

## Geotecnia urbana de Amarante: estudos preliminares para uma cartografia geotécnica

SÍLVIA MARIA PEREIRA GOMES  
Outubro de 2016



**Instituto Superior de Engenharia do Porto**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA



## **Geotecnia urbana de Amarante: estudos preliminares para uma cartografia geotécnica**

**Sílvia Maria Pereira Gomes**



**2016**

(página propositadamente em branco)



**Instituto Superior de Engenharia do Porto**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA

## **Geotecnia urbana de Amarante: estudos preliminares para uma cartografia geotécnica**

**Sílvia Maria Pereira Gomes**

**1110312**

*Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Geotécnica e Geoambiente**, realizada sob a orientação do Professor Doutor Helder I. Chaminé, Professor Coordenador com Agregação do Departamento de Engenharia Geotécnica do ISEP.*

(página propositadamente em branco)

## **Júri**

### **Presidente**

Doutor Helder Gil Iglésias de Oliveira Chaminé

*Professor Coordenador com Agregação, Departamento de Engenharia Geotécnica, Instituto Superior de Engenharia do Porto*

Doutor Jorge José de Magalhães Mendes

*Professor Coordenador, Departamento de Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia do Porto  
Vice-Presidente Câmara Municipal de Amarante*

Doutor João Paulo Meixedo dos Santos Silva

*Professor Adjunto, Departamento de Engenharia Geotécnica, Instituto Superior de Engenharia do Porto*

Doutor António Alberto Teixeira Gomes

*Professor Auxiliar, Departamento de Geografia, Faculdade de letras da Universidade do Porto*

Mestre e Especialista José Filinto Castro Trigo

*Professor Adjunto, Departamento de Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia do Porto*

---

*A tese de mestrado em engenharia geotécnica e geoambiente (MEGG) foi apresentada e defendida em prova pública, pela Licenciada **Sílvia Maria Pereira Gomes**, no Auditório de Geotecnia do Departamento de Engenharia Geotécnica (ISEP) em 10 de Novembro de 2016 mediante o júri nomeado, em que foi atribuída, por unanimidade, a classificação final de **18 (dezoito) valores**, cuja fundamentação se encontra em acta. Todas as correções pontuais determinadas pelo júri, e só essas, foram efectuadas.*

---

*Dedico esta tese a meus Pais...*

(página propositadamente em branco)

## **Agradecimentos**

Expresso desta forma os meus agradecimentos, a todos aqueles que, de uma forma direta ou indireta tiveram especial influência na elaboração e conclusão desta dissertação, especialmente:

Ao meu orientador, Professor Helder I. Chaminé (ISEP) fico imensamente agradecida por todo o apoio e dedicação prestada ao longo da execução desta investigação. Pela atenta e exaustiva revisão do manuscrito, os conselhos prestados e, principalmente, pela partilha dos seus conhecimentos e análise crítica, fundamentais para desenvolver e concluir esta dissertação, assim como a disponibilização de elementos bibliográficos relacionados com a temática. Um especial obrigado, pela oportunidade dada de poder trabalhar de perto com a sua equipa nas instalações do Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada (LABCARGA), bem como a permissão de utilização de recursos e equipamentos.

À Doutora Maria José Afonso (ISEP) os meus sinceros agradecimentos pelo apoio à retaguarda para a realização da tese, bem como a sua partilha de conhecimentos nos domínios da hidrogeologia e análise crítica de alguns tópicos da investigação.

Ao Doutor José Teixeira (FLUP e LABCARGA|ISEP), pelo apoio nos domínios da geomorfologia aplicada, partilha de conhecimentos de cartografia aplicada SIG e na colaboração na discussão de alguns aspetos metodológicos dos mapas que integram esta tese, e bem assim como pela sua boa disposição, o meu obrigado.

À mestre Liliana Freitas (LABCARGA|ISEP), os meus imensos agradecimentos pela forma incansável e prontidão de ajuda. Pelo companheirismo tanto nos trabalhos de campo como em laboratório, assim como a sua boa disposição e conselhos úteis. Não esquecendo principalmente o seu apoio no trabalho exaustivo de colaboração na introdução de dados e construção de base de dados, bem como na elaboração dos mapas inseridos nesta dissertação, e ainda na realização de algumas figuras constituintes desta investigação, partilha de conhecimentos e motivação ao longo de todo o projeto.

À Câmara Municipal de Amarante (CMA), na pessoa do Sr. Vice-presidente Professor Doutor Jorge Mendes, pelo seu entusiástico apoio, desde a primeira hora, ao lançamento deste projeto entre o ISEP (LABCARGA) e a CMA. Gostaríamos de destacar o arquiteto João Mesquita, a engenheira Marta Alves e o engenheiro José Vila Real, pela sua prontidão de resposta, de ajuda na recolha de informações pertinentes para o trabalho, assim como por nos receber nas instalações.

Aos colaboradores do LABCARGA|ISEP, o meu agradecimento pela forma como me acolheram, pelo agradável ambiente de trabalho e em especial por toda a ajuda.

À Dra. Ana Costa (ISEP), pelo seu apoio ao longo destes 5 anos, por todo o seu carinho e ajuda, bem como pela sua amizade, todos os conselhos úteis e pelas suas palavras de incentivo para continuar.

Ao Hugo Moreira, meu namorado, por todo o amor e carinho e todos os bons momentos que me proporciona brindando-me acima de tudo com a maior amizade que posso ter, assim como o seu incomparável apoio dado ao longo de todo o meu percurso todo o companheirismo, os seus conselhos, a sua motivação e principalmente, pela sua paciência e compreensão, especialmente nos momentos mais difíceis, sendo o meu maior apoio em tudo, dando sempre a motivação necessária para continuar.

À minha amiga, Mariana Barbosa, pela especial amizade que temos, por todas as vezes que me aturou ao longo destes 5 anos repletos de aventuras, pela sua companhia, além de colega de trabalho, pela sua compreensão, preocupação e ajuda nos bons e maus momentos. Não esquecendo o seu positivismo contagiante para continuar, as gargalhadas os conselhos úteis, bem como toda a motivação ao longo de todo o trabalho.

Ao meu amigo, Filipe Pinheiro por toda a prontidão de ajuda, tanto para a resolução dos problemas informáticos, como também pelas palavras proferidas de ânimo e a sua boa disposição.

À minha amiga Inês Tavares, pela sua sinceridade e preocupação e Marta Simaria, pela boa disposição e alegria, bem como de igual modo os conselhos úteis de ambas ao longo do meu percurso, assim como ao meu amigo João Dixo, pela sua disponibilidade e ajuda, a todos um muito obrigado pela amizade.

Aos meus restantes colegas e amigos, que me acompanharam ao longo de todo o caminho, obrigada pela companhia e toda a ajuda prestada.

Aos meus Pais, o maior obrigada de todos, sem eles nada disto seria concretizável; foi um grande esforço, mas tudo foi possível graças à união; obrigada pela educação, por todos os ensinamentos, pelo amor inigualável por toda a força e apoio dado, não só nesta fase tão importante, mas também ao longo da minha vida. Desta forma, e de igual modo aos meus irmãos, por toda a força e por acreditarem tanto em mim; peço desculpa por algumas ausências, por tudo, o meu muito obrigado.

À minha família, principalmente Avós e Padrinhos, um muito obrigado por toda a força, carinho, compreensão e ajuda que me prestam ao longo de toda a minha vida, contribuindo sempre para que tudo corra da melhor forma.

## **Palavras-chave**

Geotecnia urbana, Cartografia geotécnica, SIG, Planeamento e ordenamento do território, Área urbana de Amarante

## **Resumo**

Esta dissertação apresenta um estudo preliminar da cartografia aplicada à área urbana de Amarante, apresentando o resultado dos estudos geológico-geotécnicos e de uma base de dados geotécnica. O seu principal objetivo é a compilação das diversas cartas de fatores, para obter uma proposta preliminar do esboço da carta geotécnica de Amarante. Por outro lado, sendo um local em franca expansão e urbanização ao longo dos tempos, e também pela escassez de informação, justifica o estudo exploratório da zona urbana da cidade. O trabalho envolveu, inicialmente, uma caracterização topográfica, geológica, morfoestrutural, geotécnica e hidrogeológica da área em estudo, bem como o seu reconhecimento de campo com o apoio de fichas de inventário, e equipamentos de posicionamento (GPS) e recolha de dados hidrogeológicos, por forma a organizar todos os pontos de interesse para o projecto, nomeadamente, pontos de água, focos de contaminação e afloramentos. Posteriormente, foi desenvolvida uma versão preliminar da base de dados geotécnica. Desta forma, todos os dados fornecidos pela Câmara Municipal de Amarante e os retirados do trabalho de campo, foram representados cartograficamente numa base apoiada pelos Sistemas de Informação Geográfica (SIG). A metodologia aplicada foi de grande importância para um melhor e mais alargado conhecimento, não só da zona em geral, mas também dos riscos geológico-geotécnicos inerentes ao local. De facto, a cartografia geotécnica da zona urbana de Amarante deve constituir uma ferramenta de relevância para uma previsão e para projetos mais rigorosos de futuras construções, assim como deverá ser um instrumento indispensável para a boa gestão do espaço urbano.

