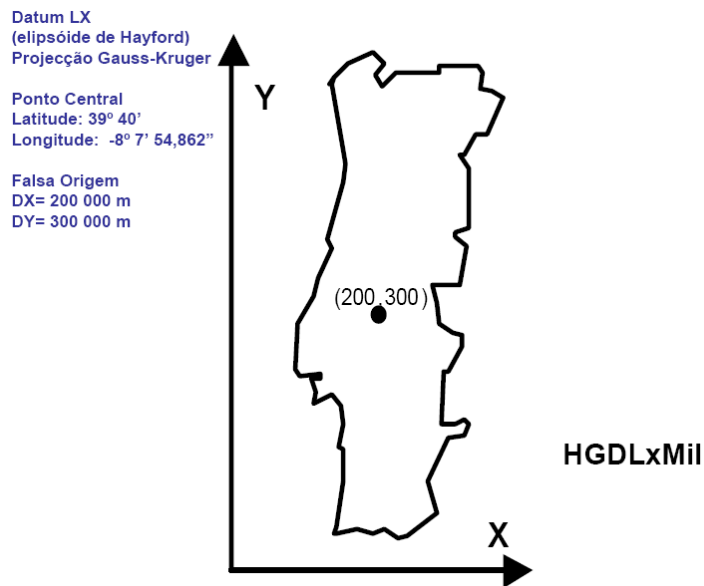


Figura 15 - Representação esquemática do sistema de eixos HGDLxMil, adaptado de (Matos, J. 2001)

As letras M e P utilizadas na anotação militar poderiam ser substituídas por X e Y, pois devido à translação as coordenadas já não traduzem uma distância à projeção do meridiano central nem à sua perpendicular.

O sistema de coordenadas do datum Dt73 (figura 16), baseando-se na projeção de Gauss-Kruger, tem o valor de longitude para o meridiano central idêntico ao HGLx e também igual valor de latitude, para o ponto central:

- $\lambda_p = 9^{\circ}07'54.862''\text{W}$
- $\varphi_0 = 39^{\circ}40'\text{N}$

Ao resultado (M,P) da projeção é aplicada uma translação em ambas as coordenadas:

$$M_{HG73} \rightarrow M + 180.598\text{m}$$

$$P_{HG73} \rightarrow P - 86.990\text{m}$$

A introdução desta translação destinou-se a minimizar as diferenças entre as coordenadas, entre o HG73 e o HGLx em todo o território. Note-se que os pontos centrais HGLx e HG73 correspondem a localizações diferentes.

Datum 73  
(elipsóide de Hayford)  
Projeção Gauss-Kruger

Ponto Central  
Latitude: 39° 40'  
Longitude: -8° 7' 54,862"

Falsa Origem  
DX=180,598m  
DY=-86,990

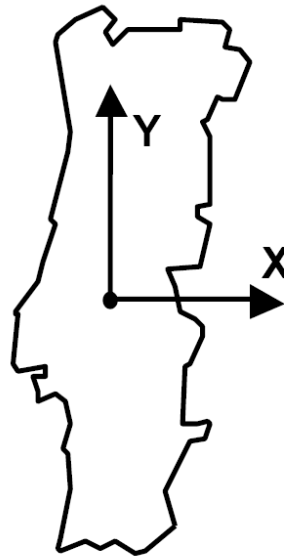


Figura 16 - Representação esquemática do sistema de eixos HGD73, adaptado de (Matos, J. 2001)

O datum 73(HG73) ou sistema Hayford-Gauss moderno é recomendado para cartografia de produção, não dependente de séries cartográficas anteriores.

A colocação em uso de ETRF89 trouxe também um novo sistema de projeção cartográfico baseado na projeção de Gauss-Kruger do elipsóide GRS80 ( $a= 6\,378\,137\text{m}$ ,  $f=1/298,257\,222\,101$ ) com os seguintes parâmetros para o ponto de projeção.

- $\lambda_D=8^{\circ}07'59.19''\text{W}$
- $\varphi_0=39^{\circ}40'05.73''\text{N}$

De referir ainda que a DGT indica para Portugal Continental, como sistema atual, o sistema de referência PT-TM06/ETRS89 (European Terrestrial Reference System 1989). Este sistema é um sistema global de referência recomendado pela EUREF (European Reference Frame).

### 3. Erros Inerentes às Transformações e Conversões entre Sistemas de Coordenadas

Quando se efetuam conversões entre coordenadas num mesmo datum, esta é exata, ou seja, não é afetada de qualquer incerteza. O problema coloca-se na transformação de coordenadas entre data diferentes, a transformação fica afetada pela incerteza associada às coordenadas dos pontos referenciados em ambos os sistemas e à estimativa de parâmetros de transformação.

Matos, J. (2006), refere que o processo mais exato para realizar uma transformação entre sistemas de coordenadas é, em primeiro lugar, proceder à conversão para coordenadas geodésicas e em segundo lugar para coordenadas cartesianas tridimensionais onde se processa à mudança de datum, em seguida volta-se às coordenadas geográficas, no mesmo datum, (figura 17).

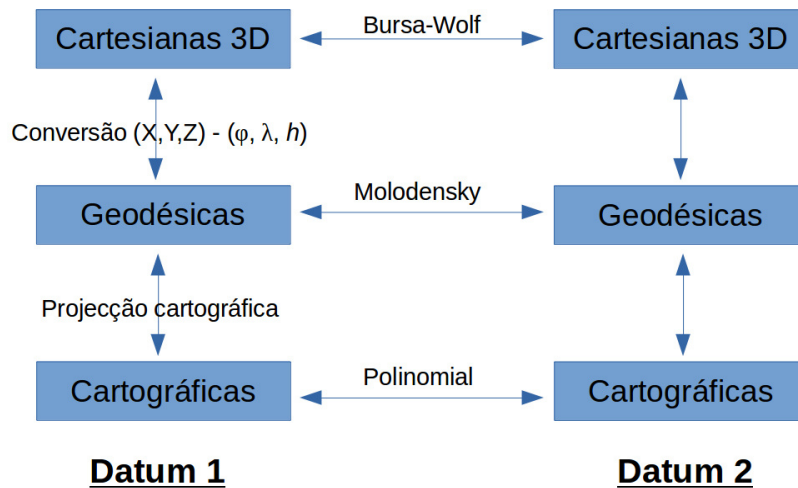


Figura 17 - Conversões e transformações entre sistemas de coordenadas, adaptado de (Matos, J. 2008)

Para a transformação de coordenadas entre dois data utilizam-se as transformações Bursa-Wolf, Molodensky e Polinomial, para cada caso respetivamente.

## 4. Sistema de Coordenadas QGIS, EPSG

Os sistemas de referência disponível no QGIS são baseados nos definidos pelo “European Petroleum Search Group” (EPSG) e do Instituto Geográfico Nacional de França (IGNF) e em grande parte referenciadas pelos utilizados na GDAL. Os identificadores EPSG estão presentes na base de dados do QGIS podendo ser usados para especificar o sistema de referência.

No portal do DGT (Direção Geral do Território), [http://mapas.igeo.pt/igp/epsg\\_codes.html](http://mapas.igeo.pt/igp/epsg_codes.html), encontra-se uma lista de códigos EPSG utilizados em Portugal e a sua correspondência com os sistemas nacionais:

### Portugal Continental - Sistemas Globais

- EPSG: 4936 (ETRS89/ Coordenadas Geocêntricas)
- EPSG: 4937 (ETRS89/ Coordenadas Geográficas 3D)
- EPSG: 4258 (ETRS89/ Coordenadas Geográficas 2D)
- EPSG: 3763 (ETRS89/ PT-TM06)

### **Portugal Continental - Sistemas Locais**

- EPSG: 4274 (Datum 73/ Coordenadas Geográficas 2D)
- EPSG: 27493 (Datum 73/ Hayford-Gauss)
- EPSG: 4207 (Datum Lisboa/ Coordenadas Geográficas 2D)
- EPSG: 5018 (Datum Lisboa/ Hayford-Gauss)
- EPSG: 20790 (Datum Lisboa/ Hayford-Gauss com falsa origem - Coordenadas Militares)

### **Arquipélagos dos Açores e da Madeira - Sistemas Globais**

- EPSG: 5011 (ITRF93/ Coordenadas Geocêntricas)
- EPSG: 5012 (ITRF93/ Coordenadas Geográficas 3D)
- EPSG: 5013 (ITRF93/ Coordenadas Geográficas 2D)
- EPSG: 5014 (ITRF93/ PTRAO8 - UTM zona 25N) - Grupo Ocidental do Arquipélago dos Açores
- EPSG: 5015 (ITRF93/ PTRAO8 - UTM zona 26N) - Grupo Central e Oriental do Arquipélago dos Açores
- EPSG: 5016 (ITRF93/ PTRAO8 - UTM zona 28N) - Madeira, Porto Santo, Desertas e Selvagens

### **Arquipélagos dos Açores e da Madeira - Sistemas Locais**

- EPSG: 2188 (Datum Observatório - Flores (Grupo Ocidental do Arquipélago dos Açores) / UTM zona 25N)
- EPSG: 2189 (Datum Base SW - Graciosa (Grupo Central do Arquipélago dos Açores) / UTM zona 26N)
- EPSG: 2190 (Datum S. Braz - S. Miguel (Grupo Oriental do Arquipélago dos Açores) / UTM zona 26N)
- EPSG: 2942 (Datum Base SE - Porto Santo (Madeira) / UTM zona 28N)

Estes códigos são mantidos pelo OGP - Surveying & Positioning Committee.

Como referido no início deste capítulo, é de extrema importância conhecer com rigor os parâmetros do sistema de referência do(s) mapa(s) que estamos a utilizar num determinado projeto, dando origem a erros de transformação de coordenadas, além dos naturalmente inerentes a elas.

Atualmente a indicação de um sistema de referência torna-se mais fácil com a utilização dos códigos EPSG, no entanto deveremos verificar sempre se os parâmetros inerentes ao código estão corretos, podem ser vistos na janela de diálogo em que indicamos o respetivo código,

ou posteriormente nos metadados, que estão presentes nas propriedades do tema a que corresponde o sistema de referência.

# Capítulo 5 - Métodos de Interpolação Espacial

## 1. Generalidades

A interpolação ou estimativa, são métodos que permitem a transformação de um conjunto de valores pontuais, assumidos como pontos de amostra de uma grandeza de variação contínua, numa superfície de valores da grandeza em análise. (Matos, 2008).

Na prática os métodos de interpolação têm como argumento uma matriz parcialmente preenchida ou um conjunto vetorial de pontos com um valor associado e têm como objetivo a obtenção de valores para as células não preenchidas. Mas a interpolação não é exclusiva de modelos matriciais, por exemplo com a interpolação linear pode ser gerada uma rede irregular triangulada vetorial.

Nos Modelos matriciais coloca-se uma rede regular sobre o terreno (figura 18), os fenómenos são distribuídos regularmente mediante células. A cada célula está associado um valor. Estes valores podem provir de medições específicas e automáticas para cada célula, de conversão vetorial/matricial (raster) ou interpolação.

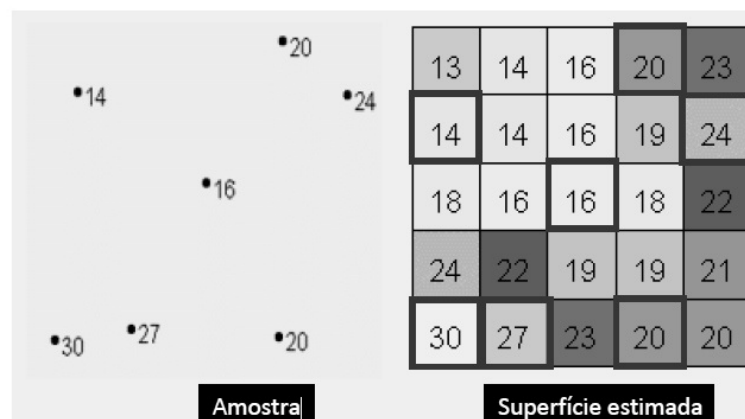


Figura 18 - Interpolação linear dados 2 pontos, estimam-se os valores das células intermédias

Os métodos de interpolação são necessários quando não é possível conhecer a distribuição contínua de uma dada grandeza, fenómeno usual nos problemas de caracterização mecânica e/ou física dos maciços terrosos e rochosos em geotecnia.

Para o mesmo conjunto de localizações e valores a superfície obtida por interpolação difere consoante o método adotado. O sucesso de um método de interpolação resulta da possibilidade de aplicação de conhecimento que possa inferir sobre a distribuição espacial.

## 2. Classificação dos Métodos de Interpolação

Os métodos de interpolação espacial podem ser classificados em relação a três fatores:

- Globais ou locais;
- Exatos ou inexatos;
- Determinísticos ou probabilísticos.

Na interpolação global todos os pontos conhecidos disponíveis são utilizados para estimar o valor desconhecido, enquanto que na interpolação local só uma amostra de pontos conhecidos é usada para estimar o valor desconhecido.

A interpolação exata prediz um valor para a localização de um ponto de amostra igual ao valor conhecido da amostra, ou seja, a interpolação exata gera superfícies que passam pelos pontos de controlo, pontos já existentes. Na interpolação inexata (ou aproximada) o valor calculado para a localização de um ponto de amostra difere do valor conhecido, a interpolação inexata gera superfícies que não passam pelos pontos da amostra que são tomados como pontos de controlo.

Quanto aos métodos determinísticos a superfície obtida é o resultado do ajustamento ao conjunto de valores pontuais, tendo em consideração que, o que está mais próximo deve ser mais semelhante que o que está distante, mas não tendo em atenção a autocorrelação espacial e as características particulares da distribuição espacial do fenómeno (Matos, 2008). Por fim nos métodos probabilísticos (estocásticos) é adotada uma aproximação formal das funções aleatórias, sendo primeiramente analisada a autocorrelação espacial dos valores da amostra. As relações observadas entre a distância para pares de valores conhecidos e a variação dos valores do fenómeno em estudo, são integradas na interpolação para modelar a variabilidade espacial da distribuição do fenómeno.

A tabela 8, resume a classificação dos métodos de interpolação espacial, de acordo com a classificação supramencionada.

Na geologia de engenharia e geotecnia, onde a partir de amostras se tenta conhecer uma determinada estrutura, ou a evolução dessa estrutura, os métodos de interpolação, nomeadamente o Kriging, pois analisa a autocorrelação espacial dos valores da amostra, são ferramentas a explorar.

Tabela 8 - Classificação dos métodos de interpolação espacial

Global		Local	
Determinístico	Probabilístico	Determinístico	Probabilístico
Superfície de tendência (inexacto)*	Regressão (inexacto)	Polígonos de Thiessen (exacto) Estimação de densidades (inexacto) IDW (exacto) Splines (exacto)	Kriging (exacto)

\*Tendo em conta alguns pressupostos necessários, a análise da superfície de tendência pode ser tratada como um caso especial de análise de regressão e, portanto, ser considerada um método probabilístico.

Dentro dos métodos determinísticos podemos utilizar IDW (Inverse Distance Weighted), Spline e a TIN (Triangular Irregular Network). Os modelos de interpolação probabilísticos que podemos usar são Krigagem (*Kriging*) e Cokrigagem (*Cokriging*). Vamos neste capítulo aprofundar os métodos determinísticos que utilizamos para a elaboração do modelo digital de terreno utilizado nesta investigação.

## 2.1. Modelos de Interpolação Determinísticos

Os métodos *Spline*, IDW e TIN são modelos determinísticos, permitem determinar superfícies de interpolação com recurso a abordagens distintas. O *Spline* permite o ajustamento a conjuntos dos pontos conhecidos funções polinomiais que permitem minimizar a curvatura global da superfície resultante.

O IDW estima para cada pixel da superfície a interpolar um valor com base em funções lineares que valorizam mais os valores conhecidos mais próximos. Como ilustra a figura 19.

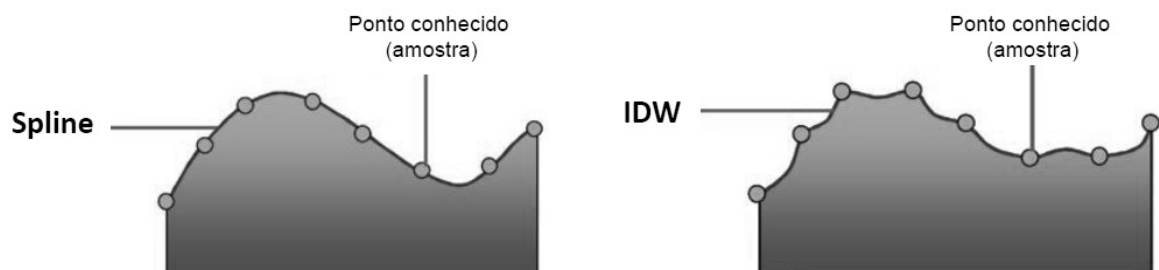


Figura 19 - Interpolação *Spline* e IDW

O modelo TIN (figura 20), consiste num modelo de dados vetoriais topológico, no qual pontos de coordenadas tridimensionais, x,y (localização geográfica) e z (elevação), são ligados por linhas formando uma rede de triângulos irregulares, não sobrepostos.

Os seus vértices, em geral, não têm a mesma elevação, o que leva a que cada triângulo tenha um determinado declive, o declive é dado pelo ângulo de inclinação da face do triângulo em relação ao plano horizontal, e uma determinada exposição dada pela normal a essa face do triângulo.

A informação de cada atributo é armazenada nos nós e nas faces do triângulo, conforme tabelas da figura 20, com uma estrutura semelhante. Esta estrutura segue o conceito das estruturas topológicas que representam redes de polígonos, ou seja, cada nó tem um registo associado na tabela “Coordenadas X-Y” e na tabela “Coordenadas Z”, por outro lado cada triângulo, entendido topologicamente como polígono tem um registo a ele associado na tabela “Fronteiras”, conhecendo assim os polígonos adjacentes a ele e na tabela “Nós”, que contém a informação dos nós ou pontos que o formam.

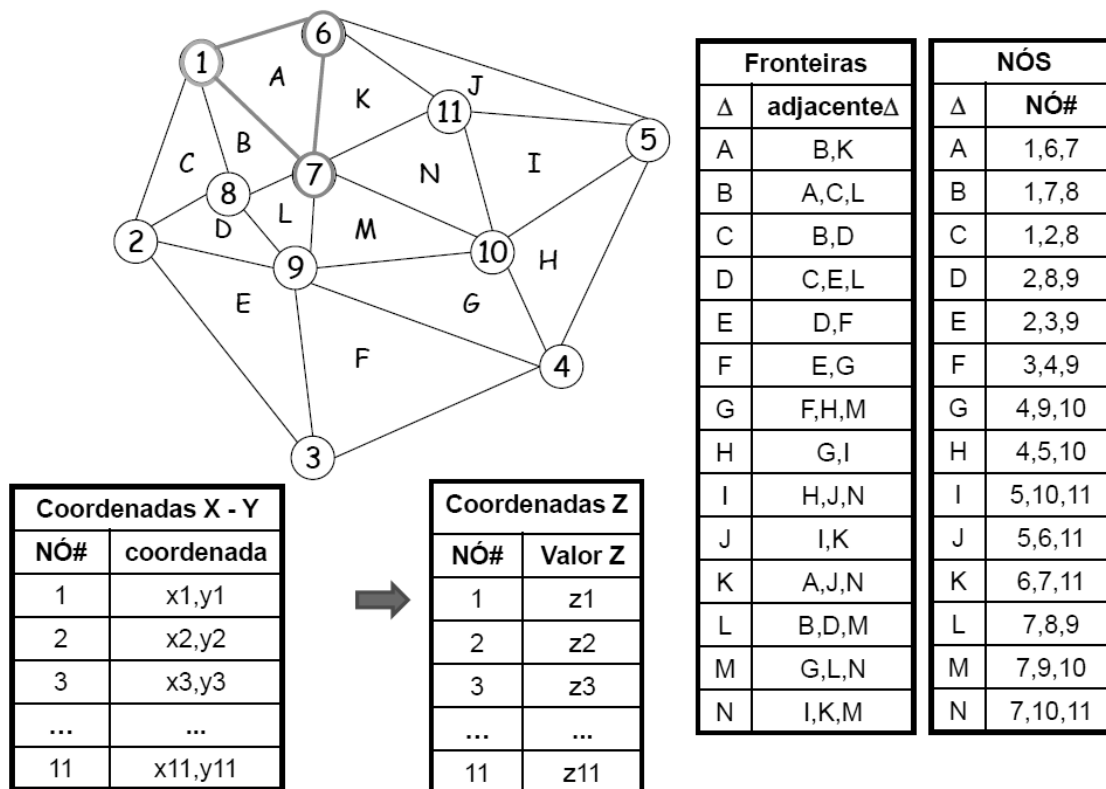


Figura 20 - Modelo TIN

O modelo TIN apresenta as seguintes vantagens:

- A organização interna do ficheiro, que o torna mais atrativo para trabalhos que envolvam a modelação da morfologia do território; menos memória necessária para o mesmo pormenor.
- A forma simples e precisa de representar as mais diversas superfícies e o facto de ser mais rigoroso na representação do relevo torna-o mais indicado para representar territórios geomorfologicamente acidentados (pontos de input são mantidos na superfície interpolada; a interpolação TIN é exata)

Como desvantagem salienta-se o consumo de tempo para a constituição inicial do modelo, pelo facto da estrutura de dados vetorial ser relativamente complexa em oposição aos modelos matriciais.

O método IDW é um método de interpolação que estima o valor das células, através da média ponderada dos valores dos pontos de amostra, que se encontram na vizinhança de cada célula a processar. Quanto mais perto o ponto se encontra da célula a estimar, maior a sua influência (ou peso), na aferição da média ponderada (figura 21).

A ponderação é associada ao inverso da distância, na equação (5.1)  $W_i = 1/d$ , assim o dado mais próximo tem maior peso no cálculo do valor a atribuir à célula.

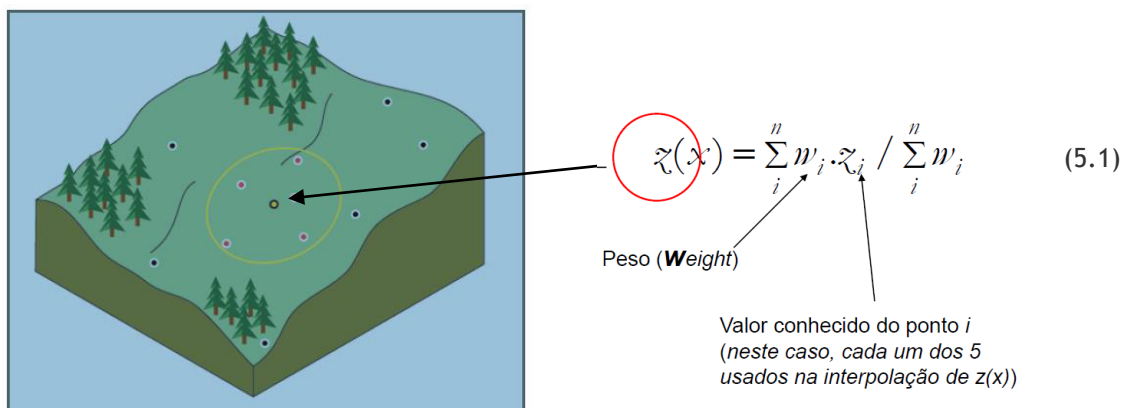


Figura 21 - Modelo IDW

Para controlar a diminuição do peso ( $W_i$ ) com o aumento da distância, pode elevar-se  $1/d$  a um expoente  $\alpha$ , a tabela 9 mostra a variação do peso  $W$  em função da distância, para  $\alpha = 1$

Tabela 9 - Comparação distância e inverso da distância para  $\alpha = 1$

Distância $d$	$W_i = 1/d^\alpha$
100	0,010
90	0,011
80	0,013
70	0,014
60	0,017
50	0,020
40	0,025
30	0,033
20	0,050
10	0,100
1	1,000

Quanto maior o expoente  $\alpha$  que se eleva  $1/d$ , maior é o peso relativo ( $w$ ) atribuído aos valores próximos, e mais rapidamente ele diminui com a distância. Portanto, o fator localização é

basilar, o método IDW considera a distância relativa a cada ponto a calcular, o que significa que os valores a determinar e consequentemente a superfície a representar dependem da posição dos valores conhecidos.

A interpolação baseada em Splines assenta em polinómios que se aplicam a subconjuntos de observações (pontos conhecidos) em ordem a estimar cada valor desconhecido. O resultado é o ajustamento de uma superfície polinomial aos valores conhecidos, com dois critérios fundamentais:

1. A superfície passa por todos os pontos conhecidos (implicando que o método Spline é, tal como o método IDW, um método exato de interpolação);
2. A curvatura da superfície gerada é minimizada.

Curvatura é uma propriedade fundamental na descrição do relevo. Usando como exemplo uma superfície topográfica, definida por valores de altitude, a primeira derivada será o declive (a variação da altitude com a distância), e a segunda derivada a curvatura (variação do declive com a distância). As variações do declive permitem definir dois tipos de curvatura: a curvatura positiva (convexa) e a curvatura negativa (concava). Uma superfície plana terá curvatura nula. A figura 22 mostra o efeito das variações de curvatura no relevo.

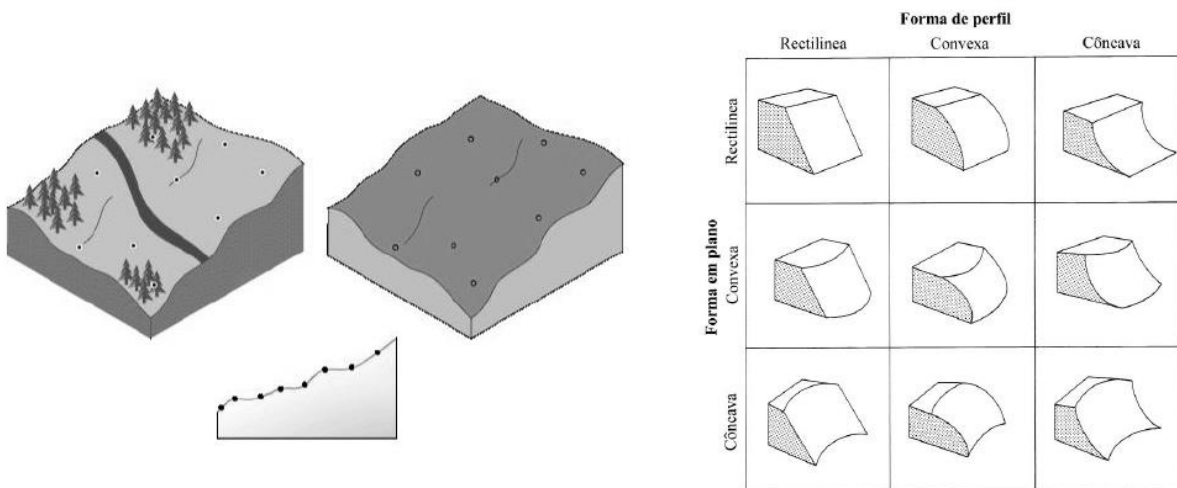


Figura 22 - Relevo, tipos de curvatura

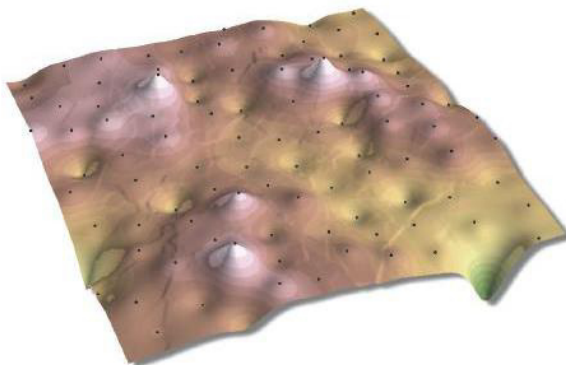
Na tabela 10 apresenta-se uma breve comparação entre os métodos de interpolação IDW e Spline. Ambos os métodos são exatos, o método IDW não ultrapassa os valores máximo e mínimo da amostra, mas tende a produzir superfícies pouco suavizadas. Já o método Spline pode ultrapassar os valores máximo e mínimo da amostra, mas as superfícies são mais suaves.

Tabela 10 - Comparação entre interpolação IDW e Spline

IDW	Spline
Mantém os valores dos pontos amostrais (exato)	Mantém os valores dos pontos amostrais (exato).
Simples e intuitivo	
Não ultrapassa os valores mínimo e máximo dos pontos amostrais: adequado a situações em que se sabe que a realidade não ultrapassa estes limites	Pode ultrapassar os valores mínimos e máximos da amostra: adequado a situações em que a amostra não abrange os extremos de variação do fenómeno
Permite inserir barreiras lineares a limitar a interpolação	Produz tendencialmente superfícies mais suavizadas
Problema: tende a produzir superfícies pouco suavizadas, com “picos” e “covas” nos locais dos pontos conhecidos.	Grau de suavização deve ser controlado, a fim de não gerar superfícies irrealistas

A figura 23 reflete as conclusões retiradas da tabela 10, verificando que o método Spline produz superfícies mais suaves.

Inverse Distance Weighted



Spline

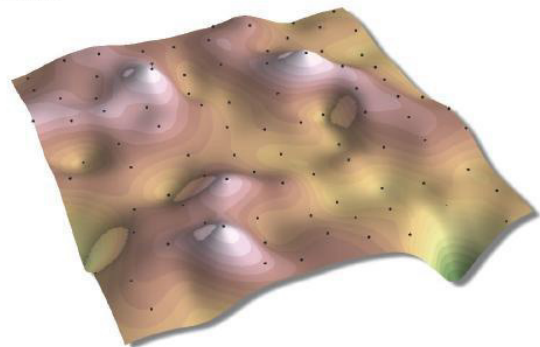


Figura 23 - Comparação de resultados dos métodos IDW e SPLINE



# Capítulo 6 - Modelos Digitais de Terreno

## 1. Enquadramento

Em sistemas de informação geográfica, definem-se os Modelos Digitais de Terreno (MDT) por qualquer conjunto de dados em suporte numérico que, para uma dada zona, permite associar a qualquer ponto definido sobre um plano cartográfico, um valor correspondente à sua altitude (Matos, 2008).

Os modelos digitais tridimensionais também podem ser designados de modelos digitais de superfícies, representando a superfície, independentemente de ser a do terreno ou dos elementos construídos na sua superfície. Por último, os Modelos Digitais de Terreno (MDT) são ainda referidos como Modelos Numéricos de Terreno (MNT) por tradução direta do inglês Digital Terrain Model (DTM).

Os MDT poderão ser representados por uma expressão matemática aplicando  $R^2$  em  $R^3$ , por um conjunto de pontos e linhas associadas a uma regra de interpolação, por uma superfície composta por faces num espaço tridimensional ou células dispostas regularmente.

A modelação de um fenómeno geográfico com distribuição contínua, através de um modelo digital de terreno, pode levantar algumas dificuldades, que podem ser ultrapassadas com recurso a estruturas de dados matriciais, em detrimento de estruturas vetoriais.

Na modelação geográfica, o estudo adequado das características da construção do MDT é muito importante, pois só com uma análise da adequação do modelo é possível apresentar resultados muito próximos dos fenómenos que se pretendem estudar.

Com o desenvolvimento teórico e técnico, é possível medir a altitude de um número tão grande de pontos, de forma a diminuir a importância do método de interpolação e garantindo uma menor discrepância entre o modelo e o terreno.

A aquisição de um elevado volume de dados necessária à modelação requer a utilização de estruturas de dados e algoritmos otimizados para um melhor desempenho, bem como senso na avaliação da dimensão do problema face aos recursos disponíveis.

## 2. Conceitos Básicos Sobre Relevo

Os elementos fundamentais de representação do relevo são pontos cotados e as curvas de nível. Os pontos cotados são pontos cujas suas coordenadas cartográficas/geodésicas e altitude são conhecidas. Para caracterizar a superfície podem ser distribuídas de forma aleatória ou regular.

As curvas de nível representam a interseção do terreno com uma superfície de nível de uma dada altitude. Podem ser desenhadas diretamente como ocorre no processo de estereorestituição, através de processos fotogramétricos com utilização de um par estereoscópico de fotografias ou modelo estereoscópico de fotografias, ou obtidas por interpolação a partir de pontos cotados. Na sua representação cartográfica as curvas de nível são a intersecção do terreno com superfícies de nível separadas por uma diferença de altitude constante, ou seja, equidistância natural.

A Equidistância gráfica é traduzida pela seguinte expressão  $e = \frac{\varepsilon}{N}$ , em que N é o módulo da escala,  $\varepsilon$  a distância natural e e a equidistância gráfica.

A determinação dos pontos de uma curva de nível a partir de pontos cotados é feita interpolando as altitudes de pares de pontos entre os quais o terreno tem um comportamento aproximadamente linear.

O critério de escolha de pontos para efetuar a interpolação é algo subjetivo, devendo-se ter em consideração a possibilidade de ocorrência das seguintes situações, figura 24.

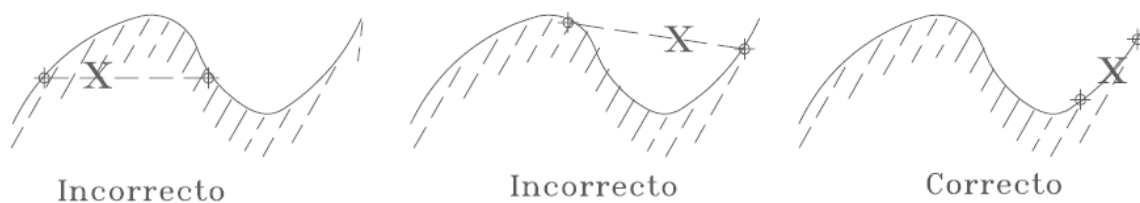


Figura 24 - Interpolação entre pontos cotados, adaptado de (Matos, J. 2008)

Admitindo que o declive entre duas curvas de nível consecutivas seja constante, por análise da figura 24, devem ser utilizados pontos, para a construção das mesmas, cuja reta que represente a distância mais curta entre eles, mantenha essa regularidade.

Tomando os pontos a e b de altitudes conhecidas (figura 25), a altitude de um ponto intermédio X, situado no alinhamento que represente a distância mais curta entre os pontos a

e  $b$  é dado pela relação (6.1), em que a  $h_x$  é a altitude do ponto  $x$ ,  $h_a$  e  $h_b$  as altitudes dos pontos  $a$  e  $b$ ,  $d_{ab}$  a distância medida na carta entre  $a$  e  $b$  e  $d_{ax}$  a distância medida na carta entre  $a$  e  $x$ , note-se que não é importante a escala de representação planimétrica para o cálculo. A distância entre esses dois pontos, é dado pela relação (6.2)

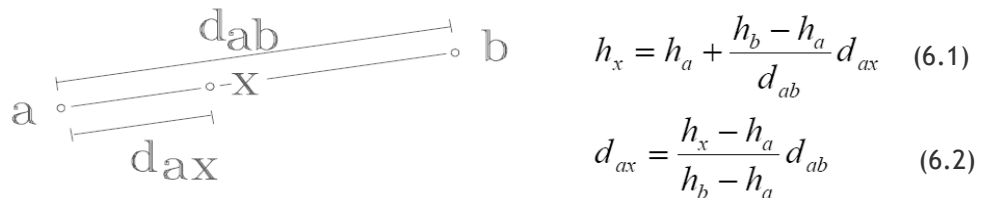


Figura 25 - Declive entre dois pontos, adaptado de (Matos, J. 2008)

Portanto poderemos utilizar a relação (6.1) quando se pretende determinar a altitude de um ponto entre duas curvas de nível ou entre dois pontos cotados.

O declive sendo uma medida de inclinação do terreno, a sua expressão matemática está representada pela relação (6.3):

$$\delta_{ab} = \frac{h_b - h_a}{d_{ab}} \quad (6.3)$$

O resultado varia de zero, ou seja, um plano horizontal, a infinito, ou seja, um plano vertical.

## 2.1. As Formas de Relevo

As formas do relevo são o produto da combinação de vários fatores como a erosão, a litologia, a tectónica, e a ação humana ao longo do tempo.

Distinguem-se habitualmente duas formas de relevo elementares, que são o terço e o vale, das quais todas as outras são compostas. Ambas são formadas por duas encostas e uma aresta, quando a aresta é a linha de reunião das águas estamos perante um vale e a aresta chama-se linha de água ou talvegue. Quando a aresta é a linha de separação das águas então estamos perante um terço e a aresta chama-se linha de festo ou cumeada.

## 3. Construção de um Modelo Digital de Terreno

Os modelos digitais de terreno são baseados na triangulação de um conjunto de pontos com distribuição irregular e a sua superfície modelada por um conjunto de faces triangulares. A altitude de qualquer ponto abrangido pelo modelo é definida pela altitude do ponto da face triangular em que se insere, que corresponde a uma interpolação bilinear dentro de cada triângulo. Após a triangulação de pontos conhecidos, gera-se uma superfície de faces triangulares planas designada Rede Irregular Triangular (RIT) ou Triangulated Irregular

NetWork (TIN). A RIT pode ser um modelo digital de terreno ou ser a base para a construção de modelos com outro tipo de estrutura, como por exemplo os modelos matriciais.

São vários os métodos de triangulação existentes, mas os mais frequentes são o varrimento radial e a triangulação de Delaunay.

O Varrimento radial foi publicado por Mirante Weingarten em 1982 (figura 26), onde a partir de um conjunto de pontos com distribuição irregular, calcula-se o ponto mais próximo do centroide do referido conjunto, Ponto Focal. Calcular o azimute do ponto focal para todos os outros pontos e ordená-los. A seguir, Ponto 1 da figura 26, traçar uma linha de cada um dos pontos para o ponto focal. Depois, Ponto 2 da figura 26 unem-se todos os pontos adjacentes na ordenação por azimute. A seguir, fecham-se todas as concavidades da triangulação geradas no passo anterior.

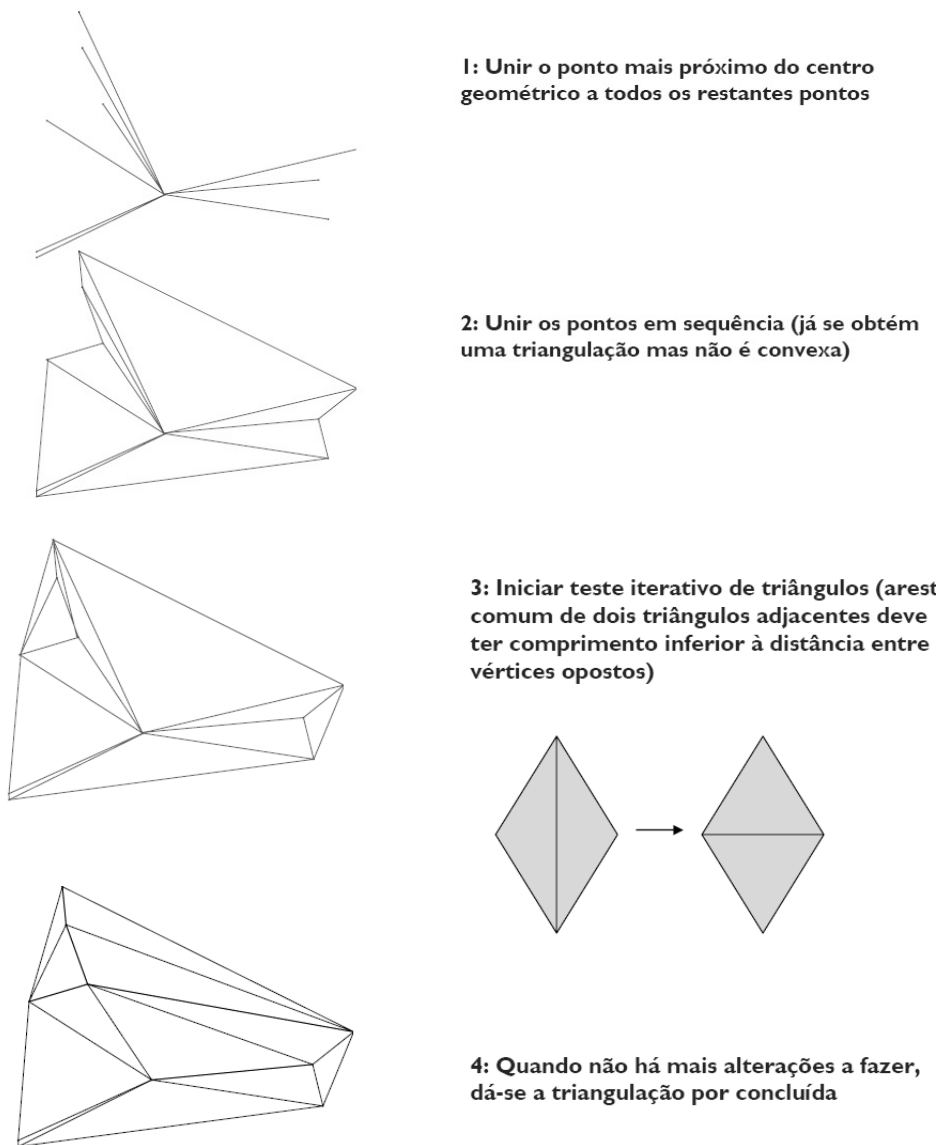


Figura 26 - Triangulação, varrimento radial, adaptado de (Matos, J. 2008)

Por fim, ponto 3 da mesma figura, por um processo iterativo testar, para cada par de triângulos adjacentes, quando o comprimento do lado comum aos dois triângulos é superior à distância dos vértices opostos, então deve substituir a aresta comum por uma que una os vértices não comuns. Findo este processo, ponto 4 da figura 26, dá-se a triangulação por concluída.

### 3.1. Triangulação de Delaunay

É o método mais utilizado na construção de modelos digitais de terreno, sendo a principal propriedade deste método que, a circunferência definida por três pontos do triângulo não contenham qualquer ponto do conjunto de pontos que definem a triangulação.

A construção de uma triangulação de Delaunay, é um problema de computação gráfica, onde a otimização do algoritmo é um fator crítico para permitir o processamento de grande volume de dados. Este algoritmo baseia-se na construção prévia de um diagrama de Voronoi.

Um diagrama de Voronoi consiste na divisão do espaço em polígonos, em que cada polígono constitui o conjunto de pontos do espaço mais próximos de um dado ponto, de entre um conjunto de pontos  $P = \{P_1, P_2, P_3, \dots, P_n\}$ , do que qualquer outro do mesmo conjunto.

Se a cada um dos pontos  $P_i$  for associada a região formada pelos pontos que se situam mais próximos de  $P_i$  que de  $P_j$  com  $1 \leq j \leq n, j \neq i$

(6.4)

$$V(P_i) = \{x \in R^2 : |P_i - x| \leq |P_j - x|, \forall j \neq i\} = \{x \in R^2 : d(P_j, x), \forall j \neq i\}$$

(6.5)

Onde  $d(P_j, x)$  é a função de distância euclidiana.

Cada polígono  $V(P_i)$  é, portanto, a interseção dos semiplanos,

$$V(P_i) = \bigcap H(P_i, P_j), i \neq j \quad \text{Com} \quad (6.6)$$

$$H(P_i, P_j) = \{x \in R^2 : |P_i - x| \leq |P_j - x|\} \quad (6.7)$$

A triangulação de Delaunay é o grafo dual de um Diagrama de Voronoi (figura 27). O Diagrama de Voronoi de um conjunto de pontos, consiste na partição do espaço em regiões cujo interior está mais próximo de um dos pontos do que de qualquer outro. O diagrama de Voronoi de  $P$  é uma estrutura geométrica formada por  $P$  e pelas fronteiras dos polígonos  $V(P_i)$ . É um grafo planar cujos nós são elementos de  $P$  e cujas arestas unem nós cujos polígonos de Voronoi são adjacentes. Para que a triangulação seja única não podem existir quatro pontos co-circulares do grafo.

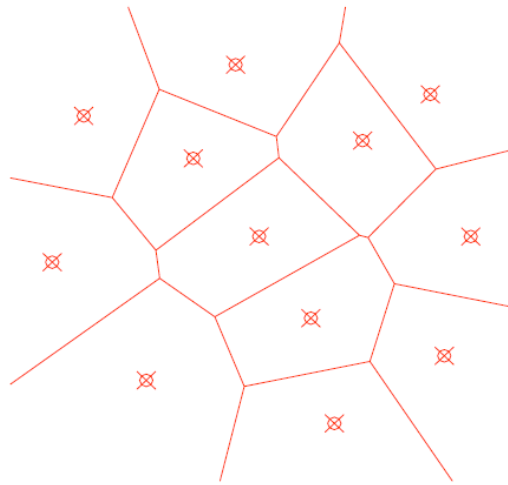


Figura 27 - Triangulação de Delaunay- Diagrama de Voronoi, adaptado de (Matos, J. 2001)

As figuras seguintes mostram os passos necessários para a construção da triangulação de Delaunay, iniciando-se com um conjunto de pontos (figura 28), que podem ser resultantes de um levantamento topográfico de campo, passando pela construção do diagrama de Voronoi e terminando na triangulação Delaunay.

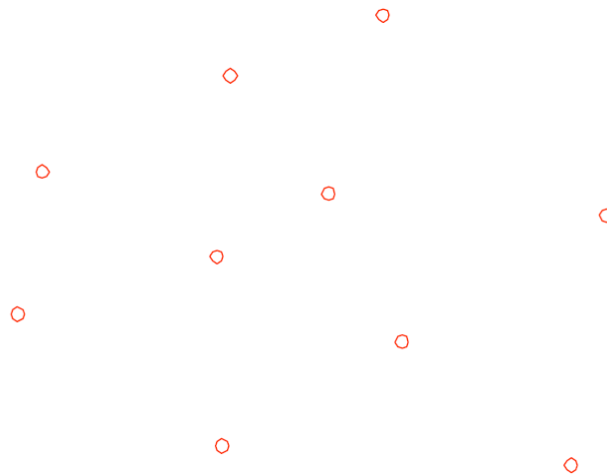


Figura 28 - Passo1, conjunto de pontos inicial cada qual com a sua altitude; adaptado de (Matos, J. 2001)

Após a obtenção dos pontos, são desenhados os polígonos convexos, cujos vértices são os pontos do conjunto de pontos de observação, como mostra a figura 29, obtiveram-se dois polígonos.

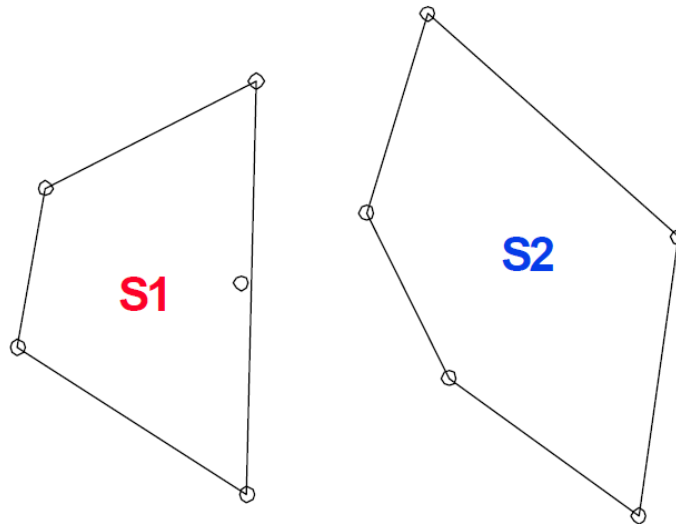


Figura 29 - Passo 2, para cada diagrama é desenhado o respetivo invólucro convexo; adaptado de (Matos, J. 2001)

No terceiro passo, constroem-se os diagramas de Voronoi para cada conjunto de pontos do passo anterior, ou seja, para cada polígono, obtendo-se dois diagramas o Vor(S1) e o Vor(S2), figura 30.

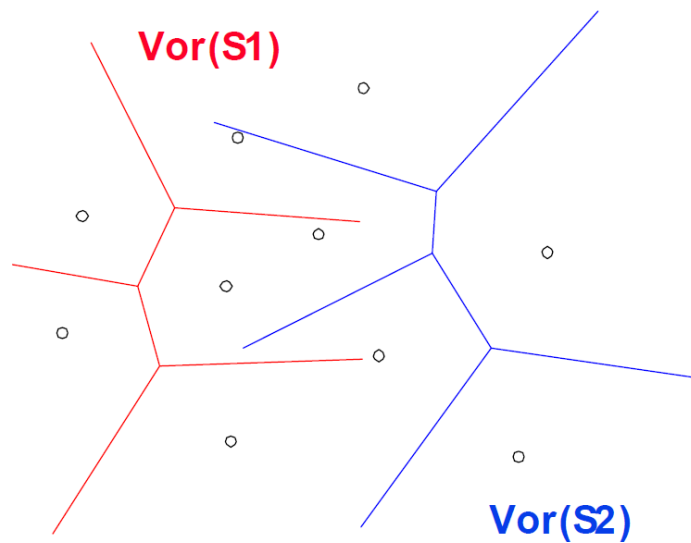


Figura 30 - Passo 3, Diagramas de Voronoi de cada um dos conjuntos; adaptado de (Matos, J. 2001)

Seguidamente, figura 31, unem-se os dois invólucros convexos por forma a constituírem um único invólucro convexo e inicia-se o desenho da cadeia de junção na perpendicular (segmento verde), a um desses segmentos, prosseguindo até tocar num dos raios de um dos diagramas de Voronoi.

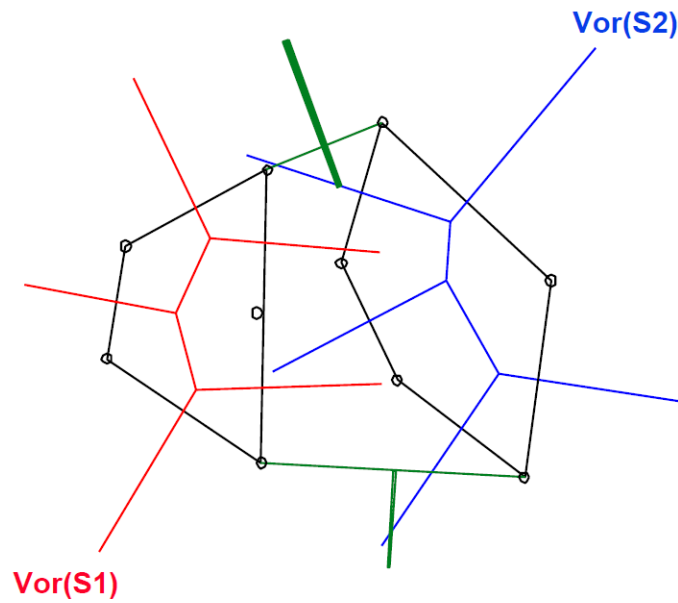


Figura 31 - Passo 4, unem-se os dois invólucros convexos por forma a constituírem um único invólucro convexo e inicia-se o desenho da cadeia de junção na perpendicular a um desses segmentos, prosseguindo até tocar num dos raios de um dos diagramas; adaptado de (Matos, J. 2001)

No quinto passo, o segmento de junção passa para o ponto seguinte do invólucro convexo associado ao raio em que tocou e prossegue na perpendicular a este até tocar num novo raio (e assim sucessivamente).

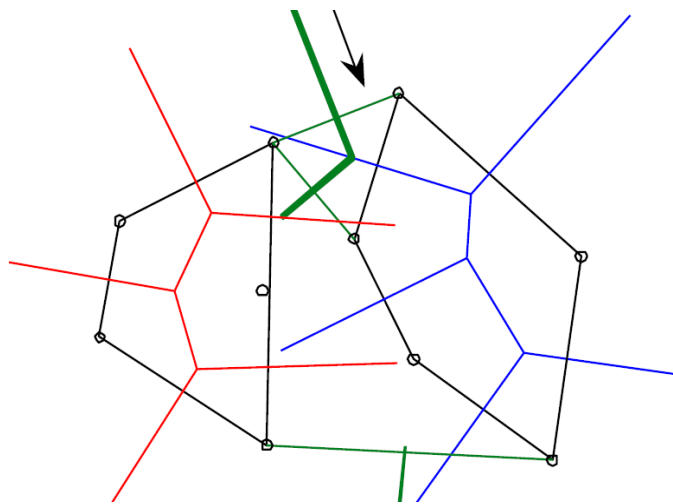


Figura 32 - Passo 5, o segmento de junção passa para o ponto seguinte do invólucro convexo associado ao raio em que tocou e prossegue na perpendicular a este até tocar num novo raio (e assim sucessivamente); adaptado de (Matos, J. 2001)

Na figura 33 a cadeia de junção está concluída.

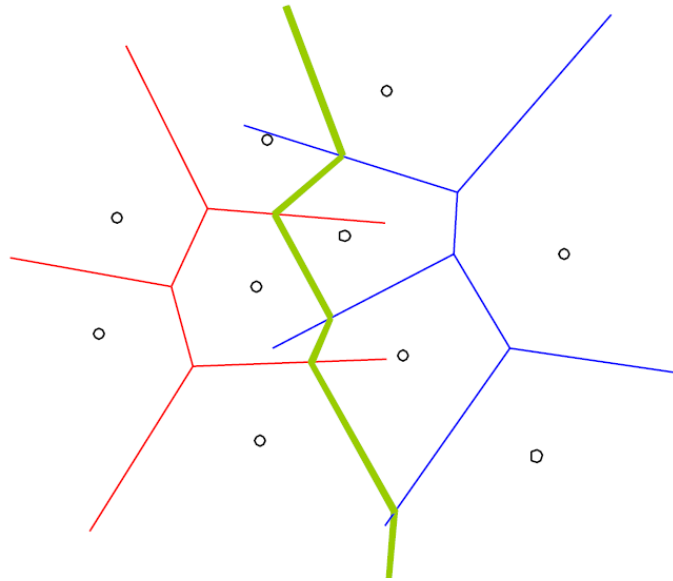


Figura 33 - Passo 6, Cadeia de Junção completa, adaptado de (Matos. J. 2001)

No sétimo passo (figura 34), cortam-se os raios infinitos, dos diagramas de Voronoi, que intersectam a cadeia de junção.