(página propositadamente em branco)

**Keywords**

Urban geotechnics, Geotechnical mapping, GIS, Planning and land use, Amarante urban area

**Abstract**

This dissertation comprises a preliminary study of applied mapping on Amarante urban area, presenting the results of geological and geotechnical studies and a geotechnical database. Its main goal is the compilation of several factor maps for a preliminary proposal of the geotechnical map of Amarante urban area. On the other hand, being a local expansion and urbanization over time, and also for the lack of information it justifies the exploratory study of the urban area. The work includes initially a topographical, geological, morphostructural, geotechnical and hydrogeological characterization of the study area, as well as its field recognition with the help from inventory records and positioning equipment (GPS) and also the collection of hydrogeological data, in order to organize all the points of interest for the project, namely, water points, contamination sources and outcrops. Subsequently, a preliminary version of the geotechnical database was developed. Thus, all data provided by the city Council of Amarante and those collected from the fieldwork were mapped based on Geographic Information Systems (GIS). This methodology was of great importance for a better and broader understanding not only of the area in general but also the geological and geotechnical risks intrinsic to the study site. In fact, geotechnical mapping of the urban area of Amarante, should be an important tool for support the predicting and more rigorous project future construction, and should be an essential tool for a sounding management of the urban space.

(página propositadamente em branco)

## Índice

1.	Introdução geral .....	3
1.1.	Enquadramento e objetivos .....	3
1.1.	Contribuição académica e prática .....	4
1.2.	Estrutura e organização.....	5
2.	Conceitos básicos da cartografia geotécnica.....	11
2.1.	Introdução .....	11
2.2.	Evolução da Cartografia Geotécnica.....	12
2.3.	Definição e objetivos .....	17
2.4.	Cartografia geotécnica em áreas urbanas.....	20
2.4.1.	Contributo para o planeamento urbano e ambiental .....	26
2.5.	Cartografia analógica e digital .....	28
2.6.	Aspectos na elaboração de uma carta geotécnica .....	30
2.7.	Tipos de mapas.....	33
2.7.1.	Caracterização .....	33
2.7.2.	Conteúdo dos mapas geotécnicos.....	35
2.7.2.1.	Classificação e propriedades geotécnicas de solos e rochas.....	37
2.7.2.2.	Condições hidrogeológicas e hidrológicas.....	39
2.7.2.3.	Condições geomorfológicas.....	41
2.7.2.4.	Processos geodinâmicos.....	42
2.7.3.	Métodos cartográficos.....	42
2.7.3.1.	Zonamento geotécnico.....	44
2.7.3.2.	Representação dos dados.....	47
2.7.3.3.	Perfis geotécnicos.....	48
2.7.4.	Obtenção de dados.....	49
2.7.5.	Aplicações.....	51
2.7.5.1.	Ordenamento do território .....	51
2.7.5.2.	Obras de engenharia .....	54
2.7.5.3.	Riscos geológicos .....	56

2.8.	Sistemas de informação geográfica (SIG).....	60
2.8.1.	Noções básicas .....	60
2.8.2.	Componentes de um SIG.....	65
2.8.3.	Metodologia na implementação do SIG.....	66
2.9.	Bases de dados: aplicações à geotecnia.....	67
2.9.1.	Sistemas de base de dados e modelos de dados .....	69
2.9.2.	Base de dados relacional.....	71
2.9.3.	Bases de dados geotécnicas.....	73
3.	Geotecnia urbana de Amarante: estudos preliminares para uma cartografia geotécnica .....	77
3.1.	Breve contextualização e desafios .....	77
3.2.	Aspetos Históricos do Município de Amarante.....	78
3.3.	Enquadramento regional .....	82
3.3.1.	Localização geográfica.....	82
3.3.2.	Geologia e tectónica.....	85
3.3.3.	Geomorfologia .....	86
3.3.4.	Hidrologia e Hidrogeologia.....	88
3.3.5.	Tectono-sismicidade .....	91
3.4.	Métodos e técnicas: breve síntese.....	92
3.4.1.	Inventários .....	96
3.4.1.1.	Inventário geológico geotécnico .....	97
3.4.1.2.	Inventário de focos de contaminação.....	101
3.5.	Cartografia de fatores: esboços preliminares .....	105
3.5.1.	Generalidades .....	105
3.5.2.	Esboço geológico.....	108
3.5.3.	Esboço geomorfológico.....	111
3.5.4.	Esboço hidrogeológico e de drenagem de superfície .....	112
3.5.4.1.	Inventário hidrogeológico: apresentação e caracterização dos dados.....	113
3.5.5.	Esboço da ocupação do solo .....	117
3.5.6.	Esboço de recursos geológicos, naturais e patrimoniais.....	120
3.6.	Base de dados alfanumérica: a “CART-GEOT AMAR v.00” .....	121

3.6.1.	Ligação ao Ms. Office Access .....	123
3.6.2.	Base de dados de superfície .....	126
3.6.3.	Ligação ao SIG: base de dados georreferenciada .....	129
3.7.	Esboço preliminar da aptidão geotécnica dos terrenos na área urbana de Amarante .....	130
4.	Conclusões .....	135
4.1.	Considerações conclusivas .....	135
4.2.	Perspetivas futuras .....	138
5.	Bibliografia .....	141
5.1.	Referências Bibliográficas .....	141
5.2.	Sítios Consultados .....	148

## **Índice de Anexos**

Anexo 1 – Histórico da documentação geotécnica em Portugal: uma breve síntese

Anexo 2 – Esboço dos declives da área urbana de Amarante e envolvente

Anexo 3 - Fichas de inventário geológico – geotécnico

Anexo 4 – Fichas de inventário dos potenciais focos de contaminação

Anexo 5 - Esboço geológico da área urbana de Amarante e envolvente

Anexo 6 – Resistência à compressão uniaxial

Anexo 7 - Esboço geomorfológico da área urbana de Amarante e envolvente

Anexo 8 - Esboço hidrogeológico e de drenagem de superfície da área urbana de Amarante e envolvente

Anexo 9 - Esboço da ocupação do solo da área urbana de Amarante e envolvente

Anexo 10 - Esboço dos recursos patrimoniais e naturais da área urbana de Amarante e envolvente

Anexo 11 - Esboço preliminar da aptidão geotécnica da área urbana de Amarante e envolvente

[Página propositadamente em branco]

## Índice de figuras

Figura 1. Abordagem metodológica para o estudo da área urbana de Amarante.....	7
Figura 2. Os principais campos técnico-científicos das aplicações da cartografia geotécnica em áreas urbanas relacionadas com as geociências aplicadas, a geotecnia e o planeamento territorial (adaptado de Chaminé et al., 2016).....	14
Figura 3. Aspetos a ter em consideração na cartografia para uma finalidade específica ou multi-finalidade (adaptado de Zuquette & Gandolfi, 2004). ....	20
Figura 4. Cartografia geotécnica através da dinâmica do meio ambiente e o papel do meio físico na relação com a cartografia geotécnica (adaptado de Diniz et al., 2012).....	22
Figura 5. Aspetos técnicos que relacionam a ocupação urbana e o ambiente (adaptado de Zuquette & Gandolfi, 2004; Tinós, 2011). ....	23
Figura 6. Requisitos básicos para a prevenção de desastres naturais (adaptado de Bitar et al., 2015).....	24
Figura 7. Cartas geotécnicas utilizadas para áreas urbanas, bem como a sua respetiva escala e aplicação no planeamento urbano e ordenamento do território (adaptado de Bitar et al., 2015; Souza, 2015).....	25
Figura 8. Fatores a ter em consideração na elaboração de mapas geotécnicos (adaptado de Zuquette & Gandolfi, 2004).....	31
Figura 9. Etapas na elaboração de uma carta geotécnica (adaptado de Bitar et al., 2015).....	32
Figura 10. Classificação dos mapas geotécnicos em função do seu objetivo e conteúdo proposta pela IAEG (1976), (adaptado de González de Vallejo et al., 2002). ....	34
Figura 11. Tipologia dos mapas geotécnicos. ....	35
Figura 12. Principais elementos de uma carta geotécnica (adaptado de Bitar et al., 2015).....	36
Figura 13. Classificação e descrição dos maciços para efeitos de cartografia geotécnica (adaptado de IAEG, 1981a).....	39
Figura 14. Características hidrogeológicas fundamentais (adaptado de Diniz et al., 2014).....	40
Figura 15. Fluxograma ideal com as diferentes etapas envolvidas no processo da cartografia geotécnica, com destaque para as unidades geotécnicas (adaptado de Zuquette & Gandolfi, 2004). ....	45
Figura 16. Fluxograma ideal para a aquisição de dados em cartografia geotécnica (adaptado de Pinho, 2010). ....	51
Figura 17. Conceitos fundamentais (adaptado de Lopes, 2014).....	52
Figura 18. Definição de risco geológico integrada na noção de risco ambiental (adaptado de Dias, 2010)...	57
Figura 19. Processos geodinâmicos e meteorológicos suscetíveis de originar riscos (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).....	57
Figura 20. Funções de um Sistema de Informação Geográfica (adaptado de Cunha, 2009; Pinto, 2009). ....	64
Figura 21. Descrição dos componentes de um SIG (adaptado de Fortes, 2007; Cunha, 2009).....	65
Figura 22. Componentes de um SIG (adaptado de Fortes, 2007). ....	66
Figura 23. Fluxo de trabalho em ambiente SIG (adaptado de Bateira, 2001). ....	67
Figura 24. Projeto físico e lógico de uma base de dados (adaptado de Chen, 1977).....	70

Figura 25. Características dos principais modelos das bases de dados (adaptado de Costa, 2009; Pinho, 2010). .....	71
Figura 26. Localização da área em estudo (centro histórico de Amarante e área envolvente).....	78
Figura 27. Fotografias do passado da Cidade de Amarante. (1)- vista do lado oriental da ponte de S. Gonçalo, margens direita e esquerda do Tâmega; (2)- estação de Amarante, caminho de ferro do vale do Tâmega, Minho e Trás-os-Montes (margem direita) inaugurado em 21-03-909; (3)- Bairro de Santa Luzia ( <i>arquivo do colégio de S. Gonçalo</i> ). .....	79
Figura 28. Algumas imagens da evolução recente da cidade. (1) - centro histórico de Amarante onde se encontra a Ponte de S. Gonçalo e a Igreja de S. Gonçalo; (2) - Solar dos Magalhães; (3) - Rio Tâmega; (4) - Rua Teixeira de Vasconcelos (informação retirada do sítio Canelas do Douro [consultado em Setembro de 2016]: <a href="http://canelasdodouro.comunidades.net/amarantehistoria-e-fotografia">http://canelasdodouro.comunidades.net/amarantehistoria-e-fotografia</a> ). .....	81
Figura 29. Localização geográfica do concelho de Amarante no mapa de Portugal, bem como as suas freguesias e concelhos limítrofes.....	82
Figura 30. Acessos ao concelho de Amarante e delimitação das áreas de interesse. ....	83
Figura 31. Mapa de declives da área urbana de Amarante e zona envolvente. ....	84
Figura 32. Esboço geológico da área urbana de Amarante e zona envolvente. ....	86
Figura 33. Esboço geomorfológico da área urbana de Amarante, e zona envolvente. ....	87
Figura 34. Características da bacia do Tâmega. Localização da bacia do Tâmega e sua geometria, na bacia hidrográfica do Douro. ....	88
Figura 35. Unidades hidrogeológicas de Portugal Continental. (adaptado de SNIRH, 2016). ....	89
Figura 36. Esboço hidrogeológico da área urbana de Amarante e envolvente. ....	90
Figura 37. Sismicidade da área de Amarante: A - zonas de intensidade máxima (escala internacional); B - isossistas de intensidades máximas, escala de Mercalli Modificada de 1956. ....	91
Figura 38. Equipamentos utilizados na recolha e sistematização dos dados e respetiva função. ....	93
Figura 39. Enquadramento cartográfico do concelho de Amarante.....	94
Figura 40. Fluxograma esquemático da abordagem metodológica realizada no projeto.....	95
Figura 41. Exemplo de utilização do GPS de alta precisão Trimble GeoExplorer GeoXH2005 na georreferenciação dos pontos de inventário geológico – geotécnico. ....	96
Figura 42. Exemplos de tipologias utilizadas no inventário geológico - geotécnico. (1)- Fontanário; (2)- Afloramento; (3)- Construção; (4)- Tanque; (5)- Poço e (6)- Mina.....	97
Figura 43. Localização dos pontos de inventário – hidrogeológico – geotécnico. ....	99
Figura 44. Inventariação dos pontos de água. (1)- Medição do pH, temperatura e condutividade elétrica; (2)- medição do caudal. ....	99
Figura 45. Exemplo de uma ficha de inventário geológico-geotécnico (modelo Labcarga   ISEP). ....	100
Figura 46. Exemplos dos potenciais focos de contaminação no local em estudo: (1)- jardim no parque florestal de Amarante; (2)- pneus do queimado; (3)- cemitério; (4)- centro veterinário; (5)- Escola Secundária /3 de Amarante e (6)- centro de saúde de Amarante. ....	101

Figura 47. Exemplo de uma ficha preenchida para o inventário de focos de contaminação (modelo Labcarga ISEP).....	102
Figura 48. Localização dos focos de contaminação pontuais.....	103
Figura 49. Origem dos focos pontuais de contaminação.....	105
Figura 50. Categorias dos fatores cartografados no presente estudo.....	106
Figura 51. Tipologia dos esboços cartográficos elaborados nesta dissertação para o estudo geotécnico da área urbana e envolvente de Amarante.....	108
Figura 52. Exemplos de afloramentos no local em estudo: (1) - ID_15; (2) - ID_27; (3) - ID_28; (4) - ID_36; (5) - ID_41 e (6) - ID_36.....	109
Figura 53. Exemplos de aplicação do martelo de Schmidt, tipo L (1)- ID_15; (2)- ID_27.....	111
Figura 54. Valores medianos dos parâmetros físico-químicos registados "in situ" nas diferentes tipologias: (1) - Temperatura; (2) -pH e (3) - Condutividade elétrica.....	116
Figura 55. Mapa de ocupação do solo na área urbana de Amarante (centro histórico) e área de estudo...	118
Figura 56. Património constituinte do centro urbano de Amarante. (1)- Fontanário; (2)- Igreja de São Gonçalo; (3)- Igreja de São Pedro; (4)- Ponte de São Gonçalo; (5)- Rio Tâmega e (6)- Solar dos Magalhães.....	121
Figura 57. Origem dos dados para a realização da base de dados.....	122
Figura 58. Exemplo da base de dados com alguns dos respetivos campos para o preenchimento de cada ID.....	123
Figura 59 - Exemplo da construção dos relatórios-tipo, para as atividades potenciais de contaminação de água subterrânea, em vista de estrutura, com recurso ao programa Microsoft Access.....	125
Figura 60. Exemplo da construção dos relatórios-tipo, para o inventário geológico-geotécnico, em vista de estrutura, com recurso ao programa Microsoft Access.....	126
Figura 61. Contextualização da base de dados geológico-geotécnica (CART-GEOT AMAR).....	127
Figura 62. Contextualização da base de dados de superfície sobre os potenciais focos de contaminação..	128
Figura 63. Exemplo do funcionamento da base de dados em ambiente SIG (CART-GEOT AMAR), onde se pode visualizar a localização do ponto escolhido, bem como a informação alfanumérica da tabela que lhe está associada.....	130

[Página propositadamente em branco]