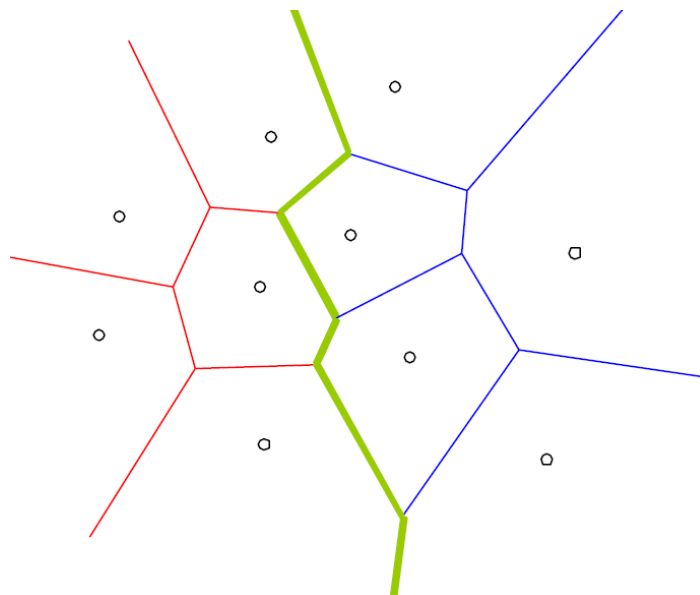


Figura 34 - Passo 7, cortam-se os raios infinitos pela cadeia de junção e obtém-se assim o Diagrama de Voronoi completo; adaptado de (Matos, J. 2001)

Obtenção da Triangulação de Delaunay a partir do diagrama de Voronoi (figura 35). Estabelecem-se as ligações entre os pontos que partilham arestas do diagrama de Voronoi. Também é possível desenhar o diagrama de Voronoi a partir da triangulação de Delaunay, é a opção mais comum usada por algoritmos de desenho da triangulação. Obtém-se assim a triangulação que serve de base para a construção do modelo digital do terreno.

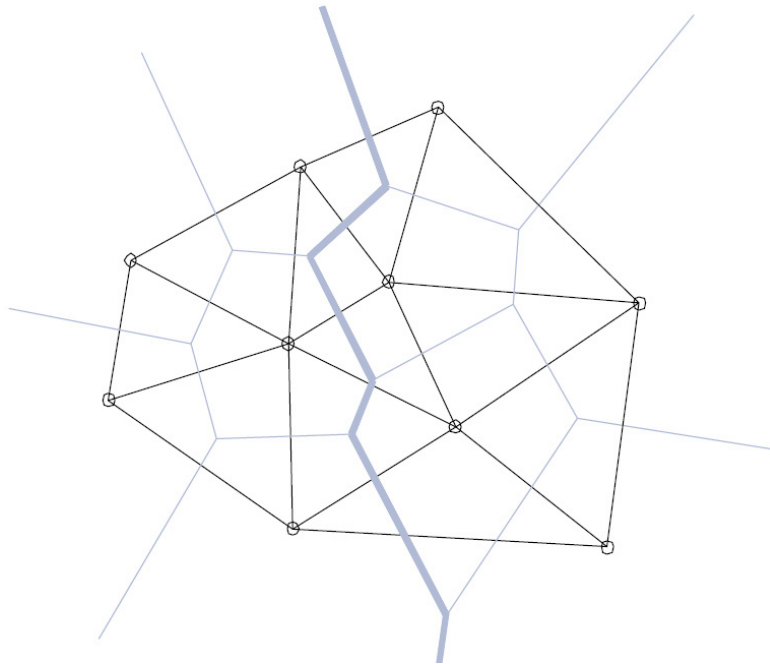


Figura 35 - Triangulação de Delaunay; adaptado de (Matos, J. 2001)

Para uma boa construção da triangulação, que modele com rigor o terreno, requer geralmente que se utilize informação exterior a essa zona, portanto a fronteira deve ir além da área que se pretende representar, de modo a incluir a área pretendida.

### 3.2. Linhas de Rotura

Os métodos de triangulação utilizam unicamente a posição dos pontos como critério para o estabelecimento de ligações. Procuramos triângulos “tão pequenos quanto possível” e que uma linha de interpolação entre dois pontos atravessasse uma região do espaço que tem um desses pontos como o ponto mais próximo.

Esses critérios nem sempre são suficientes para garantir uma boa aproximação à forma do terreno e a adição de informação adicional pode ser necessária, através do recurso a linhas de rotura (breaklines) O facto destes métodos não introduzirem mais nenhum outro tipo de informação sobre o relevo poderá originar discrepâncias entre o terreno e o modelo nos locais de maior variação de relevo.

As linhas de rotura são introduzidas pelo utilizador com base no conhecimento do terreno, tipicamente utilizam-se linhas de água ou linhas de fecho como linhas de rotura. Essas linhas não podem ser atravessadas por arestas da triangulação, como mostra a figura 36. A omissão destas linhas nos modelos de terreno originará aplanamentos dos vales e cumieiras.

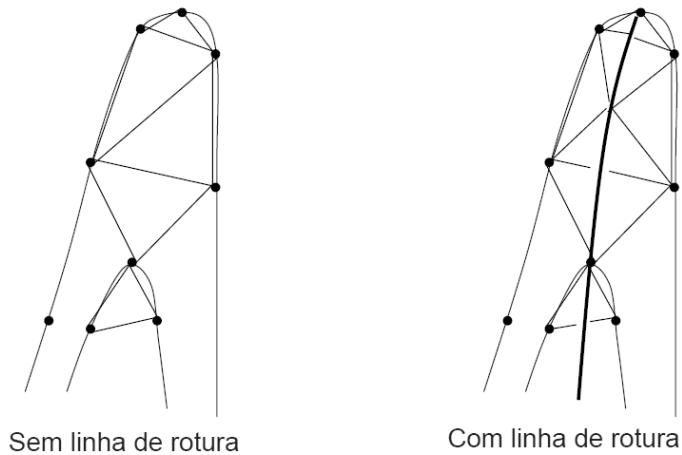


Figura 36 - Triangulação, linhas de rotura; adaptado de (Matos, J. 2008)

Linhas de água tridimensionais podem ser utilizadas como linhas de rotura. No caso de MDT elaborados a partir de curvas de nível, esse procedimento evita a ocorrência de socalcos planos no fundo dos vales (idêntica situação ocorre nos tergos com as linhas de festo).

Na figura 37, ambos os casos ilustrados poderão estar corretos. Se se pretendesse a primeira situação deveria introduzir-se uma linha de rotura na horizontal e ligando os dois pontos no centro. Se se pretendesse a segunda deveriam ser introduzidas três linhas de rotura a vincar os vales.

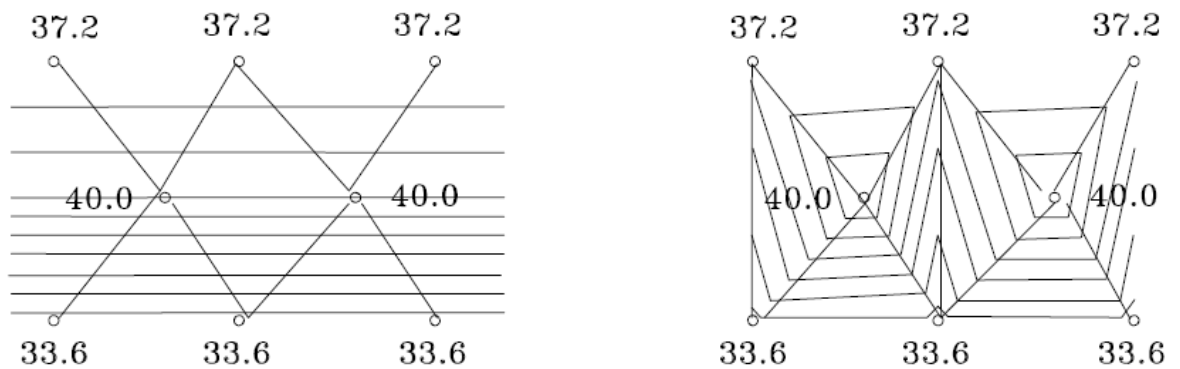


Figura 37 - Diferentes critérios de interpolação e respetivos resultados; adaptado de (Matos, J. 2008)

O desenho das linhas de rotura pode ser uma tarefa morosa, sendo já possível gerá-las automaticamente.

Num modelo digital de terreno descrito por curvas de nível determinam-se máximos e mínimos locais que correspondem respetivamente a linhas de festo e de água. Com uma malha de perfis com diferentes orientações e refinada, desenha-se um número de pontos tão elevado quanto possível pertencentes a festos e talvegues. Com base nesses pontos, são então construídas as estruturas de rede correspondentes às linhas de festo e de água. Tal como podemos observar na figura 38.

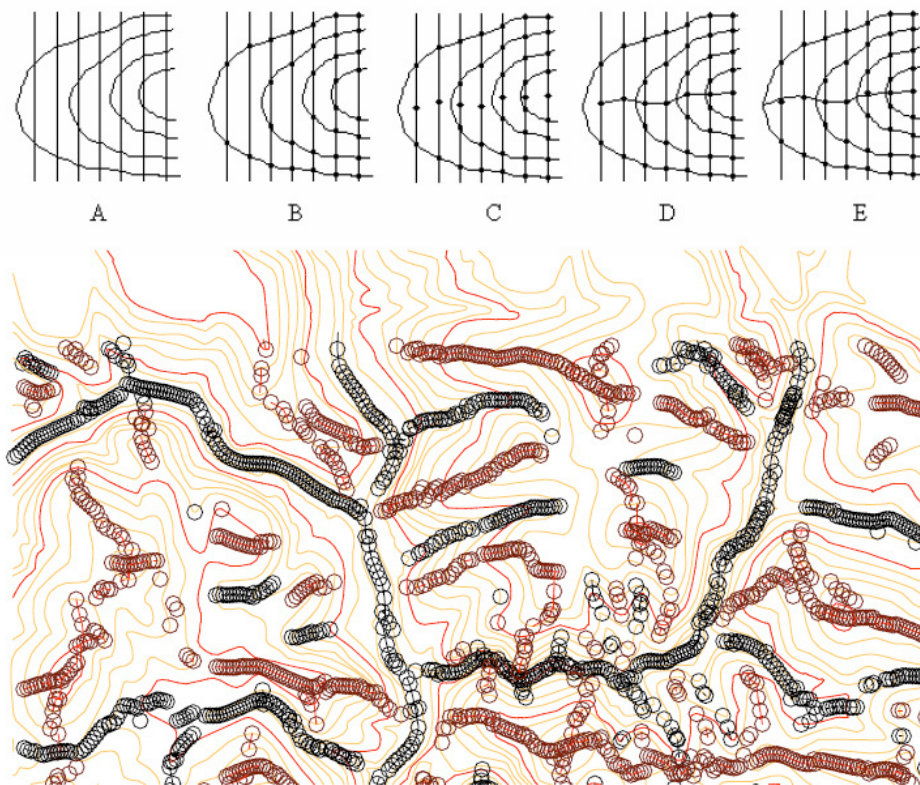


Figura 38 - Geração de linhas de cota máxima e mínima; adaptado de (Matos, J. 2008)

As curvas de nível são analisadas antes de se iniciar o seu processamento, verificando a sua consistência gráfica, topológica e se a sequência das curvas de nível é concordante com a equidistância preconizada.

Após a verificação da correção das curvas de nível, o utilizador define os parâmetros para criação dos conjuntos de diretrizes, em geral paralelas aos eixos coordenados e com afastamento adequado (da ordem de afastamento mínimo de projeções das curvas de nível no plano nas zonas de vale ou tergo).

Para além das linhas de rotura, podemos utilizar técnicas de interpolação que suavizem o modelo do terreno e modelem de forma semelhante e curvatura natural do terreno.

### 3.3. Matrizes de Cotas

Uma matriz de cotas é uma malha retangular e regular de pontos cotados, que poderá ser apresentada como uma superfície de faces quadradas ou retangulares.

A matriz é obtida por um processo de estereorestituição, por análise de correlação de imagens, por *laser-scanning* ou por interpolação a partir de uma malha irregular de pontos cotados.

Na figura 39, o ponto de coordenadas  $(x_3, y_2)$  correspondente ao centro da célula da terceira coluna e segunda linha e tem a cota  $Z_{3,2}$ .

↑	$Z_{1,6}$	$Z_{2,6}$	$Z_{3,6}$
Y	$Z_{1,5}$	$Z_{2,5}$	$Z_{3,5}$
	$Z_{1,4}$	$Z_{2,4}$	$Z_{3,4}$
	$Z_{1,3}$	$Z_{2,3}$	$Z_{3,3}$
	$Z_{1,2}$	$Z_{2,2}$	$Z_{3,2}$
	$Z_{1,1}$	$Z_{2,1}$	$Z_{3,1}$
			X →

Figura 39 - Matriz de cotas; adaptado de (Matos, J. 2008)

A estrutura de matrizes de cotas pela sua simplicidade, é adequada a operações de análise espacial, essencialmente porque existe uma distribuição regular e continua de cotas evitando haver falta de informação quando, por exemplo se efetua uma sobreposição com outro tema.

## 4. Modelos Digitais de Terreno e Sua Aplicação em Engenharia

Os Modelos Digitais de Terreno estão na base de muitos processos de modelação e de análise espacial em engenharia, nomeadamente modelação hidrológica, estudo de traçados viários, estudos geotécnicos, estudos climatológicos, estudos agrícolas e florestais.

A representação tridimensional, associada à possibilidade de implantação de objetos sobre o terreno, oferece resultados gráficos interessantes sendo possível simular com algum realismo o ponto de vista de um observador sobre o terreno.

Os algoritmos de construção de vistas tridimensionais devem proceder à eliminação de linhas invisíveis e eventualmente a cálculo de luminosidade refletida, sombras e gradação de cor sobre superfícies. Na figura 40 poderemos ver que com o relevo surgem diferenças de coloração em função da altitude, sombras cuja intensidade depende da orientação e do declive.

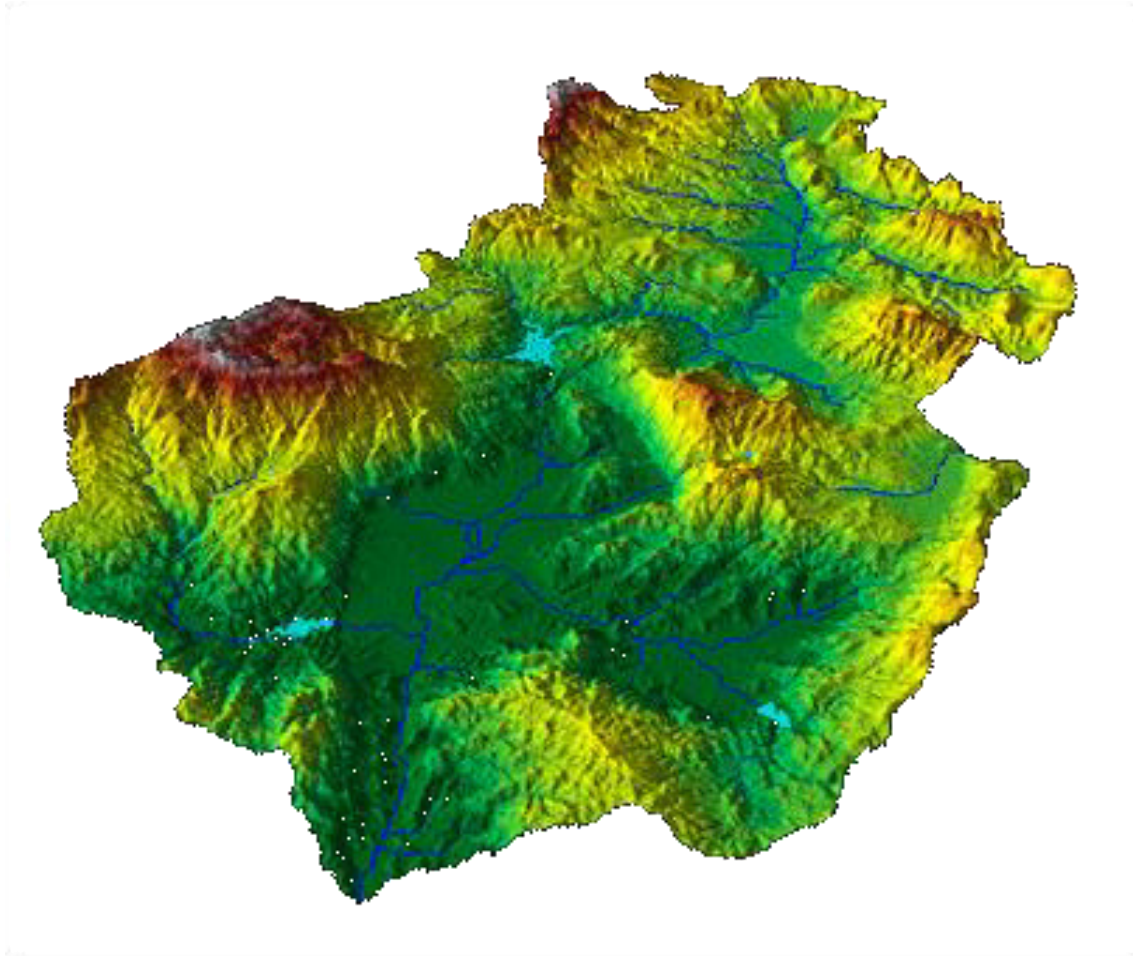


Figura 40 - Modelo Digital de Terreno; ESRI, 2019. (<https://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/exploring-digital-elevation-models.htm>)

A sobreposição de imagens sobre o modelo tridimensional permite criar uma visão em perspectiva com maior realismo. Após a construção do modelo tridimensional poderemos criar mapas de declives e mapas de perigosidade que sobrepostos ao modelo tridimensional nos dá uma ideia muito realista da localização, por exemplo de áreas com grau de perigosidade elevada.

#### **4.1. Perfis**

O desenho de perfis é uma opção de todos os programas de modelação do terreno. Os perfis podem ser determinados pela interseção de uma superfície vertical com curvas de nível, com uma matriz de cotas ou com uma rede irregular triangular. É um processo rápido, sendo importante as facilidades disponíveis para legendagem e apresentação do produto final. Os programas de modelação de projetos de estradas apresentam um elevado nível de funções para edição de perfis (figura 41), e implantação de curvas sobre o perfil.

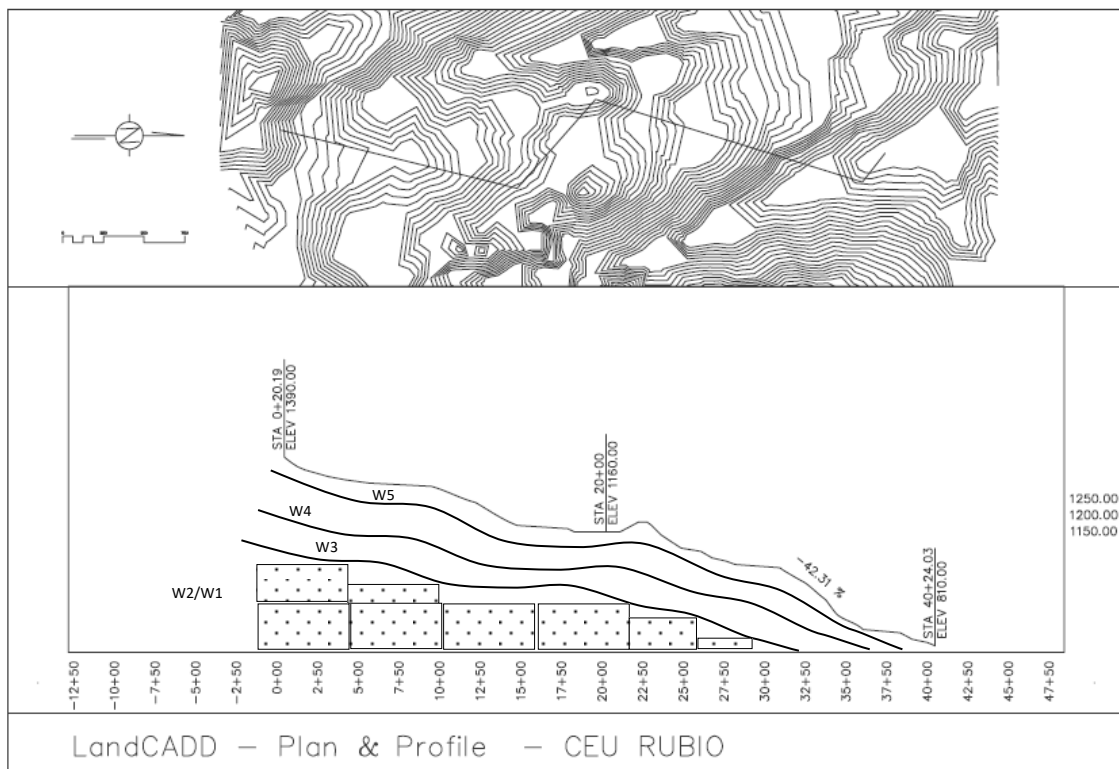


Figura 41 - Desenho automático de perfis dada uma diretriz; adaptado de (Matos, J. 2008)

Os perfis podem tornar-se mais relevantes em geotecnia se contiverem informação geológica ou geotécnica, transformando-se em modelos simplificados de zonamento de acordo com as características geológicas e geotécnicas, por exemplo, no perfil da figura 41 estão representadas várias zonas de alteração indicando a variação do grau de alteração do maciço terroso com a variação da cota em profundidade.

## 4.2. Curvas de Nível

As curvas de nível podem ser desenhadas por interpolação ao longo das arestas de uma rede irregular de triangulação, ou por interpolação entre os elementos de uma matriz de cotas.

As curvas de nível podem existir previamente à construção do modelo e serem utilizadas para a elaboração do referido modelo, como acontece no modelo de estudo (capítulo 9), mas também podem surgir do próprio modelo, sendo criadas a partir de pontos e eventualmente com linhas de rotura.

A figura 42, mostra-nos o desenho de curvas de nível feito a partir de uma rede irregular de triangulação, construída sobre pontos cotados obtidos num levantamento topográfico.

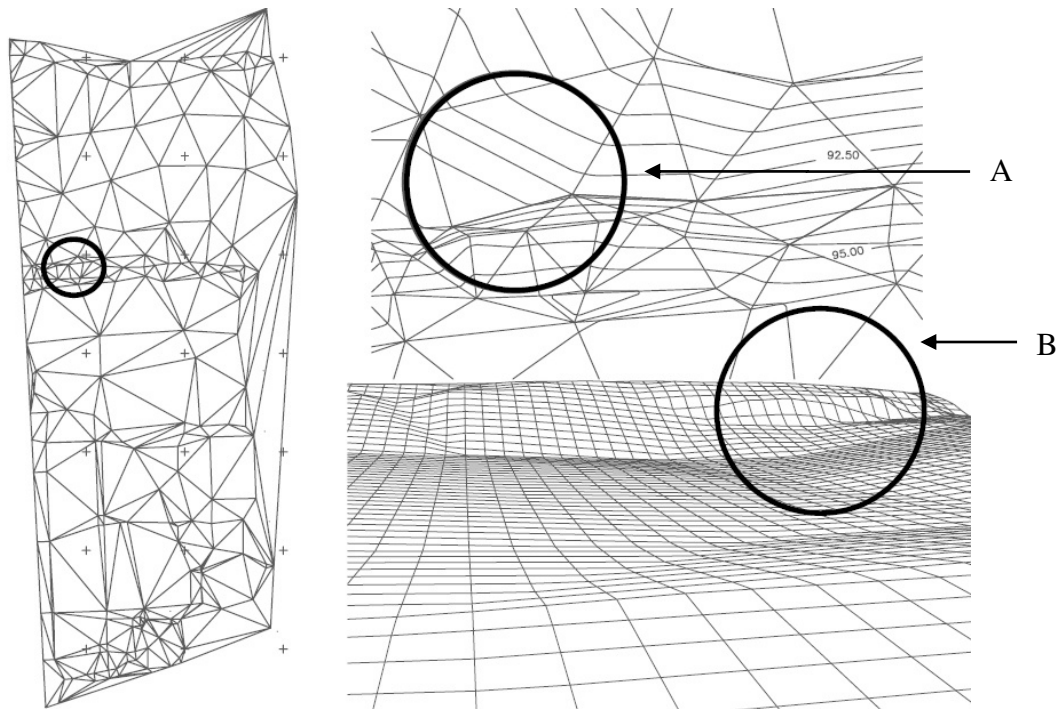


Figura 42 - Curvas de nível a partir de uma RIT; adaptado de (Matos, J. 2008)

A região que se encontra no interior do círculo A, corresponde a um acidente de terreno visível no modelo tridimensional abaixo B, que só se torna mais perceptível no MDT depois da edição de triângulos. Nestas figuras podemos ver uma das características da RIT, que é a adequação à complexidade do terreno.

### 4.3. Carta Hipsométrica

São formas de representação do relevo de grande legibilidade, eram tradicionalmente realizadas por aguadas sucessivas aplicadas mais vezes nas zonas mais elevadas ou por preenchimento com cores de zonas entre curvas de nível.

Para a elaboração de uma carta hipsométrica é necessário definir classes, dependendo das escolhas efetuadas a carta torna-se mais ou menos legível. Na figura 43 podemos ver cores em função da classe de altitude, variando para este mapa de uma cor mais clara o verde, para regiões de menor altitude, até ao castanho, cor mais escura para altitudes mais altas.

As cores mais utilizadas para este tipo de mapas são:

- Cores escuras, como o castanho para altitudes altas;
- Cores claras para altitudes baixas, como o verde e o amarelo;
- O azul, para representar mares, rios, lagos, em geral linhas de água.

Há uma gradação das cores indicadas para as altitudes intermédias.

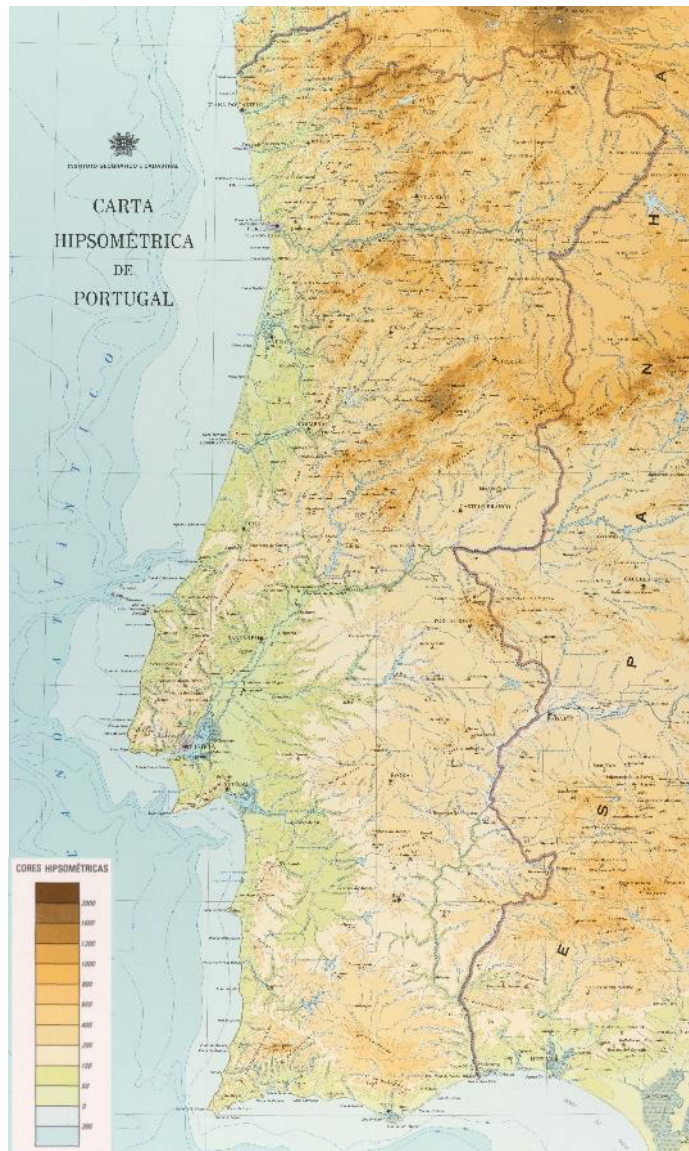


Figura 43 - Cores em função da classe de altitude, carta hipsométrica de Portugal; DGT (2019)

#### 4.4. Cálculo de Volumes

Com o MDT criado podemos fazer sua alteração com a integração do modelo tridimensional do projeto, obtendo um novo MDT permitindo registos topográficos e geotécnicos durante a fase de vida da obra, ou seja, o registo do seu comportamento e os possíveis efeitos na sua estrutura.

No processo de adaptação do MDT ao projeto é necessário o cálculo de movimento de terras. O cálculo de volume, a partir de um conjunto de coordenadas é uma opção normal nos programas de desenho de Engenharia Civil, obtendo-se por comparação dos volumes totais de dois modelos um antes e outro depois das alterações.

O volume entre duas superfícies obtém-se célula a célula (figura 44), multiplicando a diferença da cota pela área da célula (a). A comparação pode ser feita entre malhas regulares

ou pelo método primordial que recorre à RIT correspondente das duas superfícies. No caso de movimentação de terras é necessário considerar fatores de compactação e empolamento consoante se trata de um aterro ou de uma escavação.

À direita da figura 44, estão presentes as matrizes de cotas relativas à superfície original do terreno (Sup. Original), à superfície do projeto (Sup. Projecto) e a matriz com as diferenças de cota entre as respetivas células das matrizes anteriores (Diferenças). Multiplicando os valores de cada célula desta última matriz pela respetiva área e somando todos os valores obtidos temos o volume total pretendido.

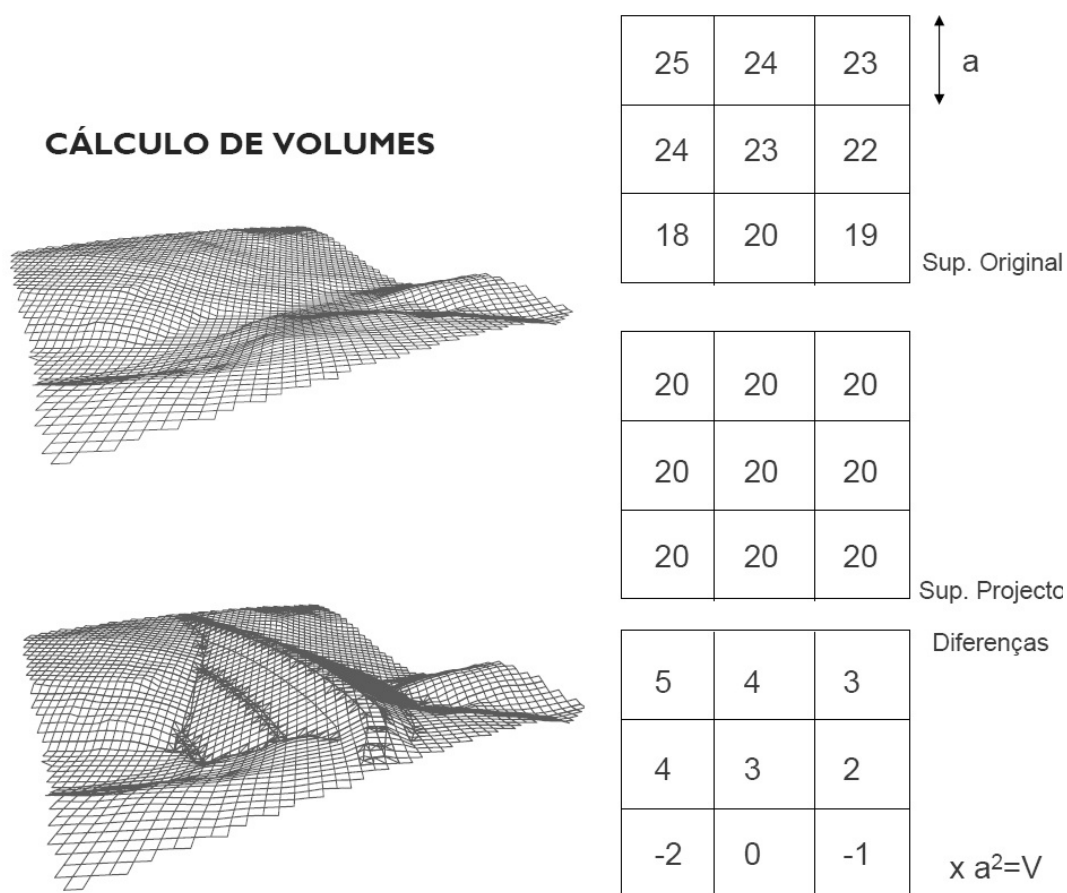


Figura 44 - MDT de superfície original e superfície do projeto; adaptado de (Matos, J. 2008)

#### 4.5. Modelação de Superfícies de Projeto

Vamos apresentar um exemplo de um projeto de superfície uma barragem de aterro recorrendo a curvas de nível e linhas de rotura. A superfície do projeto será elaborada utilizando os pontos para geração de curvas de nível. Na figura 45 estão presentes as curvas de nível do terreno e as curvas pertencentes ao projeto, a figura 46 mostra-nos esse mesmo desenho, mas numa perspetiva tridimensional.

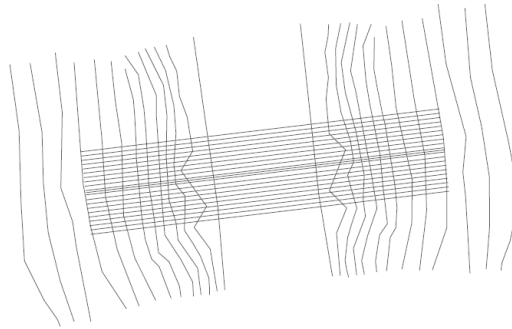


Figura 45 - Desenho das curvas do projeto em função da largura do coroamento e dos declives dos parâmetros de montante e jusante; adaptado de (Matos, J. 2008)

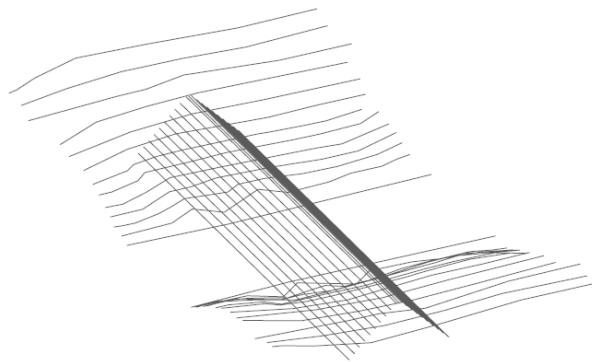


Figura 46 - Visualização tridimensional do projeto; adaptado de João Matos (2008)

Na figura 47, foi introduzida uma linha tridimensional de interseção do projeto com o terreno e a linha de coroamento, definidas como linhas de rotura para construção da RIT.

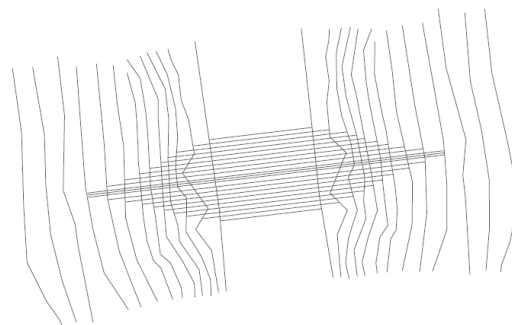


Figura 47 - Desenho da linha tridimensional unindo as interseções da superfície de projeto com a superfície do terreno -linha de rotura; adaptado de (Matos, J. 2008)

A figura 48 mostra-nos já o corte das curvas de nível a partir das intersecções definidas.

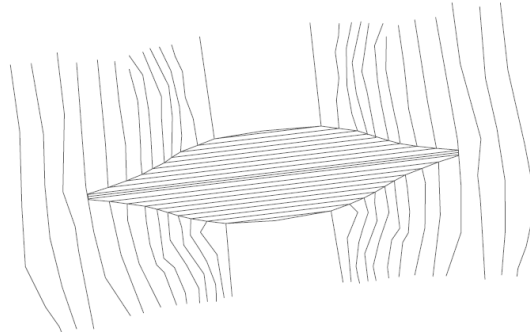


Figura 48 - Corte de linhas do projeto nas interseções com o terreno; adaptado de (Matos, J. 2008)

Para melhor visualização do trabalho efetuado o desenho da figura 48 surge na figura 49 numa perspetiva tridimensional.

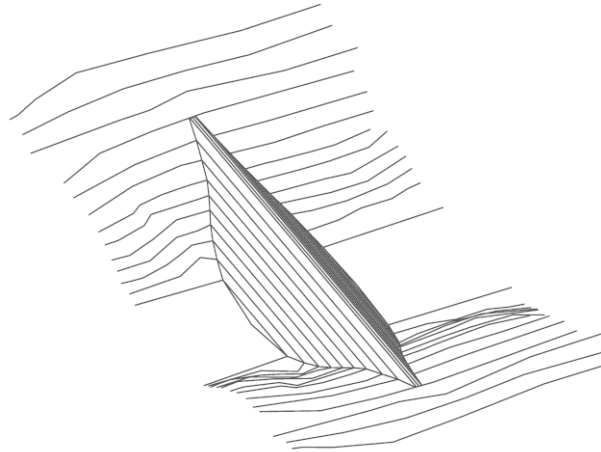


Figura 49 - Visualização tridimensional dos elementos desenhados; adaptado de (Matos, J. 2008)

Por fim recorre-se a uma matriz de cotas com uma malha regular (modelo matricial), podendo assim verificar-se a diferença da modelação com a RIT que esteve na base de construção e edição do modelo (modelo vetorial), figura 50.

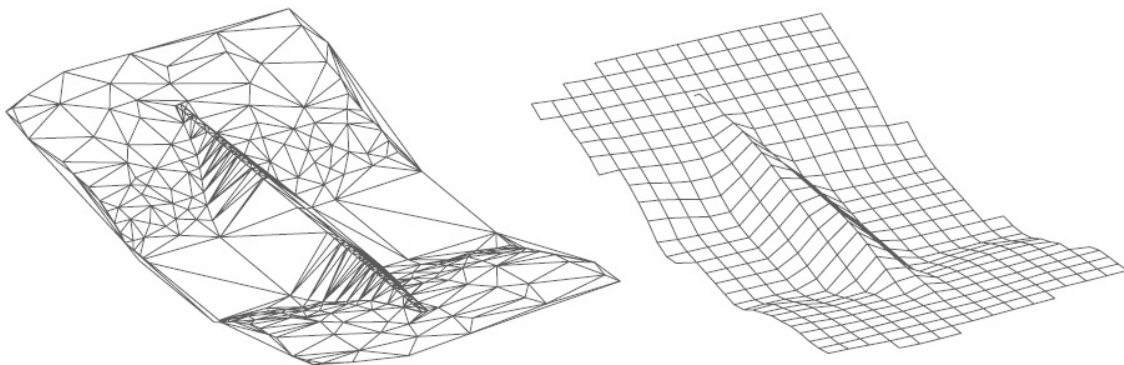


Figura 50 - RIT e Matriz de Cotas; adaptado de (Matos, J. 2008)

Não tendo sido o objetivo do atual trabalho, no entanto pode ser aplicada esta metodologia em projetos de Engenharia Civil onde ocorra grande variação de declive, com grande volume de movimento de terras, como por exemplo em vias de comunicação, obras de arte, minas, entre outros.

#### 4.6. Zonas de Intervisibilidade Potencial

A determinação das zonas de intervisibilidade potencial é importante para estudos paisagísticos e de radiocomunicações. Esta zona pode ser calculada através da interseção de múltiplos perfis no ponto de observação. A figura 51 mostra o mapa de zonas de intervisibilidade a partir de um ponto de observação, o mapa mostra através da variação da cor as áreas potencialmente visíveis a partir do ponto de observação.



Figura 51 - Zonas de intervisibilidade, (Matos, J. 2008)

#### 4.7. Cartas de Declive e Orientações de Encostas

O declive compreende duas componentes o Gradiente e Orientação (Burrough, 1986). O gradiente (G) é a máxima taxa de variação de altitude, a orientação (E) a direção definida pelo azimute em que ocorre a maior variação de altitude. Estes valores são calculados pelas derivadas de primeira ordem, de acordo com as expressões (6.8) e (6.9):

$$\text{tg}G = \sqrt{\frac{\partial z^2}{\partial x^2} + \frac{\partial z^2}{\partial y^2}} \quad (6.8)$$

$$\text{tg}E = -\frac{\frac{\partial z}{\partial y}}{\frac{\partial z}{\partial x}} \quad \text{com } (-\pi < E < \pi) \quad (6.9)$$

Os valores das derivadas referidas podem obter-se recorrendo a uma janela de 3x3 células (figura 52), com a qual se vai percorrendo a matriz de cotas.

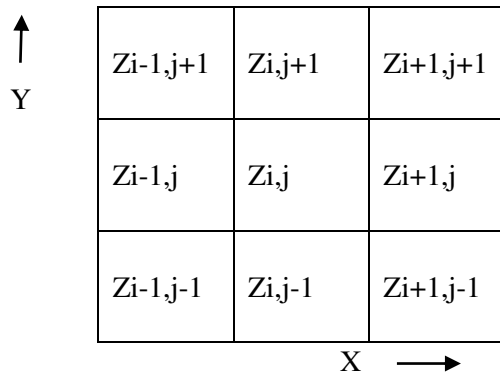


Figura 52 - Matriz de cotas 3x3; adaptado de (Matos, J. 2008)

O estimador mais simples para valor das derivadas no ponto  $i,j$ , baseado unicamente em quatro células vizinhas traduzido pelas expressões (6.9) e (6.10):

$$\frac{\partial Z}{\partial X_{i,j}} = \frac{(Z_{i+1,j} - Z_{i-1,j})}{2\delta} \quad (6.9)$$

$$\frac{\partial Z}{\partial Y_{i,i}} = \frac{(Z_{i,j+1} - Z_{i,j-1})}{2\delta} \quad (6.10)$$

Em que  $\delta$  é a distância entre os centros das células.

Para recorrer às oito células vizinhas para a mesma estimativa utiliza-se as expressões (6.11) e (6.12):

$$\frac{\partial Z}{\partial X_{i,j}} = \frac{(Z_{i+1,j+1} + 2Z_{i+1,j} - Z_{i-1,j-1}) - (Z_{i-1,j+1} + 2Z_{i-1,j} - Z_{i-1,j-1})}{8\delta} \quad (6.11)$$

$$\frac{\partial Z}{\partial Y_{i,j}} = \frac{(Z_{i+1,j+1} + 2Z_{i,j+1} - Z_{i-1,j+1}) - (Z_{i+1,j-1} + 2Z_{i,j-1} - Z_{i-1,j-1})}{2\delta} \quad (6.12)$$

Numa carta de orientações utilizam-se habitualmente cinco ou nove classes (N, NE, E, SE, S, SW, W, NW e terreno plano).

As classes de declive podem ser definidas previamente de acordo com um critério geral e uniforme ou podem ser adaptadas para o terreno em estudo, sendo esta última opção a que produz cartas mais legíveis. Utilizando classes com limites definidos pelo declive médio e por múltiplos de 0,6x (desvio-padrão dos declives) obtém-se normalmente bons resultados. Na figura 53 podemos uma carta de declives do Município de Terras de Bouro.

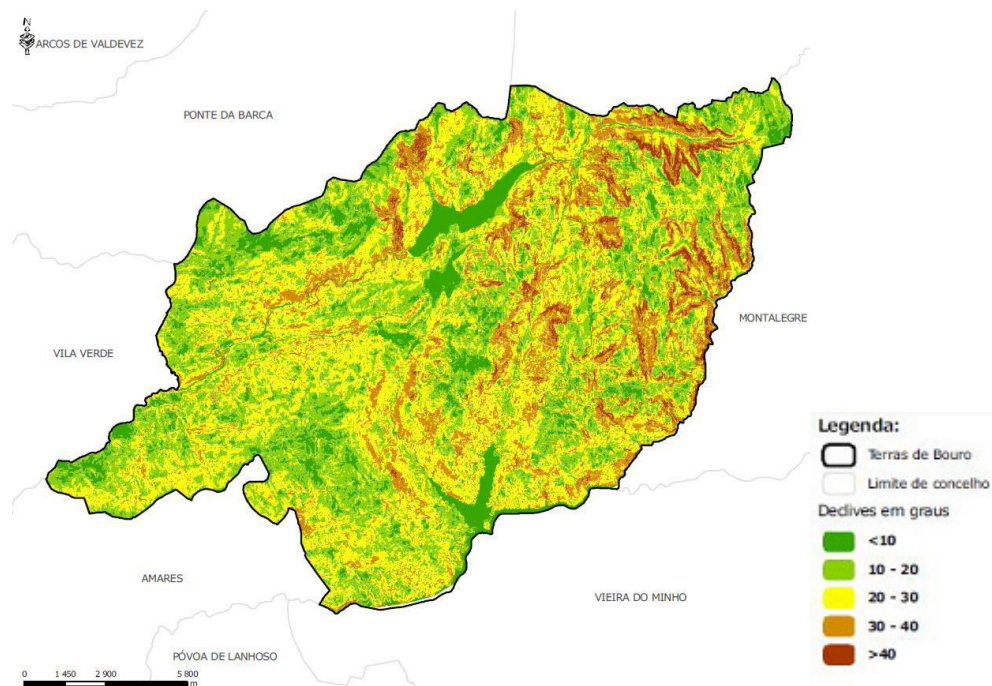


Figura 53 - Carta de declives, adaptado de Município de Terras de Bouro, (2015)

#### 4.8. Cartas de Relevo Sombreado

Nos modelos digitais do terreno é possível reproduzir o efeito sombreado das cartas antigas, para isso basta escolher a fonte iluminação, exemplo  $45^\circ$  acima do horizonte e segundo o azimute  $225^\circ$ , e para cada elemento do MDT é calculada uma tonalidade proporcional à intensidade da luz refletida pelo terreno, (figura 54).

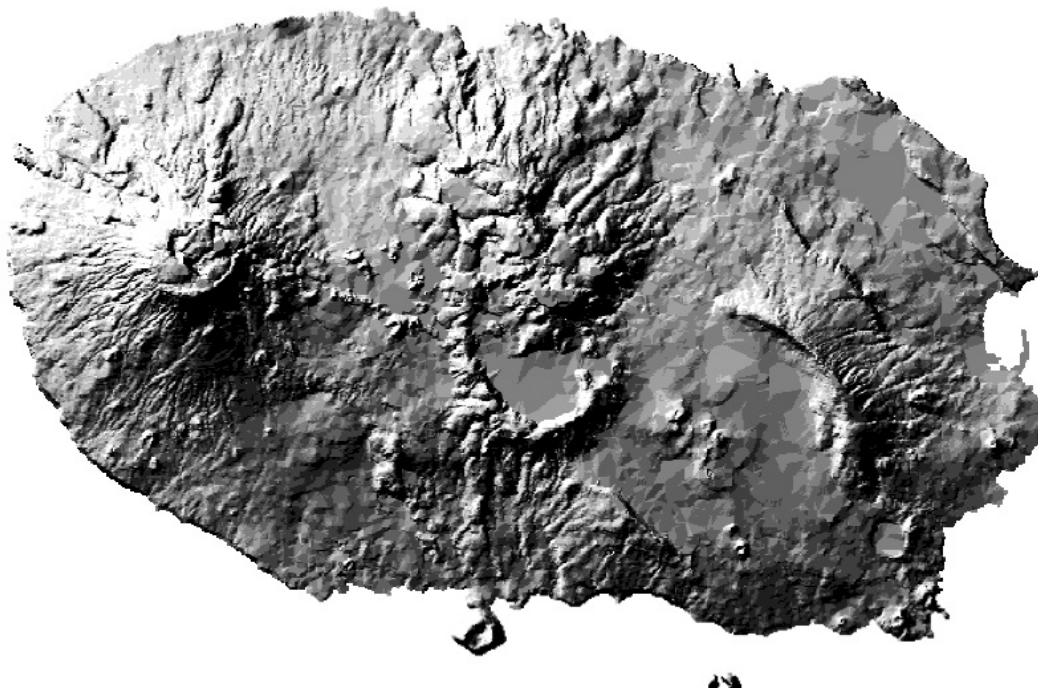


Figura 54 - Relevo sombreado; adaptado de (Matos, J. 2008)

## 4.9. Rede de Drenagem e Bacias Hidrográficas

Para determinar linhas de água e festo em geral determina-se a matriz de direções de escoamento (figura 55), e posteriormente a matriz de acumulação de escoamento. Com base nesta última matriz identificam-se células de linha de água, que drenam de um número de células superior a um valor dado.

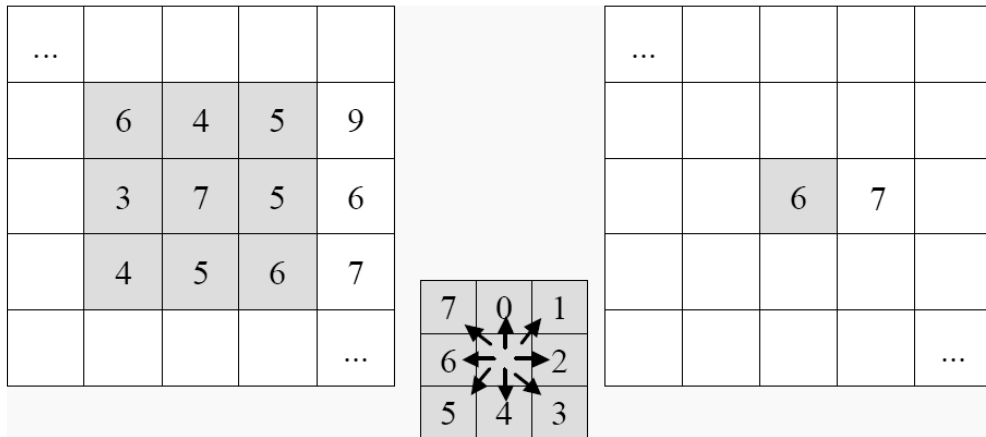


Figura 55 - Direções de escoamento; adaptado de (Demers, 2009)

Um algoritmo pode basear-se numa janela de 4x4 células que percorre a matriz de cotas abrangendo todos os conjuntos de 4x4 células. Segundo este algoritmo, determina-se a célula mais alta de cada conjunto de 16. Após percorrer a matriz de cotas, desenha-se uma estrutura linear sobre as células não assinaladas, essa rede representa a rede de drenagem. Para assinalar linhas de festo o procedimento é semelhante diferindo por serem assinaladas as células de cota mais baixa.

A bacia hidrográfica (figura 56), de um dado ponto é delimitada agregando as células cuja escorrência conflui nesse ponto, novamente recorrendo à matriz de direções de escoamento e lendo-a no sentido inverso.

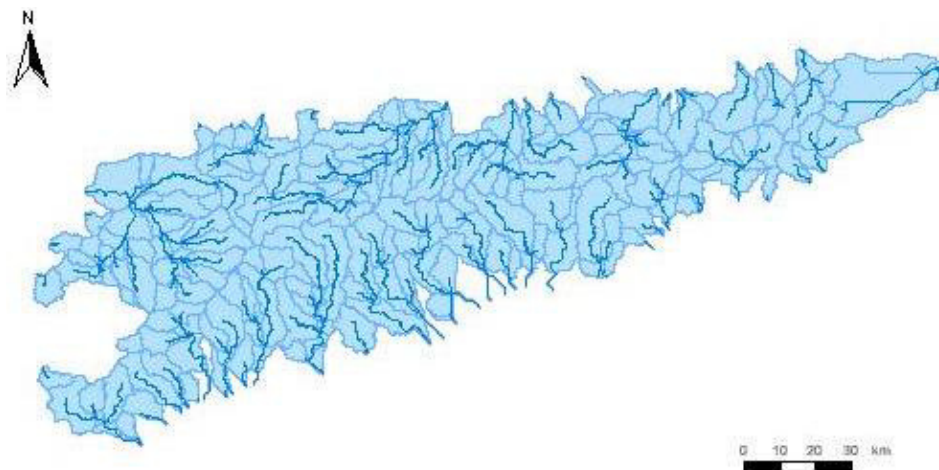


Figura 56 - Bacia hidrográfica; adaptado de (Calçada, 2004)

# Capítulo 7 - Quantum GIS-QGis

## 1. Generalidades

O Quantum GIS, atual QGIS, é um Sistema de Informação Geográfica de código aberto (Open Source). Atualmente corre em vários sistemas operativos (plataformas), Linux, Unix, Windows, Mac OSX e Android. É desenvolvido utilizando a plataforma de projetos QT toolkit (<http://qt.nokia.com>), em linguagem de programação C++, o que permite que este tenha uma interface gráfica amigável de fácil utilização.

O objetivo inicial de Gary Sherman, criador do *software* QGis cuja primeira versão surgiu em 2002, foi fornecer um SIG para visualizar dados de natureza diversa, mas com carácter espacial, atualmente ainda é usado por muitos apenas para visualizar dados raster e vetoriais em vários formatos. Novas funcionalidades têm vindo a ser adicionadas através de complementos, atualmente o QGis oferece várias funcionalidades comuns aos restantes programas de SIG.

## 2. Características

Sendo este programa informático um Sistema de Informação Geográfica, ele integra um conjunto de características que o permitem enquadrar neste tipo de aplicação. O QGIS incorpora as seguintes características:

- Visualizar dados
  - Ver, sobrepor dados vetoriais e raster em diferentes formatos e projeções sem conversão para um formato interno comum. Os formatos suportados são:
    - Tabelas PostgreSQL espacialmente habilitadas usando PostGIS, formatos vetoriais suportados pela biblioteca OGR instalada, incluindo arquivos do tipo shapefile, MapInfo, SDTS, GML e muitos outros.
    - Formatos Raster e imagens suportados pela biblioteca GDAL (Geospatial Data Abstraction Library) instalada, como GeoTiff, Erdas Img., ArcInfo Ascii Grid, JPEG, PNG e muitos outros.
    - Bases de dados SpatialLite.
    - Raster do GRASS e dados vetoriais a partir da base de dados GRASS (localização/mapset).
    - Dados espaciais OCG hospedados on-line em servidores do tipo Web Map Service (WMS) ou Web Feature Service (WFS)

- Explorar dados e compor mapas
 

É possível compor mapas e explorar interactivamente dados espaciais com uma interface gráfica de utilizador amigável (GUI- Graphical User Interface). As muitas ferramentas de ajuda disponíveis na GUI incluem:

  - QGIS BROWSER
  - Atualização das projeções
  - Compositores de mapas
  - Painel de vista geral
  - Favoritos geoespaciais
  - Ferramentas para anotações
  - Editar/ver/pesquisar atributos
  - Legendar formas
  - Modificar simbologia vetorial e matricial
  - Adicionar uma camada vetorial do tipo grade
  - Incluir no mapa a seta do Norte, uma barra de escala e rótulo de copyright
  - Salvar e restaurar projetos
  
- Criar, editar, gerir e exportar dados
 

Podemos criar, editar, gerir e exportar mapas vetoriais em diversos formatos. O QGIS oferece os que seguem:

  - Ferramentas de vectorização para formatos OGR suportados e camada vetorial GRASS
  - Criar e editar arquivos do tipo shape e camadas vetoriais GRASS
  - Imagens geocode com o plugin Georreferenciador
  - Ferramentas GPS para importar e exportar para formato GPX, e converter outros formatos GPS para GPX ou descarregar/carregar diretamente para o GPS
  - Visualizar e editar dados OpenStreetMap
  - Criar tabelas de base de dados espaciais a partir de arquivos shape com DB MANAGER PLUGIN
  - Melhor manipulação de tabelas de base de dados espaciais
  - Gerir tabelas de atributos vetoriais com a nova tabela de atributos
  - Salvar “screenshots” como imagens georreferenciadas
  
- Analisar dados
 

Podem-se realizar análises de dados espaciais em formatos PostgreSQL/PostGIS e outros do tipo OGR suportados, usando o menu vetor. O QGIS atualmente oferece análise vetorial, amostragem, geoprocessamento, ferramentas de gestão de base de dados e geometrias. Também se podem utilizar ferramentas GRASS integradas, que incluem a funcionalidade completa de mais de 300 módulos.

## 3. Ampliar as Funcionalidades do QGIS Através de Plugins

### 3.1. Módulos Internos

Através de uma construção modular, constituída por uma parte nuclear e outra periférica, o QGIS pode ser adaptado às necessidades do utilizador, com uma arquitetura expansível do tipo plugin/módulo e de uma biblioteca que permite incorporar novos plugins. As novas aplicações podem ser criadas nas linguagens de programação C++ ou em Python e irão constituir a parte periférica do programa.

Relativamente aos módulos internos, no Apêndice 1 estão presentes os principais módulos internos que constituem a parte nuclear de Plugin do QGIS, fazendo parte da sua instalação.

### 3.2. Módulos Externos

O QGIS oferece um crescente número de plugin Python externos fornecidos pela comunidade. Estes plugins permanecem no repositório oficial PyQGIS e podem ser facilmente instalados usando o Instalador de plugin Python. Podem também ser criadas rotinas através da consola Python ou criar um plugin em Python através do Plugin Builder, entre outras formas.

#### 3.2.1. Consola Python

Para escrita/programação/*scripting*, é possível aproveitar a consola Python integrada, que pode ser aberta através do menu: Plugin → Consola Python. A consola abre-se como uma janela não-modal do Windows. Para interagir com o ambiente do QGIS, há a variável *qgis.utils iface*, que é uma instância da *qgsinterface*. Esta interface permite aceder a map canvas, menus, barras de ferramentas e outras aplicações que fazem parte da aplicação do QGIS.

#### 3.2.2. PyQt

PyQt refere-se às ligações Python que por sua vez se refere à biblioteca QT e C++. O que significa que se pode utilizar o Python para construir ligações que envolvem as bibliotecas C++ e Qt. Isso significa, portanto, que se poderá utilizar a linguagem Python para construir aplicações Qt em substituição da linguagem C++.

#### 3.2.3. Como criar um Plugin/Arquitetura Plugin

A criação de um plugin em Python pode ter dois caminhos, um criando através de um editor de texto os arquivos necessários e outro através do Plugin Builder, também este um plugin.

Os seguintes arquivos são necessários para uma correta funcionalidade do plugin:

- `__init__.py`, ponto inicial do plugin, inclui os códigos de inicialização;
- `mainPlugin.py`, código principal do plugin. Contém todas as informações sobre as ações do plugin e o código principal;
- `metadata.txt`, necessário a partir da versão 1.8.0. Contém informação geral, versão, nome e alguns outros metadados usados em plugin;
- `resources.qrc`, documento .xml criado em QT-Designer. Contém caminhos relativos aos recursos dos formulários;
- `resources.py`, tradução do arquivo. qrc para Python;
- `form.ui`, GUI criado em QT-Designer;
- `form.py`, tradução do `form.ui` para Python

Quando criado através do Plugin Builder, devem-se seguir os seguintes passos:

1. Abrir o Plugin Builder a partir do QGIS
2. Preencher as informações necessárias
3. Selecionar OK
4. Indicar onde armazenar o plugin
5. Compilar os arquivos de interface GUI
6. Instalar o plugin
7. Testar o plugin

Ao iniciar o Plugin Builder, surge uma caixa de diálogo com campos de preenchimento obrigatórios e facultativos, (figura 57).

The image shows the 'QGIS Plugin Builder 2.0.3' dialog box. On the left, a green sidebar provides instructions for creating a plugin template, listing required and optional fields. The main area is titled 'QGIS Plugin Builder' and contains several input fields: 'Class name', 'Plugin name', 'Description', 'Version number' (with '0.1' entered), 'Minimum QGIS version' (with '2.0' entered), 'Text for the menu item', 'Author/Company', 'Email address', and 'Optional Items' which includes 'Bug tracker', 'Home page', 'Repository', and 'Tags'. At the bottom, there is a checkbox for 'Flag the plugin as experimental' and buttons for 'Help', 'Cancel', and 'OK'.

Figura 57 - QGIS Plugin Builder

Os campos necessários são:

- Classe name, nome da classe Python para o plugin. Exemplos de nomes de classes válidas são: MyPlugin, PluginBuilder, ScriptRunner;
- Plugin name, é o título do plugin e será exibido no gestor de plugin QGIS e Plugin Installer. Também será usado como nome do menu que aparece no menu QGIS Plugin. Pode-se usar o nome da classe, ou torná-lo mais legível. Por exemplo: Meu Plugin, Builder Plugin, ScriptRunner, ou outros;
- Description, é uma descrição, de uma linha, da função do plugin, é exibido no gestor de Plugin e Plugin Installer. Deverá ser curto, mas descritivo, de modo que o objetivo do plugin pode ser facilmente entendido;
- Version number: número da versão do plugin é sugerido que a primeira versão seja a versão 0.1, podendo, no entanto, iniciar-se com qualquer número;
- Minimum QGIS version: é a versão mínima do QGIS necessário para que o plugin funcione;
- Text for the menu item: é o texto que aparecerá no menu. O texto do item de menu é exibido à direita do mesmo. Em geral, não se deve usar o mesmo texto para o nome do plugin e o item de menu para se diferenciar;
- Author/Company: indicar o nome do autor ou da empresa, esta informação é utilizada nos arquivos de origem do plugin, é exibido na Plugin Installer e no repositório QGIS plugin;
- E-mail address: endereço de e-mail. Utilizadores do plugin podem entrar em contato com o autor a partir do endereço;

Os campos facultativos são:

Existem vários campos opcionais, no entanto recomenda-se que sejam preenchidos, ao gerar um novo plugin.

- Bug Tracker: URL que aponta para o bug / issue tracker para o plugin. Pode ser criado um projeto com rastreamento para o plugin em <http://hub.qgis.org/projects/new>;
- Home page: URL da página inicial para o plugin. Pode ser o mesmo que o URL da página do projeto criada em hub.qgis.org ou outro local;
- Repository: URL do repositório do código fonte para o plugin. Permite que outros utilizadores enviem correções e indicações para o plugin;
- Tags: lista de palavras-chave que descrevem a função do plugin separados por vírgula;
- Experimental: marcar esta caixa se o plugin é considerado experimental, permite a outros utilizadores filtrar plugins experimentais no Plugin Installer;

Após terminar o preenchimento da caixa de diálogo Plugin Builder e selecionando em OK, os arquivos iniciais do plugin estão criados. É indicado onde o plugin foi guardado, a localização do diretório QGIS plugin. Esta mesma informação está contida nos arquivos README.html

localizado no diretório do plugin gerado. É indicado também que há dois arquivos que devem ser compilados para poderem ser interpretados pelo QGIS:

- `resources.qrc`
- `form.ui`

Para compilar o arquivo `resources.qrc` em código Python, usa-se a função `pyrcc4` que vem como parte integrante da instalação PyQt (OSGeo4w Shell).

```
pyrcc4 -o resources.py resources.qrc
```

O arquivo `form.ui` contém a definição da interface com o utilizador e também terá de ser compilado para código Python do mesmo modo que o anterior, mas com a função `pyuic4`.

```
pyuic4 -o form.py form.ui
```

Após a compilação destes dois arquivos, o plugin gerado pode ser carregado no QGIS, copiando previamente o diretório do plugin para o diretório de plugin do QGIS. Em função da plataforma utilizada o local é o seguinte (Sherman, 2015):

- Linux: `.qgis/python/plugins`, no diretório pessoal, normalmente em, `/home/gsherman/.qgis/python/plugins`
- Mac OS X: `.qgis/python/plugins` no diretório pessoal, normalmente em, `/Users/gsherman/.qgis/python/plugins`
- Windows: `%HOMEPATH%\qgis\python\plugins`, por defeito em, `C:\Documents and Settings\gsherman\.qgis\python\plugins`

Usando a variável de ambiente `QGIS_PLUGINPATH` pode-se criar um novo caminho, obrigando o QGIS a ler os arquivos presentes neste local. Este processo pode ser útil aquando do desenvolvimento deste tipo de operações, permite testar o plugin, sem copiá-lo para o local indicado por defeito `qgis / python / plugins`.

Para utilizar este método, é necessário definir a variável de ambiente `QGIS_PLUGINPATH` para apontar para o diretório de desenvolvimento antes de iniciar o QGIS. Quando o QGIS inicia, todos os diretórios no `QGIS_PLUGINPATH` serão pesquisados e os que contêm plugins válidos serão adicionados ao Gestor de Plugin.

Com o plugin estabelecido, iniciar o QGIS, abrir o Gestor de Plugin, e instalá-lo. Em seguida, seleccionar o item de menu para o plugin para executá-lo. Se tudo estiver correto a interface gráfica construída surgirá, normalmente uma caixa de diálogo, com campos de inserção de texto e os tradicionais botões de OK, Cancel.

Se ocorrer algum erro, verificar a compilação dos dois arquivos indicados e voltar a tentar. Se pelo contrário, está a funcionar, então pode-se personalizar a interface gráfica em conjunto com o código necessário para que funcione corretamente.

## 4. Publicar Mapas Na Internet

Os mapas são por natureza um meio de divulgação e essencialmente de comunicação, vindo a ganhar relevância com o surgimento de grandes empresas multinacionais de serviços “online” e *software*, como por exemplo a Google e a Apple. Neste contexto surge a possibilidade de publicação dos mapas na internet geralmente conhecidos pelos “web maps”.

Alguns dos resultados obtidos, após algum processamento ou mesmo análises espaciais, têm especial interesse em serem publicados na internet, a utilização do plugin “qgis2web” (<https://github.com/tomchadwin/qgis2web/wiki>), permite a exportação dos temas ativos no QGIS em formato html, permitindo desse modo abrir os temas num navegador de Internet.

A vantagem deste processo é que permite em qualquer computador visualizar os temas processados em QGIS, demonstrado pela figura 58, referente ao resultado obtido após a conclusão da delimitação das áreas referentes ao grau de alteração do maciço rochoso, desenvolvido no capítulo 9.

Alem desta aplicação o QGIS pode ser utilizado em clientes ou servidores do tipo WMS, WMTS, WMS-C, WFS e WFS-T. Adicionalmente podem-se importar/exportar dados na internet utilizando servidores web UMN Mapserver ou um geoservidor instalado.



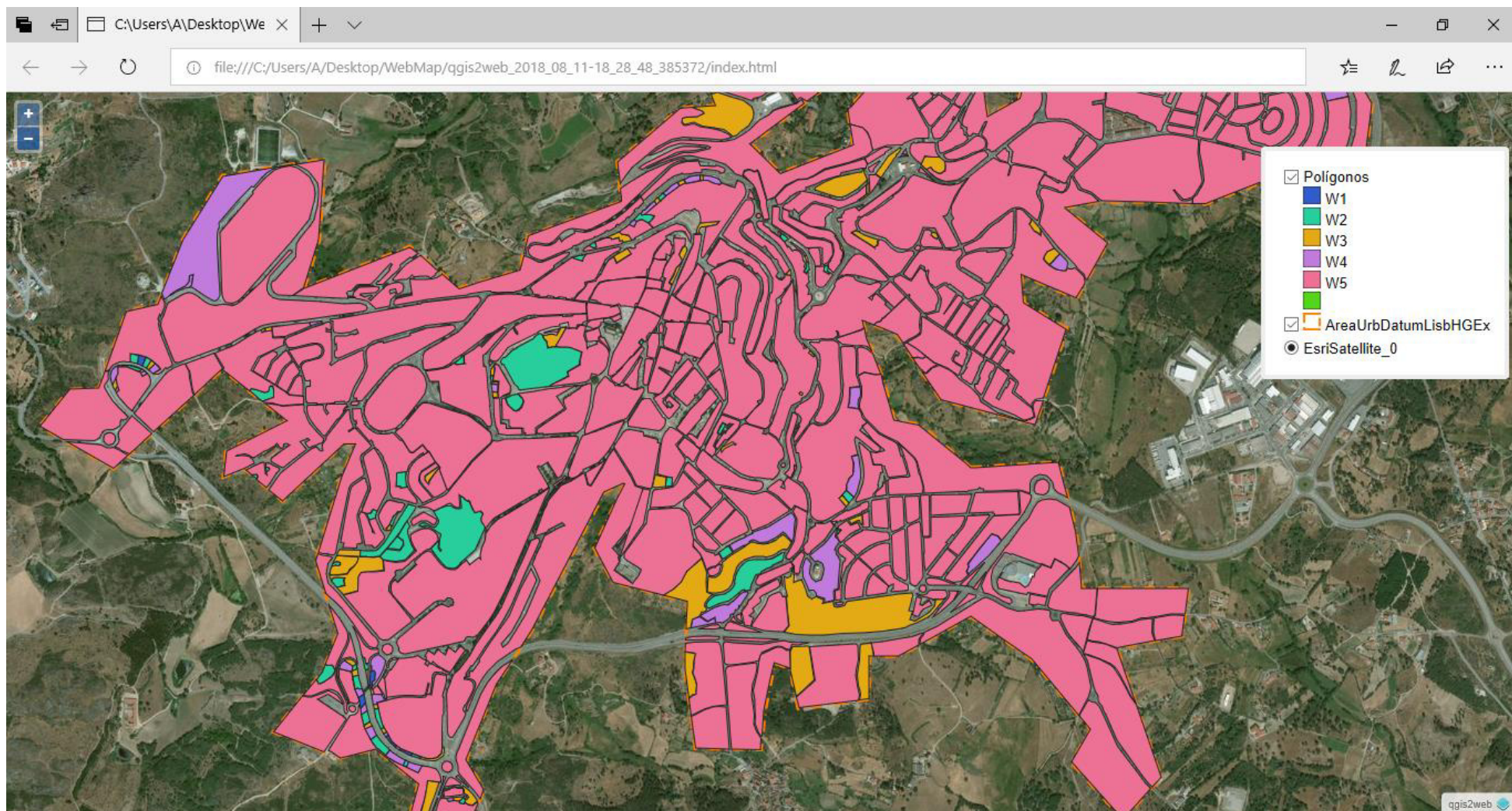


Figura 58- Abertura do mapa, com os polígonos referentes ao grau de alteração do maciço rochoso, no Microsoft Edge a partir do link gerado pelo plugin “qgis2web”



## 5. QGIS, Dispositivos Móveis

Os dispositivos móveis estão em franco crescimento, o que leva a que as empresas que desenvolvem aplicações informáticas criem aplicações similares, às já existentes para computador pessoal (PC), para estes dispositivos. Em relação aos Sistemas de Informação Geográfica, é bastante óbvio devido à forte ligação com a georreferenciação.

Existem duas opções, em relação a projetos desenvolvidos com o QGIS, para os dispositivos com o sistema operativo Android, o *software* QGIS e o QField.

O QGIS é uma aplicação similar à dos PC, embora se possa instalar em smartphones, a falta de espaço visual é bastante notória, demasiados menus e barras de ferramentas para pouco espaço, tornando-se operacional se instalado em tablet.

O QField, tendo um ambiente de trabalho mais simplificado torna-se mais fácil de operar em smartphone.

O QField é um projeto desenvolvido pela empresa OpenGIS (<https://www.qfield.org/>), funciona com a mesma licença pública do QGIS, GNU (General Public License), este aplicativo pode ser descarregado através da plataforma da Google Play (<https://play.google.com/store/apps/details?id=ch.opengis.qfield>).

Enumeram-se seguidamente os passos que foram seguidos para a utilização em campo deste aplicativo:

- O primeiro passo será a instalação da aplicação QField no dispositivo móvel, com sistema Androide, versão superior ou igual a Android 4.0.3;
- O segundo passo consiste na preparação do projeto que irá ser transferido para o dispositivo móvel, esta operação é realizada na versão “Desktop” do QGIS. O projeto exemplificativo foi constituído pelos seguintes temas:
  - “Guarda-AreaUrbana”, em formato vetorial, do tipo polígono e que contém o polígono que define a área urbana da Guarda;
  - “GrauAlteraGranito”, em formato vetorial, do tipo linha e define as áreas identificadas com o grau de alteração dos maciços rochosos, através da plataforma da Google “Street View”;
  - “Esri Satellite”, em formato raster. Que contém a imagem via satélite da cidade da Guarda, pode também ser utilizada uma imagem via Google, ou de outra plataforma que disponibilize imagens aéreas da região em estudo, a escolha incide na plataforma que oferece melhor cobertura, em termos de qualidade da imagem da região.
- O terceiro passo, consiste na transferência da pasta criada no passo anterior para o dispositivo móvel, pode ser colocada num cartão de memória a inserir no dispositivo.

- Quarto passo, abertura do projeto no programa QField, identificação dos temas e respectivos atributos, (figura 59 a) e b));
- Quinto e último passo, no caso do presente trabalho foi a ativação do GPS, (figura 59 b)), para localização das áreas classificadas com grau de alteração de W1 a W4, inclusive. As áreas ao serem localizadas, a sua classificação foi averiguada e o respetivo maciço foi fotografado.

Este processo tornou-se bastante útil não só para a localização das áreas como para a confirmação dos respetivos atributos. O processo em campo tornar-se-ia muito mais moroso, pois a localização das áreas e proximidade relativa entre elas e a posição do operador era imediata e quase permanente.

Os aspetos negativos estiveram relacionados com a qualidade de sinal GPS, pois a área de estudo estava integrada em área urbana em que o sinal é muitas vezes disperso pelo edificado, que caracteriza estas áreas.

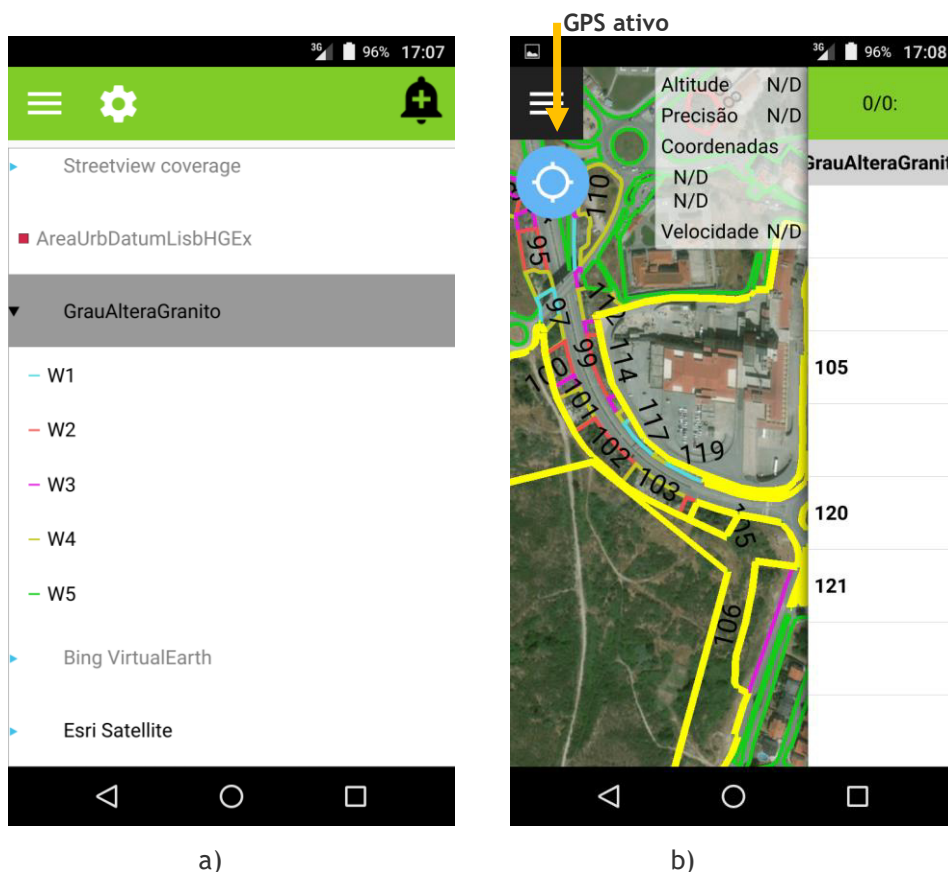


Figura 59 - QField, identificação dos temas a). QField com GPS ativo e seleção de elementos do tema GrauAlterGranito b)

Pensamos ser um aspeto inovador, que em modelos de cartografia geotécnica já instalados não existia. É uma ferramenta relativamente recente, ainda necessita de alguma fluidez, mas com a constante melhoria dos equipamentos, sistemas operativos e recetores de GPS, atualmente GNSS, passará a ser de uso frequente.

## 6. QGIS, Otimização de Formulários

A utilização de formulários é um recurso bastante útil para o preenchimento de campos correspondentes a atributos de uma determinada tabela, que por sua vez caracteriza os elementos gráficos de um determinado tema geográfico/espacial.

A figura 60 mostra a janela que dá acesso à edição de formulários, à esquerda existe uma lista de tipo de entrada de dados que pode ser atribuído um determinado cada atributo.

Para cada atributo deve ser indicado um valor o “Alias”, que irá descrever de uma forma entendível o atributo.

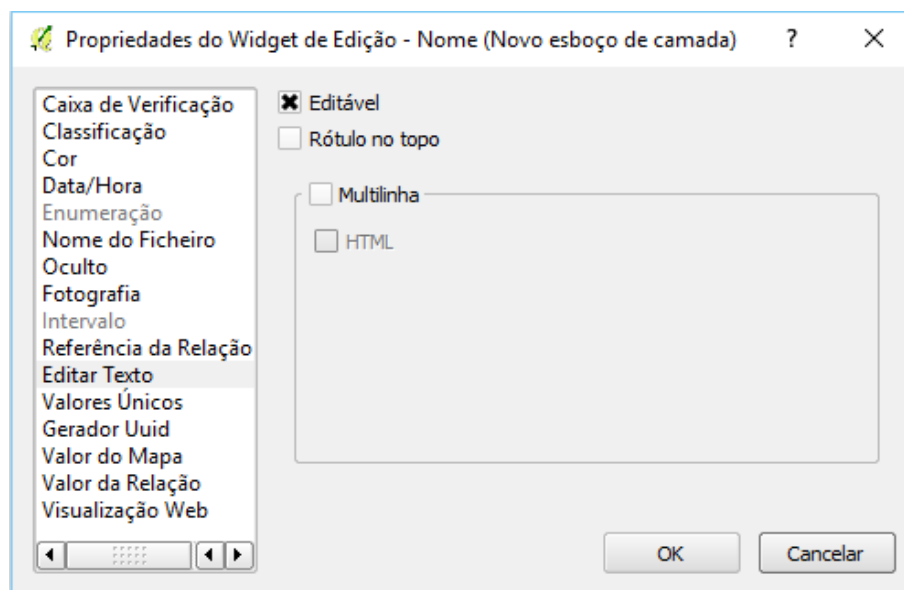


Figura 60 - Propriedades de ferramentas de edição de formulários (QGIS, 2016)

A cada atributo pode ser atribuído um determinado tipo de entrada de dados, estando os seguintes tipos de entrada de dados disponíveis:

- Caixa de verificação, configuração da caixa de verificação e dos valores a guardar no atributo para as duas situações possíveis, selecionado ou não selecionado;
- Classificação, mostra uma caixa de combinação com valores usados para a classificação, é necessário escolher para a propriedade da camada o estilo categorizado;
- Cor, campo que permite a escolha da cor;

- Data/Hora, campo que permite a colocação de uma data com determinado formato;
- Enumeração, valores a ser usados para do tipo de campo. De momento só é suportado pelo Postgres;
- Nome do ficheiro, permite a abertura de uma caixa de diálogo para a seleção de um determinado ficheiro;
- Oculto, permite ocultar um atributo ao utilizador;
- Fotografia, permite a abertura de uma caixa de diálogo para a seleção do ficheiro que contem a fotografia a ser mostrada no formulário;
- Intervalo, permite definir um intervalo de valores numéricos. No formulário, a escolha dos valores numéricos pode ser feita através de seleção direta, de barra deslizante ou de botão de rotação;
- Referência de relação;
- Editar texto, permite a introdução de texto em multilinha;
- Valores únicos, permite a seleção de um valor já existente na tabela de atributos. Se estiver no modo editável valores adicionais são possíveis, caso contrário o valor é selecionado a partir de uma caixa de combinação;
- Gerador Uuid, campo só de leitura, gera um UUID (Universally Unique Identifier), se o campo estiver vazio;
- Valor do Mapa, caixa de combinação com dados predefinidos. Permite a definição dos dados que irão surgir na caixa de combinação assim como uma breve descrição de cada um. Os dados podem ainda ser carregados a partir de uma camada já existente, ou de um ficheiro csv;
- Valor da Relação, permite a procura de dados a partir de uma relação já existente;
- Visualização Web, permite guardar no atributo um nome de ficheiro ou a URL de uma página da Internet.

Para a construção do tema que caracteriza o grau de alteração do granito foi construído um formulário com a inclusão dos seguintes campos:

- id, do tipo inteiro;
- GrauAlteração, do tipo alfanumérico;
- Data, do tipo data;
- Fotografia, do tipo alfanumérico.

A figura 61 indica as definições criadas para os quatro atributos, da tabela associada ao tema.

Id	Nome	Nome alternativo	Tipo	Nome do tipo	Comprimento	Precisão	Comentário	WMS	WFS
123 0	id	ID	qlonglong	Integer64	10	0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
abc 1	GrauAlterar	Grau de Alteração do Granito	QString	String	5	0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	Data	Data de Entrada	QDate	Date	10	0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
abc 3	Fotografia	Foto Atual	QString	String	254	0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 61 - Definições dos atributos para o tema grau de alteração do granito, (QGIS, 2018)

O campo id, permite guardar um número identificativo para o elemento criado, no presente trabalho apenas foram atribuídos identificadores aos elementos gráficos que correspondiam a graus de alteração de W1 a W4.

O campo GrauAlterar foi criado para guardar o grau de alteração do maciço rochoso, como as opções eram os valores fixos de W1 a W5, atribui-se uma caixa de combinação a este elemento tornando-se mais acessível a escolha e evitando a introdução de erros de escrita, (figura 62).

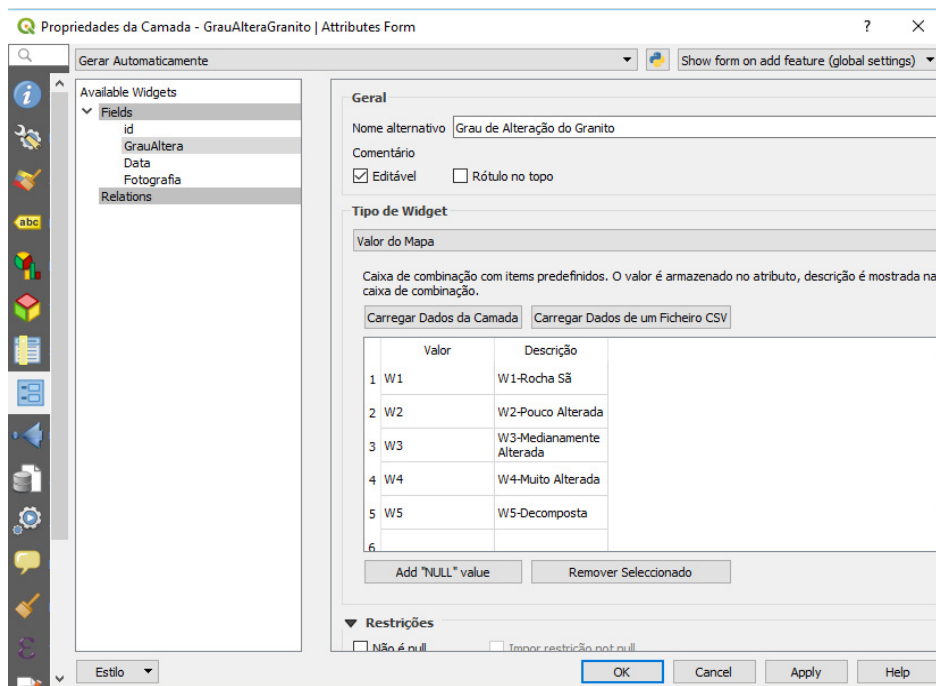


Figura 62 - Definições do atributo GrauAlterar, (QGIS, 2018)

O tipo de “widget” para este campo foi “Valor do Mapa”, indicando como valores opcionais para este atributo W1 a W5 e as respetivas descrições, como mostra a figura 63.

**Geral**

Nome alternativo: Grau de Alteração do Granito

Comentário

Editável  Rótulo no topo

**Tipo de Widget**

Valor do Mapa

Caixa de combinação com itens predefinidos. O valor é armazenado na caixa de combinação.

Carregar Dados da Camada Carregar Dados de um Ficheiro CSV

	Valor	Descrição
1	W1	W1-Rocha Sã
2	W2	W2-Pouco Alterada
3	W3	W3-Medianamente Alterada
4	W4	W4-Muito Alterada
5	W5	W5-Decomposta
6		

Add "NULL" value Remove Selecionado

Figura 63 - Definições do atributo GrauAlterar, valores da caixa de combinação, (QGIS, 2018)

Para o campo Data, foi adicionado um calendário do tipo “Popup”, para facilitar o preenchimento dos valores de data, este campo é opcional podendo ser preenchido quando se pretende gravar a data em que foi criado o elemento gráfico. O tipo de “widget” é Data/Hora, tendo a opção de escolher um formato para este campo, (figura 64).

Gerar Automaticamente Show form on add feature (global settings)

Editável  Rótulo no topo

**Tipo de Widget**

Data/Hora

formato do campo

Data yyyy-MM-dd

Visualização do widget

Personalizado dd-MM-yyyy

Janela do calendário

Permitir valores NULOS

Pré-visualização 12-08-2018

**Restrições**

Não é null  Impor restrição not null

Único  Impor restrição única

Expressão 123 id

Descrição da expressão

Impor expressão de restrição

**Padrões**

Valor predefinido

Estilo OK Cancel Apply Help

Figura 64 - Definições do atributo GrauAlterar, campo Data, (QGIS, 2018)

Finalmente para o campo Fotografia, para tipo de “widget” escolhe-se anexo, indicando o caminho para a pasta que contém os anexos, (figura 65).

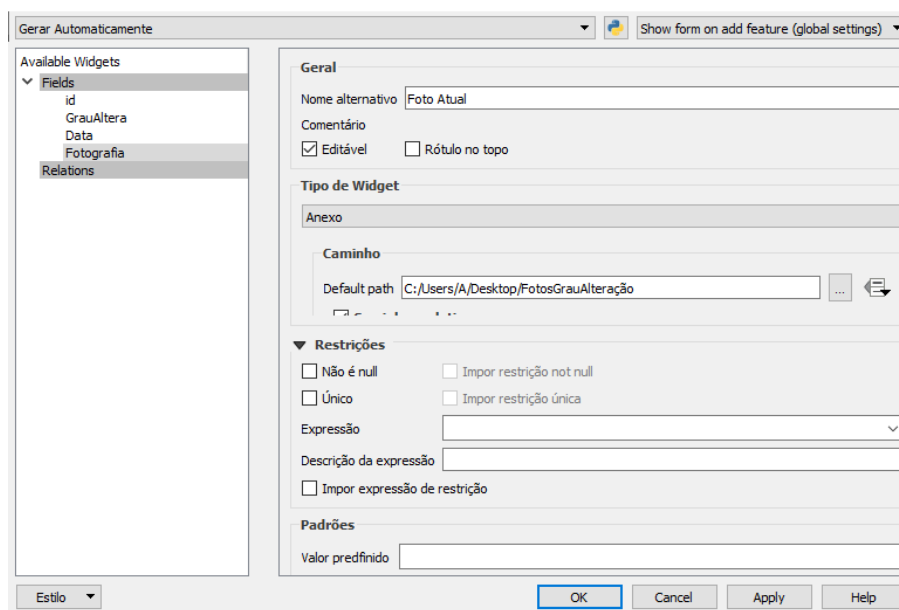


Figura 65 - Definições do atributo GrauAltera, campo Fotografia, (QGIS, 2018)

Além da indicação do caminho para os anexos é necessário definir o tipo de anexo (figura 66), onde para este caso em particular foi definido como imagem.

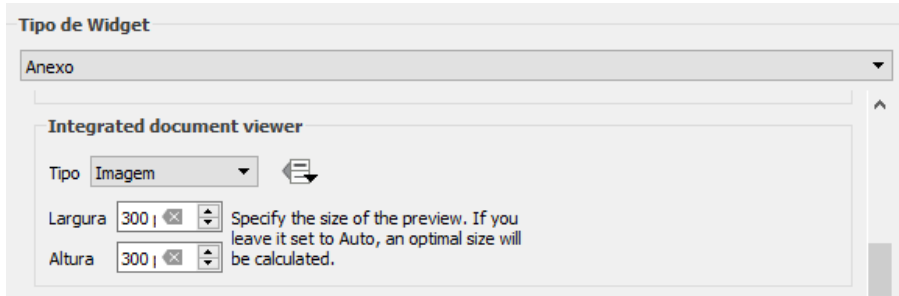


Figura 66 - Definições do atributo GrauAltera, campo Fotografia, tipo de anexo, (QGIS, 2018)

A figura 67 mostra a imagem do formulário obtido com este tipo de personalização de formulários, o QGIS permite internamente este tipo de personalização de formulários.

Existe ainda outra solução para a personalização de formulários que tem por base a utilização do “Qt Designer”, programa de desenho de interfaces gráficas com recurso à linguagem Python.

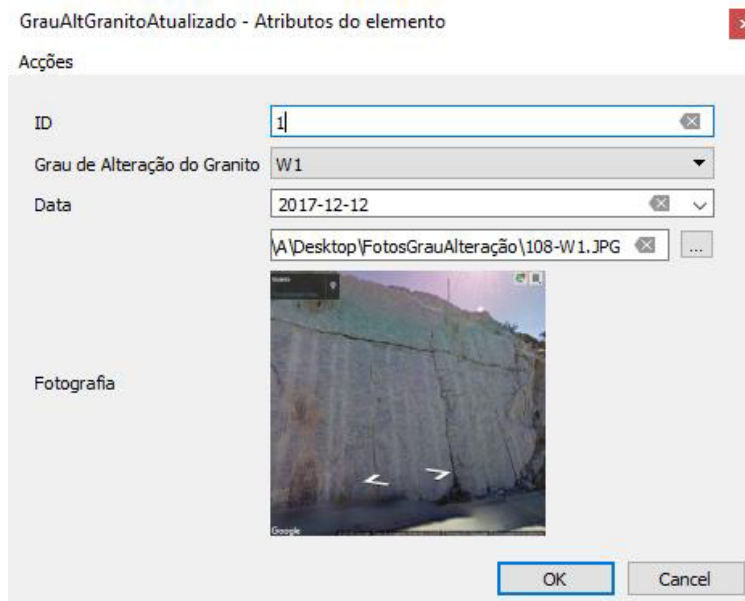


Figura 67 - Formulário, (QGIS, 2018)

Para criar o formulário personalizado, é necessário instalar o Qt Designer, ou o Qt Creator, (figura 68). Atualmente quando se instala o programa QGIS em Windows é normalmente instalada a estrutura Qt e Qt Designer.

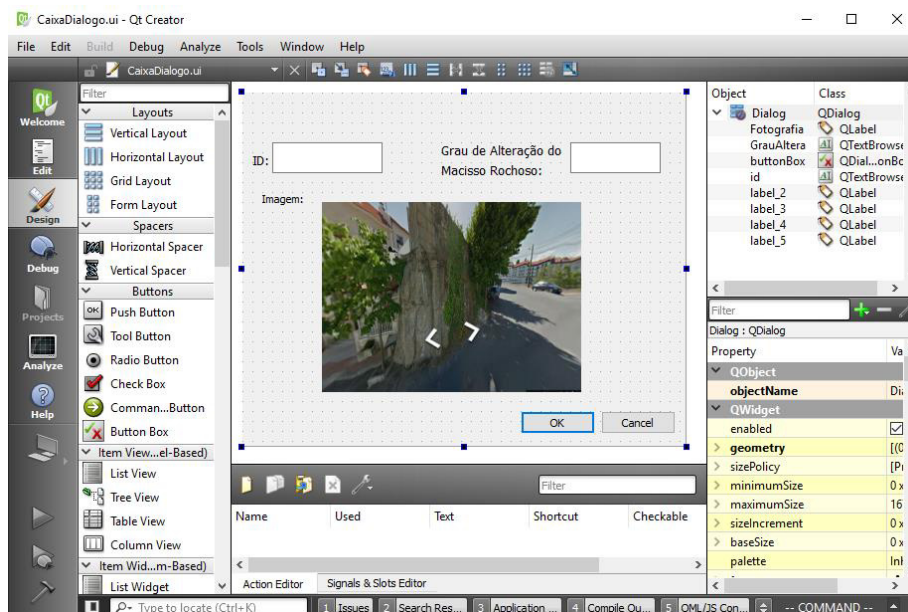


Figura 68 - Criação de formulário, Qt Designer

Para este trabalho foi criado um formulário que disponibiliza a informação descritiva inerente a cada polígono, ou seja, para cada polígono os atributos que o caracterizam (ID, Grau de Alteração do Maciço Rochoso e Imagem), (figura 69).

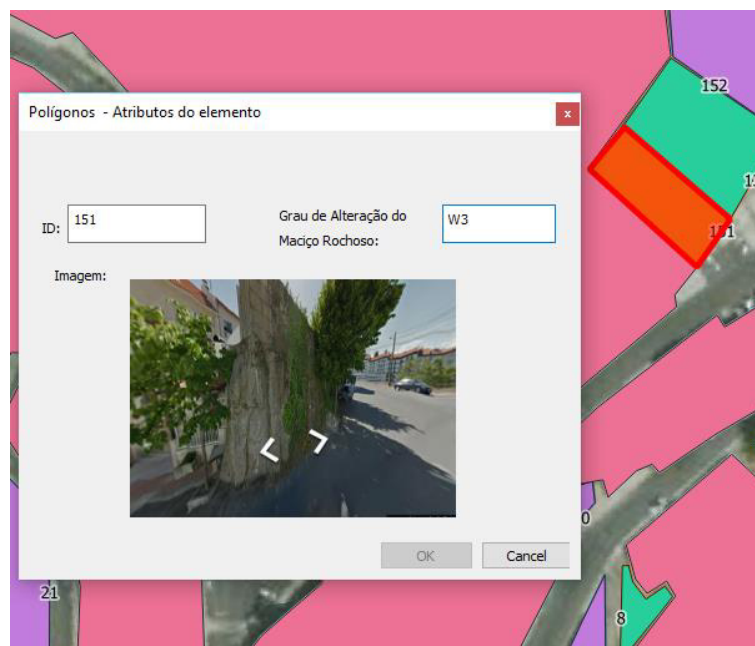


Figura 69 - Formulário no QGIS, (QGIS, 2018)

O formulário depois de criado no Qt Creator deve ser guardado, de preferência na pasta do projeto QGIS, nas propriedades da respetiva camada deve ser indicado “Fornecer ficheiro-UI” e no campo “Indicar UI” colocar o caminho onde foi guardado o formulário, (figura 70).

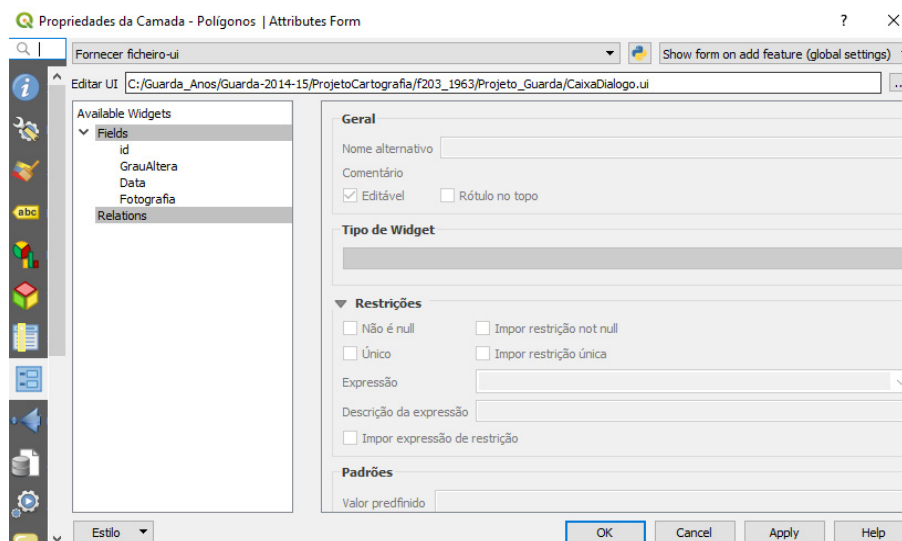


Figura 70 - Criação de formulário, Qt Designer

Com este tipo de formulário torna-se muito mais simples visualizar a informação descritiva de um determinado elemento gráfico. Se for necessário tornar este formulário mais interativo pode-se criar em linguagem python uma estrutura lógica de validação dos campos que compõe o formulário. A ferramenta e o modelo ensaiado podem ser utilizados para outros formulários, nomeadamente associados à Engenharia Civil nas suas diversas especialidades, Geotecnia, Hidráulica, Planeamento Urbano, entre outras.

## 7. Alternativa ao Open Layer Plugin

Na versão 3.0 do QGIS, o Plugin “Open Layer” não está disponível, como alternativa pode-se utilizar um script que deve ser executado a partir da consola Python, dentro do QGIS. O Script adiciona fontes, que estão disponíveis “on-line”, ao Navegador QGIS (<https://qms.nextgis.com/>). A referência a cada fonte deve conter uma lista com os seguintes itens (tipo string): [fonte, título, authconfig, senha, referenciador, url, nome de utilizador, zmax, zmin]. As fontes presentes no código podem ser alteradas, retirando ou adicionando novas fontes.

O script utilizado para este projeto contem as ligações às principais plataformas que eram acedidas pela aplicação “Open Layer Plugin”, o script utilizado está presente no Apêndice 2.

# Capítulo 8 - Enquadramento da Área em Estudo

## 1. Enquadramento Regional Carta Geológica (folha nº 18-C)

### 1.1. Localização

A Guarda é capital de distrito e está situada na região da Beira Alta (figura 71), ocupando uma área de 5.535,6 km<sup>2</sup>, insere-se no maior afloramento granítico do país, disposto numa orientação de NW-SE, desde Caminha, no Minho, passando por Viseu até à Guarda. É limitada a Norte pelo concelho de Pinhel. A Oeste por Gouveia, a NW pelo concelho de Celorico da Beira, a NE por Almeida e a SE pelo concelho de Sabugal, (figura 72).

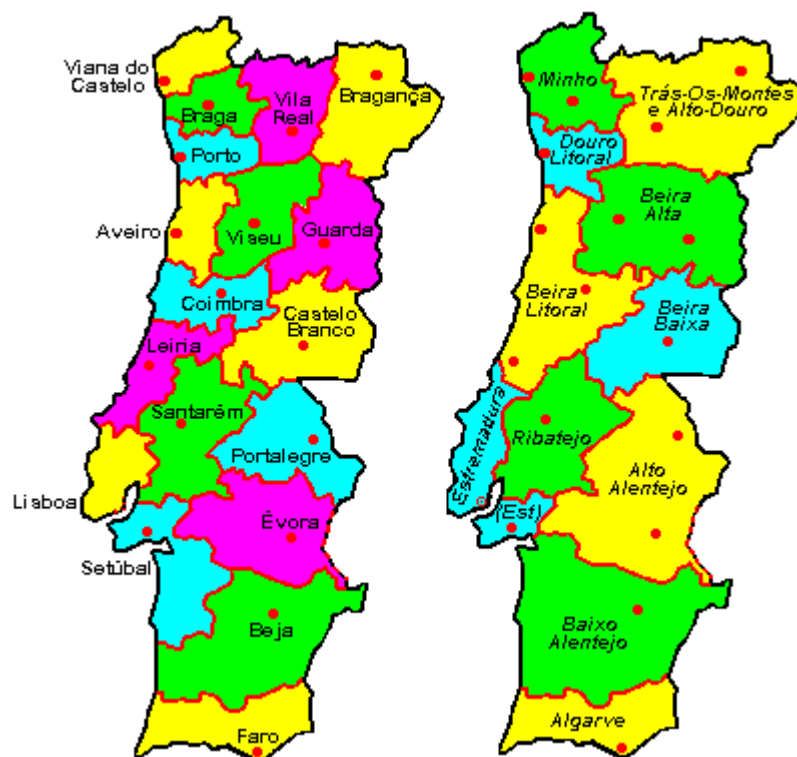


Figura 71 - Portugal, distritos e regiões



Figura 72 - Distrito da Guarda

O mapa geológico da Guarda, na escala de 1/50.000, abrange a área representada pela folha 18-C (Guarda) da carta corográfica de Portugal, publicada pelo Instituto Geográfico e Cadastral, atual Direção Geral do Território (DGT).

## 1.2. Geomorfologia

O território abrangido pelo mapa geológico da Guarda corresponde a uma zona de unidades geomorfológicas diferentes resumidas na tabela 11:

Tabela 11 - Unidades geomorfológicas, adaptado da carta geológica, folha nº 18-C (Guarda)

Região	Altitude	Cursos de água	Caracterização	Picos e vértices geodésicos
ORIENTAL	± 800m	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rio Côa</li> <li>• Rio Noeme</li> <li>• Rio Diz</li> <li>• Ribeira de Cabra</li> <li>• Ribeira de Seixo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vale de vertentes abertas, exceto na Ribeira de Cabras que tem gargantas profundas.</li> <li>• Cabeços graníticos semeados de típicos cáos de blocos.</li> <li>• Filões quartzosos que forma pequenas lombas</li> </ul>	<p>GRANÍTICOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vigia (838m),</li> <li>• Molêdos (889m)</li> <li>• Granja (863), Antas (850m)</li> <li>• Albardo (856m)</li> <li>• Cabeço de Homem (822m)</li> <li>• Cumieira (789m),</li> <li>• Baraçal (883m)</li> <li>• Picotos (859m)</li> <li>• Carapetos (833m)</li> <li>• Galinha (953m)</li> <li>• Vale da Areia (851m)</li> <li>• Cabecinha (925m)</li> <li>• Sortelhão (886m)</li> </ul>

Tabela 11 (continuação) - Unidades geomorfológicas, adaptado da carta geológica, folha nº 18-C (Guarda)

Região	Altitude	Cursos de água	Caracterização	Picos e vértices geodésicos
				FILÕES QUATZOSOS: <ul style="list-style-type: none"> <li>Serra (771m), Preces (792m)</li> <li>Picoto (799m)</li> </ul>
OCIDENTAL	± 1000m	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rio Mondego e afluentes</li> <li>Rio Zêzere e afluentes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Relevos vigorosos, montanhosos, de esporão granítico, que representam as primeiras elevações da Serra da Estrela, em que sobressai a linha de alturas que da Guarda se orienta para SW</li> <li>Vales profundos e apertados do Mondego e Zêzere</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Castelo (1057m)</li> <li>Pedra do Vento (1050m)</li> <li>Forte Do Velho (1066m)</li> <li>Penedo do Ladário (1072m)</li> <li>Caramelo ou Albarrões (1119m)</li> <li>Mosqueteiros (1118m) e a N atinge os 1031m</li> <li>Lanchal (1034m))</li> </ul>
NOROESTE	± 1000m	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rio Mondego</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Relevos vigorosos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pedra Sobreposta (1063m)</li> <li>Lomba (1134m)</li> <li>Outeiro das Cruzes (1090m)</li> </ul>
SUDESTE	± 1000m	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rio Zêzere e Coa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Relevos entre João Antão e Pena Lobo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Frágoas (1015m)</li> </ul>

### 1.3. Geologia

A região cartografada é essencialmente de natureza granítica, com pequenas áreas de xisto intercaladas, numerosos filões, constituídos principalmente por quartzo e rochas básicas, por fim existem ainda aluviões recentes. Cronologicamente pode-se dividir:

- ✓ Terrenos modernos de cobertura, da qual fazem parte:
  - Aluviões atuais: Resultam de depósitos aluviais, nos vales de alguns rios. São constituídos, em geral, por areias e argilas. Destes destaca-se a Ribeira de Gaia, que pela sua extensão deram origem a explorações mineiras. Na Quinta da Bica a água é impotável dado o elevado teor de ferro encontrado.
- ✓ Rochas do soco antigo, da qual fazem parte:
  - Complexo Xisto-grauváquico ante-ordovícico e series metamórficas derivadas. Na área coberta por esta carta, há afloramentos xistentos, metamorfizados e alguns migmatizados, pertencentes à extensa formação xisto-grauváquico-quartzítica que ocupa grande parte da Beira. A rocha é xisto micáceo, macio,

xistos quartzo-micáceo e corneanas quartzo-pelítico. Quanto à sua distribuição encontra-se resumida na tabela 12.

Tabela 12 - Rochas de soco antigo, adaptado da carta geológica, folha nº 18-C (Guarda)

Regiões	Xisto e composição	Localidades	Picos e vértices geodésicos
ORIENTAL	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Xistos micáceos, com camadas gresosas e quartzitos.</li> <li>• Rochas deformadas e muito fraturadas.</li> <li>• Fenómenos de silicificação</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mancha de Cerdeira e de Tojais,</li> <li>• Mancha de Albardo e Pombal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Senhora do Monte (840m)</li> <li>• Raza 4<sup>a</sup> (843m)</li> </ul>
OCIDENTAL	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Xistos quartzo-micáceos, metamorfizados, constituídos por: quartzo, biotite, moscovite, sericite, minerais acessórios como feldspatos, zircão, turmalina, óxidos e hidróxido de ferro.</li> <li>• As corneanas são constituídas por quartzos, biotite, moscovite, cordierite, feldspatos e minerais acessórios como apatite, zircão, clorite e rútilo acicular</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Área a norte de Faia</li> <li>• A Oeste de Vila Soeiro</li> <li>• Quinta do Botão</li> <li>• São Gonçalo</li> </ul>	
SUL	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Xistos quartzo-micáceos, e corneano</li> <li>• Rochas muito alteradas, transformadas em produtos argilosos</li> <li>• Com impregnação ferruginosa</li> <li>• Componentes essenciais: quartzo, sericite, moscovite, clorite e andaluzite (Marmeleiro), pinite, biotite (Pega), corderite, minerais acessórios como feldspatos, apatite e minerais metálicos como zircão, turmalina, grafite (Vale das Éguas)</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Marmeleiro</li> <li>2. Pega</li> <li>3. Prado</li> <li>4. Alto dos Barros</li> </ol>	

Relativamente à Zona Urbana da Guarda e de acordo com a carta geológica ilustrada na figura 73, o granito predominante é do tipo monzonítico de duas micas com largo predomínio da biotite. São rochas leucomesocráticas, com grandes cristais de feldspato e grão geralmente grosseiro.

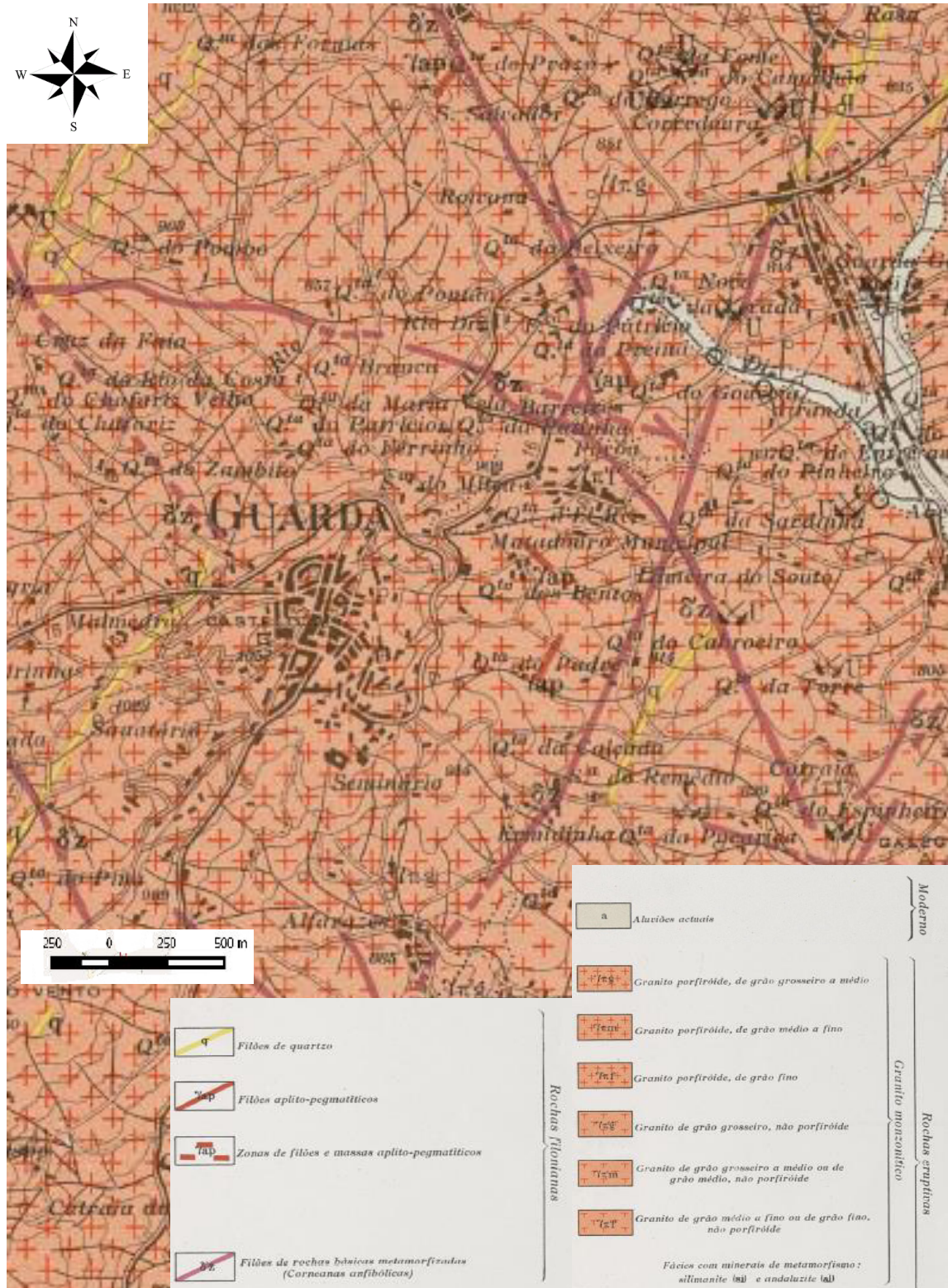


Figura 73 - Estrato da carta Geológica, folha nº 18-C (Guarda), correspondente à área abrangente da cidade da Guarda

O granito apresenta textura nitidamente porfiróide, de grão muito grosseiro a grosseiro, tendo os megacristais feldspáticos comprimentos médios de 45 mm, podendo ultrapassar os 70 mm. De referir que não raramente estes megacristais de feldspato representam um relevo positivo muito pronunciado, evidenciado geralmente em frentes verticais do maciço viradas a sul (Antão, 2004).