## Índice de quadros

Quadro 1. Evolução dos métodos cartográficos referentes à geologia aplicada e geotecnia (adaptado de Zuquette & Gandolfi, 2004; Andrade, 2005).....	15
Quadro 2. Evolução histórica da cartografia geotécnica nos principais países do mundo (adaptado de Veiga, 2011).....	16
Quadro 3. Definição de cartografia geotécnica (adaptado de IAEG, 1976; González de Vallejo et al., 2002; Zuquette & Gandolfi, 2004; Júnior, 2007; Bitar et al., 2015). ....	18
Quadro 4. Principais objetivos e aplicações das cartas geotécnicas (adaptado de Zaine, 2000). ....	20
Quadro 5. Informações da cartografia geotécnica aplicadas para o planeamento (adaptado de Zuquette & Gandolfi, 2004). ....	21
Quadro 6. Características da cartografia analógica e digital (adaptado de Rocha, 2002).....	29
Quadro 7. Comparação entre cartografia tradicional e cartografia digital (adaptado de Câmara et al., 1996). ....	30
Quadro 8. Relação custo/ benefício das investigações geotécnicas (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).....	31
Quadro 9. Aspetos gerais na elaboração de uma carta geotécnica (adaptado de Bressani & Costa, 2015)...	32
Quadro 10. Tipologia dos mapas geotécnicos em função da sua escala e conteúdo (adaptado de González de Vallejo et al., 2002). ....	34
Quadro 11. Conteúdo importante na realização da notícia explicativa. ....	36
Quadro 12. Tipologia dos mapas geotécnicos em função da sua escala e conteúdo (adaptado de González de Vallejo et al., 2002). ....	38
Quadro 13. Alguns métodos internacionais de cartografia geotécnica (Adaptado de Zaine, 2000). ....	43
Quadro 14. Aplicabilidade das classificações de solos e rochas em cartografia geotécnica (adaptado de González de Vallejo et al., 2002). ....	46
Quadro 15. Representação cartográfica dos elementos básicos nos mapas geotécnicos (adaptado de González de Vallejo et al., 2002). ....	48
Quadro 16. Principais métodos para a obtenção dos dados constantes na cartografia geotécnica.....	50
Quadro 17. Síntese dos estudos geotécnicos a realizar, função da sua escala, para diferentes obras de engenharia (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).....	55
Quadro 18. Síntese dos conceitos de perigosidade, vulnerabilidade e de risco (adaptado de Varnes, 1984).58	
Quadro 19. Tipos de mapas de perigosidade vs. conteúdo/ metodologia adotada (adaptado de González de Vallejo et al., 2002). ....	60
Quadro 20. Síntese das principais aplicações SIG (adaptado de Bastos, 1996). ....	62
Quadro 21. Classe de declives. ....	83
Quadro 22. Elementos recolhidos para o inventário geológico – hidrogeológico – geotécnico. ....	98
Quadro 23. Síntese das principais características retiradas no inventário de potenciais focos de contaminação. ....	104

Quadro 24. Avaliação do grau de alteração e de fracturação dos afloramentos localizados, segundo a classificação ISRM. ....	110
Quadro 25. Caracterização das unidades hidrogeológicas definidas para área urbana e envolvente de Amarante (adaptado de Carvalho, 2006).....	113
Quadro 26. Síntese das principais características dos pontos de água inventariados.....	114
Quadro 27. Características físico-químicas e valores de caudal dos pontos de água.....	115
Quadro 28 - Dados das análises físico-químicas dos fontanários, fornecidos pela Câmara Municipal de Amarante. ....	117
Quadro 29. Classes de ocupação do solo na área urbana de Amarante (centro histórico) e área de estudo. ....	119
Quadro 30. Síntese do principal património existente no centro urbano de Amarante. ....	120
Quadro 31. Síntese do esboço de aptidão geotécnica dos terrenos (versão preliminar).....	131

## **Lista de Abreviaturas**

- AEG** – Association of Environmental and Engineering Geologists
- ASTM** – American Society for Testing and Materials
- BD** – Base de Dados
- CAD** – Desenho Assistido por Computador
- CGA** – Carta Geotécnica de Amarante
- CGIS** – Canadian Geographic Information System
- CMA** – Câmara Municipal de Amarante
- COS** – Classes de Ocupação do Solo
- CPT** – Cone Penetration Test
- CPU** – Unidade Central de Processamento
- DBMS** – Database Management System
- DDL** – Data Definition Language
- DML** – Data Manipulation Language
- DQL** – Data Query Language
- EIA** – Estudos de Impactes Ambientais
- F** – Grau de Fracturação
- GSL** – Geological Society of London
- IAEG** – International Association for Engineering Geology and Environment
- ICA** – International Cartographic Association
- IGeoE** – Instituto Geográfico do Exército
- IGP** – Instituto Geográfico Português

**INE** – Instituto Nacional de Estatística

**ISRM** – International Society for Rock Mechanics

**LNEC** – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

**MDT** – Modelo Digital do Terreno

**P** – Perigosidade

**PDM** – Plano Diretor Municipal

**PUFA** – Plano de Urbanização da Foz do Arelho

**R** – Risco

**RAN** – Reserva Agrícola Nacional

**REN** – Rede Energética Nacional

**RSAEEP** – Regulamento de Segurança e Ações para Estruturas de Edifícios e Pontes

**S** – Classe de Resistência

**SCN** – Série Cartográfica Nacional

**SGBD** – Sistema de Gestão de Base de Dados

**SIG** – Sistemas de Informação Geográfica

**SNIRH** – Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos

**SPT** – Standard Penetration Test

**UH** – Unidades Hidrogeológicas

**USCS** – Unified Soil Classification System

**V** – Vulnerabilidade

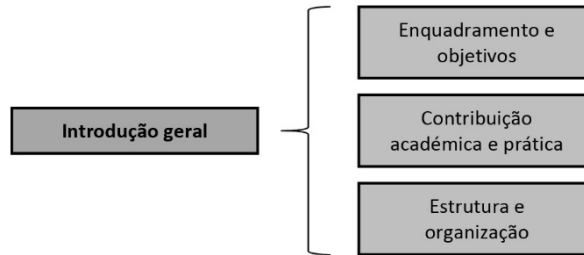
**W** – Grau de Alteração

**ZCI** – Zona Centro Ibérica

[Página propositadamente em branco]

## 1. *Introdução Geral*

---



[Página propositadamente em branco]

## **1. Introdução geral**

### **1.1. Enquadramento e objetivos**

A presente tese insere-se na Unidade Curricular “Dissertação/ Estágio/ Projeto” do 2º Ano do curso de Mestrado em Engenharia Geotécnica e Geoambiente do Departamento de Engenharia Geotécnica (DEG) do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Politécnico do Porto.

O uso do solo nas diferentes atividades humanas é um dos mais relevantes exemplos da inevitável interação entre o Homem e o ambiente. O solo assume-se como um espaço funcional relacionado com diferentes usos, quer seja habitacionais, industriais ou paisagísticos. É fulcral entender as suas características, dando especial ênfase aos aspetos geotécnicos, e desta forma consciencializar as populações, autoridades e empresas, de maneira a diminuir a perigosidade e/ou riscos, relacionados com a localização das infraestruturas, nomeadamente a queda de blocos, os deslizamentos de terras e a liquefação dos solos (Lemos et al., 2011).

A cartografia geotécnica em áreas urbanas surge devido à forte pressão de urbanização e consequente aumento da densidade da população urbana, levando à implementação de projetos de engenharia usando o subsolo, o que muitas das vezes leva à intersecção de maciços com características geotécnicas desfavoráveis. Por sua vez, e devido ao trabalho científico limitado levou à elaboração de mapas geológicos dos locais, representando um marco importante para o planeamento e ordenamento do território, bem como a definição de eventuais zonas de perigosidade ou de risco (*e.g.*, Oliveira et al., 2006; Chaminé et al., 2016)

O tratamento de dados geológicos e geotécnicos incorporados em base de dados apoiada por Sistemas de Informação Geográfica (SIG) é fundamental em questões relacionadas com o Planeamento e Ordenamento do Território, contribuindo para uma tomada de decisão sustentada e apoiada numa visão geo-espacial. Estas técnicas permitem a recolha de informação, entre outras, sobre as características do território para o seu planeamento, uso do solo, geomorfologia, águas subterrâneas e superficiais e estruturas de engenharia, sendo importantes na elaboração de programas de reconhecimento complementares e em aplicações mais desenvolvidas baseadas num conjunto extenso de dados, visando o estabelecimento de modelos conceptuais (*e.g.*, Pinho, 2010; Municípiã S.A, 2009; Meisina, 2006; Chaminé et al., 2016).

O objetivo da cartografia geotécnica é determinar como o ambiente é afetado pelos diferentes processos geológicos, suscetíveis de originar riscos, e como este será afetado no futuro,

especialmente em função da ocupação urbana. Para se obter tal conhecimento é necessário partir de observações, indicadores e conclusões retiradas do estudo sistemático da geomorfologia. O estudo é realizado do geral para o particular, onde se analisam diversos mapas preliminares e se obtêm inventários dos pontos de interesse (Bressani & Costa, 2015).