Localmente também se observa um granito com outros feldspatos de cor róseo e com manchas de alteração verde (cloritização).

A região é atravessada por um conjunto de rochas filonianas encaixadas no maciço granítico. As mais abundantes são os filões de natureza quartzosa, encontrando-se também filões de rochas básicas geralmente muito alteradas, bem como filões aplíticos.

Os filões de rocha básica são por vezes de mais difícil deteção, devido ao avançado estado de alterações em que se encontram.

## 1.4. Tectónica

A área em estudo insere-se no noroeste do Maciço Hespérico ou Ibérico (figura 74), que ocupa a parte ocidental e central da Península Ibérica. A região é predominantemente granítica, pertence à intrusão hercínica, originada no final do Carbónico.

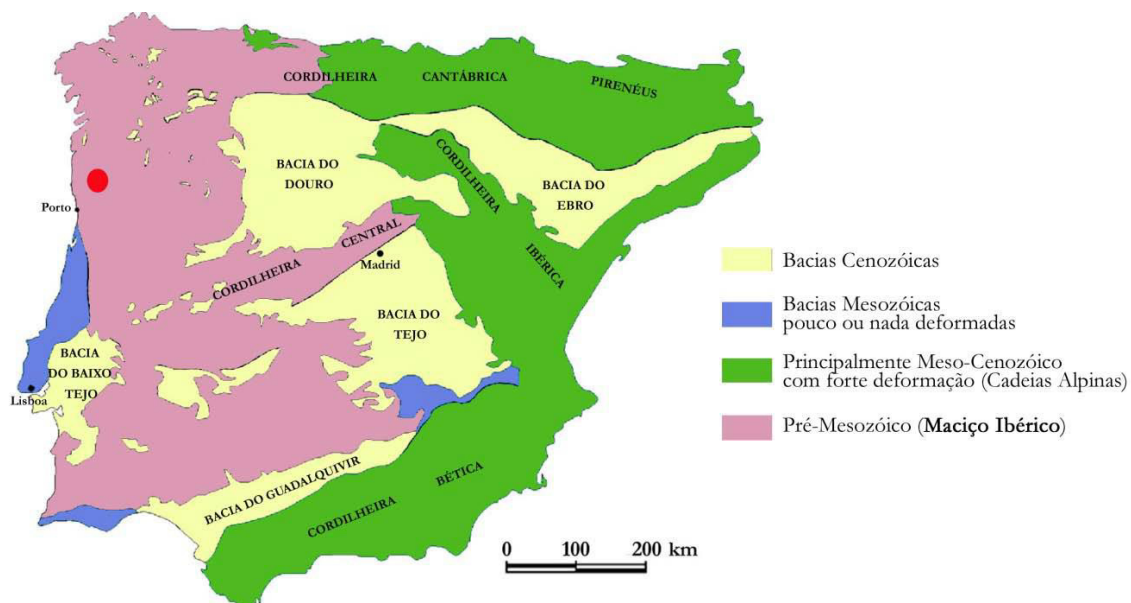


Figura 74 - Maciço Ibérico e Cadeias Alpinas, unidades morfoestruturais da Península Ibérica (Adaptado de Pérez-Estaún et al. (2004))

Ações tectónicas importantes, nomeadamente os movimentos hercínicos, atingiram o maciço granítico, fraturando-o, permitindo a instalação de filões ao longo das fraturas, dando origem aos filões pegmatíticos, aplito-pegmatíticos e hipotermiais de quartzo, com mineralização volfrâmica.

Na segunda fase do Mesozoico, aparecem massas e filões de rochas básicas, devido à atividade eruptiva, as afinidades destas rochas com as das orlas meso-cenozoicas permitem considerar a sua contemporaneidade. Tais rochas são mais antigas que os filões de quartzo epitermais que as integram.

Os filões quartzo-jaspoides instalaram-se em fraturas, provocadas pelas ações tectónicas mais recentes, ou seja, os movimentos Alpinos e têm uma orientação NE-SW.

O complexo xisto-grauváquico ante-ordovícico é a unidade geológica mais antiga, é representada pelas manchas xistentas, resultantes de uma extensa formação sedimentar que cobria o ocidente peninsular, remota à era Paleozoica.

## 2. Enquadramento Geomorfológico

A área de estudo localiza-se no maior afloramento granítico do país, cujas cotas se situam aproximadamente a 1.000m.

A cidade da Guarda está assente num esporão granítico a 1.057m, donde se observa a superfície da meseta Ibérica 200 m abaixo. Insere-se numa região montanhosa, granítica, com rocha nua aflorante, que por vezes origina um solo arenoso de fraca espessura.

O maciço rochoso encontra-se muito fraturado e erodido devido à ação contínua e prolongada de agentes físicos, nomeadamente os ciclos de gelo e degelo e às deslocações provocadas pelo rejogo das falhas de orientação NE-SW, ex: vales retilíneos de natureza tectónica de alguns afluentes dos rios Mondego e Zêzere- as ribeiras do Caldeirão e de Gaia respetivamente.

A cidade da Guarda é limitada a Oeste pelos vales do rio Mondego e seus afluentes e a Este pelos rios Noéme, Diz e ribeira de Massueime. Caracteriza-se por verões quentes e secos e invernos frios, o valor da temperatura média anual, entre o período de 1941-1970, foi de 10,7°C, podendo atingir -12,3°C de temperatura mínima absoluta mensal e os 35°C de temperatura máxima absoluta. A precipitação média anual foi de 1094 mm. Para o mesmo período verificou-se uma ocorrência média de 13 dias com neve, 6 dias com o solo coberto de neve e 43 dias com geada de acordo com o plano de ordenamento do parque natural da serra da estrela (serviço nacional de parques reserva e conservação da natureza 1987).

### **3. Classificação e Descrição da Alteração dos Maciços Rochosos para Engenharia Geológica e Mapeamento**

Um engenheiro geólogo, civil ou de minas, perante um maciço rochoso, deve considerá-lo como um conjunto de blocos de rocha intacta, separada por vários tipos de discontinuidades geológicas. O comportamento geomecânico de um maciço rochoso pode ser influenciado por várias propriedades, nomeadamente, se a rocha intacta for frágil, alterada ou se as discontinuidades estiverem amplamente espaçadas (BIENIAWSKI, 1989 e LOPES, 2001).

A caracterização das propriedades do meio rochoso é fundamental pois condicionam o seu comportamento perante as solicitações impostas por uma obra (ABGE, 1998). Essas características variam de local para local, em função da história geológica da região considerada e do grau de alteração do maciço rochoso.

A alteração de materiais cristalinos, a dissolução dos minerais em determinadas fases, originam a formação de vazios. O processo de alteração contínua, muda a estrutura original da rocha, formando-se macro e microfissuras que alteram a rocha. Em geral as rochas perdem resistência tornando-se mais plásticas e permeáveis com o avanço do grau da alteração, embora a dimensão desta alteração dependa da natureza da rocha, do tipo e estágio da alteração (ANON, 1970, 1977 e 1995).

O grau de alteração pode-se refletir na mudança das propriedades índices, como densidade, razão de vazios, argila contida e velocidade de propagação das ondas sísmicas.

O processo de alteração causa mudanças progressivas na porosidade das rochas devido à mudança na distribuição e tamanhos dos vazios, na geometria e conectividade desses vazios assim como na formação de novos vazios (Nicholson, 2001). A consequência deste processo será a alteração dos parâmetros físicos, químicos e a modificação também dos parâmetros mecânicos, diminuindo a resistência e aumentando a deformabilidade. O processo natural, será a rocha sujeita a alteração física e química, passando a solo residual e finalmente, após transporte e deposição, à formação de um solo sedimentar a jusante.

#### **3.1. Alteração**

Para a Geologia de Engenharia, a alteração intempérica é a mais importante, dada que sua ação favorece a diminuição da resistência mecânica, o aumento da deformabilidade e a modificação das propriedades de permeabilidade das rochas, ABGE (1998).

A alteração define-se como o conjunto de modificações físico-químicas a que as rochas são submetidas, que conduz à degradação de suas características mecânicas.

Os principais tipos de alteração que afetam as rochas são a alteração deutérica, ou primária, e a alteração meteórica ou intempérica. O primeiro tipo ocorre em ambiente endógeno enquanto que o segundo na dependência da hidrosfera e atmosfera, em ambiente exógeno, ABGE (1998).

No mesmo tipo litológico, a rocha menos resistente e mais deformável, apresenta uma alteração mais avançada o que permite reconhecer estágios ou graus de maior intensidade ABGE (1998).

O índice de alterabilidade expressa a taxa da variação da alteração de uma determinada rocha no tempo. Quanto maior a diferença entre as condições de formação de um mineral e suas condições à superfície terrestre, maior será a velocidade de alteração. Pois a tendência de todo mineral é de estabilizar físico-quimicamente, através de adaptações às novas condições ambientais a que estão expostos.

Para avaliar a alterabilidade de uma amostra podemos utilizar:

- Ensaios raios X
- Microscópio eletrônico
- Análise petrográfica macro e microscópica
- Ensaios específicos, em que as reações intempéricas são aceleradas por meio de catalisadores ex. ciclagem natural, com etileno-glicol, com água-estufa, Ciclagem via extrator soxhlet

Segundo AZEVEDO e MARQUES (2002), o índice de alterabilidade está diretamente relacionado ao grau de intemperismo da rocha e indica a tendência de desagregação da mesma. Este índice é bastante útil, por oferecer uma faixa relativa de durabilidade da rocha.

As rochas desenvolvem perfis de alteração, que dependem de fatores intrínsecos à rocha (litologia, textura, estruturas, mineralogia, etc.) e de fatores extrínsecos como o clima, drenagem, etc. (Marques, 1992). Ao longo destes perfis de alteração, as rochas apresentam variações nas suas propriedades geomecânicas como reduções na resistência, aumento da deformabilidade e do conteúdo de água, com elevação da alteração.

A International Society of Rock Mechanics (ISRM, 1978, 1981) propôs, conforme indicado na tabela 13, uma classificação do grau de alteração (“weathering classification”) do maciço para estudos de geologia aplicada.

Tabela 13 - Classificação e descrição de maciços rochosos com diferentes graus de alteração, segundo a ISRM (1977)

Termo	Descrição	Classe
SÃO	Nenhum sinal visível de alteração da matriz; possível leve descoloração ao longo das descontinuidades principais.	I
LEVEMENTE ALTERADO	Descoloração indica alteração da matriz da rocha e de superfícies de descontinuidade. Toda a matriz da rocha pode estar descolorida pela alteração e pode estar algo mais branda externamente do que na condição sã.	II
MEDIANAMENTE ALTERADO	Menos da metade da matriz da rocha está decomposta ou, desintegrada à condição de solo. Rocha sã ou descolorida presente, formando um arcabouço descontínuo ou como núcleos de rocha.	III
ALTAMENTE ALTERADO	Mais da metade da matriz da rocha está decomposta e, ou, desintegrada à condição de solo. Rocha sã ou descolorida está presente, formando um arcabouço descontínuo ou como núcleos de rocha.	IV
COMPLETAMENTE ALTERADO	Toda a matriz da rocha está decomposta e, ou, desintegrada à condição de solo. A estrutura original do maciço está, em grande parte, preservada.	V
SOLO RESIDUAL	Toda a rocha está convertida em solo. A estrutura do maciço e da matriz da rocha está destruída. Há grande variação de volume, mas o solo não foi significativamente transportado.	VI

### 3.2. Classificação de Maciços Rochosos

A classificação dos terrenos, sob o ponto de vista da Geologia para Engenharia, reveste-se de especial importância, quando esses terrenos se destinam a ser utilizados pela Engenharia Civil.

Essa classificação deve ser universal, independente da opinião do geólogo, baseada em parâmetros quantificáveis a partir de observações, ensaios simples e expeditos.

A primeira classificação dos materiais geológicos do ponto de vista da Geologia de Engenharia, bem como da Engenharia Civil, é em:

- Maciços terrosos/Solos: terrenos que se desagregam facilmente quando agitados dentro de água. Os critérios de classificação dos solos são universalmente aceites e estudados no âmbito da mecânica dos solos.
- Maciços rochosos/Rochas: Não há ainda uma classificação unânime, tendo-se criado dois grupos, um em 1972 do âmbito da Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas (ISRM) e o outro em 1975 da Associação Internacional de Geologia de Engenharia (IAEG), com a preocupação de estabelecerem sistemas de classificação que pudessem vir a ser aceites internacionalmente.

Do ponto de vista da Geologia de Engenharia, a classificação dos terrenos deverá basear-se quer em critérios geológicos, quer em parâmetros que visem as aplicações práticas do domínio da engenharia civil.

Na maioria dos casos parece adequado considerarem-se cinco graus de alteração dos maciços rochosos conforme se esquematiza na tabela 14.

Tabela 14 - Grau de alteração dos maciços rochosos, ISRM (1978, 1981)

<b>Símbolos</b>	<b>Designações</b>	<b>Características</b>
$W_1$	são	sem quaisquer sinais de alteração
$W_2$	pouco alterado	sinais de alteração apenas nas imediações das discontinuidades
$W_3$	medianamente alterado	alteração visível em todo o maciço rochoso mas a rocha não é friável
$W_4$	muito alterado	alteração visível em todo o maciço e a rocha é parcialmente friável
$W_5$	decomposto (saibro)	o maciço apresenta-se completamente friável com comportamento de solo

Nas sondagens com recuperação contínua de amostra, um indicador do estado de alteração das rochas atravessadas, é o da percentagem de recuperação resultante das operações de furação. A percentagem de recuperação obtém-se multiplicando por 100 o quociente entre a soma dos comprimentos de todos os testemunhos obtidos numa manobra e o comprimento do trecho furado nessa manobra. Este índice de recuperação pode ser influenciado pela qualidade do equipamento de furação, pela competência do operador, por particularidades litológicas ou estruturais das formações geológicas, normalmente considera-se que um maciço rochoso é pouco alterado (logo, em princípio, de boa qualidade) quando se obtém percentagens superiores a 80%, muito alterado (logo de má qualidade) para percentagens inferiores a 50% e medianamente alterado para valores intermédios.

Deere em 1967 desenvolveu um sistema de classificação baseado num índice que designou por RQD (“Rock Quality Designation”), indicativo da qualidade de maciços rochosos (tabela 15), definido a partir dos testemunhos de sondagens realizadas com recuperação contínua de amostra.

Tabela 15 - Classificação dos maciços com base no RQD, (Dreere, 1988)

<i>RQD</i>	Qualidade do Maciço Rochoso
0 - 25%	muito fraco
25 - 50%	fraco
50 - 75%	razoável
75 - 90%	bom
90 - 100%	excelente

Este índice (8.1), que tem vindo a ser muito utilizado internacionalmente, é definido como a percentagem determinada pelo quociente entre o somatório dos troços de amostra com comprimento superior a 10 cm ( $l_i$ ) e o comprimento total furado ( $L$ ) em cada manobra.

$$RQD (\%) = \frac{\sum l_i (> 10 \text{ cm})}{L} \times 100 \quad (8.1)$$

É comum usarem-se valores recomendados pelos códigos de construção para a capacidade de carga admissível em maciço rochoso, contudo a geologia, o tipo de rocha e o RQD, são parâmetros significativos que devem ser usados em conjunto para os recomendados valores. Torna-se comum o uso de fatores de segurança ( $FS$ ) elevados para capacidade de carga nas rochas. O  $FS$  deve ser dependente do RQD, sendo maior quando o RQD baixa, Bowles (1988).

O estado de fracturação de um maciço caracteriza em regra, o espaçamento entre diaclases e vai condicionar o grau de alteração avaliado unicamente pelo índice RQD. A tabela 16 indica a classificação dos maciços rochosos em função da distância entre as fraturas.

Tabela 16 - Grau de fracturação dos maciços rochosos, ISRM (1978, 1981)

<b>Símbolos</b>	<b>Intervalo entre fracturas (cm)</b>	<b>Designação</b>
<b>F<sub>1</sub></b>	> 200	muito afastadas
<b>F<sub>2</sub></b>	60 - 200	afastadas
<b>F<sub>3</sub></b>	20 - 60	medianamente afastadas
<b>F<sub>4</sub></b>	6 - 20	próximas
<b>F<sub>5</sub></b>	< 6	muito próximas

Os parâmetros de Engenharia estimados, para validação e demonstração do modelo à frente criado (cartografia geotécnica digital), na área urbana da Guarda, que são de um solo residual granítico e/ou maciço rochoso granítico com diferentes graus de alteração, para além de serem estimados empiricamente não respeitam as descontinuidades herdadas e, portanto, associados a um grau de erro.

### **3.3. Descrição Básica dos Maciços Rochosos**

A descrição geotécnica básica dos maciços rochosos foi proposta pela ISRM (1978, 1981), com o propósito de ter um código de linguagem que permita a descrição de maciços rochosos, em relação ao seu comportamento mecânico, de forma inequívoca, isto é, que deve ser baseada em medições muito simples em vez de observação direta dos maciços rochosos e de forma que diferentes observadores classifiquem um dado maciço rochoso da mesma forma.

Na descrição geotécnica básica devem ser incluídas a caracterização geológica, duas características estruturais dos maciços rochosos como a espessura e volume e o espaçamento entre fraturas, duas características mecânicas como compressão simples do material da rocha e o ângulo de atrito das descontinuidades.

A descrição básica deve-se aplicar após se efetuar o zonamento prévio do maciço a classificar, o qual deve ser baseado em variações de litologia, de estado de alteração, de grau de fracturação, entre outros.

Na caracterização geológica é recomendado fazer referência por um lado à classificação litológica e petrográfica, composição mineralógica, textura, cor, etc., por outro lado ao grau de alteração das rochas (W1 ... W5).

### **3.4. Descrição Básica dos Maciços Terrosos - Residuais**

Os maciços terrosos podem ser classificados em dois grandes grupos, em função do seu modo de formação, cada grupo inclui solos com características físicas, químicas e mecânicas muito diferentes, assim temos:

- Solos sedimentares;
- Solos residuais.

Os solos sedimentares são formados por acumulação de partículas minerais resultantes da decomposição ou desintegração de rochas. Estas partículas são transportadas para um depósito sedimentar através da gravidade, pelo vento e pela água. Neste processo de sedimentação, o depósito estratigráfico do material transportado resulta no processo de consolidação que está associado ao tempo decorrido após o processo de transporte.

Já em relação aos solos residuais, são solos que não estão associados a processos de erosão e transporte, ocupam o volume da rocha-mãe, rocha que lhe deu origem. As tipologias físicas e mecânicas são distintas, consoante o grau de alteração a que se reduziu a rocha mãe.

Os solos residuais podem ainda classificar-se como:

- Solo residual jovem ou saprólito, física e mecanicamente pode-se classificar como solo, mas preserva a estrutura original da rocha-mãe;
- Solo residual decomposto, perdeu completamente a estrutura da rocha-mãe pelos processos de enfraquecimento provocados pela meteorização, a que se seguiram litificações e precipitações químicas secundárias, com geração de novas ligações entre partículas.

A figura 75, mostra um perfil de alteração do solo, segundo a classificação ISRM (1981). Verifica-se que a partir de determinada profundidade passamos de maciços terrosos para maciços rochosos, há uma total dependência entre as duas classificações.

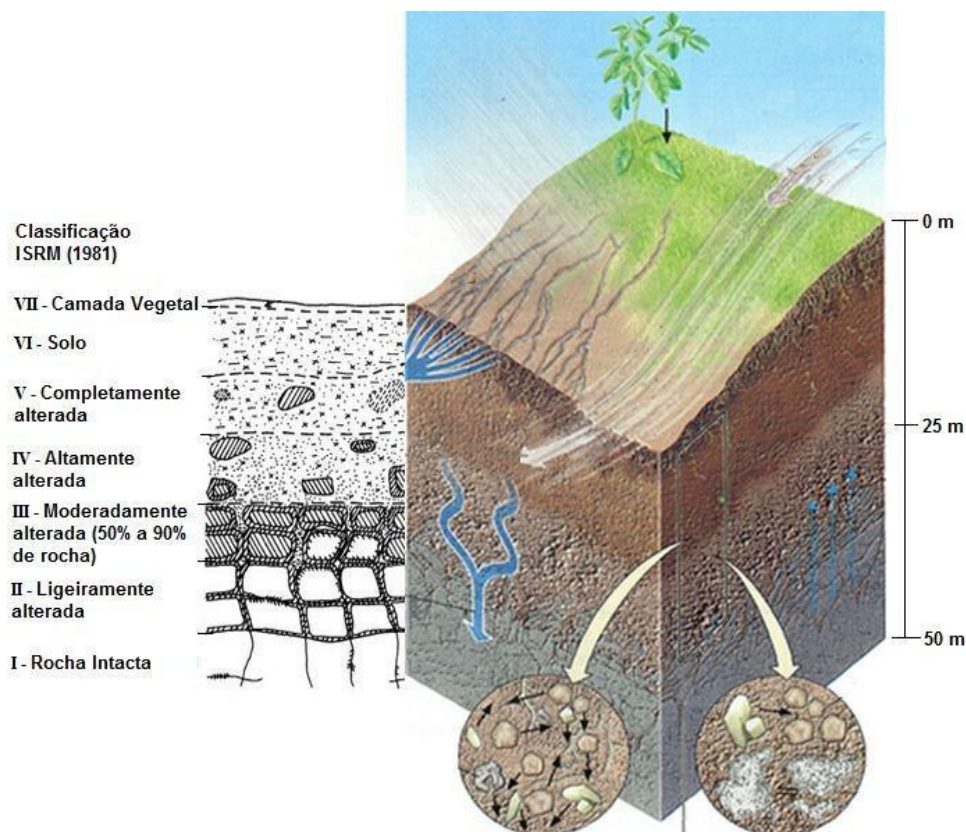


Figura 75 - Classificação ISRM (1981) do Solo Residual e espessura das respetivas camadas

No norte de Portugal, existem quase exclusivamente solos do tipo residual ou saprólito. O processo de formação de solos residuais confere-lhes características e comportamentos mecânicos particularmente complexos.

Os solos residuais em geral têm sido pouco estudados, particularmente no que respeita à definição do estado crítico e as condições de estado limite. Têm-se desenvolvido estudos para

o conhecimento do comportamento mecânico do solo residual granítico e o estabelecimento de modelos que descrevam o comportamento tensão-deformação por Viana da Fonseca (1988, 1996), Andrade Pais (1998, 2007), Cavaleiro (2001) e Rodrigues (2003). A maioria dos estudos tem focado o comportamento mecânico saturado de areias e argilas.

De salientar também, que em áreas de montanha como é o caso da Serra da Estrela e em especial na zona de estudo, cidade da Guarda, as camadas superficiais da figura 75 podem não existir surgindo logo à superfície grandes afloramentos graníticos.



# Capítulo 9 - Aplicação do Modelo Desenvolvido

## 1. Introdução

A cartografia geotécnica em áreas urbanas tem sofrido avanços notáveis. A difusão dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), intensificada nas últimas décadas, veio proporcionar um passo significativo no desenvolvimento da cartografia geotécnica por recurso à utilização de bases de dados geográficas e novas ferramentas de análise (Rodrigues Carvalho et al., 2010). A crescente necessidade de uma informação mais completa e diversa parecem favorecer os *softwares* de código aberto, por outro lado a necessidade de se tornarem competitivos perante *softwares* comerciais levou ao aparecimento de conteúdos livres, *Free Open Source software* (Cosme, 2012). Refira-se também o surgimento de plataformas *web*, que de algum modo disponibilizam informação cartográfica, destacam-se a Google nas suas diversas plataformas, a Bing Maps, o igeo (espaço web da Direção Geral do Território (DGT)) e o OpenStreetMap.

Pretende-se demonstrar com este trabalho, que utilizando informação geográfica vinda de plataformas abertas e *software* livre de código aberto (QGIS), se poderá elaborar cartografia de índole geotécnica, em áreas urbanas, ou outras, definindo a delimitação de áreas identificadoras ou zonamentos definidos por parâmetros qualitativos, tipo grau de alteração do maciço, ou quantitativos, sejam físicos, químicos ou mecânicos, tal como já realizado em trabalhos publicados por Monteiro et. al (2017, 2018, 2019).

O trabalho foi desenvolvido inicialmente para a delimitação de áreas identificadoras do grau de alteração do granito, através de módulos com ligação à plataforma “streetview”, com o *software* QGIS versão 2.8.1. Posteriormente o projeto foi importado para a versão 3.0.1 do QGIS. Foi importada cartografia da plataforma OpenStreetMap, sendo posteriormente filtrada, conforme demonstraremos mais à frente no desenvolvimento da Base Geográfica, dando origem a vários temas entre os quais - GuardaAreaResidencial. Na figura 76 este tema está sobreposto a uma imagem aérea, obtida da plataforma Bing, demonstrando uma boa integração entre dados vindo de plataformas distintas e modelos de dados gráficos também distintos, os dados da plataforma OpenStreetMap estão no modelo vetorial e a imagem da plataforma Bing no modelo raster.

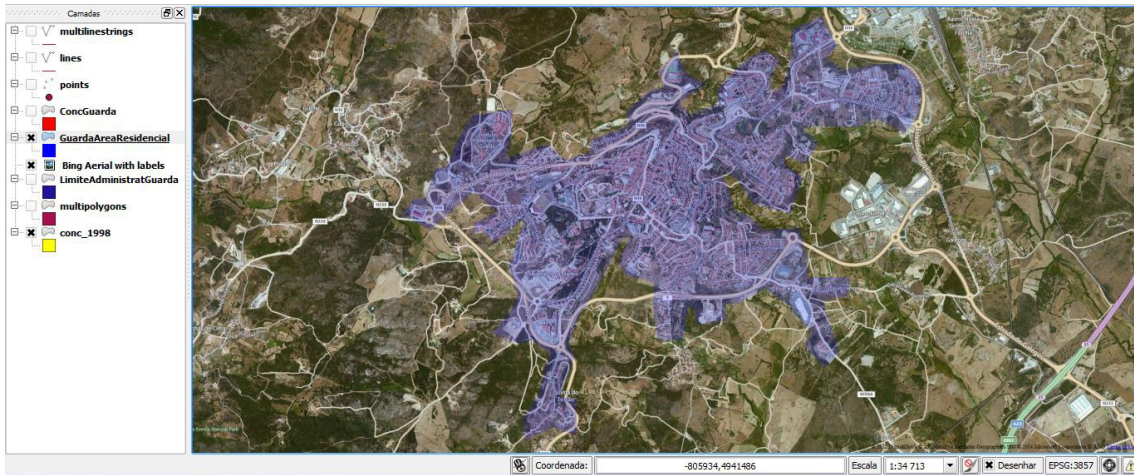


Figura 76 - QGIS, Sobreposição OpenStreetMap- GuardaAreaResidencial com imagem aérea

Já na figura 77 a Área Residencial, obtida a partir da plataforma OpenStreetMap, foi sobreposta à carta geológica, ambos os modelos de dados gráficos são matriciais.

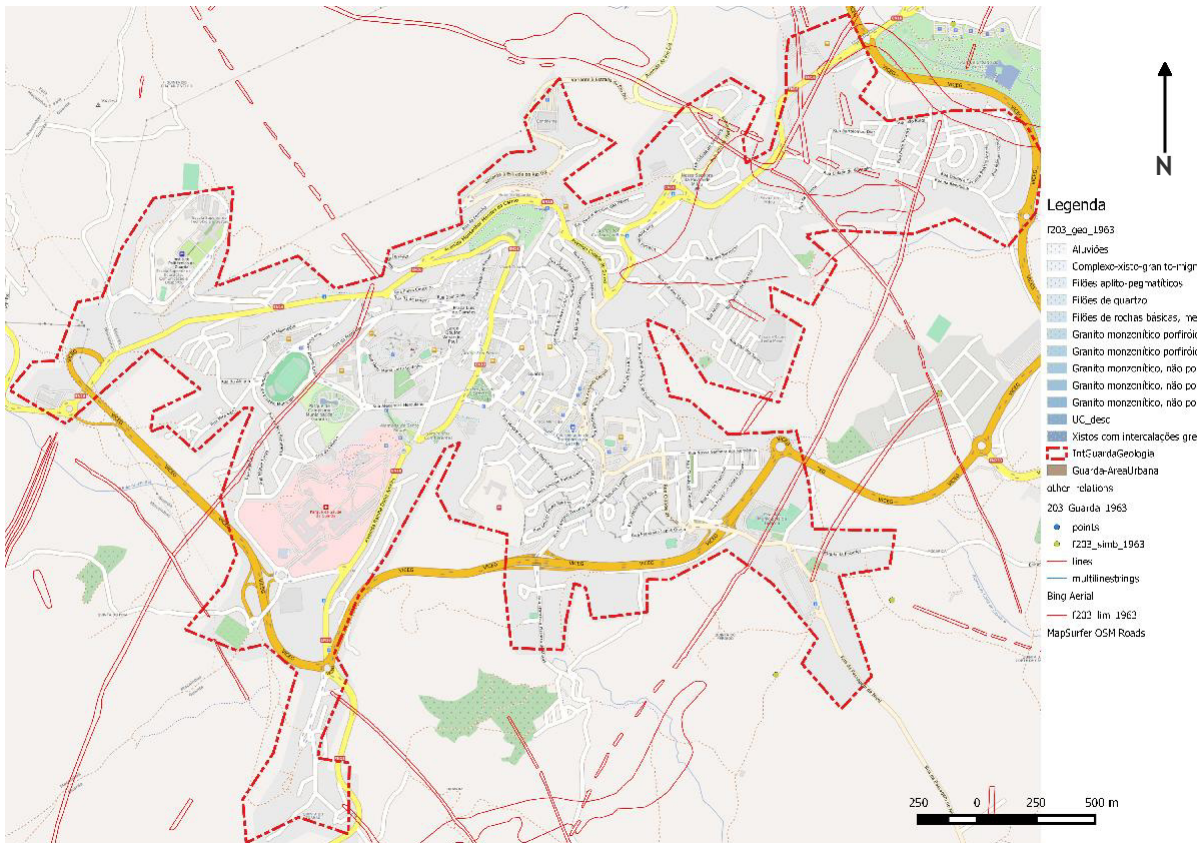


Figura 77 - QGIS, cruzamento com carta geológica

## 2. Aplicações Informáticas

Nos últimos tempos, tem surgido um conjunto de aplicações informáticas na área da cartografia geotécnica (Costa Pereira, 2011), em especial:

- No tratamento automático dos dados;
- Na elaboração de mapas de elementos ou fatores individuais ou combinados entre si;
- Na preparação de bases de dados;
- Na atualização contínua dos mapas com dados e informação;
- Na preparação de modelos 3D e simulação de ações sobre o terreno.

A cartografia geotécnica tem múltiplas aplicações, tanto na área de engenharia como ao nível do planeamento regional e territorial (Vallejo et al., 2004). No âmbito do planeamento local e urbano estas aplicações traduzem-se na elaboração de mapas integrados, com diversos aspetos geológico-geotécnicos, a pequena e média escala. Em engenharia elaboram-se mapas de estudos prévios ou de viabilidade para seleção de localização de obras ou de traçados, existindo ainda mapas com a inclusão de cortes ou perfis geotécnicos elaborados a grandes escalas.

Foi com estes conceitos em mente, que em cada passo se orientaram os objetivos, abordando a maioria dos itens indicados por Costa Pereira (2011).

### **3. Software “Free Open Source”**

Surgiram nas últimas décadas *softwares* livres de código aberto, conhecidos por “Free Open Source Software”. O “Open Source Software”, ou código aberto, pretende estimular a deteção de erros, criação, modificação e investigação de novos recursos, com o objetivo de desenvolver e melhorar o programa. Os projetos de código aberto, envolvem pessoas com diferentes capacidades de programação e necessidades, por forma a criar um produto completo.

Como referido em 7.2., página 21, o carácter gratuito dos programas é uma questão ética e social, sendo talvez a componente “Open Source”, mais apelativa, pois permite o acesso à fonte do programa.

O acesso ao código fonte do programa, vai ao encontro da necessidade de se obter uma informação mais completa e diversa, tornando-os deste modo, mais estimulantes e adaptáveis perante os programas comerciais.

Na tabela 2, da página 22, estão indicadas as vantagens e desvantagens dos programas informáticos “Open Source”, em comparação com os comerciais. De realçar a vantagem de serem livres e terem o código aberto, mas por outro lado poderão ser mais exigentes com o utilizador, pois tem como desvantagens o suporte técnico e a instalação.

Portanto todas estas indicações levaram à escolha de um programa informático “Free Open Source”, como indicado previamente, o QGIS.

## 4. Utilização de Identificadores Epsg

A indicação dos sistemas de referência em Sistemas de Informação Geográfica, nomeadamente no QGIS, pode ser efetuada através da utilização dos identificadores EPSG, definidos pelo “European Petroleum Search Group” (EPSG) e pelo Instituto Geográfico Nacional de França (IGNF), em grande parte referenciados pelos utilizados na Geospatial Data Abstraction Library (GDAL). Os identificadores, ou códigos EPSG, estão presentes na base de dados do QGIS podendo ser usados para especificar o sistema de referência.

No portal do DGT ([http://www.dgterritorio.pt/dados\\_abertos/codigos\\_epsg/](http://www.dgterritorio.pt/dados_abertos/codigos_epsg/)), encontra-se uma lista de códigos EPSG utilizados em Portugal e a sua correspondência com os sistemas nacionais. Apresentam-se seguidamente, na tabela 17, os códigos nacionais associados a Portugal Continental. Os códigos correspondentes aos Arquipélagos dos Açores e da Madeira estão presentes no capítulo 4, em Sistemas de Coordenadas.

No decorrer dos trabalhos vão ser utilizados os códigos correspondentes aos sistemas de coordenadas associados aos dados gráficos e cartografia utilizada, de referir ainda que os dados importados das plataformas estão normalmente nos sistemas globais ligados ao datum WGS84.

Tabela 17 - Códigos EPSG de Portugal Continental

PORTUGAL CONTINENTAL	
SISTEMAS LOCAIS	EPSG: 4274 (Datum 73/ Coordenadas Geográficas 2D)
	EPSG: 27493 (Datum 73/ Hayford-Gauss)
	EPSG: 4207 (Datum Lisboa/ Coordenadas Geográficas 2D)
	EPSG: 5018 (Datum Lisboa/ Hayford-Gauss)
	EPSG: 20790 (Datum Lisboa/ Hayford-Gauss com falsa origem - Coordenadas Militares)
SISTEMAS GLOBAIS	EPSG: 4936 (ETRS89/ Coordenadas Geocêntricas)
	EPSG: 4937 (ETRS89/ Coordenadas Geográficas 3D)
	EPSG: 4258 (ETRS89/ Coordenadas Geográficas 2D)
	EPSG: 3763 (ETRS89/ PT-TM06)

Em relação aos sistemas Globais utilizados pela Google, Bing, OpenStreetMap e outras plataformas deste tipo, os mais utilizados são os seguintes:

- EPSG: 4326 (Datum WGS84/ Coordenadas Geográficas)
- EPSG: 3857 (Datum WGS84/ Pseudo-Mercator)

## 5. Sistema de Informação Geográfica - QGIS

O QGIS é um Sistema de Informação Geográfica livre de código aberto (Free Open Source) e como vimos, no item 3 deste capítulo, foi o escolhido para este projeto pelas razões indicadas e pelas referidas neste item. A primeira versão surgiu em 2002, com o objetivo inicial de

fornecer um modelo SIG para visualizar dados de natureza diversa, mas com carácter espacial, segundo o seu criador Gary Sherman. Atualmente ainda é usado apenas para visualizar dados raster e vetoriais em vários formatos. Têm vindo a adicionar novas funcionalidades através de complementos, atualmente o QGIS oferece várias funcionalidades comuns aos restantes programas de SIG.

É um projeto oficial da Open Source Geospatial Foundation (OSGeo), licenciado segundo a Licença Pública Geral GNU (GPL). Atualmente corre em vários sistemas operativos, Linux, Unix, Windows, Mac OSX e Android. É desenvolvido utilizando o QT toolkit (<http://qt.nokia.com>) e C++, o que permite que este tenha uma interface gráfica amigável de fácil utilização.

É constituído por uma parte nuclear, que contém um conjunto de módulos internos pré-instalados e por uma segunda parte constituída por módulos externos. Os módulos externos, estão presentes no repositório oficial PyQGIS e podem ser facilmente instalados usando o Instalador de plugin Python (QGIS, (2016). User Guide).

## 6. Base Geográfica

No início o projeto estava para ser desenvolvido com a cartografia existente no Município da Guarda, cartografia à escala 1:10.000 referenciada ao datum 73, com projeção de Gauss e o datum altimétrico referenciado ao Marégrafo de Cascais. EPSG: 27493 (Datum 73/ Hayford-Gauss). Posteriormente foi decidido utilizar, a par do *software* livre também, a cartografia disponível em plataformas de acesso livre e que promove a contribuição comunitária para a manutenção desta atualizada.

Portanto a base geográfica é constituída pela carta geológica produzida pelo Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), e por fontes cartográficas não tradicionais.

A carta geológica utilizada é a folha 203-Guarda, à escala 1:25.000 que deriva da carta 1:50.000 de 1963. A carta está referenciada ao datum Lisboa do IGeoE, projecção Hayford-Gauss, em formato ShapeFile.

O formato ShapeFile tem como vantagem o facto de ser interpretado pela maioria dos Sistemas de Informação Geográfica, contendo duas grandes componentes: a componente gráfica, que contém a definição geométrica do lugar, e a componente descritiva, que caracteriza através de vários atributos a componente gráfica.

No caso de estudo, a componente gráfica é constituída por polígonos em que cada polígono é caracterizado por um código (UC\_cod), e os respetivos atributos inerentes a este código, conforme indicado na tabela 18.

Tabela 18 - Tabela com os dados da componente descritiva da ShapeFile, carta geológica, 203-Guarda

UC_cod	UC_desc	Grupo	Eonotema	Eratema	Sistema	Série
(Código da Unidade cartografada)	(Descrição da Unidade Cartografada)	(Grupo litostratigráfico)	Idade	Idade	Idade	Idade
Aluv	Aluviões	Depósitos sedimentares do Cenozóico	Fanerozóico	Cenozóico	Quaternário	Holocénico
Xz_1	Xistos com intercalações gresosas e quartzíticas, geralmente metamorfizados	Super-Grupo Dúrico-Beirão (Complexo Xisto-Grauváquico)	Proterozóico - Fanerozóico	Neoproterozóico-Paleozóico	Ediacariano-Câmbrico	
Xyz	Complexo-xisto-granito-migmatítico	Super-Grupo Dúrico-Beirão (Complexo Xisto-Grauváquico)	Proterozóico-Fanerozóico	Neoproterozóico-Paleozóico	Ediacariano-Câmbrico	
(gama-pi)g	Granito monzonítico porfiróide, de grão grosseiro a médio	Unidades Magmáticas Intrusivas: Granito Monzonítico				
(gama-pi)f	Granito monzonítico porfiróide, de grão fino	Unidades Magmáticas Intrusivas: Granito Monzonítico				
(gama-pi_l)g	Granito monzonítico, não porfiróide, de grão grosseiro	Unidades Magmáticas Intrusivas: Granito Monzonítico				
(gama-pi_l)m	Granito monzonítico, não porfiróide, de grão médio, ou de grão grosseiro a médio	Unidades Magmáticas Intrusivas: Granito Monzonítico				

Tabela 18 (continuação) - Tabela com os dados da componente descritiva da ShapeFile, carta geológica, 203-Guarda

UC_cod	UC_desc	Grupo	Eonotema	Eratema	Sistema	Série
(Código da Unidade cartografada)	(Descrição da Unidade Cartografada)	(Grupo litostratigráfico)	Idade	Idade	Idade	Idade
(gama-pi_l)f	Granito monzonítico, não porfiróide, de grão fino, ou de grão médio a fino	Unidades Magmáticas Intrusivas: Granito Monzonítico				
f_qz	Filões de quartzo	Rochas Filonianas				
(gama)ap	Filões aplito-pegmatíticos	Rochas Filonianas				
f(beta)z	Filões de rochas básicas, metamorfizadas (corneanas anfibolíticas)	Rochas Filonianas				

A tabela 18 é editável sendo complementada com observações de campo, que levam ao refinamento das respetivas formas geométricas.

Relativamente à Base Geográfica não tradicional, foi dada preferência a plataformas abertas, utilizando-se o Google maps, Bing maps e o OpenStreetMap. Como *software*, foi utilizado o QGIS, pelos motivos indicados no ponto anterior.

Foram utilizados dados gráficos/cartográficos nos modelos raster e vetor. Os dados vetoriais tiveram origem na plataforma OpenStreetMap e na carta geológica. Os dados raster tiveram origem na plataforma Bing Maps.

Para os dados raster, através do módulo OpenLayers plugin, selecionou-se a imagem aérea do Bing Maps, pois mostrou, no momento, ser a imagem de melhor qualidade.

Para os dados vetoriais, importou-se a informação disponibilizada pela plataforma OpenStreetMap da região urbana em estudo, cidade da Guarda. O ficheiro obtido vem em formato “osm” (OpenStreetMap, 2011), este ficheiro contém vários temas ou camadas (figura 78), que se podem filtrar obtendo-se assim os temas pretendidos.

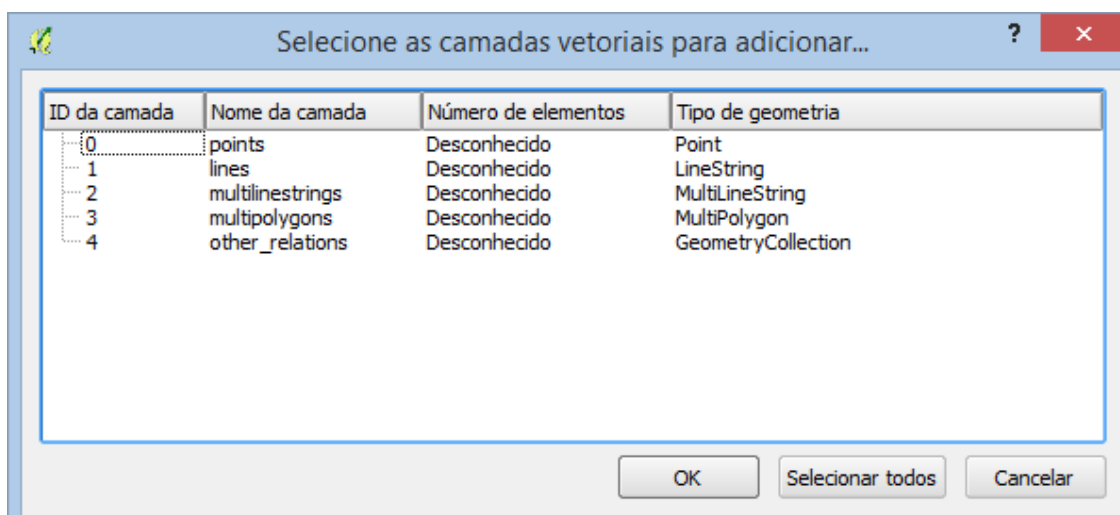


Figura 78 - Camadas vetoriais do ficheiro osm

Os temas ou camadas estão divididos geometricamente em Pontos, Linhas e Polígonos. Cada tema tem uma tabela de atributos (figura 79), a partir da qual se poderá refinar os resultados. Do tema linhas obtém-se os arruamentos e vias de comunicação em geral. Do tema polígono obtém-se áreas administrativas, uso do solo, entre outros.

Por refinar os resultados entende-se impor uma condição sobre os dados. Sendo a tabela uma relação, segundo o modelo relacional de base de dados, podem ser criadas pesquisas/consultas em relação aos atributos de cada tabela. Por exemplo, na tabela da figura 79, para o atributo “name”, se for criada uma consulta com a seguinte condição: *name*=“VICEG”, então vamos obter um novo tema em que só teremos presente os elementos gráficos e respetivos atributos, que tornam verdadeira a condição definida, portanto vamos obter a Via de Cintura Externa da Guarda (VICEG).

	osm_id	name	highway	waterway	aerialway	barrier	man_made	other_tags
0	16114338	Acesso A25/A23	motorway_link	NULL	NULL	NULL	NULL	"lanes"=>"1", "on...
1	19804010	Acesso A 25	motorway_link	NULL	NULL	NULL	NULL	"lanes"=>"2", "on...
2	23211835	NULL	motorway_link	NULL	NULL	NULL	NULL	"oneway"=>"yes"
3	23230321	VICEG	trunk	NULL	NULL	NULL	NULL	"junction"=>"rou...
4	23230749	NULL	primary	NULL	NULL	NULL	NULL	"oneway"=>"yes...
5	23230751	Avenida do Rio Diz	secondary	NULL	NULL	NULL	NULL	"bicycle"=>"yes"
6	23230935	Avenida Monsen...	primary	NULL	NULL	NULL	NULL	"oneway"=>"yes..."
7	23230937	Avenida Monsen...	primary	NULL	NULL	NULL	NULL	"oneway"=>"yes..."
8	23230939	Avenida Monsen...	primary	NULL	NULL	NULL	NULL	"oneway"=>"yes..."
9	23230940	Avenida Monsen...	primary	NULL	NULL	NULL	NULL	"oneway"=>"yes..."
10	23231006	Largo Frei Pedro	primary	NULL	NULL	NULL	NULL	"oneway"=>"no..."
11	23479218	Rua Comandante...	residential	NULL	NULL	NULL	NULL	"oneway"=>"no..."
12	23578024	NULL	primary	NULL	NULL	NULL	NULL	"maxspeed"=>"5..."
13	24368040	Acesso A 25	motorway_link	NULL	NULL	NULL	NULL	"oneway"=>"yes"
14	24404175	Acesso A25/A23	motorway_link	NULL	NULL	NULL	NULL	"lanes"=>"1", "la...

Figura 79 - Atributos associada ao tema linha

Deste osm, do tema polígono foi extraído o limite da área residencial da Guarda, dando origem ao tema - GuardaAreaResidencial, mantendo-se o tema linhas inalterado. Os temas

selecionados devem ser guardados em formato shapefile (ESRI shapefile, formato usado pelos SIG contendo dados geoespaciais em forma de vetor, desenvolvido e regulamentado pela ESRI como uma especificação aberta), para melhor manipulação e coerência.

Na figura 80 o tema GuardaAreaResidencial está sobreposto a uma imagem aérea, obtida da plataforma Bing.

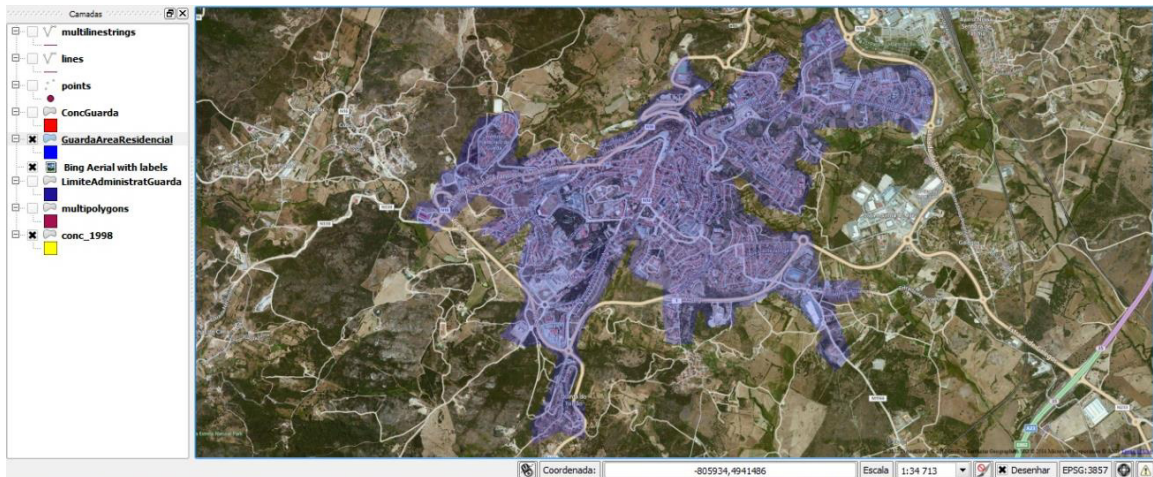


Figura 80 - QGIS, Sobreposição do tema GuardaAreaResidencial com a imagem aérea

Já na figura 81 a Área Residencial, obtida a partir da plataforma OpenStreetMap, foi sobreposta à carta geológica que está no formato vetorial shapeFile e ao Bing Roads em formato matricial, tirando assim partido dos vários layouts que as diversas plataformas disponibilizam e por outro lado a possibilidade de podermos trabalhar com vários formatos.

Concebida a base de informação geográfica pretendida, partiu-se para a criação de um mapa temático que identifique o grau de alteração do granito, tema para exemplificar e testar o modelo criado, o item 8 será dedicado aos mapas temáticos.

Verificando a possibilidade de carregar uma aplicação no QGIS, que permitia utilizar a plataforma "StreetView", optou-se por delimitar as áreas que indicam o grau de alteração dos maciços rochosos com esta plataforma e posteriormente validar estes dados com a recolha de informação *in situ*. Portanto validaremos deste modo um modelo que permitirá numa primeira fase e de forma cómoda identificar o grau de alteração dos maciços rochosos. Partindo sempre do pressuposto de que existe cobertura da área de estudo pela plataforma "StreetView".

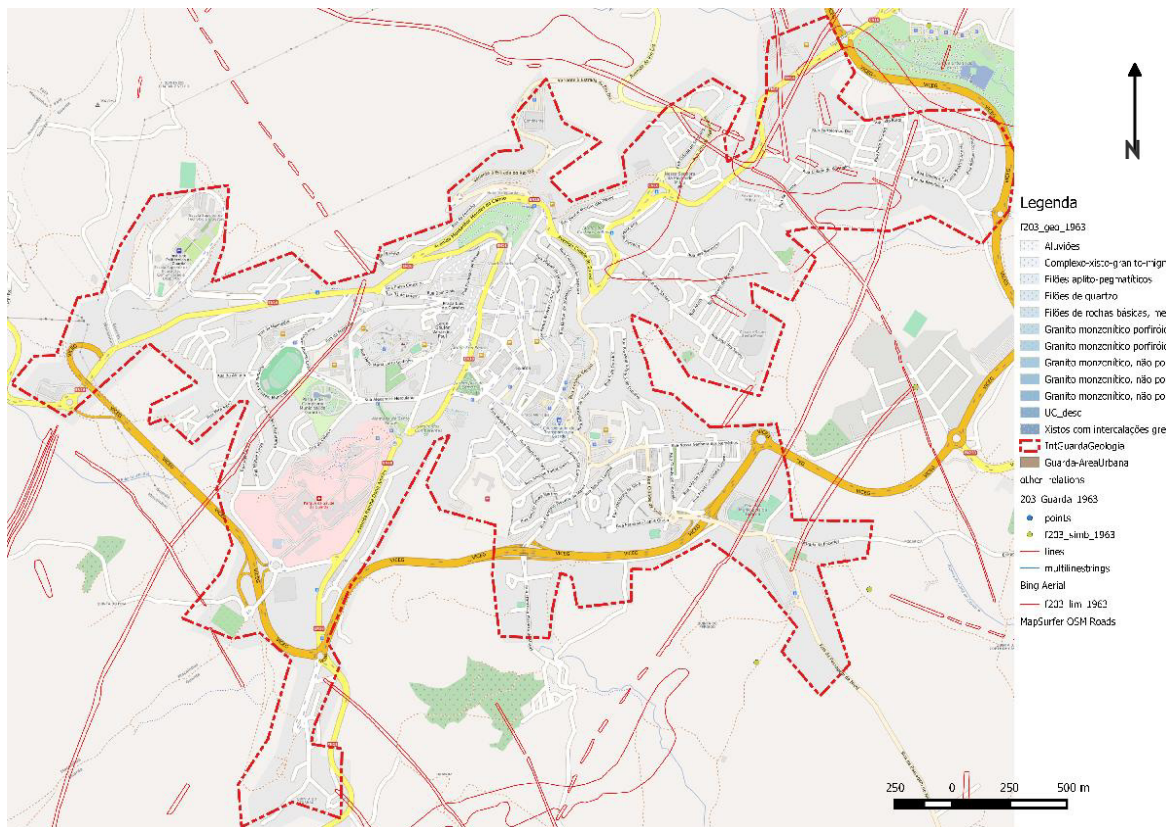


Figura 81 - QGIS, Sobreposição OpenStreetMap- GuardaAreaResidencial, Bing Roads e carta geológica

Para este caso, podemos usar a plataforma "StreetView", de dois modos: diretamente da plataforma google utilizando um navegador da internet neste caso o Edge da Microsoft (figura 82), ou integrada no QGIS (figura 83), através da instalação de uma aplicação plugin.