A presente dissertação pretende desenvolver uma base de dados geotécnica exploratória da área urbana de Amarante, servindo como ponto de partida para outros estudos e investigações nos domínios da cartografia geotécnica da área urbana de Amarante. Podemos destacar como principais objetivos com a realização desta dissertação, os seguintes:

- Destacar a importância da cartografia geotécnica em ambientes urbanos;
- Reconhecimento geomorfológico, geológico, hidrológico e hidrogeológico, a inspeção visual e a cartografia da área em estudo;
- A síntese e análise de todos os dados relativos à cartografia aplicada em ambiente SIG;
- A sistematização de todos os dados recolhidos de forma a criar uma futura base de dados geotécnica dinâmica, através de recolha bibliográfica (científica e técnica), bem como cadastral, cartográfica, documental e inventários de campo;
- A realização de uma cartografia geotécnica de fatores preliminar – cartografia temática a escalas convenientes;
- Estudos de geotecnia urbana, tendo em vista a preparação do esboço da “Carta Geotécnica da Área Urbana da Cidade de Amarante”, composta por uma série de cartas de fatores e cartas síntese à escala 1: 10.000.

### **1.1. Contribuição académica e prática**

Quando se pretende elaborar uma dissertação é importante pensar qual a sua contribuição tanto a nível académico, como também e neste caso como se aplica a um caso real, perceber quais os benefícios que o local em estudo poderá usufruir. Do ponto de vista académico, trata-se de um projeto aliciante, na medida em que é principalmente um tema multidisciplinar. Ao longo da licenciatura e mestrado foram adquiridos conhecimentos de várias unidades curriculares que neste momento serviram como ponto de partida para uma perceção e análise do projeto bastante mais equilibrada, sintética e organizada. Também ao longo do projeto aprofundam-se e são adquiridos novos conhecimentos e competências, bem como recebe-se um treino preliminar nas metodologias de investigação que certamente serão úteis no futuro profissional.

No que diz respeito ao ponto de vista prático, ao realizar o projeto em parceria com a Câmara Municipal de Amarante, o Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada (ISEP) e o Departamento de Engenharia Geotécnica do ISEP, poderão usufruir de novos dados e abordagens técnico-científicas, bem como uma proposta de base de dados geotécnica exploratória e também uma cartografia recente dos domínios dos terrenos de um local que apresenta características especiais e vulneráveis principalmente nos riscos geológicos, como é o caso do risco de cheias. Permitirá também, com trabalho de investigação complementar, em futuras construções na tomada de decisão relativamente ao planeamento e ordenamento do território e à engenharia civil.

## 1.2. Estrutura e organização

O seguinte trabalho encontra-se estruturado em quatro capítulos principais, caracterizados em vários subcapítulos neles incluídos, organizados da seguinte forma:

- **Capítulo 1** – Nesta primeira parte o principal objetivo passa por contextualizar o trabalho em análise indicando qual o âmbito em que se realizou, bem como os principais objetivos que se pretendem alcançar ao longo da investigação aplicada. Introduzem-se ainda algumas noções das principais temáticas a abordar ao longo do trabalho, nomeadamente: cartografia geotécnica e o seu principal objetivo de estudo, uso do solo, a relação entre a cartografia e o planeamento e ordenamento do território, assim como o papel da cartografia geotécnica que se apresenta cada vez mais importante em áreas urbanas.

- **Capítulo 2** – Este pode ser intitulado de revisão bibliográfica, e como o próprio nome sugere, apresenta um suporte teórico às principais metodologias e técnicas relacionadas com a cartografia geotécnica em meio urbano. Inicia-se este capítulo por uma pequena introdução ao tema geral, bem como a sua evolução ao longo dos tempos tanto a nível nacional como internacional e as diversas definições de vários autores estudados. Seguidamente, aborda-se uma série de temas incorporados na cartografia geotécnica, tais como: o seu contributo no que diz respeito ao planeamento e ordenamento do território, uma abordagem à cartografia digital e analógica e as suas principais diferenças, os aspetos que se deve ter em consideração aquando da elaboração de uma carta geotécnica, descrevem-se também os tipos de mapas, assim como as suas classificações, conteúdos e finalidades e os respetivos métodos cartográficos. Realiza-se um estudo sobre os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e as principais bases de dados aplicadas à geotecnia.

- **Capítulo 3** – Nesta parte apresenta-se o caso prático “Geotecnia urbana de Amarante: estudos preliminares para uma cartografia geotécnica”. Apresenta-se inicialmente uma breve

contextualização do caso prático, alguns aspetos históricos da cidade e mais concretamente na área urbana de Amarante, passando por uma caracterização do local em estudo, através do seu enquadramento regional, bem como localização geográfica, um estudo da geologia e tectónica, geomorfologia, hidrologia e hidrogeologia e a tectono-sismicidade. Posteriormente procedeu-se a uma breve descrição dos métodos e técnicas implementadas neste caso de estudo. Foram realizados os esboços preliminares das cartas de fatores, esboço geológico, geomorfológico, hidrogeológico e de drenagem de superfície, ocupação do solo e de recursos naturais e patrimoniais. É realizada uma base de dados e apresentam-se as fichas de inventário utilizadas no trabalho de campo. Finalmente, e sendo o principal objetivo, é apresentado de forma preliminar um esboço da aptidão geotécnica dos terrenos na área urbana de Amarante.

- **Capítulo 4** – Por fim, encontram-se sumarizados os pontos relevantes conclusivos dos prévios capítulos, incluindo as futuras perspetivas sobre o tema. Segue-se uma série de anexos que têm como objetivo compilar toda a informação geológico-geotécnica que constitui a base de dados, bem como toda a cartografia realizada para ilustrar a presente dissertação. Na figura 1, por forma a ser mais perceptível e estruturado, encontra-se um esquema geral da organização deste projeto.

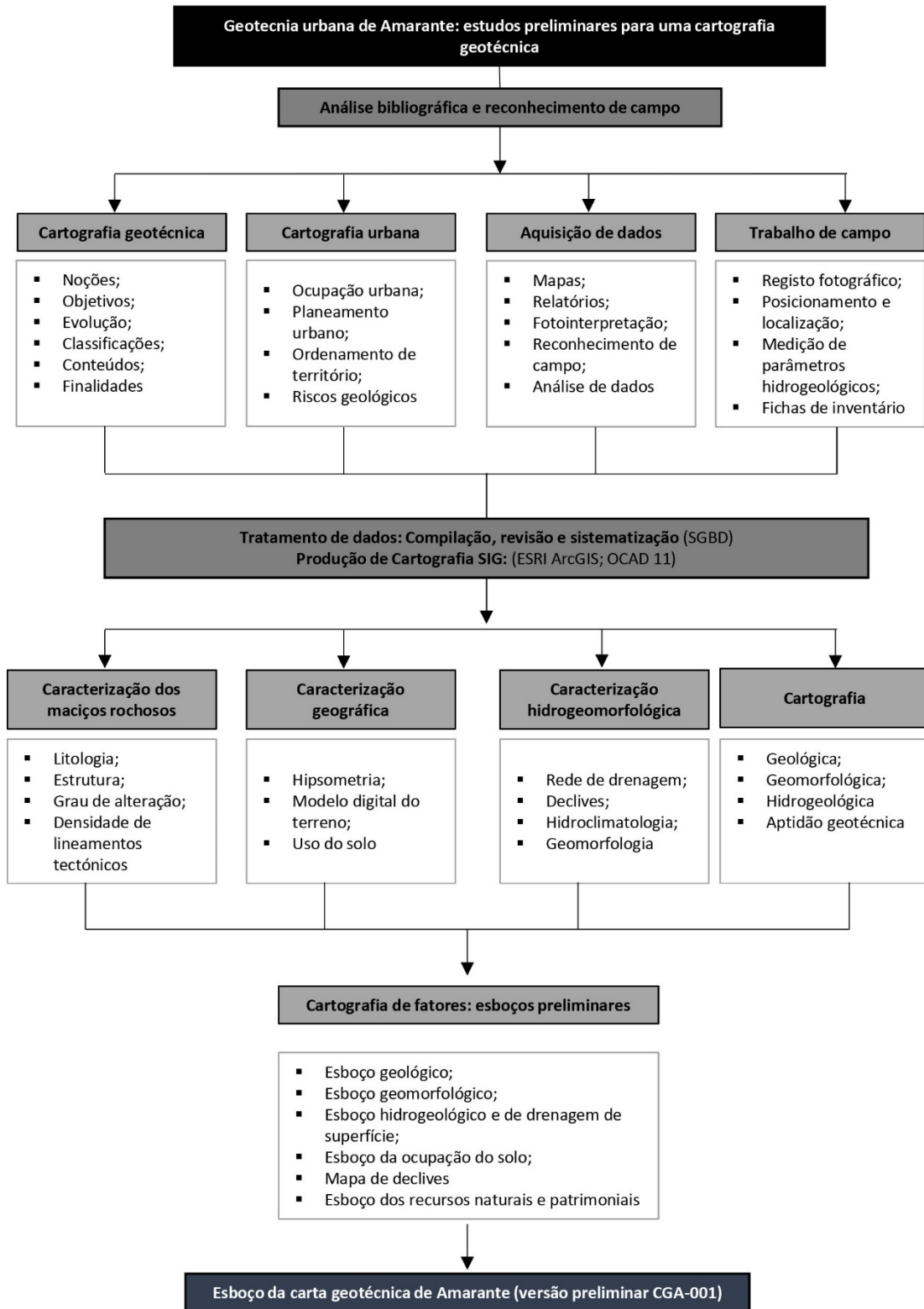
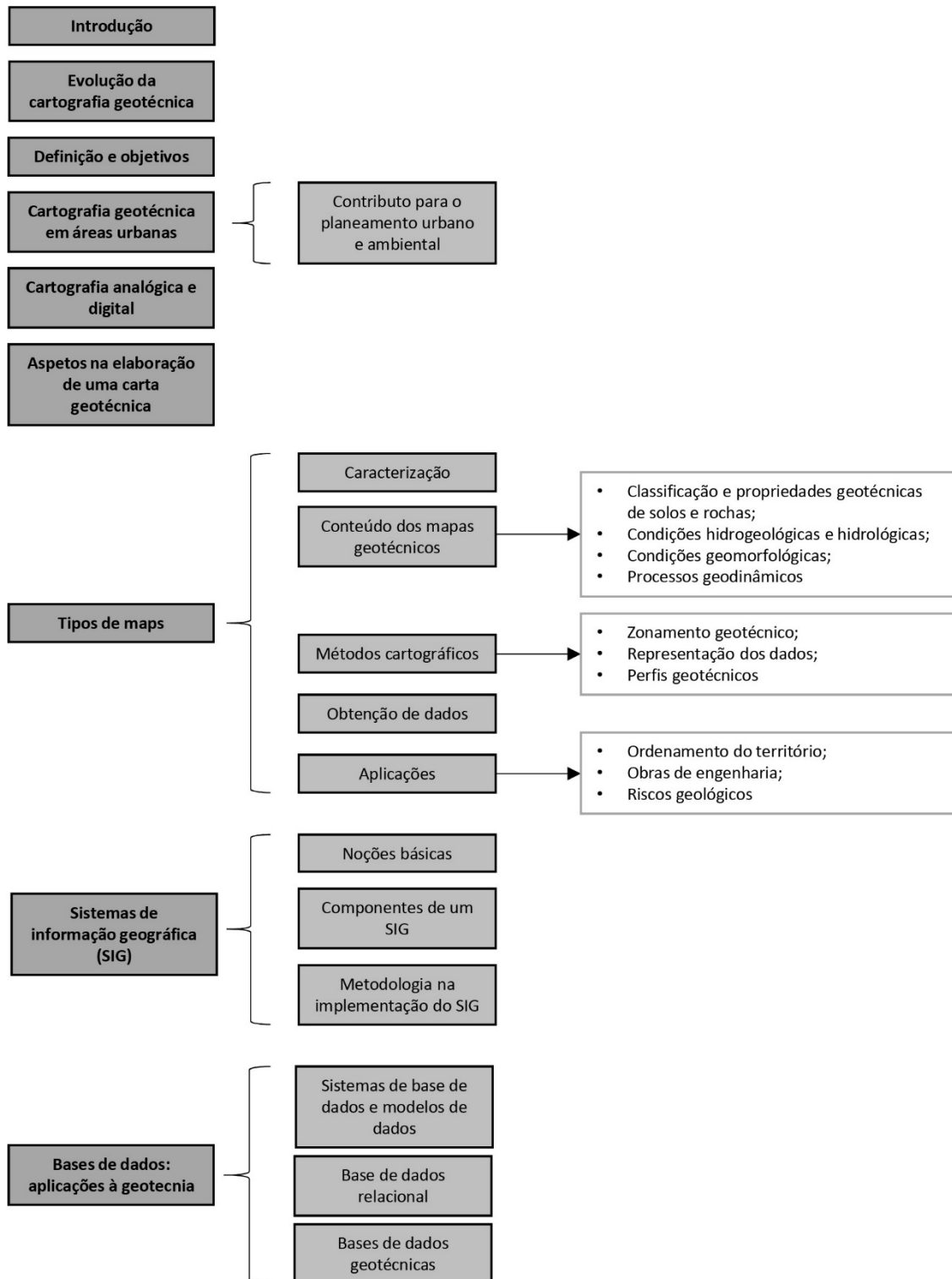


Figura 1. Abordagem metodológica para o estudo da área urbana de Amarante.

[Página propositadamente em branco]

## 2. Conceitos Básicos de Cartografia Geotécnica em Áreas Urbanas



[Página propositadamente em branco]

## 2. Conceitos básicos da cartografia geotécnica

### 2.1. Introdução

A cartografia geotécnica ao longo do tempo tem assumido um papel essencial na área das ciências da terra e das engenharias (especialmente, engenharia geotécnica, engenharia geológica e engenharia civil), alargando-se desde o planeamento urbano e regional até ao reconhecimento do meio físico. Desta forma, através do reconhecimento geológico as atividades humanas podem minimizar o comprometimento da qualidade ambiental e os seus impactos (Zuquette & Gandolfi, 2004; Franco et al., 2010).

A Associação Cartográfica Internacional (*ICA – International Cartographic Association*) definiu a cartografia como o “conjunto de estudos e operações científicas, técnicas e artísticas, que têm por base o resultado de observações diretas ou da análise da documentação, focando-se na elaboração de mapas, cartas e outras formas de expressão e representação de objetos, fenómenos e ambientes físicos e socioeconómicos bem como a sua utilização” (ICA, 1966).

Segundo Zuquette (2004), em cartografia são utilizados os termos carta e mapa, que se distinguem pela sua escala, finalidade e metodologia de elaboração, no entanto inúmeras vezes estas distinções não são consideradas levando a erros graves na elaboração de documentos cartográficos que não vão de encontro à finalidade prevista.

É recomendado o uso do termo carta para documentos cartográficos que carecem de uma maior segurança, sendo destinados à atividade humana, apresentando uma precisão de distâncias, direções, e a localização geográfica de áreas, pontos e detalhes. Já os mapas são modelos simplificados que correspondem a documentos menos rigorosos relativamente à localização espacial, dimensões de objetos, distâncias, etc., não tendo necessariamente de apresentar uma elevada precisão (IAEG, 1976; Oliveira, 1983; Franco et al., 2010). Ao longo desta dissertação estes termos serão abordados indistintamente como sinónimos.

A carta geotécnica é o produto da cartografia geotécnica, composta por um conjunto cartográfico (cartas e os seus respetivos quadros legendas) e por um relatório descritivo. Apesar destes documentos cartográficos não substituírem investigações dos locais através de ensaios e análise de amostras em laboratório, têm um papel fundamental no planeamento e a interpretação dos resultados obtidos, sendo utilizados no planeamento territorial, urbano e ambiental, e no

desenvolvimento e conservação do meio ambiente (Zuquette & Nakazawa, 1998; Franco et al., 2010).

Um mapa geotécnico deve apresentar as seguintes exigências (Dearman, 1991; Silva, 2011):

- Características geotécnicas objetivas relativas ao planeamento regional, seleção do lugar e o método de construção mais adequado;
- Prever a variação das situações geológicas referentes ao empreendimento proposto, de forma a estabelecer as medidas preventivas necessárias;
- As informações devem estar descritas para que qualquer profissional possa entender;
- As cartas geotécnicas são baseadas em cartas topográficas, geológicas, hidrogeológicas e geomorfológicas, mas devem sempre apresentar e avaliar os factos em termos de Geotecnia.