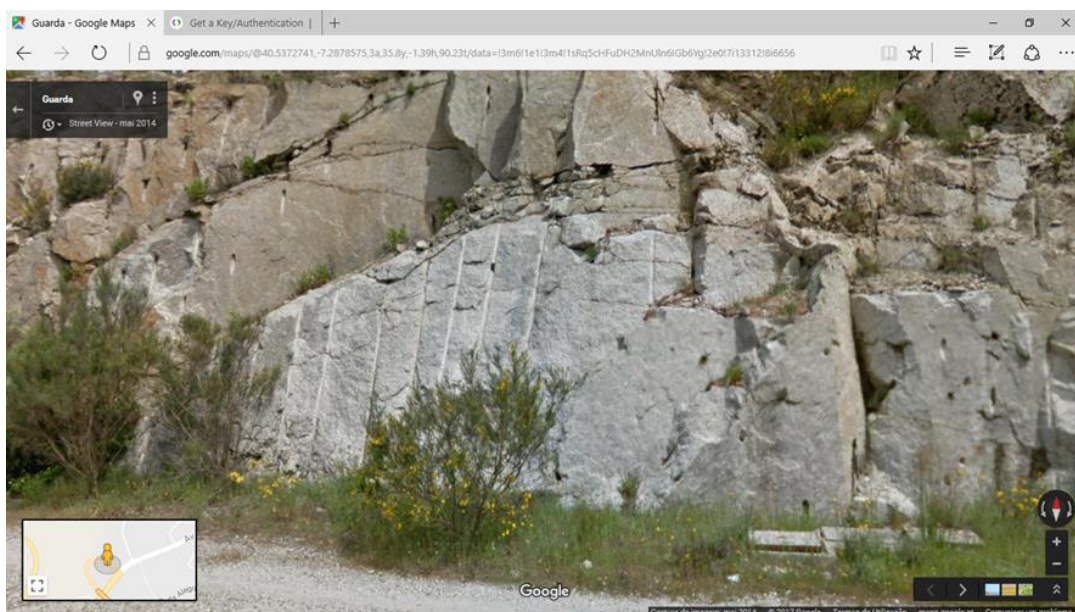


Figura 82 - Google Street View, granito (grau de alteração do maciço rochoso, W1 e W2)

Para a integração no QGIS, é necessário então instalar um dos plugins disponíveis para aceder os dados da plataforma "Google Street View". Para este caso foi instalado o plugin "go2StreetView" que permite a abertura de uma janela no ambiente QGIS, (figura 83).

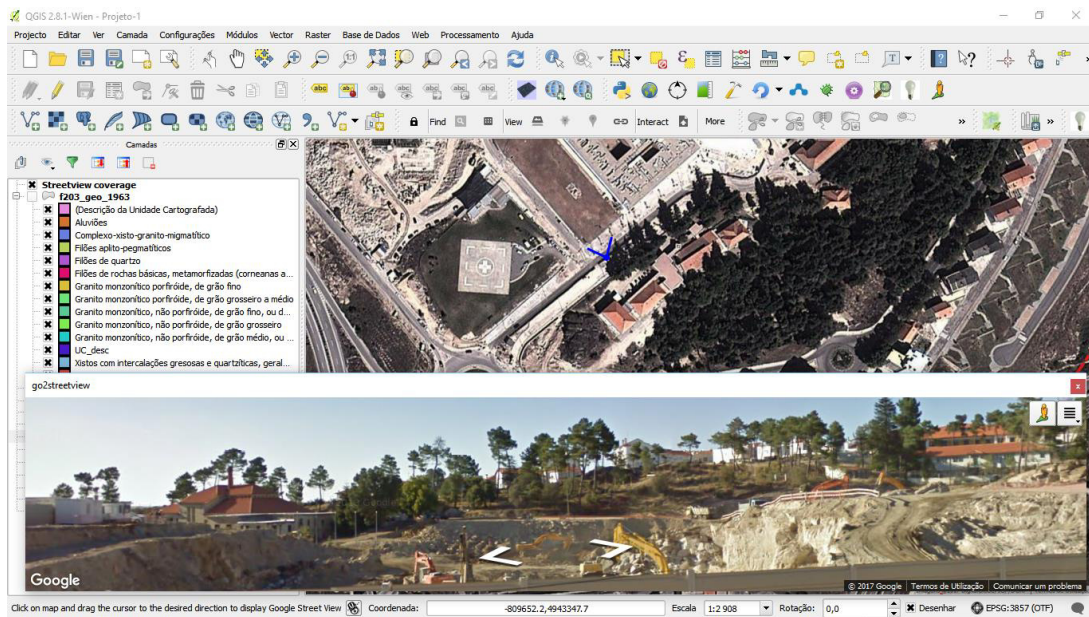


Figura 83 - QGIS com plugin "go2streetview"

Como se pode verificar, através das figuras 82 e 83, a plataforma "Street View" permite aceder a imagens com grande proximidade e resolução em áreas urbanas, podendo-se identificar, na maioria dos casos, o grau de alteração do maciço rochoso.

Para a área de estudo analisou-se a cobertura pela plataforma "StreetView", verificou-se que havia uma boa cobertura da área urbana da cidade da Guarda, como demonstra a figura 84, as ruas cobertas por esta plataforma estão marcadas a azul. A cobertura é muito mais densa nas áreas urbanas e atualizada com maior frequência. A numeração presente na figura 84 indica os locais onde foram recolhidas imagens da plataforma "StreetView" para depois serem confrontadas com fotografias tiradas no mesmo local, para validar o modelo.

Este tema será abordado no item 7 e as fotografias estão presentes em Anexo, ordenadas em pares homólogos e identificadas por numeração em sintonia com a do mapa.



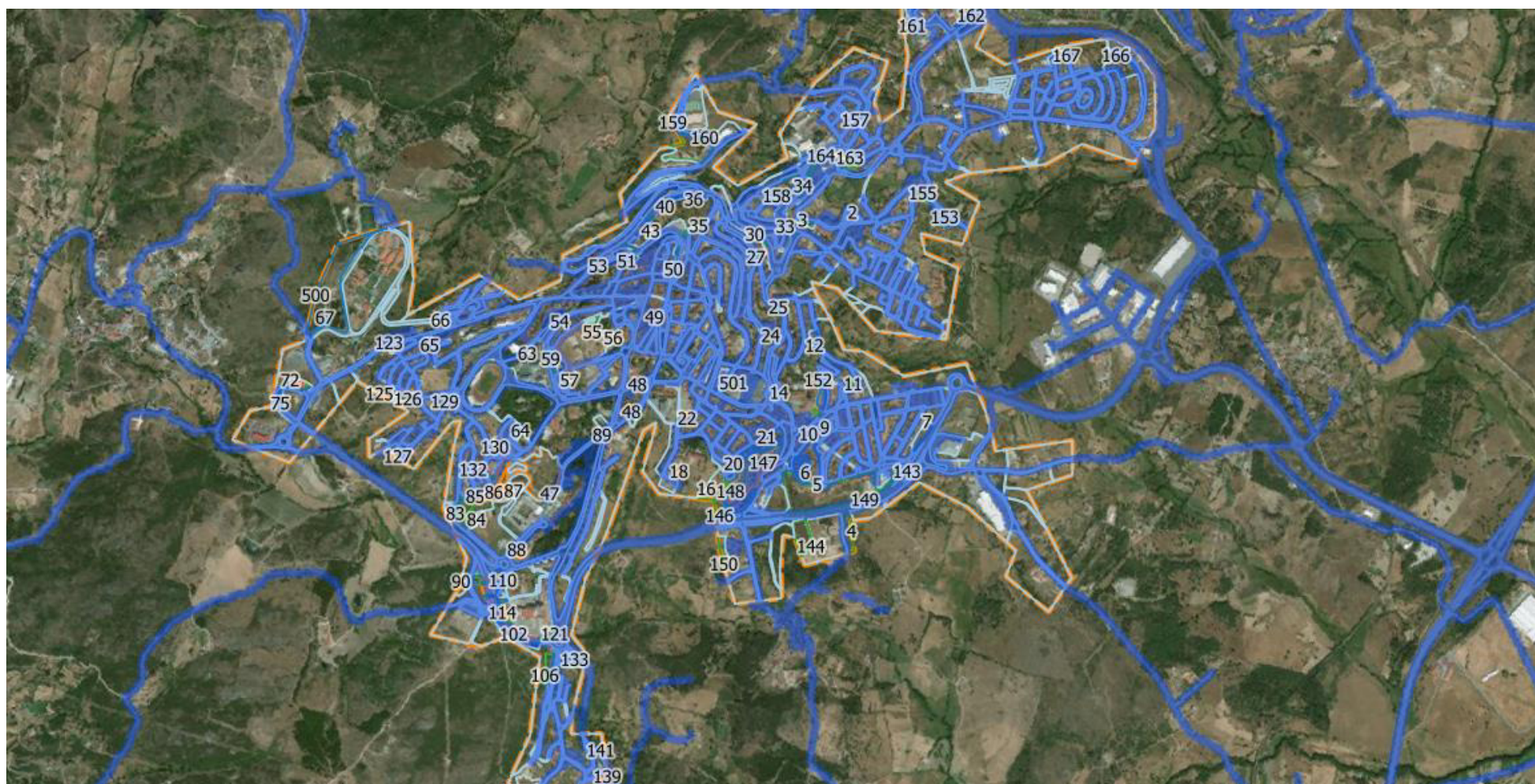


Figura 84 - QGIS área coberta pela plataforma “Streetview”



Verificou-se também, que a área de estudo tinha duas épocas de cobertura, a de 2009 e outra mais recente de 2014, estando previsto outra cobertura para 2020, segundo indicação presente na página da “Google” (<https://www.google.com/intl/pt-PT/streetview/explore/>).

O facto de o início do levantamento destes dados, por parte da empresa “Google” ter sido em 2009, permite encontrar, como se vê na figura 85 situações peculiares, neste caso a captura das imagens pela Google ocorreu no momento da escavação, permitindo a visualização do tipo de rocha no subsolo, o estado atual é refletido nas figuras 85 e 86 através do campo Foto Atual.

O QGIS permite a criação e otimização de formulários, já referido no capítulo 7, onde se abordou a construção de formulários e em particular o apresentado na figura 85, este formulário foi criado para facilitar o preenchimento de dados nos respetivos campos da tabela de atributos, permitindo que, quando se cria um elemento gráfico sejam inseridos em simultâneo os dados que caracterizam esse elemento.

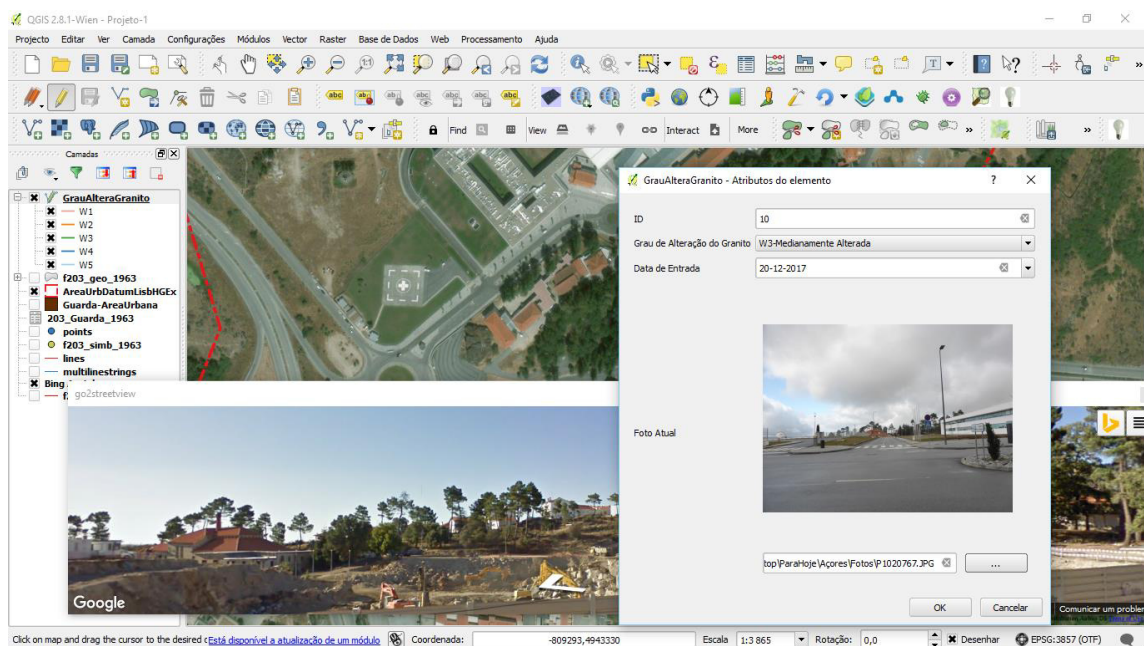


Figura 85 - QGIS criação de elemento gráfico e respetivo formulário

Assim, em relação ao tema que caracteriza o grau de alteração do granito (GrauAlterarGranito), os campos criados (figura 86), foram: (1) ID (identifica o elemento gráfico através de um número); (2) Grau de Alteração do Granito (caixa de combinação com a listagem dos possíveis graus de alteração), Data de Entrada (indicação da data referente à criação do elemento, ou outra) e (3) Foto Atual (foto da área em estudo captado do Google ou de outro modo). A numeração apresentada está de acordo com a criada na figura 86, exceto o campo para a Data de Entrada que está coberto com a caixa de combinação do Alteração do Granito, mas está visível na figura 85.

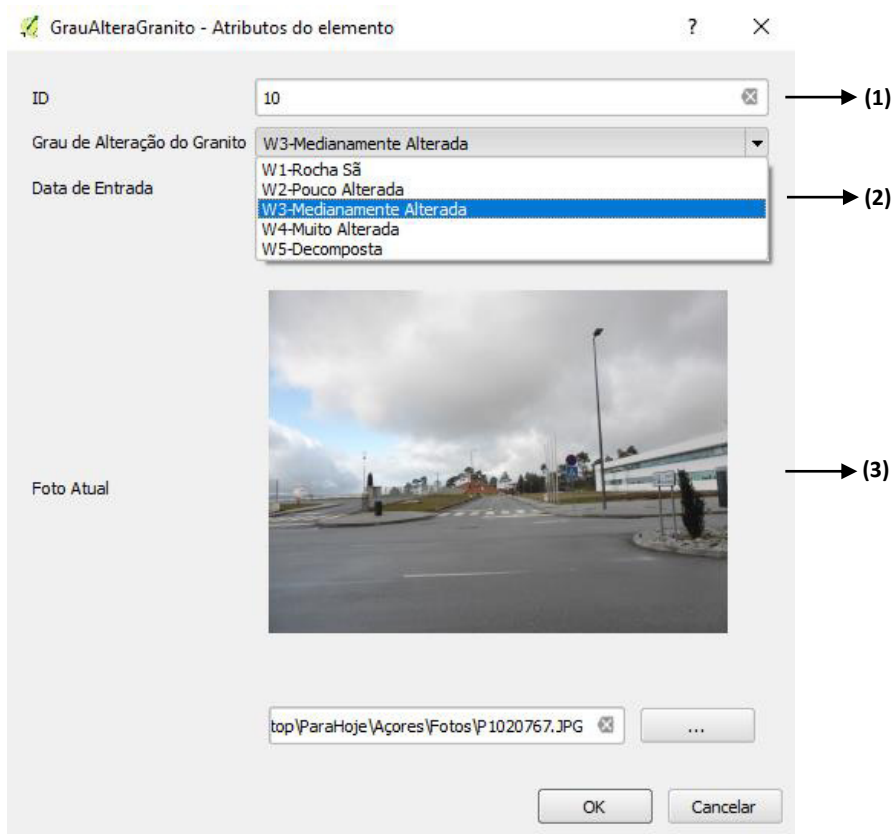


Figura 86 - QGIS, formulário, caixa de combinação

A utilização de formulários facilita a inserção dos dados que caracterizam o elemento a representar e em simultâneo diminui o erro no ato da escrita dos dados nos respetivos campos.

Após o levantamento da informação a partir do aplicativo da Google, obteve-se o mapa com a delimitação de áreas em função do grau de alteração do maciço rochoso, demonstrado na figura 88, criando o tema “GrauAltGranito”, do tipo linha.

A legenda à esquerda da figura 87 indica o número de polilinhas criadas para cada grau de alteração do maciço assim temos para cada grau de alteração:

- Grau de alteração W1, 5 polilinhas;
- Grau de alteração W2, 52 polilinhas;
- Grau de alteração W3, 68 polilinhas;
- Grau de alteração W4, 44 polilinhas;
- Grau de alteração W5, 344 polilinhas;

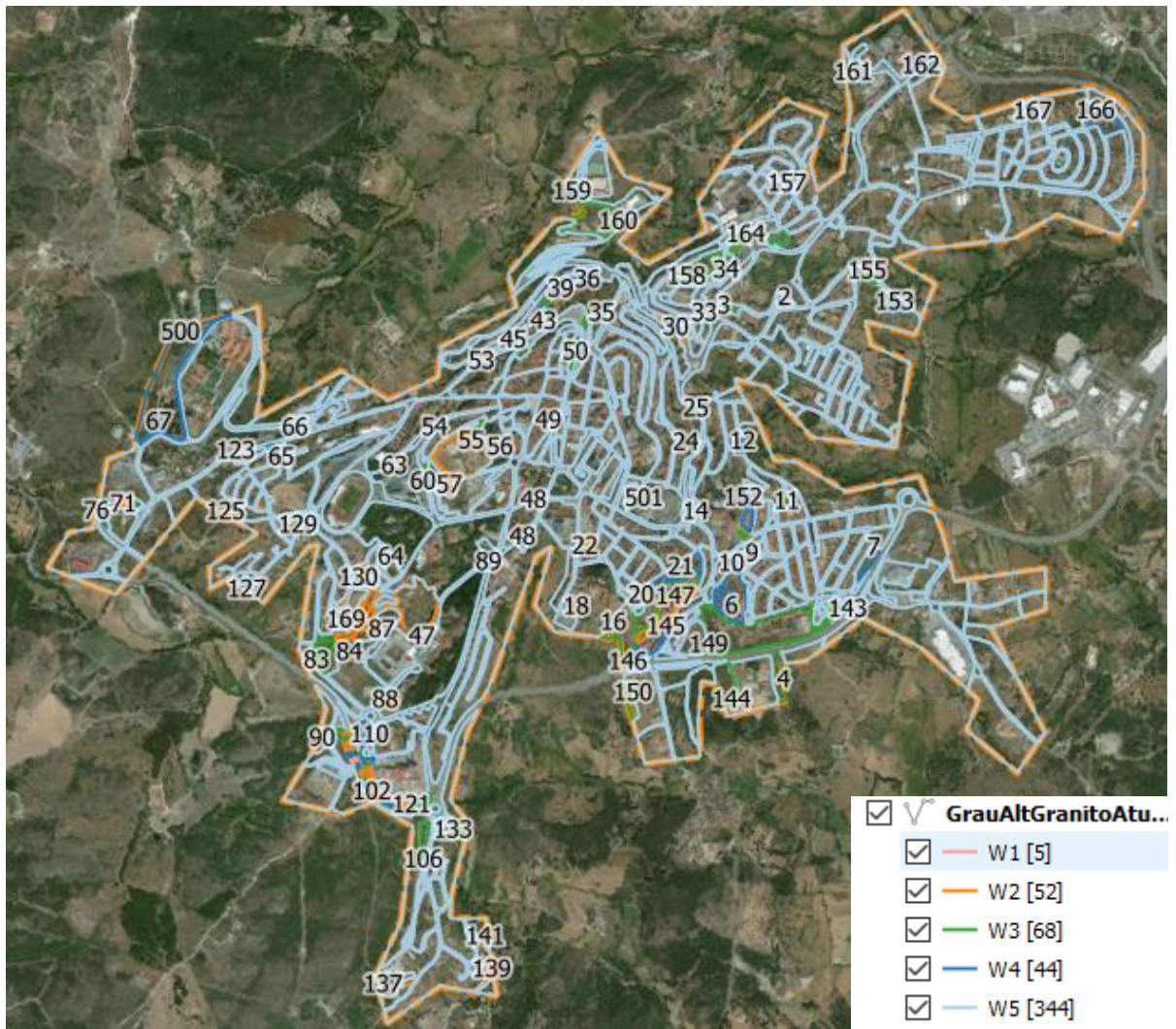


Figura 87 - QGIS, delimitação do grau de alteração do maciço rochoso

O tema “GrauAltGranito”, foi convertido num tema do tipo polígono “Polígonos”, como é indicado na figura 88, com a cobertura total da área urbana.

Para se ter uma melhor percepção da área coberta, as polilinhas que eram apenas um conjunto de linhas ligadas entre si e em que o ponto final coincidia com o inicial, delimitando já áreas, foram convertidas em polígonos através da ferramenta vetorial de geometria (1), figura 88, que permite esta conversão, indicando na caixa de diálogo o tema do tipo linha (2) a converter e o nome do novo tema (3) que irá receber as linhas convertidas em polígonos em formato shapefile.

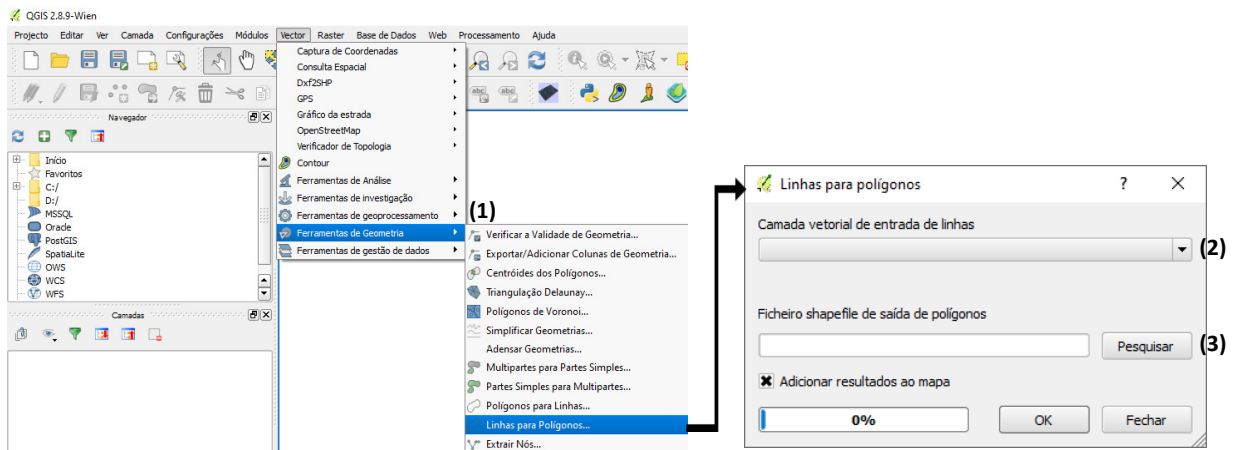


Figura 88 - QGIS, conversão de linhas para polígonos

A figura 89 mostra já as áreas com a delimitação do maciço em formato de polígono e a respetiva legenda.

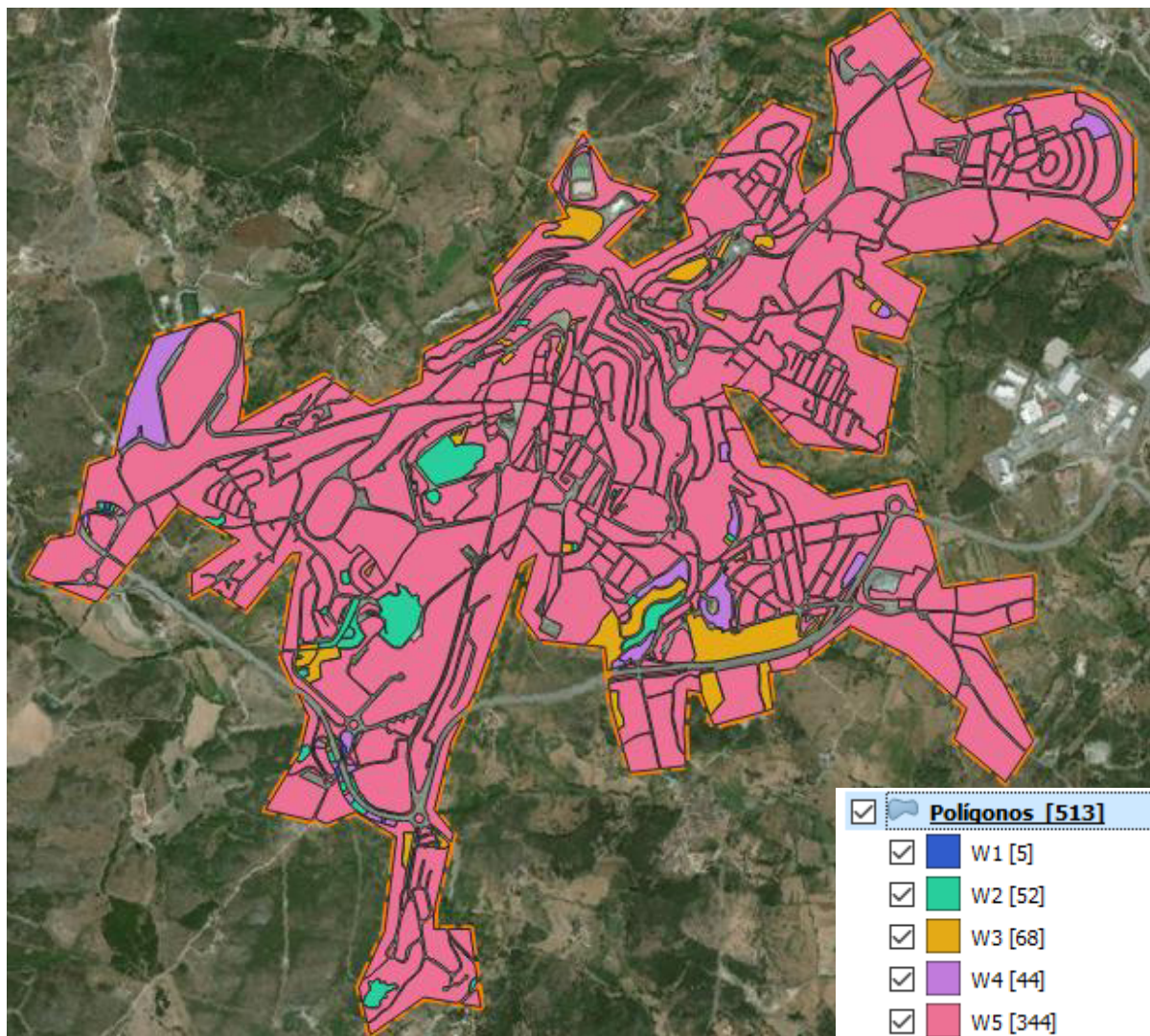


Figura 89 - QGIS, áreas com delimitação do grau de alteração do maciço rochoso

A figura 89 mostra também a contagem dos polígonos referentes a cada tipo de grau de alteração do maciço rochoso tal como na figura 88, como era de esperar mantém-se o número de polígonos em relação a cada tipo de grau de alteração do maciço.

Para o reconhecimento dos pontos de recolha fotográfica *in situ*, como referido e desenvolvido no capítulo 7 item 5 (QGIS, Dispositivos Móveis), foi utilizado um dispositivo móvel com recetor de GPS. Foi importado para o dispositivo o projeto contendo os temas “Guarda-AreaUrbana”, “GrauAlterGranito” ainda do tipo linha para não sobrecarregar o dispositivo e manter visível a imagem Satélite, e por último a imagem “Esri Satellite”.

A figura 90 ilustra o modo de funcionamento em campo, permitindo com maior facilidade e rapidez encontrar os locais de recolha. As fotografias foram obtidas através de máquina fotográfica, pois apresentava melhor resolução e qualidade que as obtidas pelo dispositivo móvel. A numeração presente no mapa é, como já referido a numeração que permite identificar as imagens obtidas.

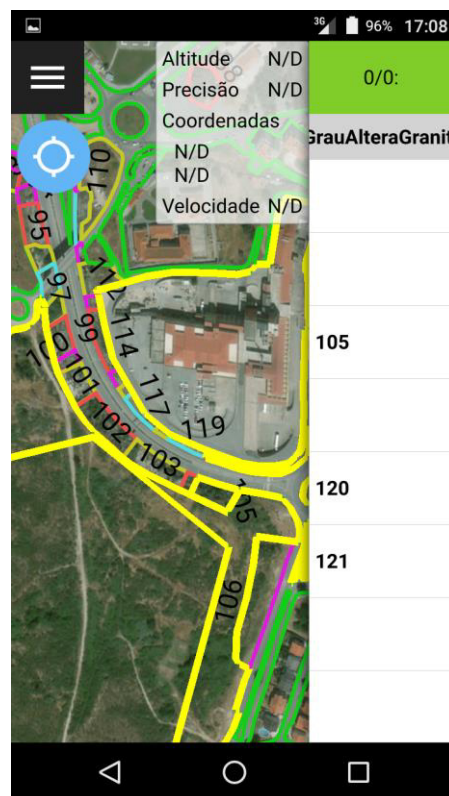


Figura 90 - QField com GPS ativo e seleção de elementos do tema GrauAlterGranito

Passando agora à validação dos resultados obtidos, ou seja, as imagens obtidas através do Street View serão confrontadas com as fotografias recolhidas *in situ*. Optou-se por recolher imagens e fotos relativas à representatividade do estado de alteração do maciço, conforme informação inserida junto das imagens em Anexo.

## 7. Resultados

Através do Google “Street View”, recolheram-se imagens de 169 pontos da área urbana da cidade da Guarda que mostravam o tipo de maciço rochoso possível de classificação de W1 a W4.

Na totalidade foram definidos 513 polígonos (n=513), 1,0% dos polígonos (5) foram classificados como W1, 10,1% dos polígonos (52) foram classificados como W2, 13,3% dos polígonos (68) foram classificados como W3, 8,6% dos polígonos (44) foram classificados como W4 e 67,1% dos polígonos (344) foram classificados como W5.

O gráfico da figura 91 ilustra a distribuição do número de polígonos pelo respetivo grau de alteração do maciço rochoso.

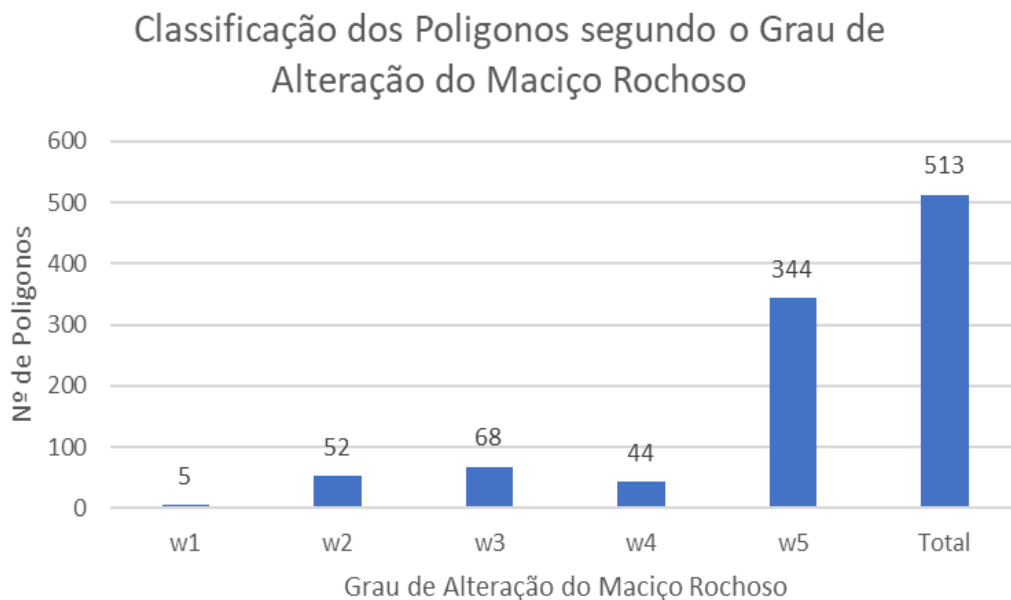


Figura 91 - Classificação grau de alteração do maciço rochoso, polígonos da área urbana, Guarda

Com o objetivo de validar a utilização do Google Street View como método útil e eficiente na recolha de dados para a caracterização de maciços rochosos, com posterior elaboração de carta geotécnica, para este atributo.

Fizeram-se observações com documentação fotográfica *in situ*, de todos os pontos de onde se tinham recolhido as 169 imagens com o “Street View”, construiu-se uma tabela onde se colocaram lado a lado a imagem e a fotografia relativas a cada ponto, conforme Anexo, na figura 92 está presente uma amostra de cada grau de alteração do maciço, de W1 a W4.









ID	Foto StreetView	Foto Atual
71- W1.JPG		
132- W2.JPG		
2- W3.JPG		
7- W4.JPG		

Figura 92 - Fotos e imagens do Street View da Classificação do grau de alteração do maciço rochoso, da área urbana da Guarda

Da análise efetuada constatou-se que 89,9% dos pontos se encontravam adequadamente classificados, apenas se realizaram alterações na classificação em 10,1% dos pontos (17). Na

figura 93 estão indicados para cada grau de alteração do maciço o número de casos encontrados através das imagens do Street View e das fotografias *in situ*.

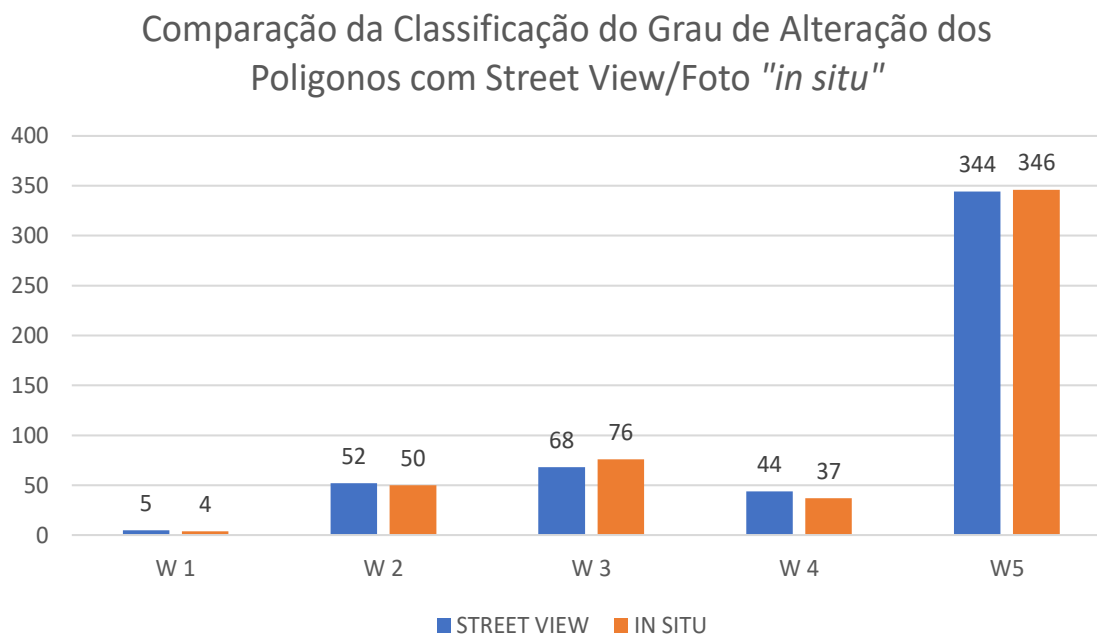


Figura 93 - Comparação do grau de alteração do maciço rochoso, polígonos da área urbana, Guarda

Como podemos observar não se registaram grandes diferenças entre os dois métodos. As maiores alterações verificaram-se nos graus W3 e W4.

Da totalidade das 17 alterações 6 foram de grau W4 para W3 (3,6%), 5 de grau W2 para W3 (3,0%), 1 de grau W1 para W2 (0,6%), 1 de grau W3 para W4 (0,6%), 1 de grau W3 para W4 (0,6%), 1 de grau W3 para W5 (0,6%), 1 de grau W4 para W5 (0,6%), e 1 de grau W4 para W2 (0,6%). A figura 94 contém a apresentação destes resultados em gráfico.

O gráfico da figura 94 ilustra essas alterações e reforça a ideia de que este método permite numa abordagem inicial obter bons resultados, houve apenas 17 alterações em 169 pontos observados, portanto em apenas 10,1% dos casos.

Demonstra também que a maior indefinição está na identificação do grau de alteração W3, pois neste caso houve alguns maciços rochosos que foram previamente identificados como W2 e W4, depois convertidos em W3 após observação direta.

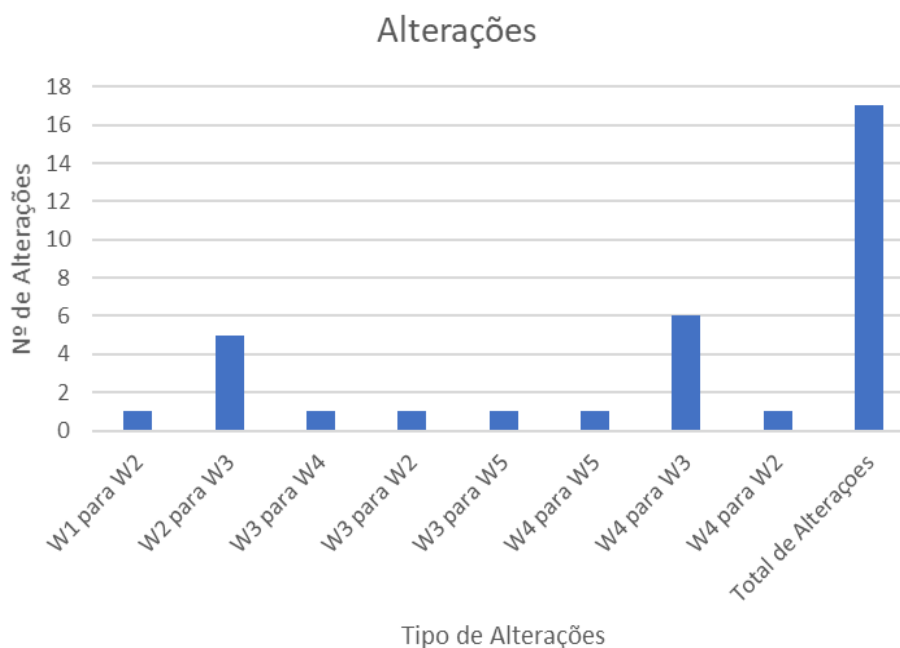


Figura 94 - Alterações na classificação do grau de alteração do maciço rochoso, polígonos da área urbana, Guarda

Efetuuou-se também através de um programa estatístico, SPSS, uma análise estatística dos resultados das classificações obtidas a partir do Open Street Map e da observação *in situ*. Para se efetuar essa análise estatística primeiro foi necessário converter as variáveis qualitativas em variáveis quantitativas, atribuindo-se ao grau de alteração W1 o valor 1, ao W2 o valor 2, ao W3 o valor 3, ao W4 o valor 4 e ao W5 o valor 5.

formularam-se então duas hipóteses:

- H0: Não há diferenças estatísticas significativas entre as classificações do grau de alteração do maciço rochoso obtidas pelos dois métodos diferentes de observação;
- H1: Há diferenças estatísticas significativas entre as classificações do grau de alteração do maciço rochoso obtidas pelos dois métodos diferentes de observação.

Através do programa estatístico SPSS, utilizou-se o teste t de student para amostras emparelhadas, considerou-se o valor para o nível da significância  $p \leq 0,05$ , a média das observações obtida através da plataforma Open Street Map foi de 2,90 ( $X=2,90$ ), o desvio padrão foi de 0,890 ( $S=0,860$ ), a Moda foi 3 ( $n=59$ , número de observações). A média para a observação *in situ* foi de 2,91 ( $X=2,91$ ), o desvio padrão foi de 0,847 ( $S=0,847$ ) e a moda foi 3 ( $n=66$ , número de observações). A correlação foi muito forte 0,906 ( $R=0,906$ ), com  $R^2 = 0,82$ , ou seja explica cerca de 82% da amostra.

Obtendo-se para as variáveis emparelhadas  $t=-0,425$ , para 160 graus de liberdade ( $gl=160$ ), o valor para o nível de significância  $p=0,671$ , o que significa que não se pode rejeitar a hipótese nula (H0), ou seja, “H0: Não há diferenças estatísticas significativas entre as classificações do

grau de alteração do maciço rochoso obtidas pelos dois métodos diferentes de observação”. Validando assim o método de observação a partir do Open Street Map.

## 8. Mapas temáticos

Tendo em consideração a modelação tridimensional e o facto do trabalho se desenvolver numa área urbana, áreas ricas em detalhe ao nível dos elementos criados pelo Homem e que se sobrepõem ao terreno natural, é necessário recorrer a dados cartográficos que contenham esse pormenor, o que implica, a utilização de cartografia de grande escala. Não havendo em plataformas abertas dados livres em sistemas tridimensionais, que permitissem a modelação pretendida, recorreu-se a dados cartográficos cedidos pelo Município da Guarda, dados de 2005 no sistema de coordenadas Datum73 Projeção Gauss e preparados para a representação cartográfica à escala 1:2.000 e 1:5.000.

Foram utilizados os dados cartográficos à escala 1:2.000, pois permitiram obter um maior pormenor na representação tridimensional e criar mapas em formato matricial com células ou pixéis de tamanho inferior ( $\leq$ ) a 1x1m de lado.

A construção dos mapas temáticos, ângulo de atrito e capacidade de carga admissível, foram baseados no grau de alteração do maciço rochoso. A fracturação do granito, não é tomada em conta, embora sabendo que o número de famílias de descontinuidades, suas atitudes, preenchimento das descontinuidades, rugosidade e percolação de água por estas, além de condicionar o número de blocos é um fator preponderante e decisivo na avaliação da percepção da capacidade de carga resistente e da tensão admissível. Pelo que os valores utilizados são meramente exploratórios para uma experimentação da simulação digital criada.

### 8.1. Modelo Digital de Terreno MDT

O Modelo digital de Terreno foi construído a partir das curvas de nível, não foi gerado a partir de pontos cotados, pois a sua distribuição aparentemente uniforme mantinha um afastamento entre pontos na ordem das dezenas de metros, tendo sido encontradas distâncias que variavam dos 20 m aos 70 m, enquanto que a equidistância natural é de 2 m em relação às curvas de nível. De referir também que, as curvas de nível não cobrem toda a área definida pelo polígono “Área Urbana”, como se pode verificar na figura 95, o que obrigou ao recorte e exclusão da respetiva área, que continha trabalho já efetuado no reconhecimento do grau de alteração do granito.

Na figura 95 estão presentes os temas “curva-n”, “p\_cotado”, “AreaUrbPoligonoD73” e “AreaUrbLinhaD73”. O tema referente às curvas de nível e pontos cotados, de origem, já estavam no datum 73, mas os temas que delimitam à área urbana, do tipo polígono e linha, estavam previamente no datum WGS84, pois foram extraídos da plataforma OpenStreetMap.

Muito embora o QGIS possa em tempo real ajustar os dois sistemas de coordenadas, é muito mais coerente e menos exigente para o sistema informático converter todos os temas para o mesmo sistema de coordenadas.

A partir deste ponto do projeto vamos sempre utilizar e elaborar mapas neste sistema de coordenadas, não nos esquecendo, no entanto, que o sistema mais recente é o sistema ETRS89/PT-TM06.

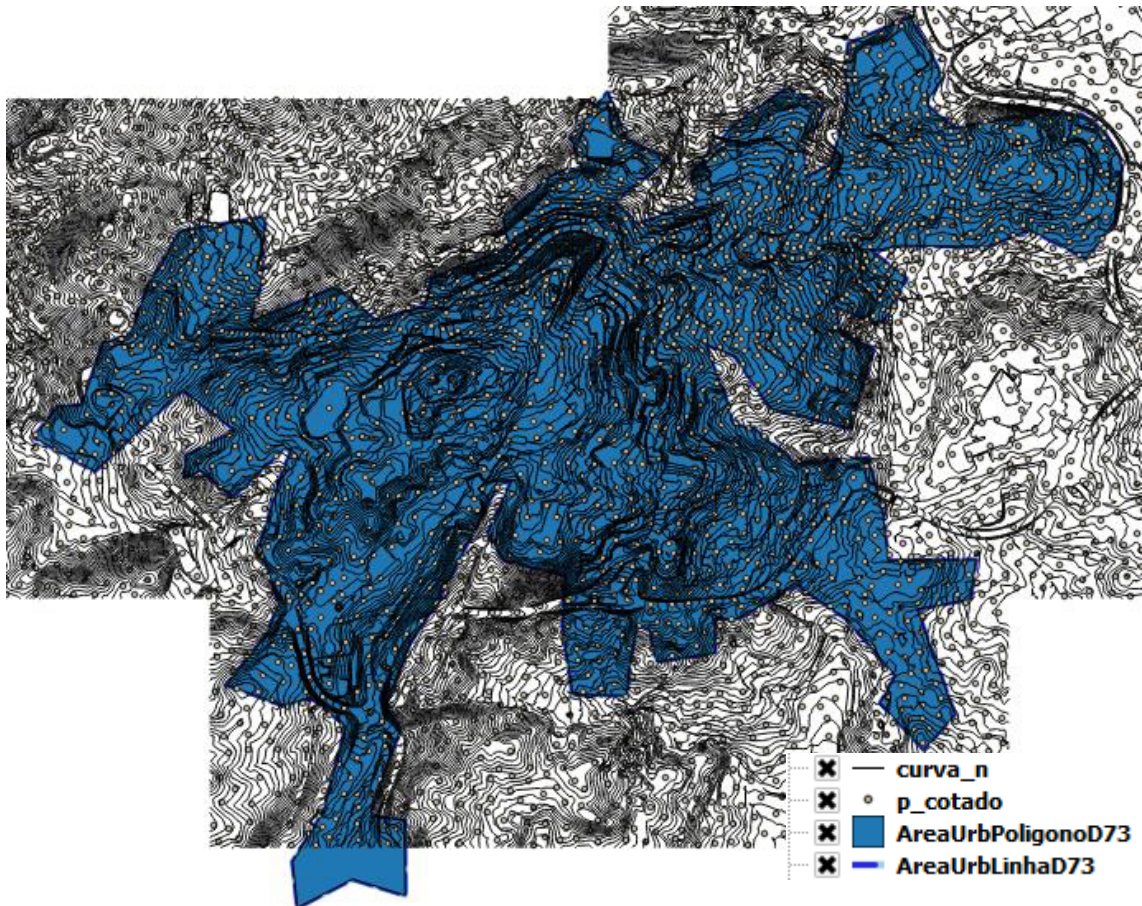


Figura 95 - Área Urbana, Curvas de Nível e Pontos Cotados

A partir do Menu Raster, figura 96, selecionando Interpolação (1), inicia-se a criação do MDT pelo método da Rede Irregular Triangular (RIT) (2), através do método de interpolação linear entre cada dois pontos pertencentes triângulo (6), indicando qual a camada vetorial e o respetivo atributo para a interpolação (3).

Para o caso em estudo, a camada vetorial utilizada foi a “curva\_n”, que continha as curvas de nível, e o atributo “cota” que continha o valor da cota de cada curva de nível.

Como referido, a equidistância natural entre as curvas de nível, permitiu encontrar um valor para o tamanho do pixel na ordem de 1x1m (4), a escolha de um valor mais pequeno não iria

acrescentar pormenor significativo, mas pelo contrário levaria à criação de um ficheiro bastante pesado (aproximadamente 1 Gb).

Definiu-se também a extensão da camada, janela, no sistema de coordenadas, onde se enquadram os dados do resultado da interpolação (5), atribuindo valores numéricos a Xmin, Xmax, Ymin, Ymax. Não se optou por ativar a o botão “Definir à extensão atual”, pois a camada não era regular, como por exemplo retangular.

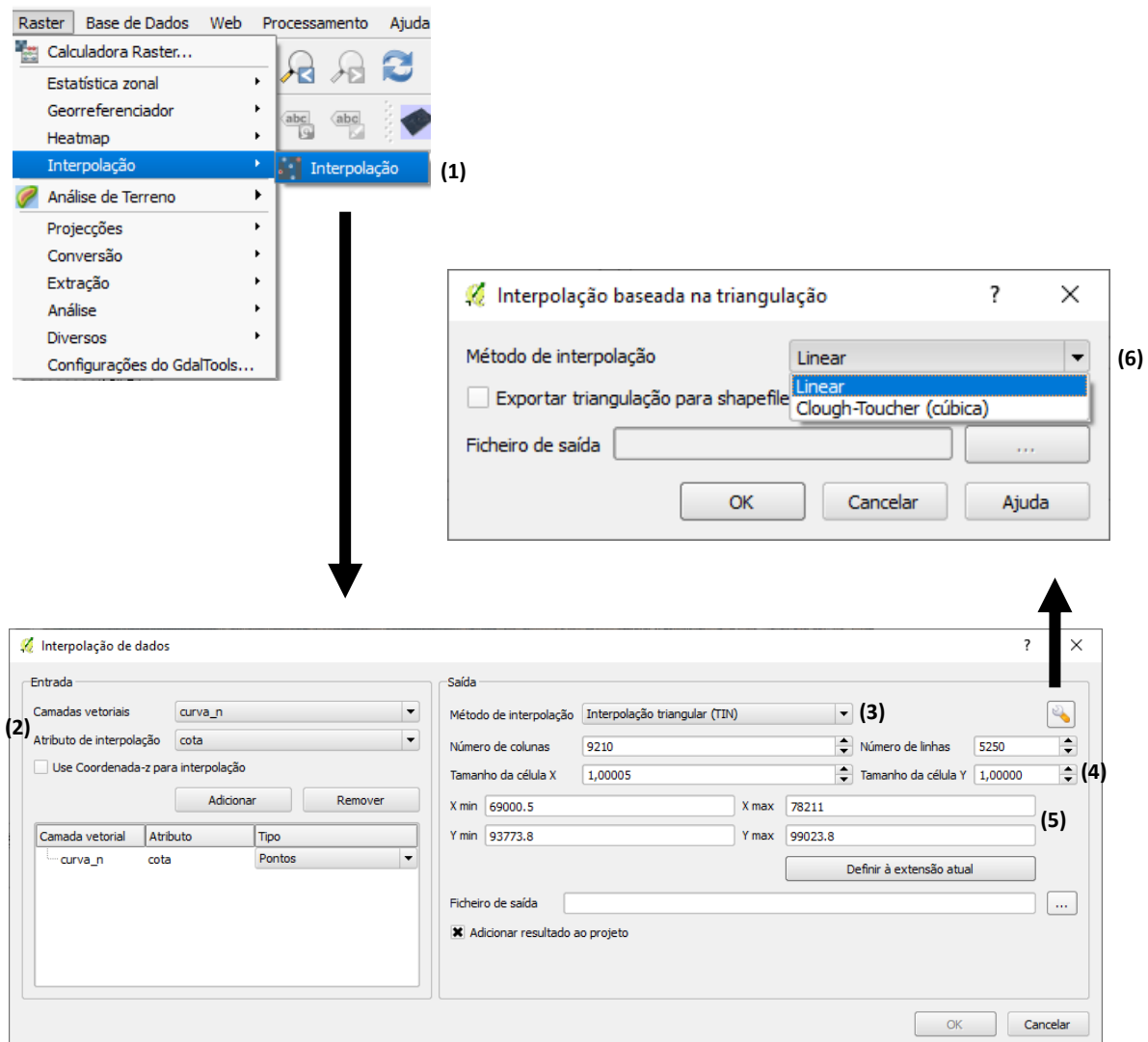


Figura 96 - Início do plugin Interpolação

O plugin de “interpolação de dados” utilizado, permite gerar uma interpolação do tipo TIN ou IDW, (QGIS, Manual do Utilizador 2.14, 2.19), de uma camada vetorial, criando como resultado da interpolação uma camada em formato matricial. O plugin requer que os seguintes parâmetros sejam especificados antes de executar:

- Camadas do tipo vetor para dados de entrada: Especifique a(s) camada(s) vetoriais de entrada a partir de uma lista de camadas do projeto. Se várias camadas forem

especificadas, os dados de todas as camadas serão usados para interpolação. Nota: É possível inserir linhas ou polígonos como restrições para a triangulação, especificando “pontos”, “linhas de estrutura” ou “linhas de quebra” na caixa de combinação.

- Atributo de interpolação: Selecione uma coluna do atributo que será usada para interpolação ou selecione a caixa de seleção “Use coordenada-Z para a interpolação”.
- Método de Interpolação: Selecione o método de interpolação. Pode ser Rede Irregular Triangulada (TIN) ou Distância Inversa Ponderada (IDW). Com o método TIN é criada uma superfície formada por triângulos dos pontos vizinhos mais próximos. São criados círculos em torno de pontos de amostra selecionados e a partir dos pontos de interseção é criada a uma rede de triângulos não sobrepostos e tão densos quanto possível. Ao usar o método IDW, os pontos de amostra são ponderados durante a interpolação, de forma que a influência de um ponto em relação a outro diminui com a distância do ponto desconhecido que se deseja criar. O método de interpolação IDW também tem algumas desvantagens: a qualidade do resultado da interpolação pode diminuir, se a distribuição dos pontos da amostra for irregular. Além disso, os valores máximo e mínimo na superfície interpolada só podem ocorrer em pontos da amostra. Geralmente resulta em pequenos picos em torno dos pontos da amostra.
- Opções Configurar Método de Interpolação: Para o método TIN, pode-se escolher entre os métodos de interpolação Linear ou Clough Toucher (cúbico). A triangulação pode ser salva em formato shapefile. Para a interpolação IDW, pode-se definir o coeficiente de distância.
- Número de unidades/linhas: Especificar o número de linhas e colunas para o raster de saída ou o tamanho do pixel.
- Arquivo de Saída: Definir o nome do arquivo raster de saída.
- Caixa de seleção: Adicionar resultado ao projeto, para carregar o resultado no projeto do mapa. Ao utilizar temas do tipo linha como restrições para a interpolação da triangulação (método TIN) pode-se usar como “linhas de estrutura” ou “linhas de quebra”. Ao usar “linhas de quebra”, produz quebras acentuadas na superfície e, ao usar “linhas de estrutura”, produz intervalos contínuos. A triangulação é modificada por ambos os métodos, de forma que nenhuma aresta cruze uma linha de quebra ou linha de estrutura.

A figura 97 mostra o MDT resultante da interpolação utilizando as curvas de nível, com variação de cota desde 786 m, junto ao nó com a A25 (Bairro de São Miguel), até cerca de 1058 m junto à Torre de Menagem.

No canto inferior direito está colocada a legenda que permite visualmente identificar a cota de um determinado local em função da sua cor respectiva. Este intervalo de cores pode ser alterado em função do objetivo a que destina o projeto, no entanto cada pixel mantém o seu valor para a cota, portanto não há interferência com a matriz de cotas.

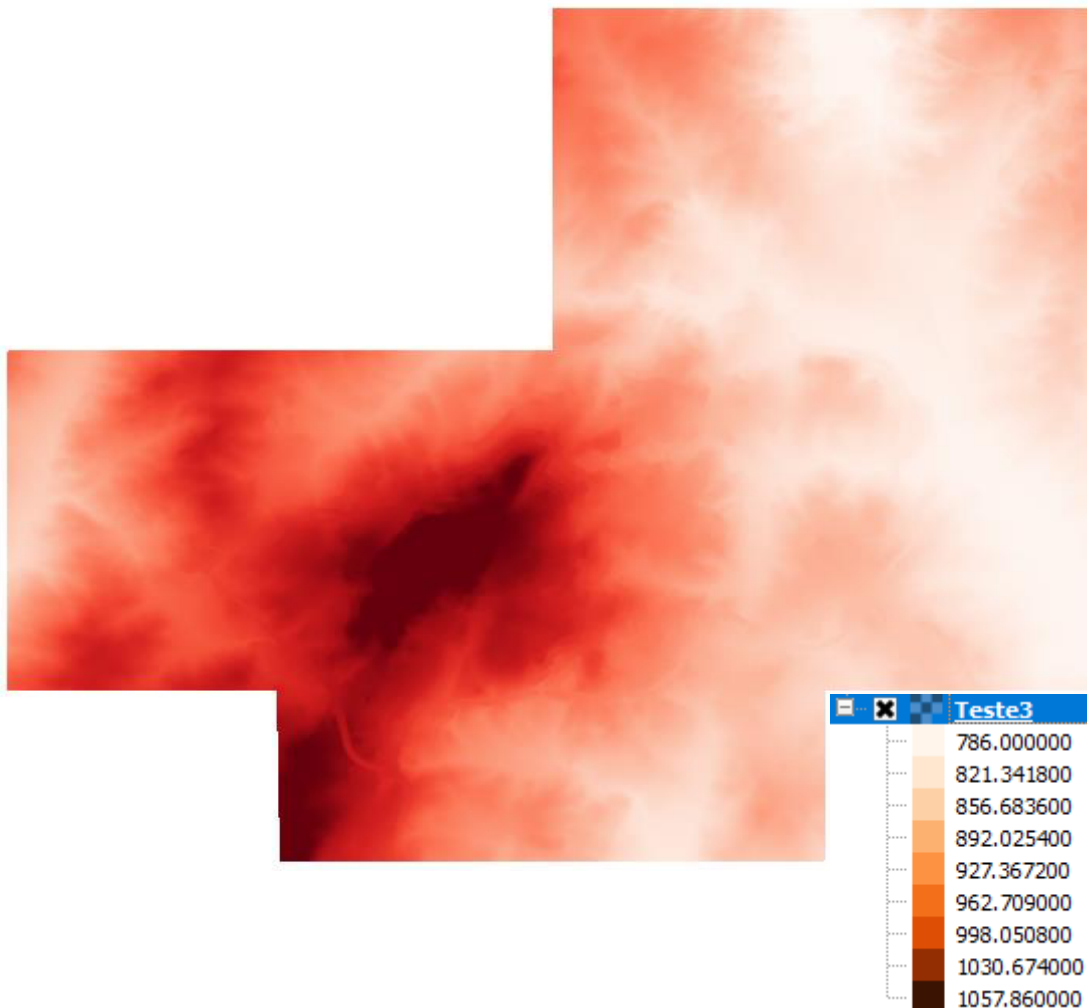


Figura 97 - Modelo Digital de Terreno

Como se pode ver na figura 98, a informação estatística demonstra que efetivamente o valor máximo (1) e mínimo (2) assumido pelos pixéis do modelo são respetivamente 1057,86 e 786,00, valores arredondados à décima do metro.

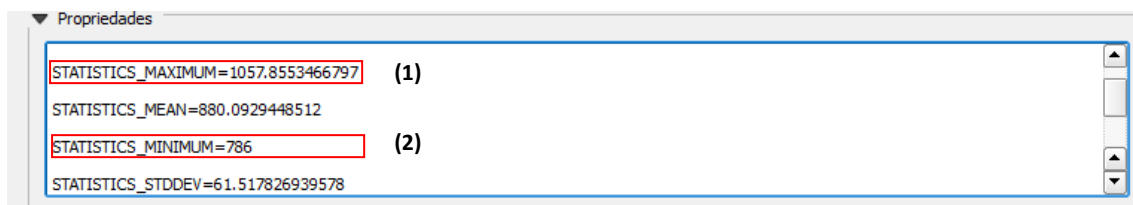


Figura 98 - Estatísticas do MDT

## 8.2. Mapa de Declives

No sentido de se obter um mapa com indicação do grau de perigosidade, em relação à instabilidade de vertentes e como já foi gerada informação sobre o grau de alteração do

máscara rochosa, falta calcular um parâmetro bastante importante nesta temática que é o declive, particularmente importante nesta região pois estamos em zona montanhosa com grandes declives.

O mapa de declives foi obtido a partir do MDT, mantendo a resolução do pixel (1x1m), está presente na figura 99 em percentagem, através do tema Declive1, com uma variação da tonalidade cinza, variando desde o branco para 0% até ao preto para valores superiores a 50%, como indicado na legenda colocada no canto inferior direito.

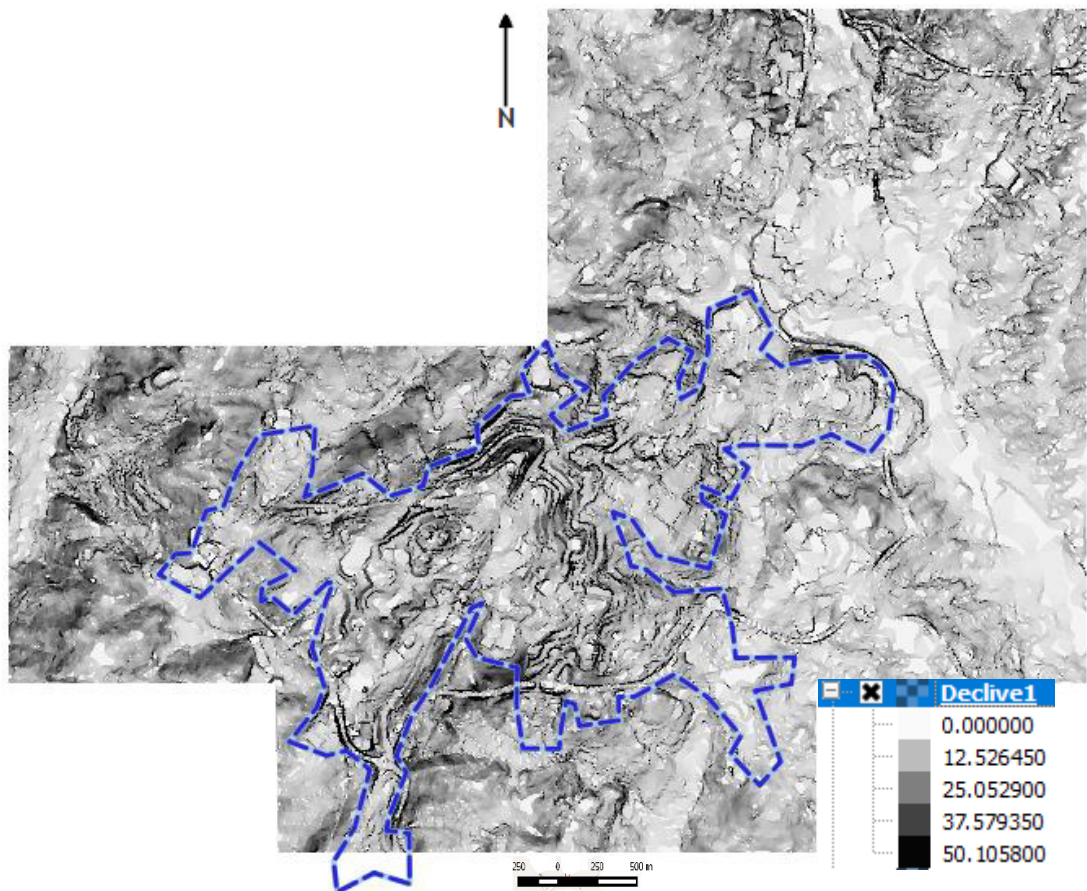


Figura 99 - Mapa de declive em percentagem

Na figura 100, o cálculo do declive foi efetuado em graus do sistema sexagesimal, tema Declive3Graus, variando desde o verde para 0° até ao vermelho para valores superiores a 45°.

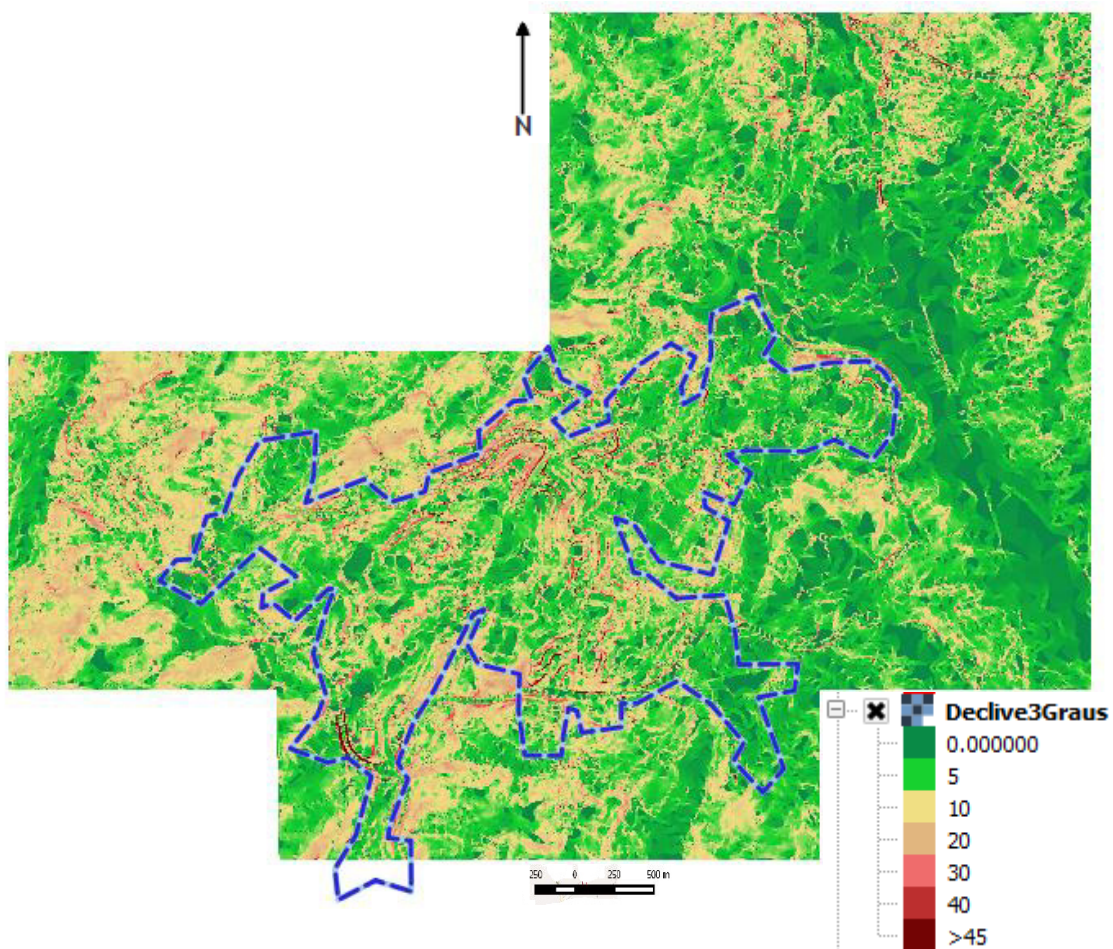


Figura 100 - Mapa de declive em graus, sistema Sexagesimal

Recorrendo à informação estatística, relativa ao mapa de declives em percentagem da figura 101, os dados estatísticos indicam que o valor mínimo é de 0% (2) e o valor máximo de 284,69% (1), o que corresponde a uma inclinação do plano que contém a encosta de 70,6° em relação à horizontal.

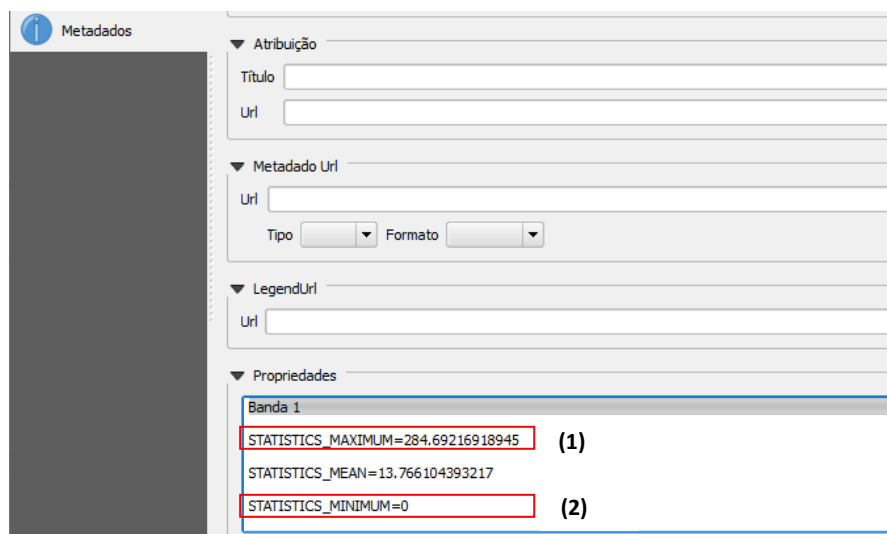


Figura 101 - Estatísticas do mapa de declives em percentagem

As criações dos modelos de declive foram executadas através do módulo “MDE (Modelos de Elevação)”, como indica a figura 102, acedendo ao menu “Raster”, seguidamente à opção “Análise” temos acesso ao módulo pretendido, tendo de indicar na caixa de diálogo do módulo o ficheiro de entrada (1), o nome a atribuir ao ficheiro de saída (2) e o declive expresso em percentagem ou em graus (3)

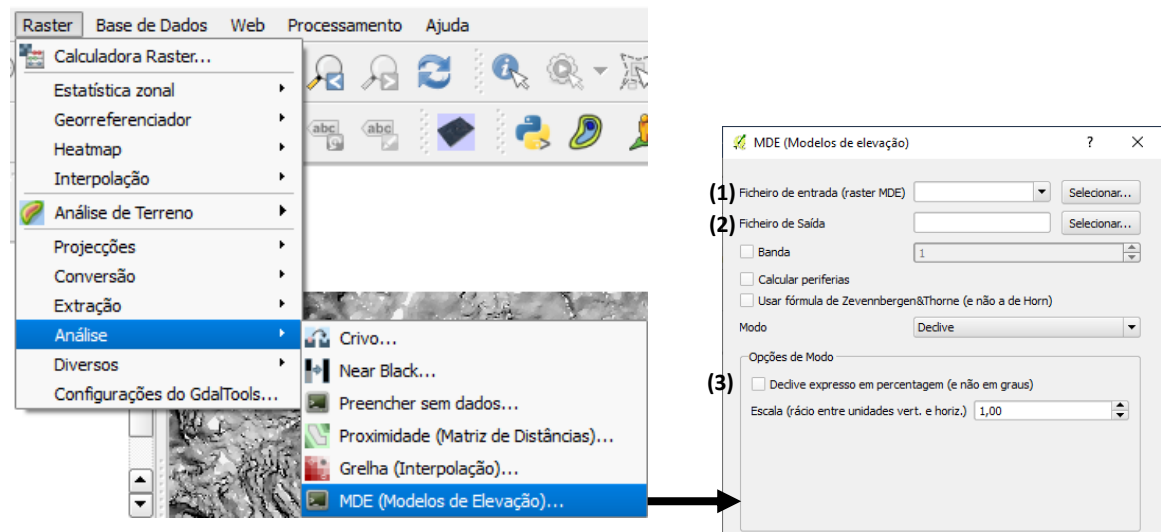


Figura 102 - Menu de acesso aos modelos de elevação, QGIS

### 8.3. Mapa ângulo de atrito

Ao nível do comportamento mecânico e na resolução de problemas de estabilidade do solo, é essencial ter conhecimento da resistência ao corte, quando sujeito a solicitações ou quando este é usado como material de construção. Encontram-se dentro deste tema, a estabilidade e dimensionamento dos muros de suporte, barragens de aterro, material de construção ou de fundação.

Na prática, normalmente desconhece-se o ângulo de atrito verdadeiro, mas conhece-se o ângulo de atrito das discontinuidades. O ângulo de atrito consiste no limite máximo de obliquidade sem a presença de movimento, isto é, na iminência da sua ocorrência.

Com o objetivo de classificar a qualidade do maciço rochoso para fins de engenharia, foi proposta pela ISRM em 1981 uma classificação denominada de “Descrição Geotécnica Básica”, com base em métodos expedidos de observação, uniformizando assim os critérios de avaliação, contendo informação suficientemente ampla que torne possível a resolução de problemas práticos. Este sistema de classificação tem em conta os seguintes aspetos:

- Caracterização geológica: estado de alteração (W);
- Características estruturais dos maciços rochosos: espessura de camadas (L) e espaçamento entre fraturas (F);

- **Características mecânicas:** resistência à compressão simples do material rocha ( $\sigma_{ci}$ ) e o ângulo de atrito das descontinuidades ( $\Phi$ ).

Esta classificação, que engloba cinco parâmetros, é suficiente para descrever, sucintamente, a qualidade do maciço rochoso na maior parte dos problemas que interessam a Engenharia Civil (Costa, 2011).

A tabela 19, indica as classes referentes ao ângulo de atrito nas descontinuidades, segundo a ISRM.

Tabela 19 - Ângulo de atrito das descontinuidades (ISRM, 1981)

Símbolos	Intervalos de ângulo de atrito (°)	Ângulo de atrito
A <sub>1</sub>	> 45°	Muito elevado
A <sub>2</sub>	40° a 45°	Elevado
A <sub>3</sub>	35° a 40°	Médio
A <sub>4</sub>	30° a 35°	Baixo
A <sub>5</sub>	< 30°	Muito baixo

A tabela 20, indica as classes referentes à compressão uniaxial da rocha, segundo a ISRM.

Tabela 20 - Resistência à compressão uniaxial da rocha (ISRM, 1981)

Símbolos	Intervalos de resistência (MPa)	Resistência
S <sub>1</sub>	> 200	Muito elevada
S <sub>2</sub>	60 a 200	Elevada
S <sub>3</sub>	20 a 60	Média
S <sub>4</sub>	6 a 20	Baixa
S <sub>5</sub>	< 6	Muito baixa

Na tabela 21 estão presentes os parâmetros de corte, ângulo de atrito interno ( $\Phi'$ ) e coesão ( $c'$ ), relativos ao solo residual granítico e sintetizados a partir de estudos dos autores referenciados no Capítulo 8 pg.122, do qual se pôde fazer uma compilação de similitudes.

Tabela 21 - Intervalos típicos para parâmetros mecânicos de resistência do solo residual granítico, segundo a compilação (Capítulo 8 pg.122)

Amostra	Parâmetro Mecânico			
	$c'_{\max}$ (kPa)	$\phi'_{\max}$ (°)	$c'_{\min}$ (kPa)	$\phi'_{\min}$ (°)
Solo residual granítico	0 a 25	28 a 35	0	25 a 30

O mapa da figura 103 mostra a distribuição do ângulo de atrito na área urbana. A partir dos polígonos da área urbana, classificados segundo o grau de alteração do maciço rochoso, foi criado o atributo “AngAtri(°)” cujo valor para cada registo foi assumido em função do atributo que caracteriza o grau de alteração do maciço rochoso “GrauAlterar”.

Assim, foi efetuada a seguinte correspondência entre o grau de alteração do maciço rochosos e o ângulo de atrito:

- Para o atributo "GrauAlterar" = W1 o atributo “AngAtri(°)” = 45°
- Para o atributo "GrauAlterar" = W2 o atributo “AngAtri(°)” = 43°
- Para o atributo "GrauAlterar" = W3 o atributo “AngAtri(°)” = 38°
- Para o atributo "GrauAlterar" = W4 o atributo “AngAtri(°)” = 33°
- Para o atributo "GrauAlterar" = W5 o atributo “AngAtri(°)” = 28°

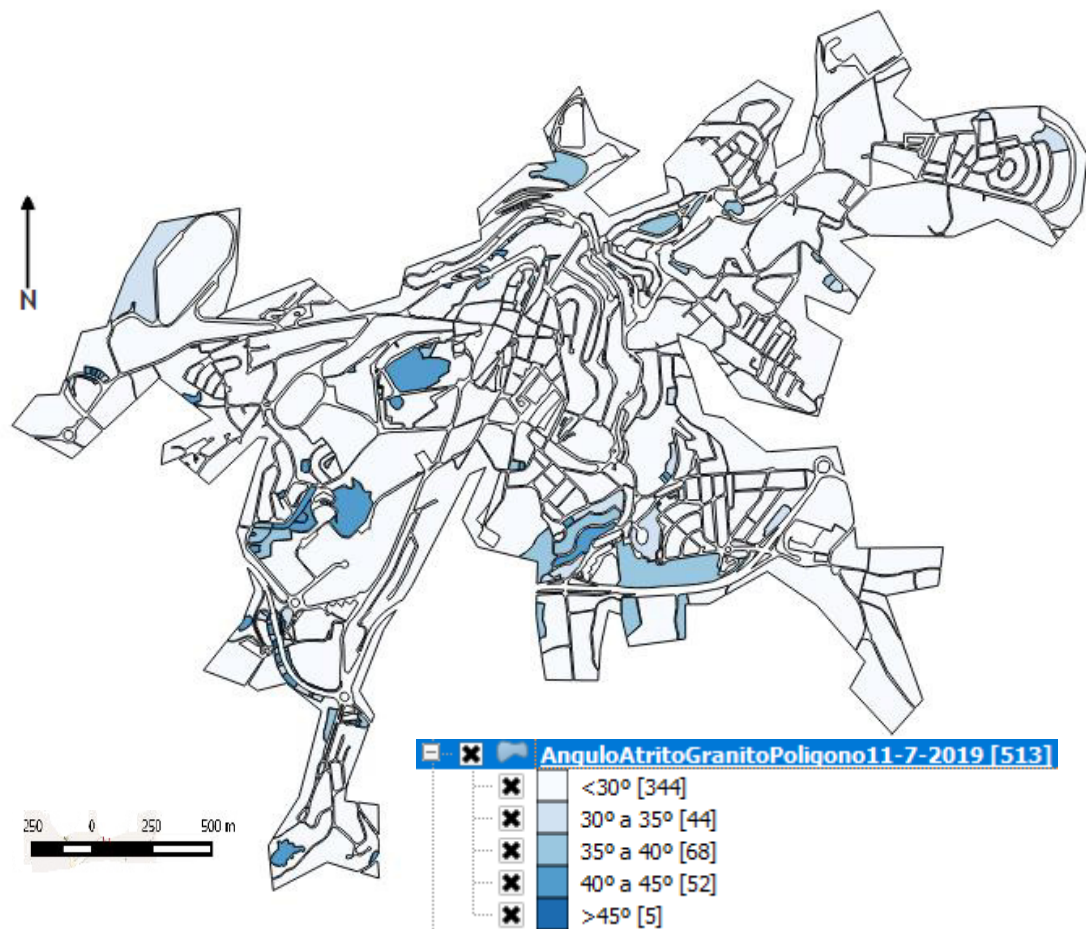


Figura 103 - Mapa Ângulo de Atrito (valores estimados empiricamente para validação do modelo digital)

O QGIS permite além de criar novos atributos (colunas) numa tabela, também permite criar dados para esse novo atributo a partir de outros já existentes, através da criação de uma expressão que exprima a relação existente entre esses dois atributos. Esta funcionalidade é possível através da caixa de diálogo designada de calculadora de campos.

Assim, a partir da calculadora de campo ilustrada na figura 104, foi criado o atributo “AngAtri(º)”, o atributo é do tipo número inteiro.

No campo Expressão (1), foi criada uma condição do tipo “Case”:

```
CASE
    WHEN condição THEN ação
    ...
    [ELSE condição padrão]
END
```

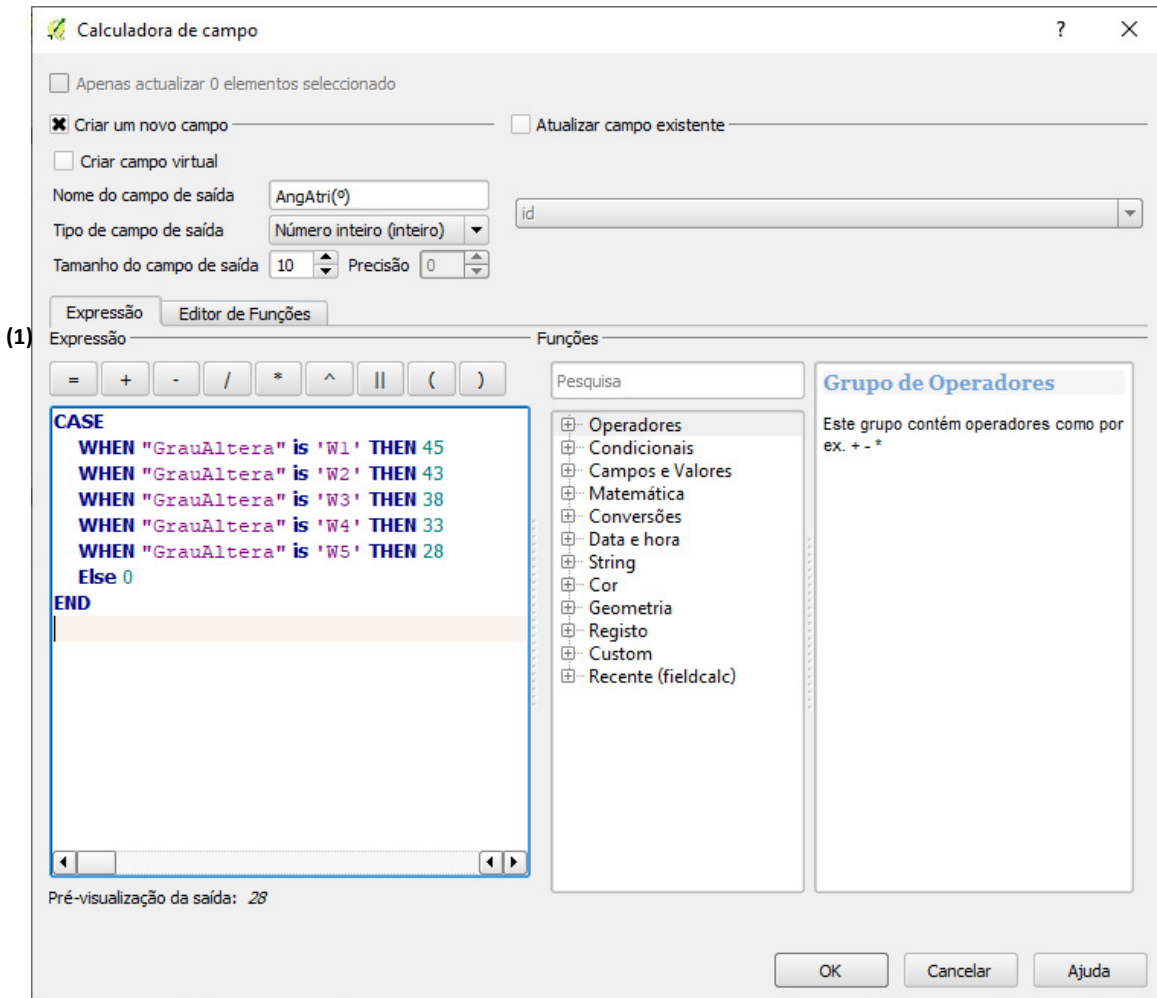


Figura 104 - QGIS, Calculadora de campo

Para o caso de estudo a condição toma os seguintes parâmetros, colocados no campo expressão da calculadora de campos:

```
CASE
    WHEN "GrauAlterar" is 'W1' THEN 45
    WHEN "GrauAlterar" is 'W2' THEN 43
    WHEN "GrauAlterar" is 'W3' THEN 38
    WHEN "GrauAlterar" is 'W4' THEN 33
    WHEN "GrauAlterar" is 'W5' THEN 28
```

*Else 0*

END

Desta forma conseguimos num só passo criar um novo atributo e preencher todos os seus campos com valores correspondentes ao ângulo de atrito, o passo seguinte foi criar um mapa que nos mostrasse a distribuição dos valores desse atributo em toda a área de estudo, mapa da figura 103.

Verificando-se que, o ângulo de atrito aumenta à medida que há uma menor alteração do maciço rochoso, portanto o ângulo de atrito decresce de um maciço W1 até um maciço W5.

#### **8.4. Mapa Capacidade de Carga Admissível**

Em obras de Engenharia, é necessário assegurar que a resistência do terreno e os assentamentos que irão surgir sejam compatíveis com a estrutura a implantar. A resistência solicitada no terreno vai depender da geometria da fundação pois está associada à distribuição de tensões em profundidade.

Em pré-dimensionamento de fundações superficiais, tem de se garantir que a tensão transmitida ao terreno ( $\sigma$  ou  $q$ ), seja menor do que a capacidade resistente ou última ao carregamento vertical no maciço ( $\sigma_{Rd}$  ou  $q_{ult}$ ):

$$q = \sigma \leq q_{adm} < \sigma_{Rd} (q_{ult}) \quad (9.1)$$

Sendo  $\sigma$ , a tensão aplicada ao terreno pelo carregamento, nas fundações superficiais esta tende a ser máxima à superfície, no contacto axial entre a fundação e o solo. A tensão admissível, para além de ser inferior à tensão de rotura, terá que ser coerente com o assentamento admissível da estrutura de modo a que esta seja funcional.

Em relação ao cálculo da capacidade resistente do terreno,  $\sigma_{Rd}$ , é relativamente complexo pois envolve a noção do terreno solicitado (bolbo de tensões real, que depende da geometria da fundação e do modelo de comportamento atribuído o solo), da geometria da superfície de rotura e da deformação.

Em pré-dimensionamento e de uma forma muito simplificada, podem usar-se valores pré-estabelecidos para alguns tipos de terrenos. Tabela 22 (Pré-dimensionamento de fundações superficiais), apesar de o valor de  $\sigma_{Rd}$  depender da geometria da fundação.

A figura 105 representa uma sapata tipo em perfil e em planta, serve como referência para as observações da tabela 22 e 23. Em planta está representada a base da sapata de largura (B) e comprimento (L). Em perfil a sapata sofre uma carga (q), a sua parte inferior está a uma profundidade (D) e o nível freático (N.F.) está a uma profundidade (Dw).

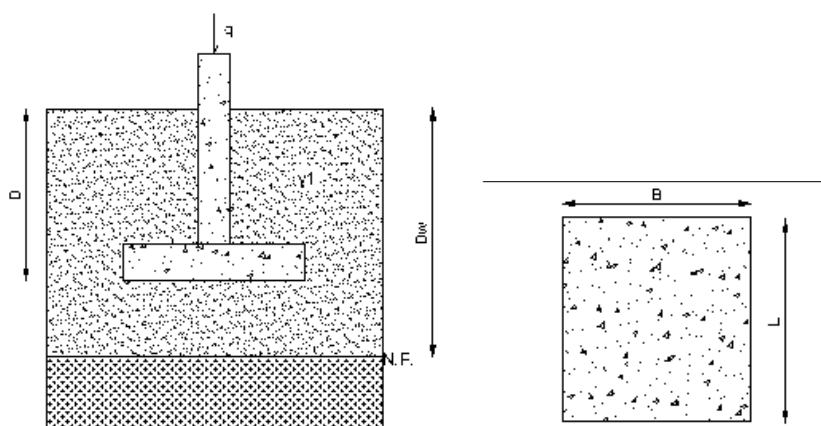


Figura 105 - Sapata Tipo, em perfil e em planta

Tabela 22 -Pré-dimensionamento de fundações superficiais (Moreira, 2011)

Tipo Terreno	$q_{adm}(kN/m^2)$	Observações
<b>Rochas</b>		
Rochas maciças em estado são, com resistência alta a muito alta, ígneas e metamórficas (granito, diorito, basalto, gneisse)	10000	
Rochas metamórficas foleadas em estado são, com resistência média e alta (xisto, ardósia)	3000	
Rochas sedimentares em estado são, com resistência média a alta (argilitos, silitos, arenitos, calcários, não cavernosos)	1000-4000	
Argilitos xistosos e outras rochas argilosas, com resistência baixa a média	500	
Rochas fragmentadas de qualquer espécie (exceto rochas argilosas) com espaçamento entre juntas menor que 0.3m	1000	
<b>Solos</b>		
<b>Solos granulares</b>		
Cascalho compacto ou areia e cascalho compacta	>600	A largura (B) da fundação não é inferior a 1 metro. A água encontra-se a profundidade não inferior B, medida a partir da base da sapata
Cascalho com compactidade média ou areias e cascalho de compactidade média	200-600	
Cascalho solto ou areias ou cascalho solta	<200	
Areia compacta	>300	
Areia com compactidade média	100-300	
Areia solta	<100	
<b>Solos finos</b>		
Argila muito rijas com pedras ou argila dura	300-600	Susceptibilidade e assentamentos a longo prazo por consolidação
Argila dura	150-300	
Argila média	75-150	
Argila mole e silte	<75	
Argila muito mole e silte	-	

Folque (1979), recomenda também, para estudos preliminares a consulta da tabela 23, para a utilização de valores predefinidos para tensões admissíveis em função do tipo de terreno.

Tabela 23 - Tensões admissíveis em terrenos (para estudos preliminares), adaptado de (Folque, 1979)

Grupo	Tipo de Terreno	Tensão admissível (kg/cm <sup>2</sup> )
ROCHAS	1. Rochas maciças em estado são com resistência alta a muito alta, ígneas e metamórficas (granito, diorito, basalto, gneisse)	100
	2. Rochas metamórficas foliadas em estado são, com resistência média a alta (xisto, ardósia)	30
	3. Rochas sedimentares em estado são, com resistência média a alta (argilitos, siltitos, arenitos, calcários, não-cavernosos)	10 - 40
	4. Argilitos xistosos e outras rochas argilosas, com resistência baixa a média	5
	5. Rochas fragmentadas de qualquer espécie (exceto rochas argilosas) com espaçamento entre juntas menor que 0,3m	10
SOLOS INCOER.	6. Cascalho compacto e areias compactas	>6
	7. Cascalhos e areias de comp. média	2 - 6
	8. Cascalhos e areias soltas	<2
	9. Areia compacta	>3
	10. Areia de compactidade média	1 - 3
	11. Areia solta	<1
SOLOS COERENT.	12. Argilas rijas e muito duras	3 - 6
	13. Argilas duras	1,5 - 3
	14. Argilas médias	0,75 - 1,5
	15. Argilas moles	<0,75

Nota: Nos valores indicados para solos contou-se com sapatas de largura não inferior a 1 m. O nível freático supôs-se a uma profundidade maior do que a largura da sapata.

Para a construção do mapa da capacidade de carga admissível os procedimentos foram semelhantes ao da construção do mapa de ângulo de atrito, ou seja, foi criado o atributo “CapaciCarg (kN/m<sup>2</sup>)” tendo por base a classificação do grau de alteração do maciço rochoso, o atributo é do tipo número inteiro. Utilizando também para esta operação a calculadora de campo.

Como resultado, obteve-se o mapa presente na figura 106, a partir da classificação do grau de alteração do tipo de terreno.

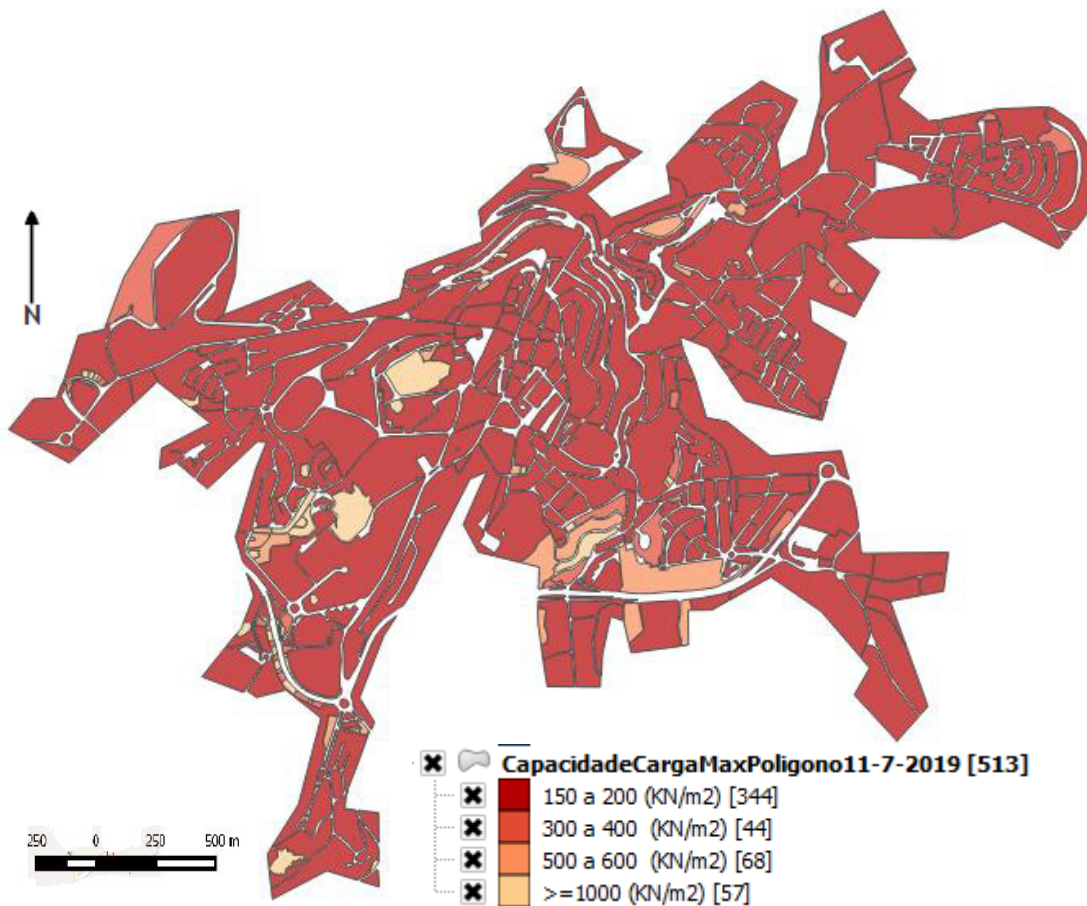


Figura 106 - Mapa de capacidade de carga admissível (valores estimados empiricamente para validação do modelo digital)

No campo Expressão, da caixa de diálogo da Calculadora de campo foi criada também uma condição do tipo “Case”:

```

CASE
  WHEN condição THEN ação
  ...
  [ELSE condição padrão]
END

```

Para o caso de estudo a condição toma os seguintes parâmetros:

```

CASE
  WHEN "GrauAlterar" is 'W1' THEN 1000
  WHEN "GrauAlterar" is 'W2' THEN 1000
  WHEN "GrauAlterar" is 'W3' THEN 600
  WHEN "GrauAlterar" is 'W4' THEN 400
  WHEN "GrauAlterar" is 'W5' THEN 200
  Else 0
END

```

Ou seja, de acordo com as tabelas 22 e 23:

Para o grau de alteração = W1, a capacidade de carga = 1000 kN / m<sup>2</sup>;

Para o grau de alteração = W2, a capacidade de carga = 1000 kN / m<sup>2</sup>;

Para o grau de alteração = W3, a capacidade de carga = 600 kN / m<sup>2</sup>;

Para o grau de alteração = W4, a capacidade de carga = 400 kN / m<sup>2</sup>;

Para o grau de alteração = W5, a capacidade de carga = 200 kN / m<sup>2</sup>.

Verificando-se, como era de esperar e em conformidade com as tabelas presentes neste item, que as capacidades de carga são maiores para o grau de alteração W1 e W2 que correspondem a rochas em estado são ou próximo do são, em oposição ao grau de alteração W5 que corresponde já a um solo.

## **8.5. Mapa Grau de Perigosidade (Declive/Grau de Alteração do Granito)**

No sentido de calcular o grau de perigosidade ao nível da instabilidade de vertentes foi gerado um mapa de perigosidade e respetiva escala de perigosidade, tendo por base o declive do terreno e o grau de alteração do maciço rochoso.

*“O direito a uma maior segurança e melhor qualidade do ambiente é uma crescente expectativa das populações, pelo que, nas áreas de risco, é necessário o conhecimento detalhado do funcionamento dos fenómenos perigosos e a avaliação das suas consequências potenciais, de modo a minimizar os prejuízos, através da recolocação das populações e atividades económicas, implementação de medidas de mitigação e uma correta gestão do território no que respeita às futuras intervenções humanas. Deste modo, a identificação e delimitação das áreas de perigo e de risco, no quadro do ordenamento e da gestão do território, constituem condições indispensáveis para a prevenção e minimização dos prejuízos decorrentes dos fenómenos e atividades perigosos”, Zêzere, et. al. (2005).*

Na figura 107 está presente o modelo conceptual do risco, no qual se destacam os seguintes elementos:

- Fenómenos perigosos;
- Elementos em risco;
- Perigosidade, a probabilidade de ocorrência de um fenómeno (avaliada qualitativa ou quantitativamente), com uma determinada magnitude;
- Vulnerabilidade, grau de perda de um elemento ou conjunto de elementos vulneráveis, resultante da ocorrência de um fenómeno com uma determinada magnitude;
- Risco, a probabilidade de ocorrência de um efeito específico causador de danos graves à Humanidade e/ou ao ambiente, num determinado período e em circunstâncias determinadas.

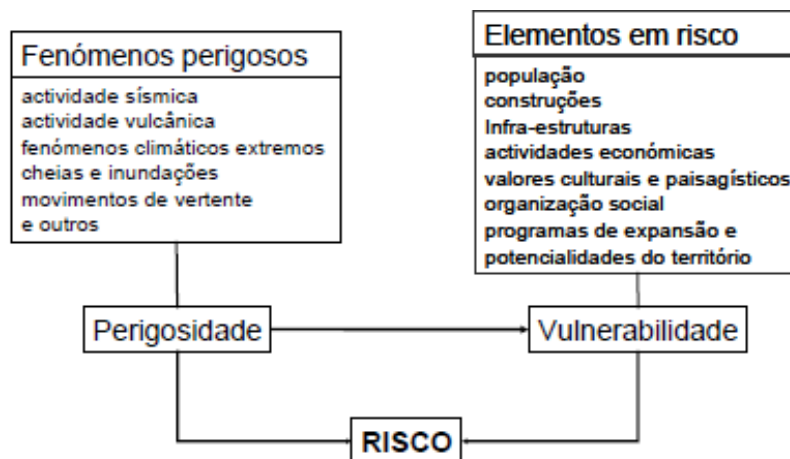


Figura 107 - Modelo conceptual do Risco, adaptado de (Panizza, 1990)

A avaliação quantitativa do risco é obtida através do produto da perigosidade pela vulnerabilidade e pelo valor dos elementos em risco ( $R = P * V * E$ ).

Na figura 108, estão presentes os tipos de riscos naturais, tecnológicos e ambientais que apresentam uma incidência significativa em Portugal Continental. De entre estes destacam-se, pela sua importância para o Ordenamento do Território, em particular para o planeamento urbano, a perigosidade associada à actividade sísmica, maremotos, movimentos de vertente, erosão marinha, cheias e inundações, acidentes industriais e acidentes no transporte de substâncias perigosas, (Zêzere, et. al. 2005).

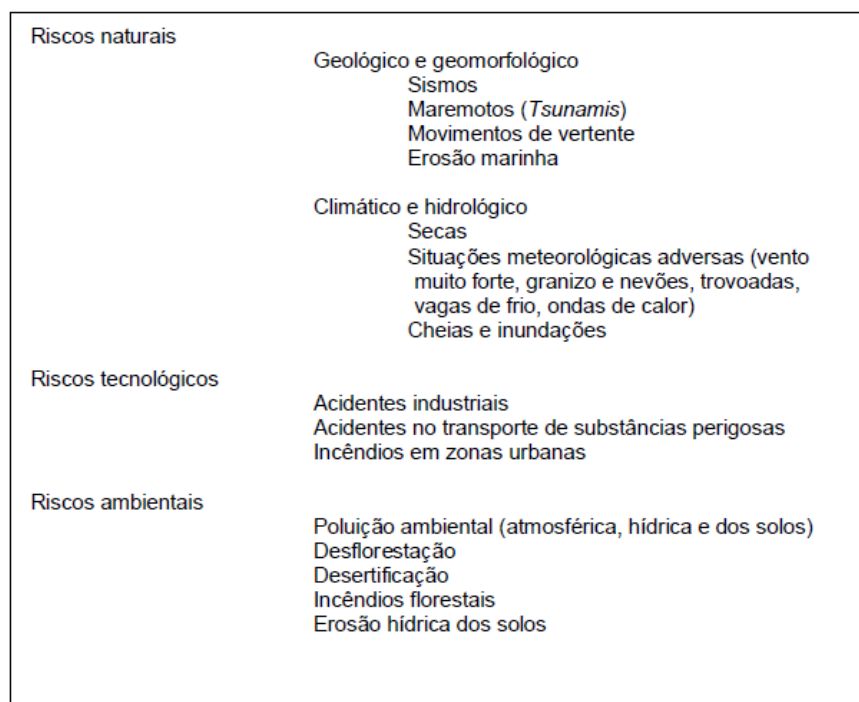


Figura 108 - Tipologia dos riscos com incidência significativa em Portugal Continental (Gaspar, 2004).

Relativamente aos movimentos de vertente, nas rochas graníticas e solos residuais, a instabilidade das vertentes é normalmente relevante em terrenos com declive forte a muito forte, superior a 25°. A tabela 24 indica o limiar crítico de declive em função das unidades litológicas.

Tabela 24 - Matriz de unidades litológicas e limiares de declive utilizada para a determinação das áreas suscetíveis a movimentos de vertente, (Zêzere, et. al. 2005)

Unidades litológicas	Limiar crítico de declive (°)
Depósitos superficiais	10
Rochas carbonatas	25
Rochas graníticas e afins	25
Rochas quartzíticas	25
Rochas sedimentares e vulcânicas estratificadas	10
Outras rochas vulcânicas	20
Rochas xistentas	15

No sentido de calcular o grau de perigosidade ao nível da instabilidade de vertentes foi gerado um mapa de perigosidade e respetiva escala de perigosidade, tendo por base o declive do terreno e o grau de alteração do maciço rochoso. A tabela 25 reflete a matriz que qualifica o grau de perigosidade da instabilidade das vertentes, em função do declive do terreno e do grau de alteração do maciço rochoso. Assim, o valor 1 representa Baixa perigosidade, o valor 2 representa Média perigosidade, o valor 3 representa Alta perigosidade e o valor 4 Muito Alta perigosidade. Portanto a perigosidade/instabilidade aumenta à medida que aumenta o declive e aumenta o grau de alteração do maciço rochoso.

Tabela 25 - Grau de perigosidade da instabilidade das vertentes

Declive (°) \ Grau Alt. Maciço	Grau Alt. Maciço				
	W1	W2	W3	W4	W5
0-5	1	1	1	1	1
5-10	1	1	1	1	2
10-20	1	2	2	2	3
20-30	1	2	3	3	3
30-40	1	2	3	3	4
>40	2	2	3	4	4

Para se conseguir refletir a matriz no mapa foi necessário utilizar a calculadora raster, o que obriga a que todos os temas estejam no formato matricial e no mesmo sistema de coordenadas, o tema que contém os declives (Declive1), está no formato matricial, pois foi

criado a partir do MDT e portanto resulta num tema já em formato matricial e no sistema de coordenadas do tema precedente, Datum73 Projeção Gauss.

Quanto ao tema que contém o grau de alteração do granito, está em formato vetorial e no sistema de coordenadas no datum WGS84/Pseudo-Mercator, o que levou à alteração do sistema de coordenadas, obtendo-se o tema “GrauAltGranitoPol1D73”, à criação de um atributo que contivesse, para cada polígono, o valor correspondente ao grau de alteração em número real, utilizou-se a calculadora de campos com um procedimento semelhante aos casos supracitados. Seguidamente, através da rotina “Rasterizar(Vector para raster/matricial)”, o tema vetorial foi convertido para matricial dando origem ao tema “1-GrauAlteraGranitoD73”, figura 109.

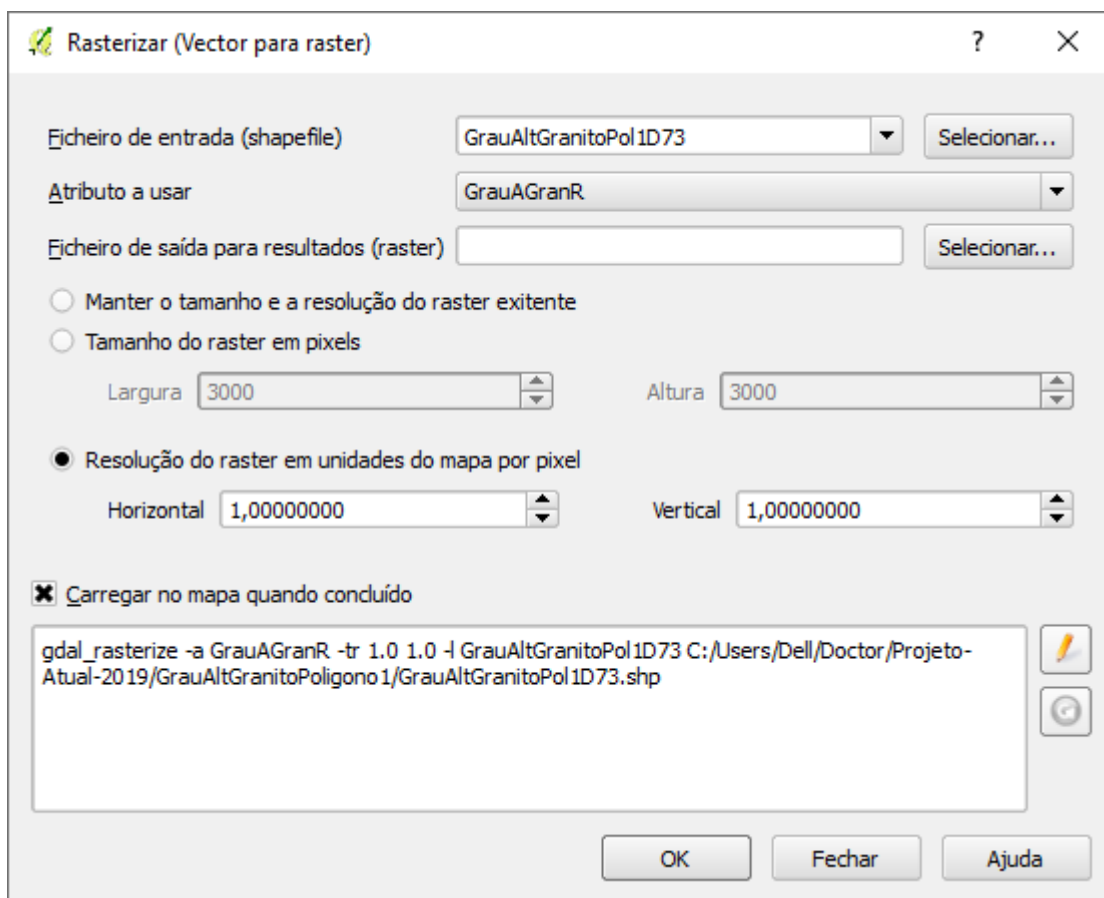


Figura 109 - QGIS, Conversão vetor raster

Tendo agora os dois temas, que servirão como input na rotina “calculadora raster”, nas condições pretendidas gerou-se um novo tema “Declive1GrauAltGranito1”, cuja matriz de pixéis que o definem representa o resultado dos cálculos efetuados de acordo com a tabela 25.

A figura 110 mostra a caixa de diálogo da calculadora raster preenchida com os dados utilizados para a criação do modelo, traduzido no novo tema matricial.