A cartografia geotécnica deve ser parte integrante ao longo de todas as investigações de cada local em análise, que em conjunto com outras técnicas de avaliação da superfície terrestre concebem a base para o desenvolvimento do modelo geológico. Por sua vez, os dados dos mapas, os dados de investigação do subsolo e o modelo geológico de engenharia devem ser combinados no início de cada construção e estudados/ melhorados ao longo da realização de cada empreendimento (Griffiths, 2001).

Segundo Dearman & Fookes (1974), a crescente evolução da cartografia terá uma influência significativa no aumento:

- Do mapeamento geomorfológico na fase de reconhecimento;
- Do mapeamento de investigação local como parte das investigações convencionais;
- Do mapeamento geotécnico em investigações específicas e projetos;
- Do mapeamento ligado a situações urbanas.

## **2.2. Evolução da Cartografia Geotécnica**

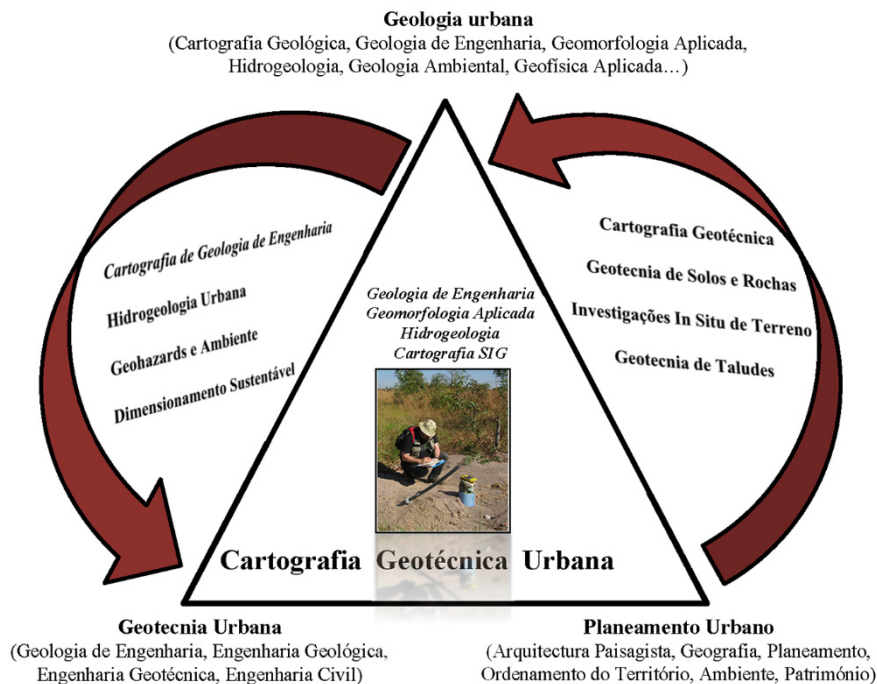
Pensa-se que os registos cartográficos datam do início das civilizações, surgindo com a necessidade de o Homem ocupar o ambiente, bem como de organizar a sociedade, de forma a definir o melhor local para a sua habitação, assim iniciaram os desenhos nas cavernas, chão e pedras. Na antiguidade os mapas eram usados para assinalar marcos históricos da época, sendo instrumentos de poder, documentos administrativos destacando-se uma grande relevância em rituais sagrados. O mapa mesopotâmico de Ga-Sur é o mais antigo de que existe conhecimento produzido pelos babilónios em meados de 2500 a.C. (Bastos, 1996; Oliveira, 2011). Por tal, como se considera que um

documento cartográfico é todo e qualquer registo de dados e informações contendo ou não escala de um espaço geográfico, no qual existam pontos referenciais não se pode afirmar com exatidão quando foi executado o primeiro registo (Zuquette & Gandolfi, 2004).

Com o decorrer dos tempos o avanço das tecnologias e da sociedade, bem como a criação de normas e referências para a elaboração de mapas, levou à mudança do conceito de documento cartográfico, culminando em produtos cartográficos bem diferentes daqueles desenvolvidos em tempos antigos. Já nos séculos XV e XVI, aparecem mapas considerados de excelente qualidade para a época em questão (Zuquette & Gandolfi, 2004). No século XIX, William Smith (citado por Doobs et al., 2012), produziu “o primeiro mapa geológico”. Na primeira guerra mundial os mapas eram utilizados por engenheiros militares, principalmente para a escavação de trincheiras militares, sendo que no final desta o maior desenvolvimento desencadeou-se na Alemanha, Polónia e nos antigos territórios da URSS e da Checoslováquia (Dearman, 1991; Doobs et al., 2012). Com o início da segunda guerra mundial os mapas geológicos para fins militares passaram a ser utilizados pelas forças britânicas com maior ênfase na preparação para os desembarques do dia D na Normandia (Doobs et al., 2012).

No Reino Unido, os mapas geológicos eram realizados com unidades de mapas lito-estratigráficos, sem qualquer informação suplementar, o que lhes proporcionava um uso limitado no planeamento e nas obras de engenharia. Durante o século XX, em particular nos últimos decénios, acentuou-se o desenvolvimento da geologia aplicada às construções e da geologia de engenharia bem como a discussão sobre a importância das informações correspondentes ao meio físico de forma a definir a melhor representação das suas variações e da espacialização tridimensional, contribuindo para que os mapas geológicos começassem a surgir com várias formas e em várias escalas passando a ser mais adequados para o ordenamento do território, engenharia, construção e manutenção de infraestruturas. Já no final de 1970 e início de 1980 o departamento do meio ambiente na Inglaterra e Gales, observando que muitas das informações dos mapas não estavam em uso, realizaram um estudo com o intuito de todos os profissionais ligados às ciências da terra pudessem interpretar os mapas corretamente (Doobs et al., 2012). No entanto, para que seja viável obter um correto e aprofundado conhecimento geológico-geotécnico é fulcral a cooperação entre geógrafos, geólogos, geomorfólogos, engenheiros, arquitetos paisagistas entre outros profissionais que apresentem uma ligação para com o meio físico (figura 2). Um dos exemplos mais emblemáticos publicado em 1902 e alargando-se até 1905 pelos serviços geológicos dos E.U.A, assenta na cartografia geológica passando pela realização de cerca de 1400 sondagens e reconhecimentos

geológicos de superfície com a finalidade de planeamento e ordenamento urbano da cidade de Nova Iorque (Smith & Ellison, 1999; Zuquette & Gandolfi, 2004; Pinho, 2010; Doobs et al., 2012).



**Figura 2.** Os principais campos técnico-científicos das aplicações da cartografia geotécnica em áreas urbanas relacionadas com as geociências aplicadas, a geotecnia e o planeamento territorial (adaptado de Chaminé et al., 2016).

As cartas geotécnicas ou mapas geotécnicos assim denominadas, apenas surgiram em 1913 na feira de construção de Leipzig (Alemanha), proposto por Langen através de documentos cartográficos com informações geológico-geotécnicas, originando a partir do momento mapas com maiores informações, análises mais diferenciadas e detalhes em função das escalas, alargando a sua utilidade à engenharia, planeamento e meio ambiente, servindo de apoio ao desenvolvimento das cidades de Erfurt, Frankfurt e Dantzig (Zuquette & Gandolfi, 2004; Rodrigues, 2008; Veiga, 2011).

Segundo Zuquette & Gandolfi (2004) surgiram a partir deste momento dois pontos de vista:

- O primeiro voltado para o aproveitamento de informações pré-existentes, onde já existiam bons registos e muitas informações (cartografia geotécnica);
- O segundo ligado a locais onde as informações não existiam em número suficiente nem os dados tinham a organização adequada. Este aplica-se à maioria dos países do hemisfério sul e parte dos países do hemisfério norte.

Foram vários os procedimentos para que se desenvolvesse a cartografia propriamente dita, estes foram apresentando técnicas de melhoramento de conteúdo e da sua representação gráfica. No quadro 1 são representados os métodos utilizados.

**Quadro 1.** Evolução dos métodos cartográficos referentes à geologia aplicada e geotecnia (adaptado de Zuquette & Gandolfi, 2004; Andrade, 2005).