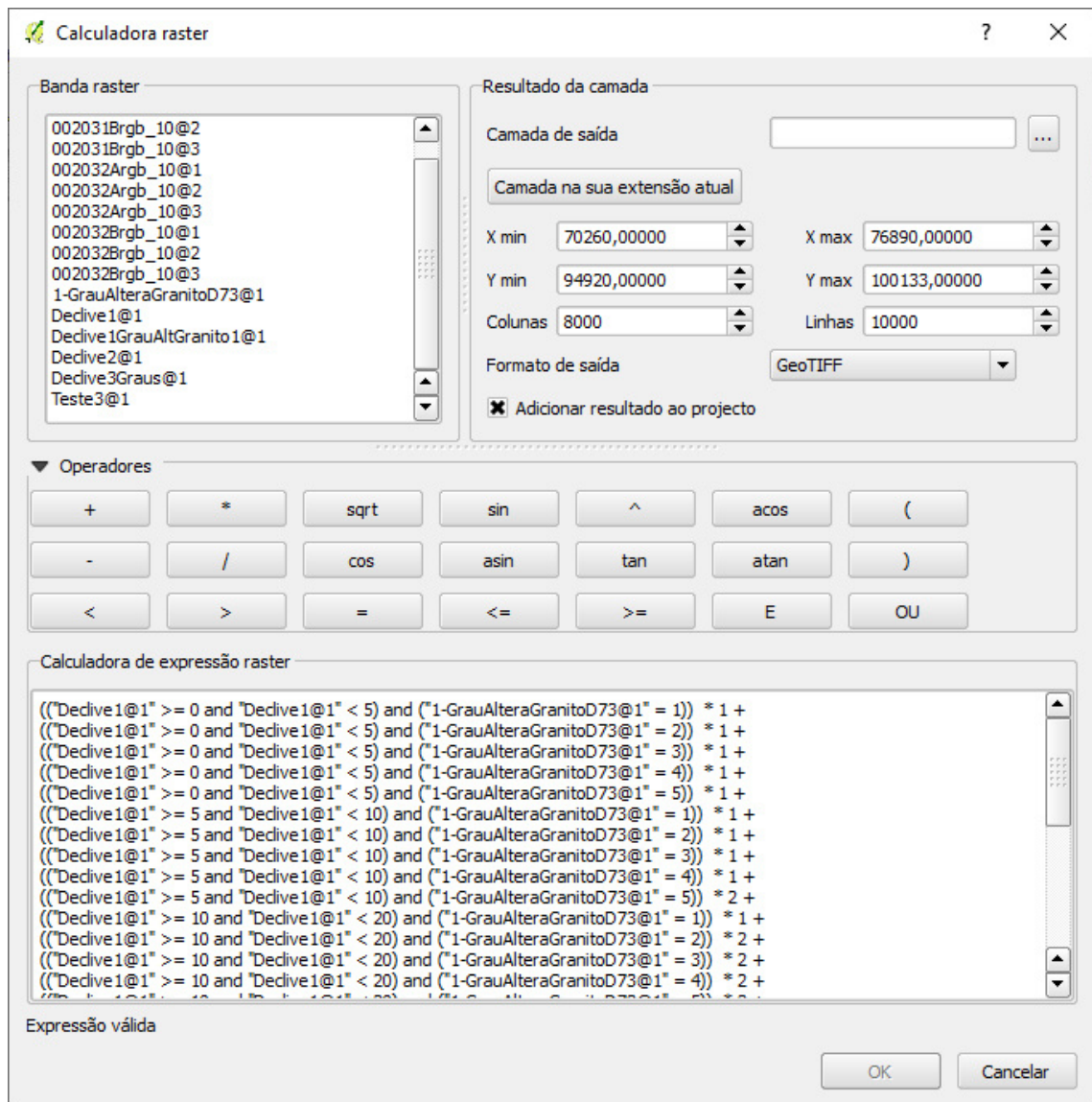


Figura 110 - QGIS, calculadora raster

No campo “Calculadora de expressão raster”, foi necessário desenvolver um conjunto de expressões que permitissem obter o resultado desejado, o conjunto total foi o seguinte:

```
(\"Declive1@1\" >= 0 and \"Declive1@1\" < 5) and (\"1-GrauAlteraGranitoD73@1\" = 1)) * 1 +
(\"Declive1@1\" >= 0 and \"Declive1@1\" < 5) and (\"1-GrauAlteraGranitoD73@1\" = 2)) * 1 +
(\"Declive1@1\" >= 0 and \"Declive1@1\" < 5) and (\"1-GrauAlteraGranitoD73@1\" = 3)) * 1 +
(\"Declive1@1\" >= 0 and \"Declive1@1\" < 5) and (\"1-GrauAlteraGranitoD73@1\" = 4)) * 1 +
(\"Declive1@1\" >= 0 and \"Declive1@1\" < 5) and (\"1-GrauAlteraGranitoD73@1\" = 5)) * 1 +
(\"Declive1@1\" >= 5 and \"Declive1@1\" < 10) and (\"1-GrauAlteraGranitoD73@1\" = 1)) * 1 +
(\"Declive1@1\" >= 5 and \"Declive1@1\" < 10) and (\"1-GrauAlteraGranitoD73@1\" = 2)) * 1 +
(\"Declive1@1\" >= 5 and \"Declive1@1\" < 10) and (\"1-GrauAlteraGranitoD73@1\" = 3)) * 1 +
(\"Declive1@1\" >= 5 and \"Declive1@1\" < 10) and (\"1-GrauAlteraGranitoD73@1\" = 4)) * 1 +
(\"Declive1@1\" >= 5 and \"Declive1@1\" < 10) and (\"1-GrauAlteraGranitoD73@1\" = 5)) * 2 +
(\"Declive1@1\" >= 10 and \"Declive1@1\" < 20) and (\"1-GrauAlteraGranitoD73@1\" = 1)) * 1 +
(\"Declive1@1\" >= 10 and \"Declive1@1\" < 20) and (\"1-GrauAlteraGranitoD73@1\" = 2)) * 2 +
(\"Declive1@1\" >= 10 and \"Declive1@1\" < 20) and (\"1-GrauAlteraGranitoD73@1\" = 3)) * 2 +
(\"Declive1@1\" >= 10 and \"Declive1@1\" < 20) and (\"1-GrauAlteraGranitoD73@1\" = 4)) * 2 +
(\"Declive1@1\" >= 10 and \"Declive1@1\" < 20) and (\"1-GrauAlteraGranitoD73@1\" = 5)) * 3 +
(\"Declive1@1\" >= 20 and \"Declive1@1\" < 30) and (\"1-GrauAlteraGranitoD73@1\" = 1)) * 1 +
(\"Declive1@1\" >= 20 and \"Declive1@1\" < 30) and (\"1-GrauAlteraGranitoD73@1\" = 2)) * 2 +
```

```

(("Declive1@1" >= 20 and "Declive1@1" < 30) and ("1-GrauAlteraGranitoD73@1" = 3)) * 3 +
(("Declive1@1" >= 20 and "Declive1@1" < 30) and ("1-GrauAlteraGranitoD73@1" = 4)) * 3 +
(("Declive1@1" >= 20 and "Declive1@1" < 30) and ("1-GrauAlteraGranitoD73@1" = 5)) * 3 +
(("Declive1@1" >= 30 and "Declive1@1" < 40) and ("1-GrauAlteraGranitoD73@1" = 1)) * 1 +
(("Declive1@1" >= 30 and "Declive1@1" < 40) and ("1-GrauAlteraGranitoD73@1" = 2)) * 2 +
(("Declive1@1" >= 30 and "Declive1@1" < 40) and ("1-GrauAlteraGranitoD73@1" = 3)) * 3 +
(("Declive1@1" >= 30 and "Declive1@1" < 40) and ("1-GrauAlteraGranitoD73@1" = 4)) * 3 +
(("Declive1@1" >= 30 and "Declive1@1" < 40) and ("1-GrauAlteraGranitoD73@1" = 5)) * 4 +
(("Declive1@1" >= 40) and ("1-GrauAlteraGranitoD73@1" = 1)) * 2 +
(("Declive1@1" >= 40) and ("1-GrauAlteraGranitoD73@1" = 2)) * 2 +
(("Declive1@1" >= 40) and ("1-GrauAlteraGranitoD73@1" = 3)) * 3 +
(("Declive1@1" >= 40) and ("1-GrauAlteraGranitoD73@1" = 4)) * 4 +
(("Declive1@1" >= 40) and ("1-GrauAlteraGranitoD73@1" = 5)) * 4

```

A estrutura de cada linha é a seguinte:

((“Tema que representa o Declive” >= “valor do declive” e “Tema que representa o Declive” < “valor do declive”) e (“Tema que representa o Grau de Alteração do Granito” = “valor do grau de alteração”)) \* “valor a atribuir ao pixel”

Como resultado obteve-se o mapa representado pela figura 111, em que a legenda reflete as cores e a numeração de acordo com a tabela 25, a calculadora raster atribui um valor real a cada pixel e não inteiro, por esse motivo é que os valores aparecem na legenda com casas decimais.

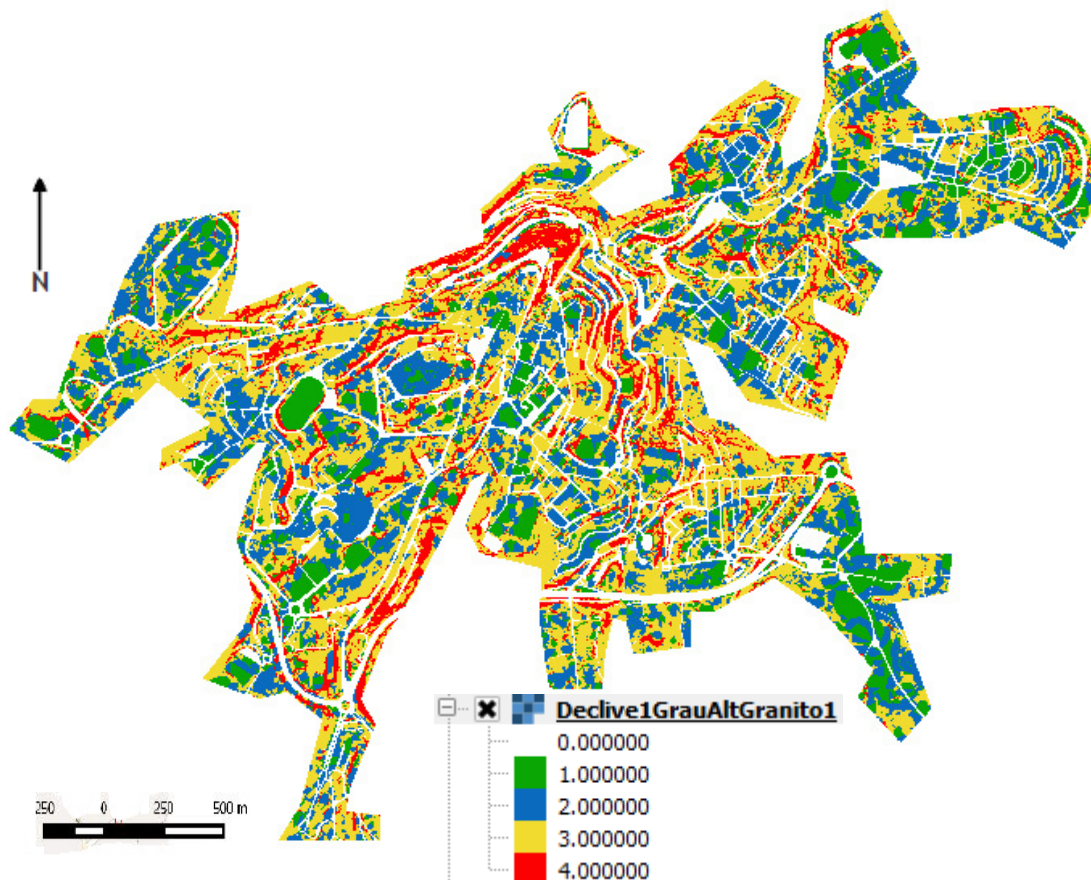


Figura 111 - Mapa de Perigosidade, combina o declive com o grau de alteração do granito

Como se pode ver nas estatísticas presentes na figura 112, os valores variam entre 0 (1), e 4 (2), os valores inteiros 1 a 4 foram atribuídos pelas expressões construídas e o valor 0 (fora do critério), é atribuído automaticamente quando a rotina não encontra valores para o pixel nos temas de entrada, o que se confirma em relação ao tema de entrada “1-GrauAlterarGranitoD73”, pois não é atribuído um número inteiro pertencente ao intervalo 1 a 4 para os pixéis que representam os arruamentos.

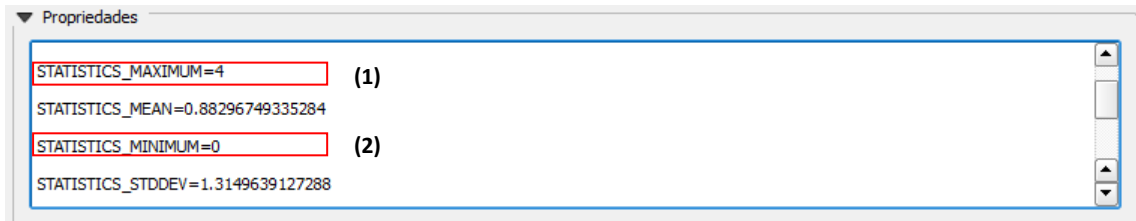


Figura 112 - Estatísticas do Mapa de Perigosidade

## 8.6. Representação 3D do Mapa

Para a representação de mapas tridimensionais, figuras 113 a 115, utilizou-se o plugin Qgis2threejs, que permite visualizar dados de um Modelo Digital de Elevação e dados vetoriais em 3D num navegador da internet. Podem ser criados vários tipos de objetos 3D com painéis de configurações simples, exibi-los na página do navegador da internet e gerar arquivos para publicação na internet. O modelo 3D pode ser guardado em formato glTF para 3DCG ou impressão em 3D.

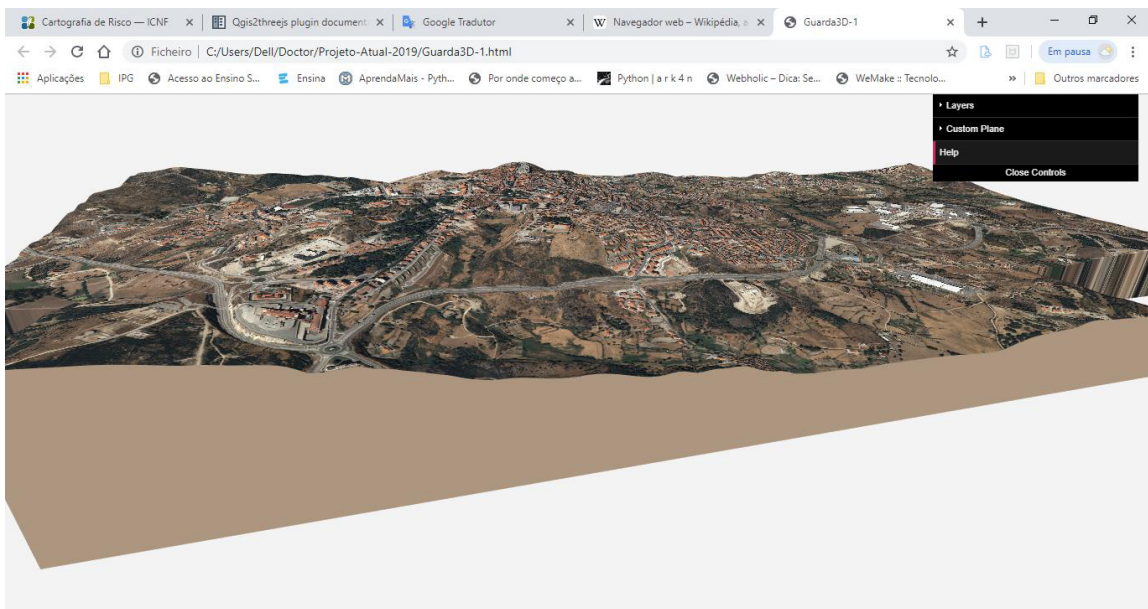


Figura 113 - Vista 3D da cidade da Guarda

Quando o arquivo do modelo 3D é aberto num navegador da internet, surge normalmente no canto superior direito, uma janela de opções (figura 114), como se pode ver também nas figuras 113 e 115. Destas opções, a opção “Layers”, permite ativar ou desativar os temas que deram origem ao modelo, a opção “Custom Plane” tem várias subopções, destacando-se a que foi utilizada para melhorar a aparência do modelo “*Plane height*”, onde se pode variar a altitude do plano de referência. Para as figuras 114 e 116 foi atribuído o valor 800 e para a figura 116 o valor 1000.

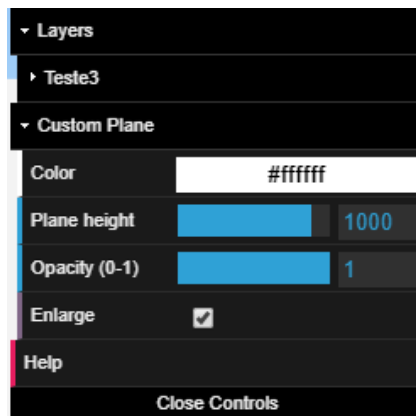


Figura 114 - Janela de opções da Vista 3D

A figura 115 resulta da sobreposição do mapa de perigosidade sobre o Modelo Digital de Terreno, dando-lhe uma visão mais real, sendo mais fácil reconhecer os declives mais acentuados e compreender o grau de perigosidade associado a determinado local.

A figura 116, é a parte que permanece visível da figura 113, para uma elevação acima dos 1000 m

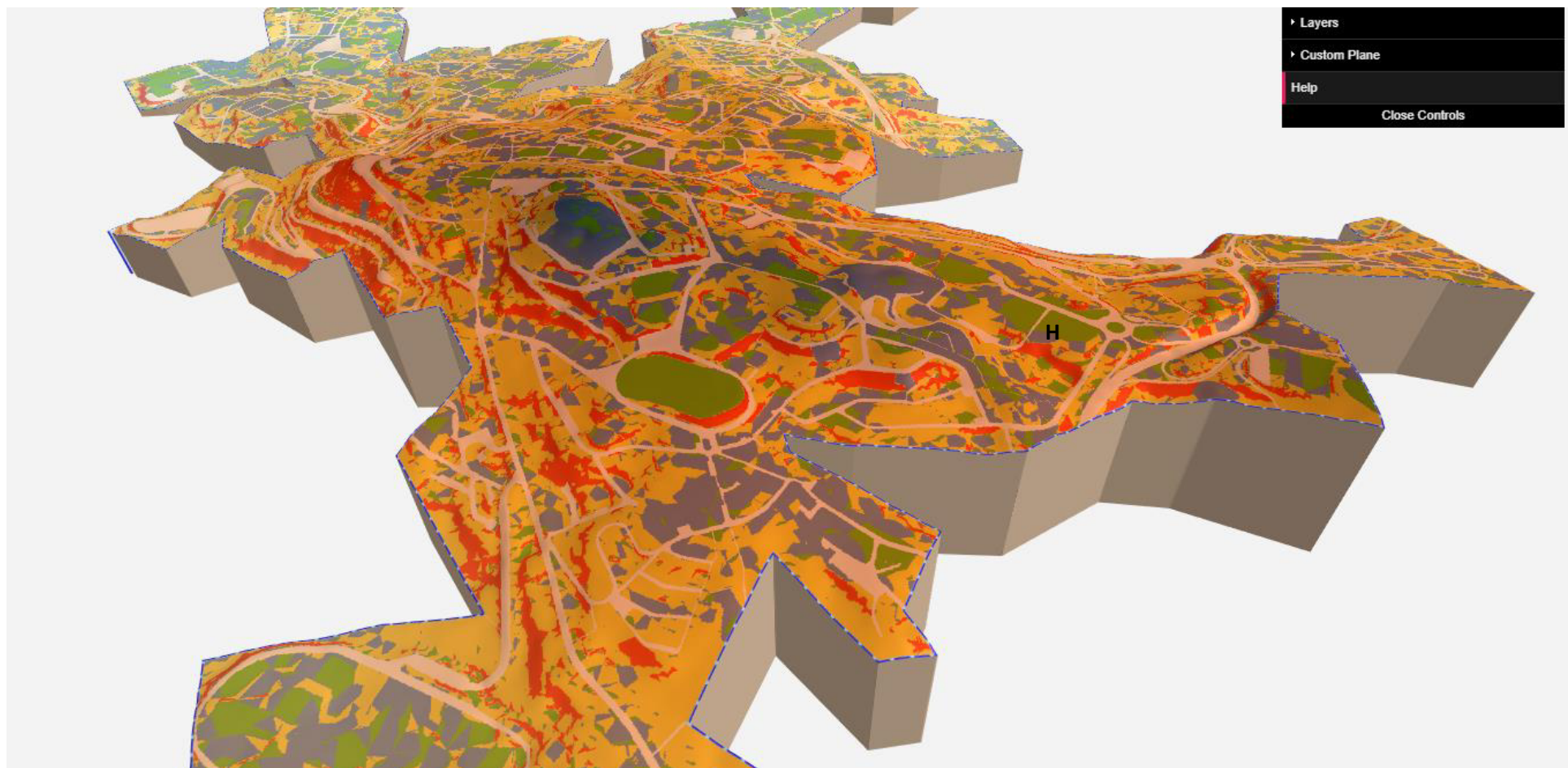


Figura 115 - Vista 3D do mapa de Perigosidade



Figura 116 - Vista 3D da cidade da Guarda, com elevação acima dos 1000m

A figura 115 vai além de uma visualização tridimensional, pois temos uma informação bastante consistente do grau de perigosidade, perceptível através de um conjunto de cores associadas às variáveis declive e grau de alteração do maciço rochoso. Poderemos ver na imagem à direita, no troço da VICEG que dá acesso ao Hospital da Guarda, os declives acentuados existentes e a sua variação de perigosidade em função do grau de alteração do maciço.

Na figura 116, através do atributo “*Plane height*” podemos variar a altitude e deste modo ter uma noção bastante real dos objetos que permanecem acima de determinado valor, para o caso da figura indicada poderemos visualizar os edifícios e espaços que estão acima da altitude de 1000m, ficando praticamente toda a área antiga da cidade, com o seu centro histórico, ficando no topo a Torre de Menagem a cerca de 1056m.



# Capítulo 10 - Conclusões e Perspetivas Futuras

## 1. Conclusões

Pretendeu-se com este trabalho destacar que é possível criar uma base de informação geográfica viável e fiável para a elaboração de cartografia geotécnica, utilizando fontes cartográficas de plataformas abertas, juntamente com *software* livre.

A utilização deste tipo de plataformas diminui o tempo de recolha de dados e, por vezes, uma observação cuidadosa das imagens, obtidas aquando das escavações, pode revelar detalhes importantes para a cartografia geológica-geotécnica na área de estudo, como pudemos constatar neste estudo.

O modelo criado teve como input a carta geológica da área de estudo e cartografia livre existente em plataformas da web (Google, Bing, Igeo, OpenStreetMap). Como output, obtiveram-se algumas saídas gráficas, demonstrando a possibilidade de sobreposição de vários temas, filtrados a partir de arquivos Web.

A partir deste modelo vários temas foram explorados, como a identificação e delimitação de áreas referentes ao grau de alteração do granito. Para este estudo, os dados foram recolhidos primeiramente com a plataforma *Street View* e em seguida, os resultados obtidos foram confirmados e documentados *in situ* com recolha fotográfica conforme Anexo. Esta metodologia permite a atualização de dados gráficos existentes e também da base de dados alfanumérica correspondente. Comparámos e analisámos estatisticamente os resultados e concluímos que, o *Street View* mostrou ser um método auxiliar eficiente, fiável para recolha de dados e posterior elaboração de uma carta geotécnica sem diferenças significativas relativamente ao método tradicional. Desta forma, podemos obter um modelo com informação útil e atual para a tomada de decisões no trabalho de engenharia.

Na fase seguinte criou-se um Modelo Digital de Terreno da área em estudo, para este modelo foi utilizada cartografia à escala 1:2.000, gentilmente cedida pela Câmara Municipal da Guarda. O modelo foi gerado a partir das curvas de nível conseguindo-se uma resolução de 1 m<sup>2</sup>, para o tamanho do pixel. A partir deste modelo foi criado o mapa de declives.

Foram criados a partir do mapa de grau de alteração do maciço rochoso dois temas que permitiram gerar os mapas de ângulo de atrito e o mapa com a indicação da capacidade de carga admissível. Estes parâmetros são empíricos e não entram em conta com as descontinuidades próprias do maciço, e que putativamente influenciam a dimensão deles em casos localizados. A ferramenta permitirá a inclusão de várias variáveis, passíveis de serem concretizadas e relacionáveis.

Gerou-se ainda um mapa mais elaborado, pretendendo determinar áreas mais vulneráveis, ao nível da instabilidade das vertentes, da área urbana. Assim, foram cruzados e reclassificados os dados de dois temas: Declives e Grau de Alteração do Granito, originando um novo tema com a classificação do grau de perigosidade.

Na Fase final, tendo por base o MDT, foram sobrepostos a este temas e imagens, obtendo uma imagem com a perspetiva tridimensional, permitindo ter uma visão bastante real da localização de um determinado atributo.

Este trabalho apresenta algumas limitações, a primeira é inerente à utilização da classificação do grau de alteração do maciço rochoso, pois existe sempre uma certa subjetividade uma vez que esta classificação está dependente da opinião do observador, pelo que é possível que dois observadores atribuam classificações diferentes para o mesmo local. Esta subjetividade é válida quer para a observação da imagem obtida pelo Open Street Map quer para a observação *in situ*. Inclui-se também aqui os temas criados que tem por base os parâmetros geotécnicos, são valores aproximados, mas com correlação com o grau de alteração do granito.

Existem, no entanto, outras restrições que estão sobretudo inerentes às limitações das ferramentas utilizadas:

- Cobertura do *Street View*, há algumas zonas da cidade que não foram percorridas por este serviço;
- Áreas que, apesar de cobertas por este serviço, as imagens obtidas não são de boa qualidade, não só pela falta ou excesso de luz, mas também pelo fator de arrasto/movimento;
- A cartografia do Open Street Map não está em alguns casos completa e rigorosa;
- Os dados provenientes de diferentes sistemas de referência dão origem a imprecisões ou discrepâncias.
- A atualização de alguns serviços/dados deveria ser mais frequente.

No entanto as vantagens poderão superar as desvantagens, logo à partida o facto de estarmos perante dados provenientes de plataformas livres, onde o próprio cidadão conscientemente pode participar, mas também:

- Pela disponibilidade;
- Pela atualidade;
- Pelo espírito de comunidade, caso do Open Street Map, a comunidade pode contribuir para a melhoria e atualização da informação geográfica;
- Pela disponibilidade do histórico das coberturas;
- Pela aplicabilidade na área do Planeamento e na Engenharia Civil, pois permite a delimitação de áreas com parâmetros ligados à perigosidade e ao risco, e também a delimitação de áreas em função de parâmetros geotécnicos.

Embora não haja um intervalo temporal constante nas coberturas das áreas mapeadas, no geral os intervalos de atualização são em geral menores que os da cartografia oficial, não levando em consideração a qualidade inerente a esta.

## 2. Perspetivas Futuras

Como perspetivas futuras, indicam-se alguns pontos que se consideram diretamente ligados aos atuais temas desenvolvidos, que são:

- Refinamento da cobertura efetuada *in situ*;
- Alargamento da análise à fracturação do maciço rochoso;
- Melhorar a interface gráfica dos formulários.

Outros que implicam a adaptação e criação de novos procedimentos. Ao nível da base de dados relacional, que num primeiro passo poderá ser externa, gerando-se ligações a temas vetoriais criados em SIG, que são:

- Criar uma ligação eficiente à base de dados, especialmente em ambiente de laboratório, permitindo o carregamento, armazenamento e partilha dos resultados laboratoriais;
- Observações de afloramentos devidamente localizados, ensaios laboratoriais de identificação de avaliação das propriedades físicas e mecânicas.

Ou ao nível da recolha de dados de campo e aplicações de novas rotinas de cálculo matricial, como seja:

- Aplicação de análises espaciais a outros parâmetros geotécnicos;
- Gerar polígonos a partir de métodos de interpolação com representação de parâmetros geotécnicos;

- Promover a normalização na cartografia Geológica/Geotécnica e que funcione de modo colaborativo.

Estas são as perspectivas futuras para o desenvolvimento do atual modelo e incremento dos dados. O modelo não é estático, devendo evoluir ao longo do tempo com atualizações ao nível cartográfico e de dados. O modelo deverá evoluir no sentido de tornar mais fácil a tomada de decisão ao nível da Engenharia Civil e da partilha de dados e informação ao nível da comunidade científica e profissional.

# Referências Bibliográficas

- ABGEA. (2010). *7º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental: a cartografia como suporte para o planejamento e a gestão. Circular 2*. Obtido de <http://www.cbdb.org.br/documentos/circular-002-7SBCGG.pdf>
- Almeida, I. M. (1991). Características geotécnicas dos solos de Lisboa. *Tese de Doutoramento*. Lisboa: Universidade de Lisboa.
- Aguilar, C. M. (1997). Contribuição para o conhecimento geotécnico do concelho da Anadia. *Dissertação de Mestrado, 166*. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa.
- Andrade, R. F. (2005). Mapeamento geotécnico preliminar em escala de semi-detalhe (1:25.000) da área de expansão urbana de Uberlândia-MG. *Dissertação de mestrado* ([http://www.bdtu.ufu.br/tde\\_busca/arquivo.php?codArquivo=201](http://www.bdtu.ufu.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=201)). São Paulo: Universidade de São Paulo.
- Andrade Pais, L.J. (1998). “Comportamento Mecânico de um Solo Residual Granítico da Covilhã”. *Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na Área de Especialização em Mecânica de Solos e Rochas na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra*.
- Andrade Pais, L.J. (2007). “Comportamento mecânico do solo residual granítico com efeito de contaminantes”. *Dissertação apresentada à Universidade da Beira Interior para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil, Covilhã*.
- ANON, (1970). The logging of rock cores for engineering purposes. Geological Society Engineering Group Working Party Report. *Quarterly Journal Engineering Geology*, vol. 3, pp.1-24.
- ANON, (1977). The description of rock masses for engineering purposes. Geological Society Engineering Group Working Party Report. *Quarterly Journal Engineering Geology*, vol. 10, pp.355-388.
- ANON, (1995). The description and classification of weathered rocks for engineering purposes. Geological Society Engineering Group Working Party Report. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 28, pp.207-242.

- Antão, A. M. C. (2004). Comportamento Geotécnico do Granito da Guarda relacionado com a sua alteração, Tese de Doutoramento. Coimbra, Departamento de Ciências da Terra, FCT, Universidade de Coimbra.
- Antoniou, A., Papadimitriou, A., & Tsiambaos, G. (December de 2008). A geographical information system managing geotechnical data for Athens (Greece) and its use for automated seismic microzonation. 47 (3). *Natural Hazards*, 47 (3), 369-395.
- Anttikoski, U., Niini, T., Ylinen, J., & Ruoppa, A. (1994). Bedrock resources and their use in Helsinki. *Tunneling and Underground Space Technology*, 9, nº3, 365-372.
- Arnould, M., Broquet, J. F., Deveughele, M., & Usseglio Polatera, J. M. (1979). Cartographie Géotechnique de la Ville de Paris - Premieres Realisations (13ème et 20ème arrondissements). *Bulletin of the Intl. Ass. Of Engineering Geology*, 19, pp. 109-115.
- Aronoff, S. (1989). "Geographic Information Systems: A Management Perspective". WDL Publications, Ottawa, Canada.
- ASTM. (2010). American Society for Testing and Materials. Standard Classifications of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System), Designation D2487-10. ASTM Standards.
- Barbosa, B. P., & Borges, L. (1991). Cartografia geotécnica - A Carta Geotécnica do Porto. 4º Congresso Nacional de Geotecnia, 1, pp. 39-46. Lisboa.
- Bitar, O. Y; Freitas, C. G. L. de.; Sepe, P. M. (2012). Cartografia Geotécnica, Plano Diretor e prevenção de desastres. *Revista Técnica*, ed. 180, ano 20, mar. 2012.
- Boivin, D. J. (1990). Underground Space Use and Planning in the Québec City Area. *Tunneling & Underground Spc. Tech.*, 5, n. 1/2, pp. 69-83.
- Bottino, G., & Civita, M. (1986). Engineering geological features and mapping of subsurface in the metropolitan area of Turin (north Italy). 5th Inter. IAEG Congress, 6, pp. 1941 - 1751. Buenos Aires.
- Bowles, J. E. (1988). *Foundation Analysis and Design*. Ed. McGraw-Hill, Inc. .ISBN: 0-07-006776-7
- Burrough, P.A., e McDonnell, R.A. (2000). "Principles of Geographical Information Systems". Oxford University Press, New York.

- Burrough, P.A. (1996). "Opportunities and limitations of GIS-based modeling of solute transport at the regional scale". Chapter 2 in D.L. Corwin and K. Loague (eds.), Special SSSA Publication Application of GIS to the Modeling of Non-Point Source Pollutants in the Vadose Zone. American Society of Agronomy.
- Calçada, M.C., Portela, M.M., Matos, J. (2004). Análise de Cheias e Delimitação de Zonas Inundáveis em Timor Lestes Abordagem por Modelação Geográfica. 7º Congresso da Água.
- Cavaleiro, V.M. (2001), Condicionamento geotécnicos à Expansão do Núcleo Urbano da Cidade da Covilhã, Dissertação apresentada para obtenção do grau de Doutor, Universidade da Beira Interior - Covilhã
- Chance, A., Newell, R.G., Theriault, D.G. (1995). "Smallworld of GIS: an object-oriented GIS-issues and solutions". Smallworld Technical Paper, paper nº 3.
- Chen, P. (1976). "The Entity-Relationship Model - towards a unified view of data". Association for Computing Machinery Transactions on Database Systems 1.
- Choffat, P. (1889). Etude géologique du tunnel du Rocio. Contribution à la connaissance du sous-sol de Lisbonne. Memórias da Comissão dos Trabalhos Geológicos de Portugal, 106.
- Chon, H. T., Park, H. D., & Kim, J. Y. (1997). The application of geotechnical information system to the engineering geological assessment of rock mass for the development of Seoul subway lines. Intl. Symp. On Eng. Geol. And the Environ, 2627-2631.
- CM Porto, Página consultada: - <http://www.cm-porto.pt/gen.pl?sid=cmp.sections/1005>.
- Coelho, A. G. (1980). A cartografia geotécnica no planeamento regional e urbano. Experiência de aplicação na região de Setubal. Tese para Especialista (LNEC), 157. Lisboa.
- Coppock, J.T., Rhind, D.W. (1991). "The History of GIS", in Maguire, David J., Goodchild, Michael F. Rhind, David W. editors, Geographical Information Systems: Principles and Applications. New York, London: Longman Scientific & Technical.
- Cosme A. (2012), "Projeto em sistemas de informação geográfica", FCA - Editora de Informática.
- Costa Pereira, M. F. (2011), "Introdução à Cartografia Geotécnica". Seminários em Ciências da Engenharia da Terra. Instituto Superior Técnico.

- CTCG. (2004). Diagnóstico preliminar da cartografia geotécnica e geoambiental no Brasil. 5º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental. São Carlos/SP.
- Dearman, W.R. (1991). "Engineering Geological Mapping". Butterworth-Heinemann Ltd., Oxford.
- Deere, D.U. and Deere, D.W. (1988). The Rock Quality Designation (RQD) Index in Practice. Rock Classification Systems for Engineering Purposes. Kirkaldie, L., ed. ASTM STP 984. 91-101. Philadelphia, Pennsylvania: American Society for Testing and Materials.
- Demers, M. N. (2009). Fundamentals of Geographic Information Systems. John Wiley & Sons, Inc. 4<sup>th</sup> ed.
- DGT (2019). Direção Geral do Território, página oficial (<http://www.dgterritorio.pt/>), 2019
- Diniz, N. C. (1998). Automação da cartografia geotécnica: uma ferramenta de estudos e projetos para avaliação ambiental. Tese de Doutorado. Departamento de Transportes. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2v.
- Duarte, I. M. (1993). Contribuição para a cartografia geotécnica da região de Águeda. Dissertação de Mestrado, Univ. Nova de Lisboa. Lisboa.
- El May, M., Dlala, M., & Chenini, I. (2010). Urban geological mapping: Geotechnical data analysis for rational development planning. Engineering Geology 116 (1-2), pp. 129-138.
- Ferreira Gomes, L.M. (1992). Zonamento geotécnico da área urbana e suburbana de Aveiro. Tese de Doutoramento. Universidade de Aveiro, Aveiro.
- Frank, A.U. (1988). "Requirements for a database management system for a GIS". Photogrammetric Engineering and Remote Sensing.
- Freitas, C. G. L. de. (2000). Cartografia geotécnica de planejamento e gestão territorial: proposta teórica e metodológica. 238 f. Tese (Doutorado) - Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- Folle, D. (2009). Análise e aplicações da geoestatística no contexto geológico-geotécnico urbano. Tese de doutoramento. Universidade Federal de Rio Grande do Sul, 202. Porto Alegre.
- Folque, J. (1979). Fundações. Publicação LNEC 1979.

- Gaspar, J. (2004). Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território, 3º Relatório - Transformações na ocupação do território: retrospectiva e tendências. Vol. III. Recursos naturais, Ambiente, Património e Riscos, MCOTA, DGOTDU, Lisboa.
- Geological Society of London (1972). The preparation of maps and plans in terms of engineering geology. Qt. J1. Engineering Geology, vol 5, pp. 239-381.
- González de Vallejo, L.; Ferrer M.; Ortuño L. & Oteo C. (2004). Ingeniería Geológica. Pearson Educación, Madrid. 744 p.
- Hearn, G. J., & Massey, C. I. (2009). Engineering geology in the management of roadside slope failures: contributions to best practice from Bhutan and Ethiopia. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, 42: Part 4, pp. 511-528.
- Hearnshaw, H.M., Unwin, D.J. (1994). "Visualization in Geographical Information Systems". Wiley, Chichester.
- IAEG (1981). Rock and soils description and classification for engineering geological mapping. Report by the IAEG Commission on Engineering Geological Mapping. Bull. of the IAEG, n.º 24, pp. 235-274.
- IAEG. (1979). Classification of Rocks and Soils for Engineering Geological Mapping. Bulletin IAEG nº 19.
- IAEG. (1981a). Recommended Symbols for Engineering Geological Mapping. Bulletin. IAEG nº24.
- IAEG. (1981b). Rock and Soil Description and Classification for Engineering Geological Mapping. Bulletin IAEG nº 24.
- IAEG. (2005). Special Purpose Mapping for Waste Disposal Sites. Bulletin IAEG nº 64.
- IAEG/Unesco. (1976). A guide to their preparation Engineering Geological Maps. Earth Science Series nr. 15, 79. Paris: Unesco Press.
- ISRM (1978). Methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses. International Journal of Rock Mechanics Mining Sciences and Geomechanics, 15 (6): 319-368
- ISRM (1981). Basic geotechnical description of rock masses. International Journal of Rock Mechanics Mining Sciences and Geomechanics Abstracts, 18, 85-110.

- Jacobsen, I., Christerson, M., Jonsson, P. Övergaard, G. (1992). "Object-Oriented Software Engineering: A Use Case Driven Approach". Addison-Wesley, Wokingham.
- Junior, A. F. (2007). Mapeamento geotécnico aplicado a análise de processos de movimentos de massa gravitacionais: Costa Verde - RJ - escala 1:10.000. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo.
- Kim, W., Lochovsky, F.H. (eds.) (1989). "Object-Oriented Concepts, Databases and Applications". Addison-Wesley, Reading, Mass.
- Lamas, P. C. (1989). Carta de riscos de movimentos de terrenos dos taludes da margem sul do Tejo (Cacilhas-Trafaria). Dissertação de mestrado, Univ. Nova de Lisboa. Monte da Caparica.
- Lindner, E. N. (1993). Soft Rock Tunneling Conditions and Concerns in Downtown Minneapolis. Intl. Journ. Rock Mech. And Mining Science, 30(7), pp. 1473-1476.
- LNEC. (1962). Elementos para a Carta Geotécnica de Lisboa.
- LNEC. (1973). Estudos geotécnicos para apoio ao plano urbanístico do Monte da Caparica. Relatório. Lisboa.
- LNEC. (1974). NP1040 Pedras naturais. Determinação da tensão de rotura por compressão.
- LNEC. (1979). Carta geotécnica da Área do Plano de Recuperação da Brandoa-Falagueira. Relatório. Lisboa.
- LNEC. (1968). E220. Prospecção geotécnica de terrenos. Simbologia. 4. Lisboa.
- Maguire, D.J. (1991). "An overview and definition of GIS". In Geographical Information Systems: Principles and Applications, D.J. Maguire, M.F. Goodchild, D.W. Rhind (Eds.).
- Martins, A. H. (2005). Mapeamento geotécnico do setor norte do município de Goiânia-GO, em escala 1/25.000. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo.
- Matos, J. (2008). "Fundamentos de Informação Geográfica". LIDEL, Geomática. Edições Técnicas Lda, 5ª Edição.
- Matos, J. (2001). "Fundamentos de Informação Geográfica". LIDEL, Geomática. Edições Técnicas Lda, 1ª Edição.
- Mendes, J.F.G. (1996). Planeamento Territorial. Braga, Universidade do Minho.

- Mendes, J.F.G. (1995). "Sistemas de Informação Urbanística". Apontamentos do Mestrado em Engenharia Urbana, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.
- Monteiro, A.F; Pais, L.A.; Rodrigues, C.M.; Carvalho, P. (2017). GIS Contribution in the Making of Geotechnical Maps in Urban Areas. WMCAUS2017 - World Multidisciplinary Civil Engineering - Architecture - Urban Planning Symposium. República Checa / Praga. "Materials Science & Engineering - IOP". Vol: 245; (2017) art. No. 022029. Scopus da Elsevier, doi:10.1088/1757-899X/245/2/022029.
- Monteiro, A.F; Pais, L.A.; Rodrigues, C.M.; Cavaleiro, V. (2018). A Utilização dos SIG no Desenvolvimento da Cartografia Geotécnica em Áreas Urbanas. 16º Congresso Nacional de Geotécnica e 6ªs Jornadas Luso Espanholas. Ponta Delgada, S. Miguel, 27 a 30 de maio.
- Monteiro, A.F; Pais, L.A.; Rodrigues. (2019). Elaboration of Geotechnical Thematic Maps in Urban Areas. STARTCON19, International Doctorate Students Conference + Lab Workshop in Civil Engineering, University of Beira Interior, Covilhã, Portugal Venue: Room 8.1 - Faculty of Engineering 26 - 28 June.
- Moreira, M. M. P (2011). Capacidade de Carga em Fundações Superficiais. Dissertação de Mestrado, Universidade da Beira Interior.
- Município de Terras de Bouro (2015). Carta de declives Concelho de Terras de Bouro. CAOP 2012, IGP 2013.
- Netzel, H., & Kaalberg, F. J. (1999). Settlement risk management with GIS for the Amsterdam North/South Metroline. World Tunnel Congress, 1, 129-136. Oslo: Rotterdam, Balkema.
- Oliveira, R. (2005). Carta Geotécnica do Porto. Câmara Municipal do Porto; Coba Workshop. Porto.
- Oliveira, R., Gomes, C., Noronha, F., & Borges, L. (1995). Características geológicas e geotécnicas da cidade do Porto (Carta Geotécnica do Porto). 5º Congresso Nacional de Geotecnia, (pp. 119-132). Coimbra.
- Oliveira, R. E. (1994). Geomecânica dos solos do concelho de Ovar. Dissertação de Mestrado, Universidade de Lisboa. Lisboa.
- Oliveira, R., Gomes, C. Guimarães, S. (2006). Engineering geological map of Oporto: A municipal tool for planning and awareness of urban geoscience. The Geological Society of London 2006. IAEG2006 Paper number 615.

- OpenStreetMap, (2011). Floss Manuals, [https://booki.flossmanuals.net/\\_booki/openstreetmap/openstreetmap.pdf](https://booki.flossmanuals.net/_booki/openstreetmap/openstreetmap.pdf). Acedido em março de 2017.
- Panizza, M. (1990). “Geomorfologia applicata. Metodi di applicazione alla Pianificazione territoriale e alla Valutazione d’Impatto Ambientale”. La Nuova Italia Scientifica, Roma.
- Paredes, E.A. (1994). “Sistemas de Informação Geográfica”. Editora Erica, São Paulo.
- Pereira, J.L. (1998). “Tecnologia de Bases de Dados”, FCA - Editora de Informática.
- Prandini, F. L.; Nakazawa, V. A.; Freitas, C. G. L. de; Diniz, N. C. Cartografia Geotécnica nos Planos Diretores Regionais e Municipais. In: BITAR, O. Y. Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente. São Paulo: ABGE/ IPT, 1995. p. 187-202.
- Popov, I. V., Kats, R. S., Korikovskaia, A. K., & Lazareva, V. P. (1950). Metodika sostavlenia inzhenerngeologischesikekhikart. Gosgeolizdat, Moskva.
- QGIS, (2018). Manual do Utilizador versão 3.0.1, [https://docs.qgis.org/3.0/pt\\_PT/docs/](https://docs.qgis.org/3.0/pt_PT/docs/)
- QGIS, (2017). Manual do Utilizador versão 2.14, 2.19. [https://docs.qgis.org/2.14/pt\\_PT/docs/](https://docs.qgis.org/2.14/pt_PT/docs/)
- QGIS, (2016). Manual do Utilizador versão 2.8, [https://docs.qgis.org/2.8/pt\\_BR/docs/user\\_manual/plugins/plugins\\_interpolation.html](https://docs.qgis.org/2.8/pt_BR/docs/user_manual/plugins/plugins_interpolation.html).
- QGIS, (2016). User Guide, Training Manual. Realease 2.8. <https://docs.qgis.org/2.8/en/docs/>
- Rocha, M. E. (1998). Contribuição para a cartografia geotécnica de Bragança. Dissertação de Mestrado. UL., Lisboa.
- Rodrigues, C.M.G. (1995). Cartografia geotécnica no planeamento do concelho de Oliveira do Bairro. Dissertação de Mestrado, Universidade de Coimbra.
- Rodrigues, C.M.G. (2003). “Caracterização geotécnica e estudo do comportamento geomecânico de um saprólito granítico da Guarda”. Dissertação apresentada à Universidade de Coimbra para obtenção do grau de Doutor em Ciências de Engenharia - Especialidade de Fundações e Geotecnia, Coimbra.
- Rodrigues-Carvalho, J. A., & Silva, A. P. (2010). Cinquenta anos de Geologia de Engenharia e a evolução da cartografia geotécnica em Portugal. In J. M. Neiva, A. Ribeiro, L. M. Victor, F. Noronha, & M. M. Ramalho (Edits.), Ciências Geológicas: Ensino,

Investigação e sua História (Vols. II, Geologia Aplicada, pp. 367-375). Associação Portuguesa de Geólogos.

Rodrigues-Carvalho, J. A., Silva, A. P., & Cavaleiro, V. P. (2004). Cartografia geotécnica e ambiental em Portugal. In N. Zuquette L. V. & Gandolfi (Ed.), Proc. 5º simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental (p. 190). São Carlos, Brasil: Oficina de Textos, S. Paulo.

Rodrigues, V. L. (2008). Mapeamento geotécnico como base para o planejamento urbano e ambiental: município de Jaú/SP. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo.

Saraiva, A. L. (1986). Caracterização e aptidão geotécnica dos terrenos envolventes das albufeiras da Agueira e do Coiço. Tese de Doutoramento. Universidade de Coimbra.

Sherman, G. (2015). "The PyQGIS Programmer's Guide, Extending QGIS 2.X With Python". Published by Locate Press LLC.

Silva, E., & Correia, A. G. (2000). A utilização do ensaio pressiométrico autoprefurador na determinação de parâmetros de comportamento mecânico em argilas. VII Congresso Nacional de Geotecnia. Porto.

Silva, H. S. (1989). A importância das ciências geológicas no planeamento urbano. A zona litoral entre Faro e Olhão. Geotecnia, 57, pp. 75-82.

Silveira, L. L. (2002). Elaboração de carta de susceptibilidade à erosão das bacias dos rios Araraquara e Cubatão-SP, escala 1:50.000. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo.

Sobreira, F. G. (1995). Cartografia geotécnica de Sesimbra e Santana. 5º Congresso Nacional de Geotecnia, (pp. 149-165).

Souza, G. B. (2001). Estruturação de banco de dados a partir do mapeamento geotécnico, aplicado à região de Ribeirão Preto (SP). Tese de doutoramento. Universidade de São Paulo.

Tabatabaei, S. H., Salamat, A. S., Ghalandarszadeh, A., Riahi, M. A., Beitollahi, A., & Talebian, M. (2010). Preparation of Engineering Geological Maps of Bam City Using Geophysical and Geotechnical Approach. Journal of Earthquake Engineering, 14, Issue 4, pp. 559-577.

Takasaki, H., Chikahisa, H., & Yuasa, Y. (2000). Planning and Mapping of Subsurface Space in Japan. Tunneling and Underground Space Technology, 15, nº 3, pp. 287-301.












- Tavares, A. M. (1990). Caracterização geotécnica da zona sudeste da cidade de Coimbra. Provas de aptidão pedagógica e capacidade científica. Univ. de Coimbra, Coimbra.
- Tomlin, C.D. (1983). "A map algebra". In Proc. Harvard Computer Conf, Cambridge, Mass.
- UNESCO-IAEG (1976). Engineering geological mapping. A guide to their preparation. Commission on Engineering Geological Maps of the IAEG. Earth Sciences, 15. The Unesco Press.
- Vallejo, L., Ferre, M., Ortuno, L., & Oteo, C. (2002). Ingeniería Geológica. Madrid: Pearson Educación. ISBN: 84-205-3104-9.
- Vähäaho, I. (1996). From Geotechnical Maps to Three-dimensional Models. Tunneling and Underground Space Technology, 13, nº 1, pp. 51-56.
- Vasconcelos, M. (2017). Sistemas de referência locais e globais. Workshop DGT: Sistemas de Referência, Lisboa 25 de maio de 2017.
- Veiga, A. Q. (2000). Contribuição das geociências para o ordenamento do território - aplicação à vila da Batalha. Dissertação de Mestrado, Universidade de Coimbra. Coimbra.
- Veiga, A. Q. N. (2011). "Caracterização Geotécnica dos Terrenos do Vale Tifónico Parceiros-Leiria". Dissertação de Doutoramento, Universidade de Coimbra.
- Viana da Fonseca, A. (1988). "Caracterização geotécnica de um solo residual do granito da região do Porto". Dissertação para obtenção do grau de Mestre em estruturas de Engenharia Civil na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- Viana da Fonseca, A. (1996). "Geomecânica dos solos residuais do granito do Porto. Critérios para dimensionamento de fundações directas". Dissertação para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto.
- Zebera, K. (1947). Geologie in der regionalen planung. Geotechnica, p. 4.
- Zêzere, J.L., Pereira, A.R., Morgado, P. (2005). "Perigos Naturais e Tecnológicos no Território de Portugal Continental". Actas do X COLÓQUIO IBÉRICO DE GEOGRAFIA, Évora, PDF091.

- Zuquette, L.V., NAKAZAWA, V.A. (1998). Cartas de geologia de engenharia. In: OLIVEIRA, A.M.dos S., BRITO, S.N.A. Geologia de engenharia. São Paulo: ABGE. Cap.17, p.283-298.
- Zuquette, L. V. (1981). Mapeamento geotécnico preliminar na região de São Carlos. Dissertação de Mestrado, 86. EESC/USP. São Carlos - SP.
- Zuquette, L. V. (1987). Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para condições brasileiras. 219p. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, São Carlos.



# **APÊNDICE 1 (QGIS - módulos internos, adaptado de Guia do Utilizador do QGIS)**



Ícone	Módulo	Descrição	Referência do Manual
	Captura de Coordenadas	Capture coordenadas com o rato em diferentes SRC	<a href="#">Módulo de Captura de Coordenadas</a>
	Gestor BD	Faça a gestão das suas bases de dados dentro do QGIS	<a href="#">Módulo Gestor BD</a>
	Conversor DXF2Shape	Converte do DXF para o formato de ficheiro SHP	<a href="#">Módulo de Conversão Dxf2Shp</a>
	eVis	Ferramenta de Visualização Event	<a href="#">Módulo eVis</a>
	fTools	Um conjunto de ferramentas vectoriais	<a href="#">Módulo fTools</a>
	Ferramentas GPS	Ferramentas para carregamento e importação de dados GPS	<a href="#">Módulo GPS</a>
	GRASS	Funcionalidade GRASS	<a href="#">Integração GRASS SIG</a>
	Ferramentas GDAL	Funcionalidade matricial GDAL	<a href="#">Módulo de Ferramentas GDAL</a>
	Georeferenciador GDAL	Georeferenciar Rasters com o GDAL	<i>georeferenciar</i>
	Mapa de Densidade	Criar um mapa de densidade a partir da entrada de pontos	<a href="#">Módulo de Mapa de Densidade</a>
	Módulo de Interpolação	Interpolação baseada nos vértices da camada vectorial	<a href="#">Módulo de Interpolação</a>
	Edição Offline	Edição Offline e sincronização com a base de dados	<a href="#">Módulo Edição Offline</a>
	Oracle Spatial GeoRaster	Acesso ao Oracle Spatial GeoRasters	<a href="#">Módulo Oracle Spatial GeoRaster</a>
	Gestor de módulos	Gerir módulos core e externos	<a href="#">The Plugins Dialog</a>

Ícone	Módulo	Descrição	Referência do Manual
	Análise do Terreno Matricial	Computar características geomorfológicas a partir de MDE	<a href="#"><i>Módulo de Análise do Terreno Matricial</i></a>
	Módulo de Análise de Grafos	Análise do Caminho mais curto	<a href="#"><i>Módulo de Cálculo de Rotas</i></a>
	Módulo SQL Anywhere	Acesso a BD SQL anywhere	<a href="#"><i>Módulo SQL Anywhere</i></a>
	Interrogação Espacial	Interrogação espacial nos vectores	<a href="#"><i>Módulo de Consulta Espacial</i></a>
	SPIT	Ferramenta de Importação Shapefile para PostgreSQL/PostGIS	<a href="#"><i>Módulo SPIT</i></a>
	Estatísticas Locais	Calcular estatísticas matriciais a partir de polígonos vectoriais	<a href="#"><i>Módulo de Estatística Zonal</i></a>
	MetaSearch	Interage com os serviços de catálogo de metadados (CSW)	<a href="#"><i>MetaSearch Catalogue Client</i></a>

## **APÊNDICE 2 (QGIS - script usado em substituição da aplicação “Open Layer Plugin”)**



```

""""
Licence GPL-3
""""

# Sources
sources = []
sources.append(["connections-xyz", "Google
Maps", "", "", "", "https://mt1.google.com/vt/lyrs=m&x=%7Bx%7D&y=%7By%7D&z=%7Bz%7D", "", "19", "0"])
sources.append(["connections-xyz", "Google Satellite", "", "", "",
"https://mt1.google.com/vt/lyrs=s&x=%7Bx%7D&y=%7By%7D&z=%7Bz%7D", "", "19", "0"])
sources.append(["connections-xyz", "Google Terrain", "", "", "",
"https://mt1.google.com/vt/lyrs=t&x=%7Bx%7D&y=%7By%7D&z=%7Bz%7D", "", "19", "0"])
sources.append(["connections-xyz", "Google Terrain Hybrid", "", "", "",
"https://mt1.google.com/vt/lyrs=p&x=%7Bx%7D&y=%7By%7D&z=%7Bz%7D", "", "19", "0"])
sources.append(["connections-xyz", "Google Satellite Hybrid", "", "", "",
"https://mt1.google.com/vt/lyrs=y&x=%7Bx%7D&y=%7By%7D&z=%7Bz%7D", "", "19", "0"])
sources.append(["connections-xyz", "Stamen Terrain", "", "", "Map tiles by Stamen Design, under CC BY 3.0. Data by
OpenStreetMap, under ODbL", "http://tile.stamen.com/terrain/%7Bz%7D/%7Bx%7D/%7By%7D.png", "", "20", "0"])
sources.append(["connections-xyz", "Stamen Toner", "", "", "Map tiles by Stamen Design, under CC BY 3.0. Data by OpenStreetMap,
under ODbL", "http://tile.stamen.com/toner/%7Bz%7D/%7Bx%7D/%7By%7D.png", "", "20", "0"])
sources.append(["connections-xyz", "Stamen Toner Light", "", "", "Map tiles by Stamen Design, under CC BY 3.0. Data by
OpenStreetMap, under ODbL", "http://tile.stamen.com/toner-lite/%7Bz%7D/%7Bx%7D/%7By%7D.png", "", "20", "0"])
sources.append(["connections-xyz", "Stamen Watercolor", "", "", "Map tiles by Stamen Design, under CC BY 3.0. Data by
OpenStreetMap, under ODbL", "http://tile.stamen.com/watercolor/%7Bz%7D/%7Bx%7D/%7By%7D.jpg", "", "18", "0"])
sources.append(["connections-xyz", "Wikimedia Map", "", "", "OpenStreetMap contributors, under ODbL",
"https://maps.wikimedia.org/osm-intl/%7Bz%7D/%7Bx%7D/%7By%7D.png", "", "20", "1"])
sources.append(["connections-xyz", "Wikimedia Hike Bike Map", "", "", "OpenStreetMap contributors, under ODbL",
"http://tiles.wmflabs.org/hikebike/%7Bz%7D/%7Bx%7D/%7By%7D.png", "", "17", "1"])
sources.append(["connections-xyz", "Esri Boundaries Places", "", "", "",
"https://server.arcgisonline.com/ArcGIS/rest/services/Reference/World_Boundaries_and_Places/MapServer/tile/%7Bz%7D/%7Bx%7D/%7By%7D", "", "20", "0"])
sources.append(["connections-xyz", "Esri Gray (dark)", "", "", "",
"http://services.arcgisonline.com/ArcGIS/rest/services/Canvas/World_Dark_Gray_Base/MapServer/tile/%7Bz%7D/%7By%7D/%7Bx%7D", "", "16", "0"])
sources.append(["connections-xyz", "Esri Gray (light)", "", "", "",
"http://services.arcgisonline.com/ArcGIS/rest/services/Canvas/World_Light_Gray_Base/MapServer/tile/%7Bz%7D/%7By%7D/%7Bx%7D", "", "16", "0"])
sources.append(["connections-xyz", "Esri National Geographic", "", "", "",
"http://services.arcgisonline.com/ArcGIS/rest/services/NatGeo_World_Map/MapServer/tile/%7Bz%7D/%7By%7D/%7Bx%7D", "", "12", "0"])
sources.append(["connections-xyz", "Esri Ocean", "", "", "",
"https://services.arcgisonline.com/ArcGIS/rest/services/Ocean/World_Ocean_Base/MapServer/tile/%7Bz%7D/%7By%7D/%7Bx%7D", "", "10", "0"])
sources.append(["connections-xyz", "Esri Satellite", "", "", "",
"https://server.arcgisonline.com/ArcGIS/rest/services/World_Imagery/MapServer/tile/%7Bz%7D/%7By%7D/%7Bx%7D", "", "17", "0"])
sources.append(["connections-xyz", "Esri Standard", "", "", "",
"https://server.arcgisonline.com/ArcGIS/rest/services/World_Street_Map/MapServer/tile/%7Bz%7D/%7By%7D/%7Bx%7D", "", "17", "0"])
sources.append(["connections-xyz", "Esri Terrain", "", "", "",
"https://server.arcgisonline.com/ArcGIS/rest/services/World_Terrain_Base/MapServer/tile/%7Bz%7D/%7By%7D/%7Bx%7D", "", "13", "0"])
sources.append(["connections-xyz", "Esri Transportation", "", "", "",
"https://server.arcgisonline.com/ArcGIS/rest/services/Reference/World_Transportation/MapServer/tile/%7Bz%7D/%7By%7D/%7Bx%7D", "", "20", "0"])
sources.append(["connections-xyz", "Esri Topo World", "", "", "",
"http://services.arcgisonline.com/ArcGIS/rest/services/World_Topo_Map/MapServer/tile/%7Bz%7D/%7By%7D/%7Bx%7D", "", "20", "0"])
sources.append(["connections-xyz", "OpenStreetMap Standard", "", "", "OpenStreetMap contributors, CC-BY-SA",
"http://tile.openstreetmap.org/%7Bz%7D/%7Bx%7D/%7By%7D.png", "", "19", "0"])
sources.append(["connections-xyz", "OpenStreetMap H.O.T.", "", "", "OpenStreetMap contributors, CC-BY-SA",
"http://tile.openstreetmap.fr/hot/%7Bz%7D/%7Bx%7D/%7By%7D.png", "", "19", "0"])
sources.append(["connections-xyz", "OpenStreetMap Monochrome", "", "", "OpenStreetMap contributors, CC-BY-SA",
"http://tiles.wmflabs.org/bw-mapnik/%7Bz%7D/%7Bx%7D/%7By%7D.png", "", "19", "0"])
sources.append(["connections-xyz", "Strava All", "", "", "OpenStreetMap contributors, CC-BY-SA", "https://heatmap-external-
b.strava.com/tiles/all/bluered/%7Bz%7D/%7Bx%7D/%7By%7D.png", "", "15", "0"])
sources.append(["connections-xyz", "Strava Run", "", "", "OpenStreetMap contributors, CC-BY-SA", "https://heatmap-external-
b.strava.com/tiles/run/bluered/%7Bz%7D/%7Bx%7D/%7By%7D.png?v=19", "", "15", "0"])

```

```

sources.append(["connections-xyz", "Open Weather Map Temperature", "", "", "Map tiles by OpenWeatherMap, under CC BY-SA 4.0",
"http://tile.openweathermap.org/map/temp_new/%7Bz%7D/%7Bx%7D/%7By%7D.png?APPID=1c3e4ef8e25596946ee1f3846b53218a", "", "19", "0"])
sources.append(["connections-xyz", "Open Weather Map Clouds", "", "", "Map tiles by OpenWeatherMap, under CC BY-SA 4.0",
"http://tile.openweathermap.org/map/clouds_new/%7Bz%7D/%7Bx%7D/%7By%7D.png?APPID=ef3c5137f6c31db50c4c6f1ce4e7e9dd", "", "19", "0"])
sources.append(["connections-xyz", "Open Weather Map Wind Speed", "", "", "Map tiles by OpenWeatherMap, under CC BY-SA 4.0",
"http://tile.openweathermap.org/map/wind_new/%7Bz%7D/%7Bx%7D/%7By%7D.png?APPID=f9d0069aa69438d52276ae25c1ee9893", "", "19", "0"])
sources.append(["connections-xyz", "CartoDb Dark Matter", "", "", "Map tiles by CartoDB, under CC BY 3.0. Data by OpenStreetMap, under ODbL.", "http://basemaps.cartocdn.com/dark_all/%7Bz%7D/%7Bx%7D/%7By%7D.png", "", "20", "0"])
sources.append(["connections-xyz", "CartoDb Positron", "", "", "Map tiles by CartoDB, under CC BY 3.0. Data by OpenStreetMap, under ODbL.", "http://basemaps.cartocdn.com/light_all/%7Bz%7D/%7Bx%7D/%7By%7D.png", "", "20", "0"])
sources.append(["connections-xyz", "Bing VirtualEarth", "", "", "", "http://ecn.t3.tiles.virtualearth.net/tiles/a{q}.jpeg?g=1", "", "19", "1"])





# Add sources to browser
for source in sources:
    connectionType = source[0]
    connectionName = source[1]
    QSettings().setValue("qgis/%s/%s/authcfg" % (connectionType, connectionName), source[2])
    QSettings().setValue("qgis/%s/%s/password" % (connectionType, connectionName), source[3])
    QSettings().setValue("qgis/%s/%s/referer" % (connectionType, connectionName), source[4])
    QSettings().setValue("qgis/%s/%s/url" % (connectionType, connectionName), source[5])
    QSettings().setValue("qgis/%s/%s/username" % (connectionType, connectionName), source[6])
    QSettings().setValue("qgis/%s/%s/zmax" % (connectionType, connectionName), source[7])
    QSettings().setValue("qgis/%s/%s/zmin" % (connectionType, connectionName), source[8])

# Update GUI
iface.reloadConnections()
-----

```





**ANEXO (Tabela com a Imagem recolhida do  
*Street View* e fotografia captada in situ para cada  
ponto de observação ID)**







ID	Foto StreetView	Foto Atual
<a href="#">2-W3.JPG</a>		
<a href="#">3-W3.JPG</a>		




ID	Foto StreetView	Foto Atual
<p data-bbox="120 432 235 459"><a href="#">4-W3.JPG</a></p> <p data-bbox="120 504 235 568">W4 para W3</p>	 A StreetView photograph showing a rocky, vegetated slope. Two white arrows are drawn on the ground, pointing left and right towards the center of the slope.	 A close-up photograph of a rocky surface. A 50 Euro coin is placed on the right side for scale. The rocks are dark and jagged, with some small green plants growing between them.
<p data-bbox="120 951 235 978"><a href="#">5-W3.JPG</a></p> <p data-bbox="120 991 235 1118">Ficou incluído na área 149</p>	 A StreetView photograph of a residential area. A dark car is parked on a paved area next to a white building with a red-tiled roof. A white wall and a green fence are visible in the foreground.	<p data-bbox="1458 1023 1827 1050">Ficou incluído no polígono 149</p>




ID	Foto StreetView	Foto Atual
<a href="#">6-W4.JPG</a>		
<a href="#">7-W4.JPG</a>		

ID	Foto StreetView	Foto Atual
<a href="#">8-W2.JPG</a>	 A StreetView photograph showing a concrete retaining wall on a rocky slope. The wall is made of several horizontal concrete slabs. Behind the wall, there is a chain-link fence and a white building. The foreground shows a rocky outcrop with some sparse vegetation.	 A close-up photograph of a light-colored, textured rock surface. A gold coin is placed on the rock for scale. The rock has a crystalline appearance with some darker mineral inclusions.
<a href="#">9-W3.JPG</a>	 A StreetView photograph showing a stone retaining wall next to a road. The wall is constructed from large, irregular stones. In the foreground, there is a paved road and some grass. In the background, there are buildings and a clear sky.	 A close-up photograph of a light-colored, textured rock surface. A gold coin is placed on the rock for scale. The rock has a crystalline appearance with some darker mineral inclusions.





ID	Foto StreetView	Foto Atual
<p><a href="#">10- W3.JPG</a></p> <p>W4 para W3</p>		
<p><a href="#">11- W3.JPG</a></p> <p>Sem Acesso</p>		

ID	Foto StreetView	Foto Atual
<p><a href="#">12- W3.JPG</a> W4 para W3</p>		
<p><a href="#">13- W2.JPG</a></p>		





ID	Foto StreetView	Foto Atual
<p><a href="#">14- W3.JPG</a></p>		
<p><a href="#">15- W2.JPG</a></p>		<p>Sem acesso</p>





ID	Foto StreetView	Foto Atual
<a href="#">16- W3.JPG</a>	 A StreetView photograph showing a paved road curving along the base of a rocky, light-colored hillside. A metal railing runs along the top of the hill. In the background, there are several multi-story residential buildings under a clear blue sky. A small yellow bush is visible on the left side of the hill.	 A close-up photograph of a light-colored, crystalline rock surface. The rock has a complex, fractured texture. A gold-colored coin is placed on the right side of the rock to provide a sense of scale. The coin is a 1 Euro coin, showing the number '1' and the word 'EURO'.
<a href="#">17- W2.JPG</a>	 A photograph of a grassy, slightly elevated area. A paved path leads from the foreground towards the background. In the background, there are several multi-story residential buildings with balconies. A large, dark, irregular rock formation is visible in the middle ground. The sky is clear and blue.	<p data-bbox="1568 997 1713 1029">Sem acesso</p>

ID	Foto StreetView	Foto Atual
<p><a href="#">18-W2.JPG</a> Sem Acesso com vedação</p>		
<p><a href="#">19-W3.JPG</a></p>		<p>Incluído no polígono 147</p>





ID	Foto StreetView	Foto Atual
<a href="#">20- W2.JPG</a>	 A StreetView photograph showing a paved road on a hillside. A stone retaining wall runs along the left side of the road. Above the wall, there are several white buildings with balconies. The sky is clear and blue.	 A close-up photograph of a textured, light-colored surface, possibly concrete or stone. A 50 Euro coin is placed on the surface for scale. The surface has a rough, granular appearance with some darker spots.
<a href="#">21- W4.JPG</a>	 A StreetView photograph showing a dirt area in the foreground. A stone wall runs across the middle ground. In the background, there are several buildings, including a large white one with many windows. There are trees and bushes in the scene.	 A close-up photograph of a dark, textured surface, possibly soil or rock. A 50 Euro coin is placed on the surface for scale. The surface is very rough and uneven, with many small cracks and holes.




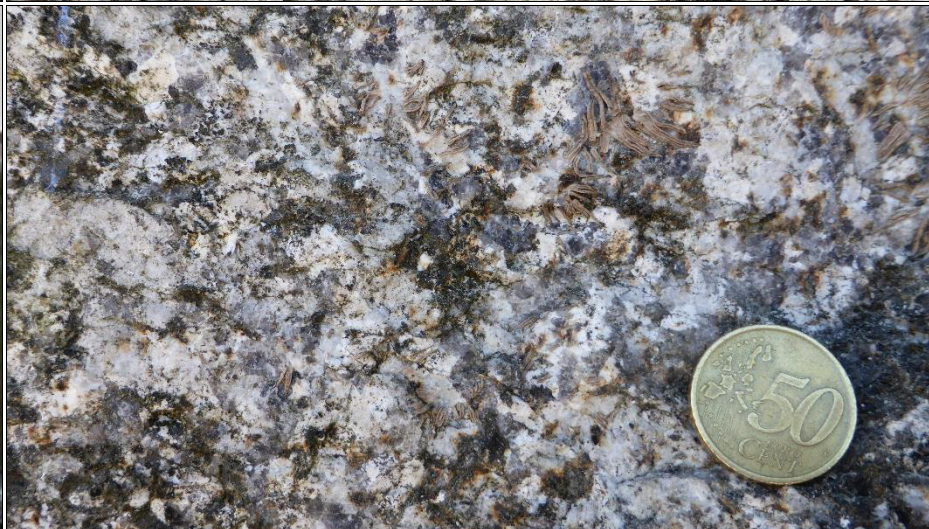
ID	Foto StreetView	Foto Atual
<p><a href="#">22- W3.JPG</a> W4 para w3 E divide- se em duas áreas 168</p>	 <p>A StreetView photograph showing a long, low wall constructed from rough-hewn, greyish-brown stones. The wall runs parallel to a paved road on the left. In the background, there are utility poles, power lines, and some buildings under a clear blue sky.</p>	 <p>A close-up photograph of a 10-cent Euro coin placed on a rough, porous stone surface. The coin is gold-colored and shows the number '10' and the word 'CENT'.</p>
<p><a href="#">23- W2.JPG</a></p>	 <p>A StreetView photograph of a stone wall partially covered in green ivy and other climbing plants. To the right, a modern white building with a balcony is visible. A set of concrete stairs leads up from the foreground towards the building. A white car is parked in the lower right corner.</p>	 <p>A close-up photograph of a 50-cent Euro coin placed on a dark, textured stone surface. The coin is gold-colored and shows the number '50' and the word 'CENT'.</p>





ID	Foto StreetView	Foto Atual
<a href="#">24- W3.JPG</a>	 A StreetView photograph showing a building with a light-colored facade and a doorway. To the left, there is a rough stone wall. A vertical pipe runs down the side of the building.	 A close-up photograph of a textured, light-colored surface, possibly concrete or stone, with patches of yellowish-brown lichen. A 50-cent coin is placed on the surface for scale.
<a href="#">25- W3.JPG</a>	 A StreetView photograph of a building with a staircase leading up to it. A large green tree is in the foreground. Two white arrows point to a specific area on the ground near the base of the tree.	 A close-up photograph of a textured, light-colored surface, similar to the one in the first row, with patches of yellowish-brown lichen. A 50-cent coin is placed on the surface for scale.

ID	Foto StreetView	Foto Atual
<p data-bbox="129 469 226 533"><a href="#">26- W3.JPG</a></p>		
<p data-bbox="129 1002 226 1066"><a href="#">27- W4.JPG</a></p>		

ID	Foto StreetView	Foto Atual
<p><a href="#">28- W3.JPG</a> w2 para w3</p>		
<p><a href="#">29- W3.JPG</a></p>		





ID	Foto StreetView	Foto Atual
<p><a href="#">30- W4.JPG</a></p>		
<p><a href="#">31- W2.JPG</a></p>		

ID	Foto StreetView	Foto Atual
<a href="#">32- W2.JPG</a>	 A StreetView photograph showing a hillside with a white building featuring a green door and windows. A yellow structure is visible in the lower-left foreground.	 A close-up photograph of a textured, light-colored surface with dark spots. A 50 Euro coin is placed on the surface for scale.
<a href="#">33- W3.JPG</a>	 A StreetView photograph showing a hillside with a white building and a large, dense green bush in the foreground.	 A close-up photograph of a textured, light-colored surface with dark spots. A 50 Euro coin is placed on the surface for scale.





ID	Foto StreetView	Foto Atual
<p><a href="#">34- W3.JPG</a></p>		
<p><a href="#">35- W3.JPG</a></p>		




ID	Foto StreetView	Foto Atual
<p data-bbox="129 469 226 533"><a href="#">36- W4.JPG</a></p>		
<p data-bbox="129 1003 226 1067"><a href="#">37- W3.JPG</a></p>		




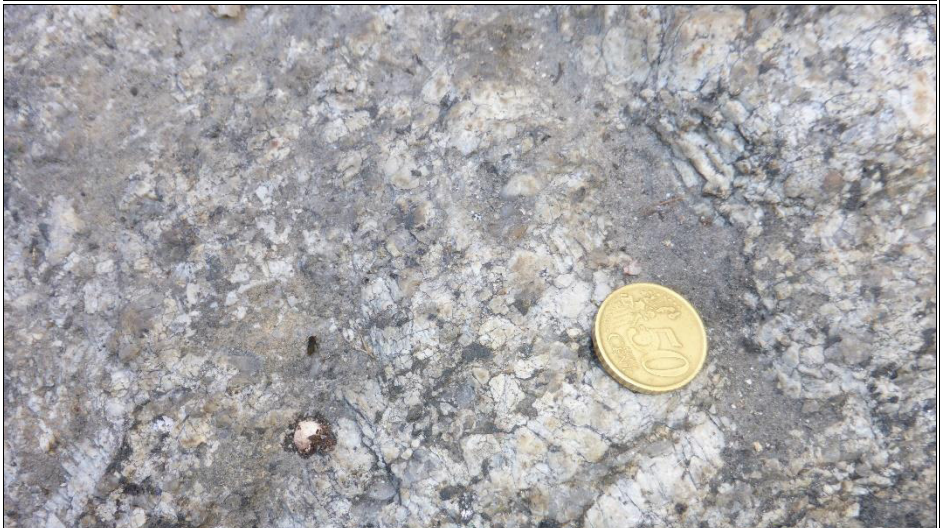
ID	Foto StreetView	Foto Atual
<p>38- <a href="#">W4.JPG</a></p>		
<p>39- <a href="#">W3.JPG</a></p>		





ID	Foto StreetView	Foto Atual
<p><a href="#">40- W4.JPG</a></p>	 A StreetView photograph showing a low wall constructed from irregular, greyish-brown stones. The wall runs horizontally across the middle of the frame. Above the wall is a grassy hillside with scattered trees and a clear blue sky. The foreground shows a concrete curb and a paved road.	 A close-up photograph of a light-colored coin, possibly a 1 Euro coin, placed on a dark, textured rock surface. The rock has a mottled appearance with grey and black tones. Some dry plant matter is visible in the upper left corner.
<p><a href="#">41- W2.JPG</a></p>	 A StreetView photograph showing a low wall constructed from irregular, greyish-brown stones. The wall runs horizontally across the middle of the frame. Above the wall is a grassy hillside with scattered trees and a clear blue sky. The foreground shows a concrete curb and a paved road.	 A close-up photograph of a gold-colored coin, possibly a 50 Cent coin, placed on a dark, textured rock surface. The rock has a mottled appearance with grey and black tones. The coin is clearly visible in the center of the frame.




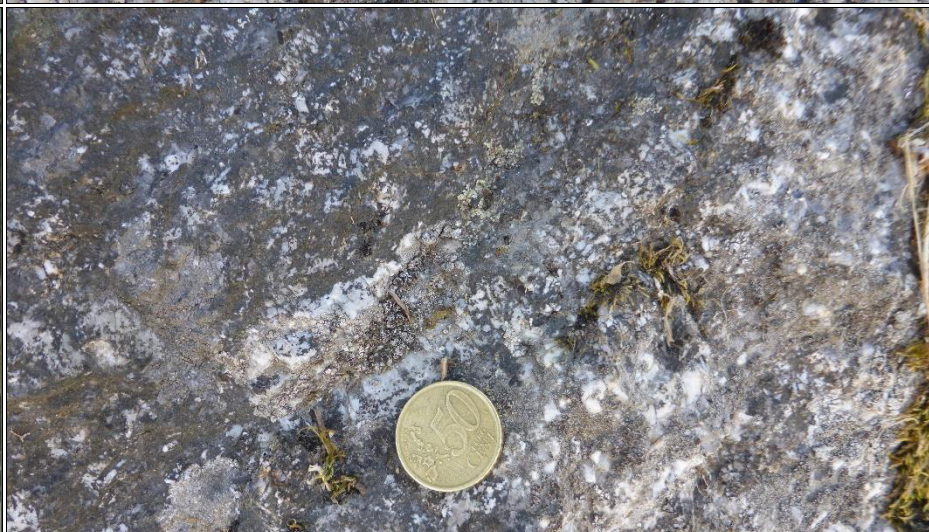
ID	Foto StreetView	Foto Atual
<p data-bbox="129 469 226 533">42- <a href="#">W3.JPG</a></p>		
<p data-bbox="129 1002 226 1066">43- <a href="#">W2.JPG</a></p>		



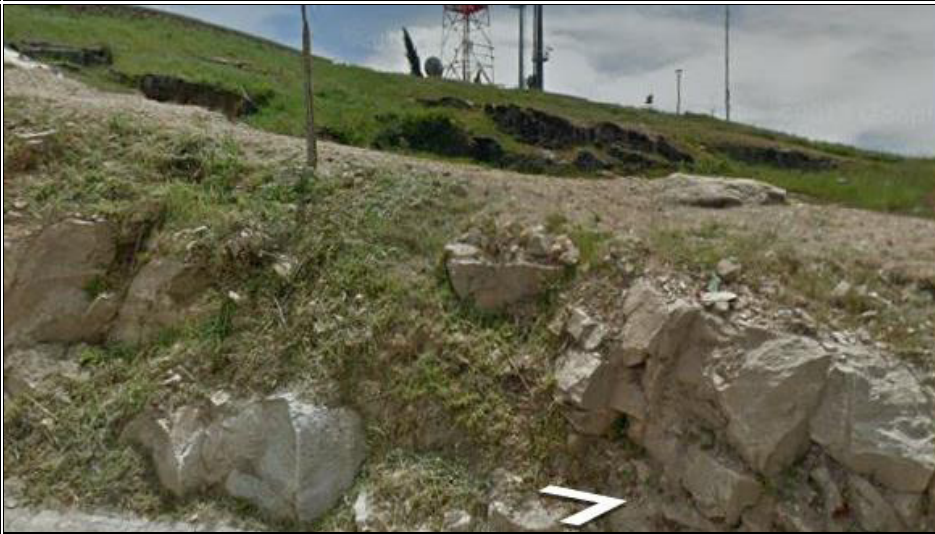

ID	Foto StreetView	Foto Atual
<p><a href="#">44- W4.JPG</a></p>		
<p><a href="#">45- W3.JPG</a></p>		





ID	Foto StreetView	Foto Atual
<p><a href="#">46- W3.JPG</a></p>		<p>Incluído no polígono 35</p>
<p><a href="#">47- W2.JPG</a></p>		





ID	Foto StreetView	Foto Atual
<p><a href="#">48-W2.JPG</a></p> <p>Sem Acesso</p>		
<p><a href="#">49-2009-W2.JPG</a></p>		

ID	Foto StreetView	Foto Atual
<p data-bbox="129 469 226 533"><a href="#">50- W3.JPG</a></p>		
<p data-bbox="129 1002 226 1066"><a href="#">51- W3.JPG</a></p>		





ID	Foto StreetView	Foto Atual
<a href="#">52- W2.JPG</a>	 A StreetView photograph showing a multi-tiered stone retaining wall. A white car is parked on a road or path atop the wall. In the background, there are houses and trees under a clear sky.	 A close-up photograph of a rock surface, likely the same wall. The rock is light-colored with dark, irregular patterns. A gold coin is placed on the surface for scale.
<a href="#">53- W2.JPG</a>	 A StreetView photograph of a stone retaining wall with a grassy slope above it. A white sign on a pole is visible on the left. The background shows trees and a building.	 A close-up photograph of a rock surface, similar to the one in the first row. The rock is light-colored with dark, irregular patterns. A gold coin is placed on the surface for scale.

ID	Foto StreetView	Foto Atual
<p><a href="#">54-W3.JPG</a></p>		
<p><a href="#">55-W3.JPG</a></p>		





ID	Foto StreetView	Foto Atual
<p data-bbox="129 469 226 533"><a href="#">56- W2.JPG</a></p>	 A StreetView photograph showing a rocky embankment on the left side of a paved road. The rocks are light brown and tan. In the background, there are green trees and a clear sky. Two white L-shaped markers are placed on the road surface in the foreground.	 A close-up photograph of a textured, greyish-brown surface. A gold coin is placed on the surface for scale. The coin has the word 'LINO' and the number '001' visible on it.
<p data-bbox="129 963 226 1027"><a href="#">57- W2.JPG</a></p> <p data-bbox="129 1075 226 1107">Vedado</p>	 A StreetView photograph showing a rocky area with a fence and a building in the background. The rocks are dark grey and black. There is some green vegetation in the foreground. Two white L-shaped markers are placed on the ground in the foreground.	 A close-up photograph of a large, dark grey rock formation. The rock has a rough, textured surface with some green moss or lichen. There are some small plants and ferns growing at the base of the rock.





ID	Foto StreetView	Foto Atual
<p>58- <a href="#">W3.JPG</a></p>		
<p>59- <a href="#">W2.JPG</a></p>		





ID	Foto StreetView	Foto Atual
<a href="#">60- W3.JPG</a>	 A StreetView photograph showing a grassy hillside with a stone wall in the foreground. In the background, there is a large, multi-story building with many windows.	 A close-up photograph of a rock surface, showing a rough, textured surface with some white mineral deposits. A 50-cent coin is placed on the rock for scale.
<a href="#">61- W4.JPG</a>	 A StreetView photograph showing a rocky hillside with a stone wall in the foreground. The hillside is covered with sparse vegetation and rocks.	 A close-up photograph of a rocky surface, showing a rough, textured surface with some white mineral deposits. A 50-cent coin is placed on the rock for scale.


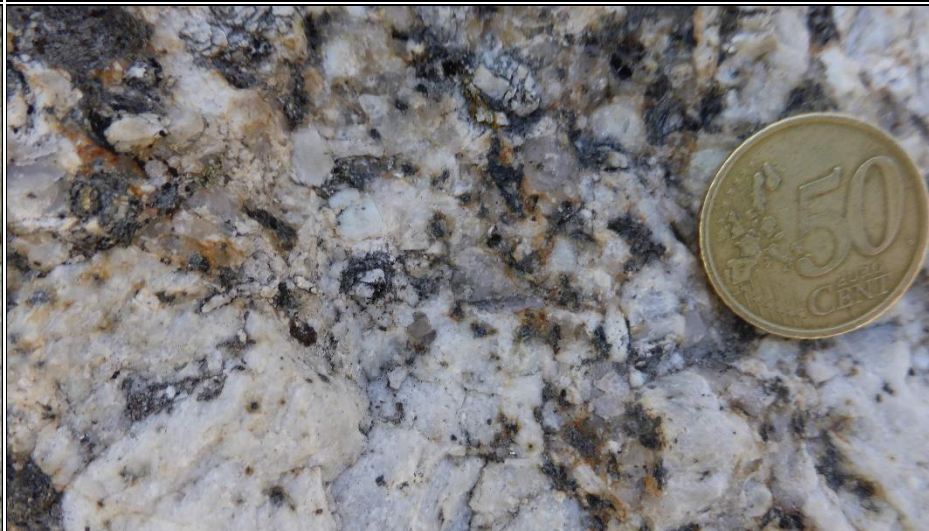


ID	Foto StreetView	Foto Atual
<p data-bbox="129 469 226 533">62- W3.JPG</p>		
<p data-bbox="129 948 226 1011">63- W3.JPG</p> <p data-bbox="129 1059 226 1123">W2 para W3</p>		

ID	Foto StreetView	Foto Atual
<p><a href="#">64-W3.JPG</a></p>	 <p>A StreetView photograph showing a grey concrete wall on the left and a blue plastic bag on the ground to the right. Two white arrows point towards the wall and the bag.</p>	 <p>A close-up photograph of a 50-cent coin placed on a grey, textured surface. The coin is used as a scale reference.</p>
<p><a href="#">65-W3.JPG</a></p>	 <p>A StreetView photograph of a rocky, vegetated area with a white wall in the background. Two white arrows point towards the ground.</p>	 <p>A close-up photograph of a 50-cent coin placed on a dark, crystalline surface. The coin is used as a scale reference.</p>





ID	Foto StreetView	Foto Atual
<p><a href="#">66- W4.JPG</a></p> <p>W3 para W4</p>		
<p><a href="#">67- W4.JPG</a></p>		





ID	Foto StreetView	Foto Atual
<a href="#">68- W4.JPG</a>		
<a href="#">69- W3.JPG</a>		




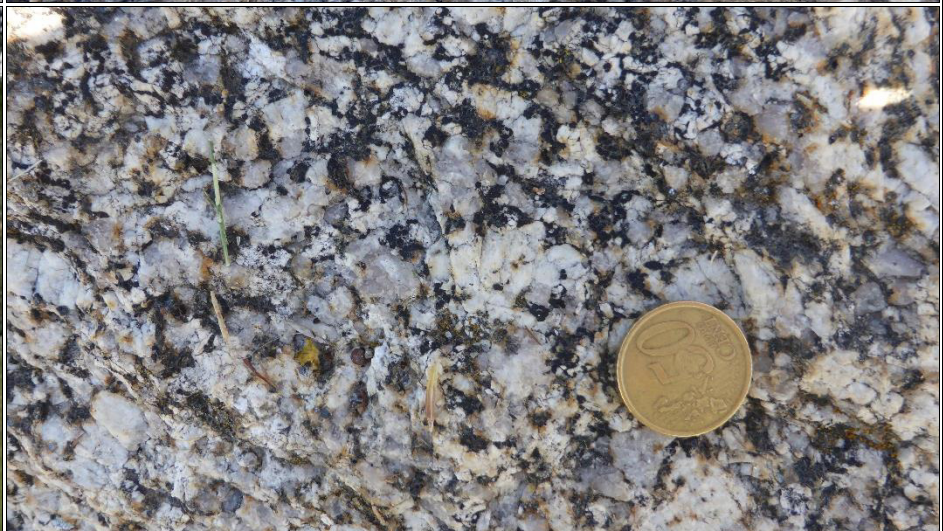
ID	Foto StreetView	Foto Atual
<a href="#">70-W2.JPG</a>		
<a href="#">71-W1.JPG</a>		





ID	Foto StreetView	Foto Atual
<a href="#">72- W2.JPG</a>		
<a href="#">73- W4.JPG</a>		

ID	Foto StreetView	Foto Atual
<p>74- <a href="#">W3.JPG</a></p>		
<p>75- <a href="#">W4.JPG</a></p>		





ID	Foto StreetView	Foto Atual
<a href="#">76- W3.JPG</a>		
<a href="#">77- W4.JPG</a>		





ID	Foto StreetView	Foto Atual
<p data-bbox="129 469 226 533">78- <a href="#">W2.JPG</a></p>		
<p data-bbox="129 1002 226 1066">79- <a href="#">W3.JPG</a></p>		





ID	Foto StreetView	Foto Atual
<a href="#">80- W4.JPG</a>	 A StreetView photograph showing a rocky outcrop with sparse vegetation. Two white arrows point to specific features on the rock face. The top of the outcrop is covered with a layer of soil and some trees.	 A close-up photograph of a rock surface showing a coarse, crystalline texture. A 50 Euro coin is placed on the rock for scale, indicating the size of the mineral grains.
<a href="#">81- W2.JPG</a>	 A StreetView photograph showing a rocky outcrop with sparse vegetation. Two white arrows point to specific features on the rock face. The background shows a landscape with trees and a cloudy sky.	 A close-up photograph of a rock surface showing a coarse, crystalline texture. A 50 Euro coin is placed on the rock for scale, indicating the size of the mineral grains.





ID	Foto StreetView	Foto Atual
<p>82- W2.JPG W1 para W2</p>		
<p>83- W3.JPG W2 para w3</p>		





ID	Foto StreetView	Foto Atual
<p data-bbox="129 469 226 533"><a href="#">84- W3.JPG</a></p>		
<p data-bbox="129 967 226 1102"><a href="#">85- W4.JPG</a> W4 para W2</p>		




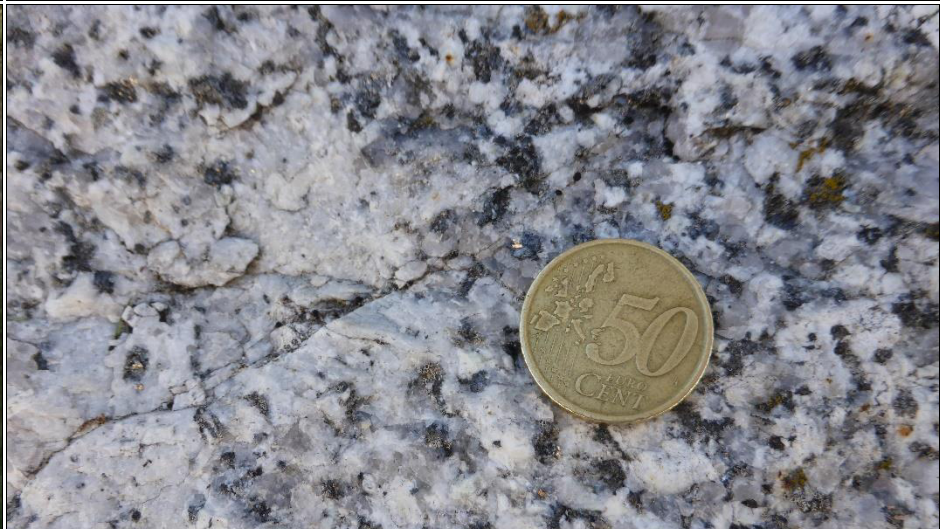
ID	Foto StreetView	Foto Atual
<a href="#">86- W2.JPG</a>		
<a href="#">87- W2.JPG</a>		





ID	Foto StreetView	Foto Atual
<a href="#">88- W2.JPG</a>	 A StreetView photograph showing a paved road on the left, a low stone wall in the foreground, and a large, rounded rock formation in the background. A building with a red roof is visible behind the rocks. Two white L-shaped markers are placed on the ground in front of the stone wall.	 A close-up photograph of a light-colored, crystalline rock surface. A 50 Euro coin is placed on the rock to provide scale. The rock has a complex, fractured texture.
<a href="#">89- W3.JPG</a>	 A StreetView photograph of a forested slope. The ground is covered with green ferns and other vegetation. A large, dark rock formation is visible in the lower part of the frame. Two white L-shaped markers are placed on the ground near the rock.	 A close-up photograph of a light-colored, crystalline rock surface, similar to the one in the first row. A 50 Euro coin is placed on the rock to provide scale. The rock is partially covered with brown leaf litter.





ID	Foto StreetView	Foto Atual
<a href="#">90-W2.JPG</a>	 <p>A StreetView photograph showing a rocky embankment next to a road. A metal guardrail runs along the edge of the road. In the background, there are utility poles and a line of trees under a cloudy sky. Two white L-shaped markers are placed on the ground near the guardrail.</p>	 <p>A close-up photograph of a coin placed on a rocky, light-colored surface. The coin is a 1-cent coin, and the word "CENT" is visible on its edge. The surface is composed of small, light-colored rocks and some dark, possibly charred, material.</p>
<a href="#">91-W4.JPG</a>	 <p>A StreetView photograph showing a rocky embankment next to a road. A metal guardrail runs along the edge of the road. The embankment is covered with rocks and sparse vegetation. In the background, there are trees and a utility pole. Two white L-shaped markers are placed on the ground near the guardrail.</p>	 <p>A close-up photograph of a coin placed on a rocky, light-colored surface. The coin is a 1-cent coin, and the word "CENT" is visible on its edge. The surface is composed of small, light-colored rocks and some dry, brownish material.</p>



ID	Foto StreetView	Foto Atual
<a href="#">92- W3.JPG</a>		
<a href="#">93- W2.JPG</a>		





ID	Foto StreetView	Foto Atual
<a href="#">94-W3.JPG</a>		
<a href="#">95-W2.JPG</a>		





ID	Foto StreetView	Foto Atual
<a href="#">96- W4.JPG</a>		
<a href="#">97- W1.JPG</a>		

ID	Foto StreetView	Foto Atual
<p><a href="#">98- W4.JPG</a></p>		
<p><a href="#">99- W2.JPG</a></p>		





ID	Foto StreetView	Foto Atual
<a href="#">100-W3.JPG</a>	 A wide-angle photograph of a steep, rocky hillside. The rock face is composed of large, greyish-brown blocks with visible vertical and horizontal fractures. Sparse, dry-looking vegetation is scattered across the top and sides of the slope.	 A close-up photograph of a rock surface showing a complex texture of light-colored, crystalline mineral grains and darker, more homogeneous matrix. A gold-colored 50-cent coin is placed on the rock surface in the lower right quadrant to provide scale.
<a href="#">101-W4.JPG</a>	 A wide-angle photograph of a steep, rocky hillside, similar to the one above. This slope is characterized by a much denser growth of green shrubs and small trees, particularly in the lower and middle sections, partially obscuring the rock face.	 A close-up photograph of a rock surface, showing a similar texture to the one above but with more prominent, larger, light-colored mineral grains. A gold-colored 50-cent coin is placed on the rock surface in the lower right quadrant to provide scale.





ID	Foto StreetView	Foto Atual
<a href="#">102-W2.JPG</a>		
<a href="#">103-W4.JPG</a>		





ID	Foto StreetView	Foto Atual
<a href="#">104-W2.JPG</a>	 A StreetView image showing a close-up of a rock face. The rock is light-colored with prominent vertical fissures and some small green plants growing in the crevices.	 A close-up photograph of a rock surface. The rock is light-colored with some reddish-brown spots and is covered with small green mosses. A 50 Euro coin is placed on the rock for scale.
<a href="#">105-W4.JPG</a>	 A StreetView image showing a rock face partially obscured by dense green trees and bushes. The rock face is light-colored and appears to be a cliffside.	 A close-up photograph of a rock surface. The rock is light-colored with some reddish-brown spots and is covered with small green mosses. A 50 Euro coin is placed on the rock for scale.




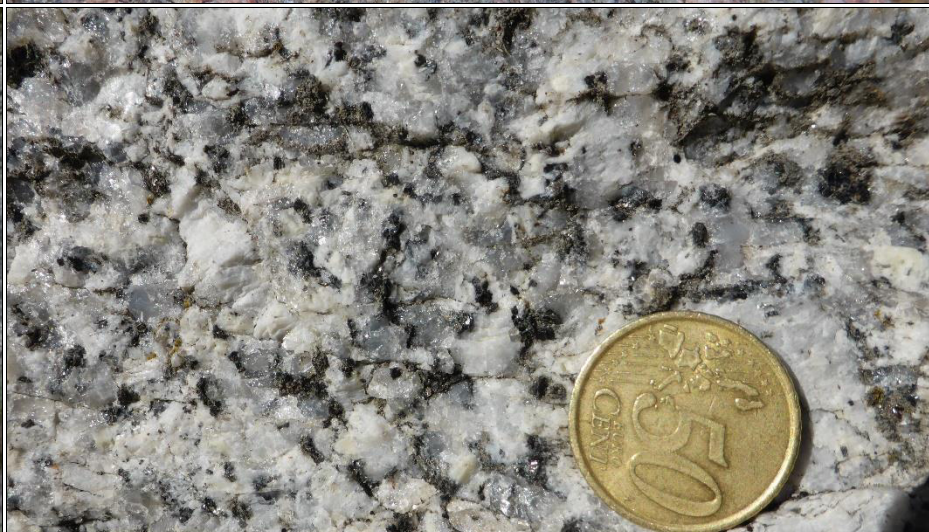
ID	Foto StreetView	Foto Atual
<a href="#">106-W3.JPG</a>		
<a href="#">107-W2.JPG</a>		





ID	Foto StreetView	Foto Atual
<a href="#">108-W1.JPG</a>		
<a href="#">109-W3.JPG</a>		





ID	Foto StreetView	Foto Atual
<a href="#">110-W4.JPG</a>		
<a href="#">111-W3.JPG</a>		





ID	Foto StreetView	Foto Atual
<a href="#">112- W4.JPG</a>		
<a href="#">113- W3.JPG</a>		





ID	Foto StreetView	Foto Atual
<a href="#">114-W2.JPG</a>		
<a href="#">115-W3.JPG</a>		





ID	Foto StreetView	Foto Atual
<a href="#">116-W4.JPG</a>	 A StreetView photograph of a rock face. The rock is light-colored with some darker, reddish-brown patches. Two white arrows are drawn on the bottom of the image, pointing towards a specific area of the rock face.	 A close-up photograph of a rock surface. The rock is light-colored with some darker, reddish-brown patches. A 50 Euro cent coin is placed on the rock for scale. The coin is gold-colored and has the number '50' and 'EURO CENT' visible.
<a href="#">117-W1.JPG</a>	 A StreetView photograph of a rock face. The rock is light-colored and shows prominent vertical striations or bedding. There are some small plants growing on the rock face.	 A close-up photograph of a rock surface. The rock is light-colored with some darker, reddish-brown patches. A 50 Euro cent coin is placed on the rock for scale. The coin is gold-colored and has the number '50' and 'EURO CENT' visible.

ID	Foto StreetView	Foto Atual
<a href="#">118-W4.JPG</a>		
<a href="#">119-W1.JPG</a>		




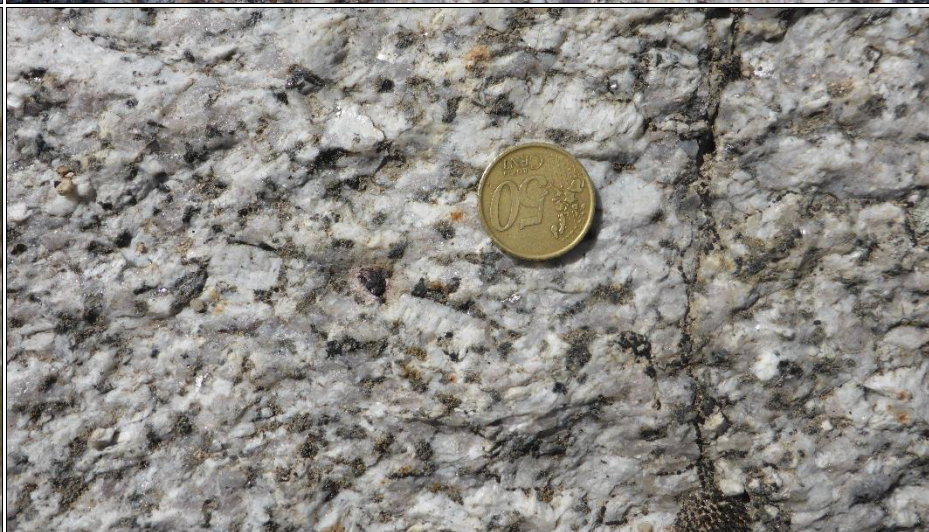
ID	Foto StreetView	Foto Atual
<a href="#">120-W2.JPG</a>		
<a href="#">121-W3.JPG</a>		





ID	Foto StreetView	Foto Atual
<p><a href="#">122-W3.JPG</a> W2 para w3</p>		
<p><a href="#">123-W3.JPG</a></p>		

ID	Foto StreetView	Foto Atual
<a href="#">124-W4.JPG</a>	 A StreetView photograph showing a grassy area next to a paved path. Two white arrows point to a small, dark, irregular patch of ground in the grass.	 A close-up photograph of the ground surface, showing a dark, textured, and possibly mineral-rich area. A gold coin is placed on the surface for scale.
<a href="#">125-W2.JPG</a>	 A StreetView photograph of a large, moss-covered rock formation in a grassy area. Two white arrows point to a specific area on the rock.	 A close-up photograph of the rock surface, showing a light-colored, crystalline mineral structure. A gold coin is placed on the surface for scale.

ID	Foto StreetView	Foto Atual
<a href="#">126-W2.JPG</a>		
<a href="#">127-W2.JPG</a>		

ID	Foto StreetView	Foto Atual
<p data-bbox="129 411 226 480"><u>128-</u> <u>W3.JPG</u></p> <p data-bbox="129 520 226 588">W2 para W3</p>		
<p data-bbox="129 930 226 999"><u>129-</u> <u>W4.JPG</u></p> <p data-bbox="129 1007 226 1075">Sem Acesso</p>		

ID	Foto StreetView	Foto Atual
<p><a href="#">130-W2.JPG</a></p>		
<p><a href="#">131-W2.JPG</a> W3 para W2 Área dividida em duas, W2 e W3 (169)</p>		





ID	Foto StreetView	Foto Atual
<a href="#">132-W2.JPG</a>		
<a href="#">133-W3.JPG</a>		





ID	Foto StreetView	Foto Atual
<a href="#">134-W2.JPG</a>	 <p>A StreetView photograph showing a paved path leading up a grassy, rocky hillside. A house is visible in the background under a cloudy sky. A white L-shaped marker is placed on the path.</p>	 <p>A close-up photograph of a 50 Euro coin placed on a rock surface. The rock is covered with white lichen and dark moss. The coin is used as a scale reference.</p>
<a href="#">135-W3.JPG</a>	 <p>A StreetView photograph showing a paved path leading up a rocky area with trees. A white L-shaped marker is placed on the path.</p>	 <p>A close-up photograph of a 50 Euro coin placed on a rock surface. The rock is covered with white lichen and dark moss. The coin is used as a scale reference.</p>

ID	Foto StreetView	Foto Atual
<a href="#">136-W4.JPG</a>		
<a href="#">137-W2.JPG</a>		





ID	Foto StreetView	Foto Atual
<a href="#">138-W2.JPG</a>		
<a href="#">139-W2.JPG</a>		





ID	Foto StreetView	Foto Atual
<a href="#">140-W3.JPG</a>		
<a href="#">141-W2.JPG</a>		





ID	Foto StreetView	Foto Atual
<p data-bbox="129 469 226 533"><a href="#">142- W3.JPG</a></p>		
<p data-bbox="129 948 226 1011"><a href="#">143- W5.JPG</a></p> <p data-bbox="129 1059 226 1123">W3 para W5</p>		

ID	Foto StreetView	Foto Atual
<p data-bbox="129 411 226 480"><a href="#">144- W3.JPG</a></p> <p data-bbox="129 520 226 588">W4 para W3</p>		
<p data-bbox="129 1002 226 1070"><a href="#">145- W4.JPG</a></p>		

ID	Foto StreetView	Foto Atual
<p><a href="#">146- W4.JPG</a></p>		
<p><a href="#">147- W2.JPG</a>  W3 para w2</p>		


ID	Foto StreetView	Foto Atual
<a href="#">148-W3.JPG</a>	 A StreetView photograph showing a steep, rocky hillside covered in green vegetation. A portion of a white building with a dark window is visible on the left side of the frame.	 A close-up photograph of a dark, crystalline rock surface, likely granite. The rock has a complex, interlocking crystalline texture with shades of grey, black, and brown. A 1 Euro coin is placed on the surface for scale.
<a href="#">149-W3.JPG</a>	 A StreetView photograph showing a dark-colored car parked on a road. The car is positioned in front of a large, light-colored rock formation. A utility pole is visible in the background.	 A close-up photograph of a light-colored, crystalline rock surface, likely granite. The rock has a complex, interlocking crystalline texture with shades of grey, white, and brown. A 1 Euro coin is placed on the surface for scale.




ID	Foto StreetView	Foto Atual
<a href="#">150-W3.JPG</a>		
<a href="#">151-W3.JPG</a>		





ID	Foto StreetView	Foto Atual
<p><a href="#">152-W4.JPG</a></p>		
<p><a href="#">153-W4.JPG</a></p>		





ID	Foto StreetView	Foto Atual
<a href="#">154-W3.JPG</a>		
<a href="#">155-W3.JPG</a>		





ID	Foto StreetView	Foto Atual
<p><a href="#">156-W4.JPG</a></p> <p>w5, monte de escombros</p>	 A StreetView photograph showing a steep, overgrown hillside covered in tall grass and weeds. In the background, there are several buildings, including a prominent white one with blue window frames. The foreground shows a dirt path and some scattered debris, including a white L-shaped marker.	<p>Sem acesso</p>
<p><a href="#">157-W4.JPG</a></p>	 A StreetView photograph showing a concrete wall with a decorative balustrade. To the left, there are concrete steps leading up to the wall. The area is overgrown with grass and weeds. A white L-shaped marker is visible on the ground in the foreground.	 A close-up photograph of a textured, greyish-brown surface, possibly concrete or stone. A gold coin is placed on the surface for scale. The coin is a 10 Euro coin, featuring the number '10' and the word 'EURO'.




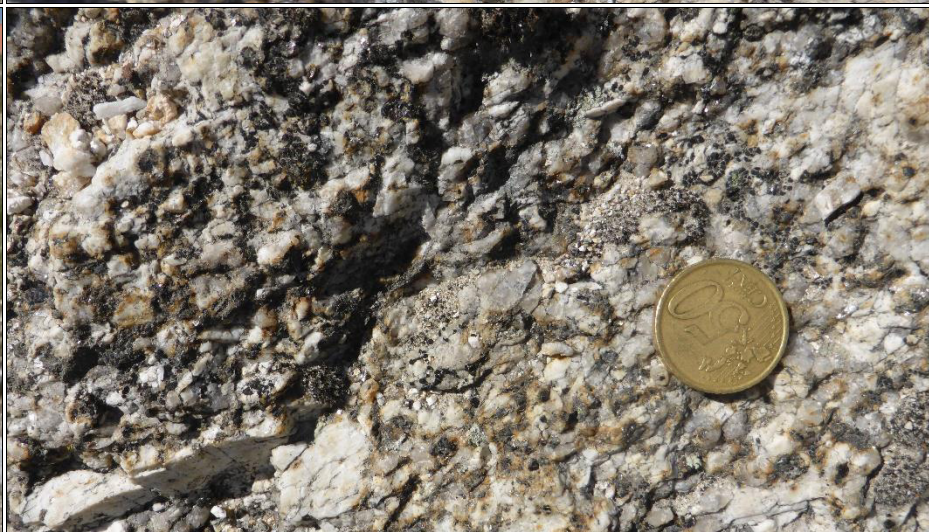
ID	Foto StreetView	Foto Atual
<a href="#">158-W3.JPG</a>		
<a href="#">159-W4.JPG</a>		

ID	Foto StreetView	Foto Atual
<p><a href="#">160- W3.JPG</a> W4 para W3</p>	 A StreetView photograph showing a rocky, vegetated slope. A white marker is visible in the foreground. The terrain is covered with sparse green and brown vegetation.	 A close-up photograph of a rock surface, showing a textured, light-colored rock with dark mineral inclusions. A gold coin is placed on the rock for scale.
<p><a href="#">161- W4.JPG</a> Sem Acesso</p>	 A StreetView photograph showing a rocky slope with dense green trees and a stone wall in the foreground. The sky is overcast.	 A close-up photograph of a rock surface, showing a textured, light-colored rock with dark mineral inclusions. A tree trunk and green leaves are visible in the foreground.

ID	Foto StreetView	Foto Atual
<p><a href="#">162-W4.JPG</a></p>		
<p><a href="#">163-W4.JPG</a></p> <p>Nova área, Área detetada só no local</p>		

ID	Foto StreetView	Foto Atual
<p data-bbox="129 469 226 533"><a href="#">164- W3.JPG</a></p>	 A StreetView photograph showing a stone wall on a hillside. A white arrow points to a specific section of the wall. The wall is made of large, roughly-hewn stones. There are some concrete steps in the foreground.	 A close-up photograph of a rock surface. A 50 Euro coin is placed on the rock for scale. The rock is light-colored with some darker spots and a rough texture.
<p data-bbox="129 932 226 995"><a href="#">165- W4.JPG</a></p> <p data-bbox="129 1005 226 1139">Nova área, deriva da 42</p>	 A StreetView photograph showing a road with a concrete curb. A white arrow points to a specific area on the road. The road is paved with asphalt. There is some dry grass and vegetation on the hillside above the road.	 A close-up photograph of a rock surface. A 50 Euro coin is placed on the rock for scale. The rock is light-colored with some darker spots and a rough texture. There is some moss or lichen on the rock.

ID	Foto StreetView	Foto Atual
<a href="#">166-W4.JPG</a>		
<a href="#">167-W4.JPG</a>		

ID	Foto StreetView	Foto Atual
<p data-bbox="129 411 226 480"><a href="#">168- W2.JPG</a></p> <p data-bbox="118 520 237 584">Deriva do 22</p>	 A StreetView photograph showing a long, low wall constructed from rough, stacked stones. The wall runs along a paved sidewalk. In the background, there are utility poles and a clear blue sky.	 A close-up photograph of the stone surface. The stone is light-colored with dark, irregular spots and veins. A 50-cent Euro coin is placed on the surface for scale, showing the texture and color variations of the rock.
<p data-bbox="129 1002 226 1070"><a href="#">169- W3.JPG</a></p>	 A StreetView photograph of a hillside. The foreground is covered with sparse green vegetation and large, light-colored rocks. In the background, a white building with several windows is visible on the slope.	 A close-up photograph of the stone surface. The stone is dark and highly textured, with many small, light-colored mineral inclusions. A 50-cent Euro coin is placed on the surface for scale, highlighting the rough and porous nature of the rock.

[500-  
W4.JPG](#)



[501-  
W3.JPG](#)