Métodos e Sistemas cartográficos	Ano	Local	Descrição
Método de Moldenhawer	1919	Vila de Dantzig	Conversão da carta geológica da vila de Dantzig numa carta geotécnica; dividiu os terrenos conforme a sua profundidade e apresentou o resultado em dois tipos de mapas (sondagens e geotécnico).
Método de Stremme	1932	*ND	As cartas seguiam o esquema adotado por Moldenhawer. As cartas geológicas assentavam em problemas relativos a materiais de construção, águas e condições dos terrenos, enquanto as cartas geotécnicas assentavam nas capacidades de carga admissíveis para fundações e a possibilidade de escorregamentos.
Método de Müller	1938	Comunidade de Mark	Publicou um mapa geológico de afloramentos, uma carta de terrenos adequados para construção (interpretativa) e uma carta de planeamento, utilizando cores e sinais para distinguir as unidades, as suas características e componentes.
Método de Groschopf	1951	Região de Ulm	Intuito de especificar um tipo de caracterização gráfica. O mapa geológico apresenta os materiais aflorantes, representados por cores e o substrato rochoso por letras.
Método de Gwinner	1956	Vila de Goutturgen	Foi o primeiro a pensar em unidades geotécnicas, tendo por base a proposta de Terzaghi de interação dos dados das propriedades físicas e o comportamento mecânico dos solos com as condições geológicas. Destaca-se a legenda utilizada que apresenta as diferenças entre as unidades, designadas por zonas.
Sistema de Benz	1951	Cidade de Stuttgart	Baseia-se na subdivisão da área por zonas de acordo com os princípios de ensaios de mecânica dos solos e analisando as camadas de acordo com a capacidade de suporte para construção.
Sistema de Graupner	*ND	*ND	Sistema composto por três pares de cartas e fichas, em que cada par está ligado às sondagens, hidrologia ou zonas de construção. Foram adotadas escalas de 1:10.000 no reconhecimento urbano e 1:1000 em problemas com soluções específicas.
Método de Quadran	1956	Freiberg- Escola Superior de Minas	É apresentado como o método do quadrante do relógio, ao qual cada divisão apresenta a variação das características do meio físico, tais como espessura ou nível de água, sendo proposto por Wawser, Rieger e Hille.

Nota: \*ND – Não definido

Apesar do desenvolvimento da cartografia geotécnica tenha sido de forma muito irregular, em zonas urbanas tem vindo a sofrer avanços muito significativos (Veiga, 2011). A sua evolução deu-se ao longo do tempo, passando pela contribuição de diversos países. No quadro 2 está descrita resumidamente a evolução histórica nos países que mais contribuíram para que hoje se possa obter um mapa o mais consolidado possível e para que os diferentes profissionais possam interagir entre si de forma a entenderem corretamente o que estes querem transmitir.

**Quadro 2.** Evolução histórica da cartografia geotécnica nos principais países do mundo (adaptado de Veiga, 2011).

Ano	Local	Descrição
1777	Paris	Os mapas mineiros auxiliaram na construção de obras geotécnicas; Paris cresceu sobre antigas minas de carvão
1913	Leipzig	Primeiras cartas geotécnicas; Apoio ao desenvolvimento de várias cidades alemãs
1926	Ex-Checoslováquia	Realização de cartas para apoio ao desenvolvimento da cidade de Praga
1947	Ex-Checoslováquia	É publicado um conjunto de normas para a realização de cartas geotécnicas
1954	Ex-República Federal Alemã	Surge o conceito de unidade geotécnica
1955	Ex- URSS	Publicação de um livro sobre as técnicas de elaboração de cartas geotécnicas; Obtêm-se uma aproximação do conceito de zonamento
1955	Finlândia	Armazenamento de dados geotécnicos; Realização de mapas à escala 1: 2000 para toda a cidade
1967	Ex-República Democrática Alemã	Produção de cartas geológicas para fins de engenharia
1967	França	Desenvolvimento de um sistema automatizado de armazenamento e recuperação de dados
1969	Tóquio	Aparecimento dos mapas geotécnicos
1970	Finlândia	Realização de mapas à escala 1:5000 para o centro da cidade
1971	Seul	De forma a prever zonas problemáticas, gerou-se um sistema de informações geotécnicas para apoio a obras metropolitanas
1979	Turim	Início da cartografia do subsolo através da recolha de sondagens, pontos de campo e realização de uma base de dados
1981	São Carlos	Trabalho de mapeamento geotécnico preliminar da região
1985	Tóquio	Criação de um sistema que permite, mapas gerados automaticamente e que possam ser impressos
1986	Amesterdão	Realização de um mapa geotécnico que englobava as principais unidades estratigráficas até 40m de profundidade
1990	Amesterdão	Criação de um sistema com o intuito de auxiliar em projetos de obras subterrâneas para elaborar mapas; Desenvolveu-se um SIG 3D para avaliar os riscos de subsidência de uma linha de metro
1992	Finlândia	Início de um projeto de planeamento subterrâneo de cidades
1993	Mineápolis	Trabalho de caracterização das condições de superfície, resultando num mapa de zonamento para a construção de túneis
2008	Atenas	Trabalho de georreferenciação de dados geotécnicos

Relativamente a Portugal, importa salientar um documento histórico no final do século XIX, da escavação do túnel do Rossio, em Lisboa que foi um dos primeiros exemplos portugueses, mas sem qualquer ligação ao atual conceito de cartografia. No entanto, foi a partir da 2ª Guerra Mundial que a caracterização geotécnica dos terrenos assume uma maior relevância. (Veiga, 2011; Silva, 2015).

Em 1962, nasce o primeiro projeto de carta geotécnica aplicado ao planeamento regional e urbano. Após a reunião de vários elementos, surge a carta geotécnica de Lisboa (LNEC, 1962). Com a necessidade de implementar uma ocupação mais racional do espaço territorial e servir da melhor forma as populações, são realizados trabalhos de caracterização geotécnica. Estes serviram de apoio para a elaboração (Veiga, 2011):

- Plano urbanístico do Monte da Caparica;
- Carta geotécnica da área de Sines;
- Carta geotécnica da área do plano de recuperação da Brandoa-Falagueira.

Posteriormente, outros importantes estudos contribuíram para salientar o conhecimento da caracterização geotécnica de terrenos em Portugal, como por exemplo, a carta geotécnica da cidade do Porto, atualmente com duas edições (Oliveira et al., 2006), ou a cartografia das condicionantes geotécnicas à expansão do núcleo urbano da Covilhã.

Seguidamente, com a expansão urbana a cartografia geológica passou a incorporar a informação geológica e geotécnica através de sondagens geotécnicas, constituindo um papel fundamental no reconhecimento dos materiais de fundação. Na década de 90, começaram a surgir os primeiros trabalhos com sistemas de informação geográfica (SIG). Foi também uma época importante no desenvolvimento de trabalhos de caracterização geotécnica aplicados a espaços urbanos em várias regiões do país. Todavia, existem outros trabalhos sobre cartografia geotécnica de solos e rochas em várias localidades de Portugal, nomeadamente ligados a publicações científicas, investigações de mestrado ou doutoramento e relatórios de estágio (Anexo 1). É de salientar, os inúmeros trabalhos de produção geotécnica urbana em Lisboa, originando elaboradas bases de dados com o propósito de desenvolver a Carta Geotécnica da Cidade de Lisboa (Pinho, 2010; Veiga, 2011; Silva, 2015).

### **2.3. Definição e objetivos**

A cartografia geotécnica (ou cartografia de geologia de engenharia) é circunscrita ao longo dos tempos por vários autores (quadro 3), com principal ênfase no desenvolvimento das sociedades em harmonia com o meio físico e ambiental. Contém informações de índole geológico-geotécnica indispensáveis para o planeamento e gestão do território, bem como para os projetos, e para a construção e manutenção de obras de engenharia (Pereira, 2009; Pinho, 2010).

De um modo geral, todos os autores concordam que o produto gerado pela cartografia geotécnica deve estar diretamente relacionado com a ocupação do meio físico e ambiental, assim como nos trabalhos de engenharia. No entanto, na elaboração de cartas geotécnicas, cada autor ou organização define o tema de acordo com a metodologia utilizada, atribuindo-lhe um toque pessoal e subjetivo. Desta forma, cartas geotécnicas com os mesmos princípios e objetivos, nas mesmas áreas físicas, com igual escala e em condições de trabalho idênticas, podem resultar em produtos ligeiramente diferentes. Em suma, deve entender-se que a cartografia geotécnica envolve um conjunto de ações, por forma a elaborar mapas e cartas com o princípio do reconhecimento geotécnico, com a finalidade de inventariar, caracterizar, sistematizar, classificar, analisar e avaliar os atributos que compõem o meio físico, representando adequadamente a variabilidade dos

mesmos, sejam geológicos, hidrológicos, pedológicos, territoriais (Zuquette & Gandolfi, 2004; Júnior, 2007; Pinho, 2010).

**Quadro 3.** Definição de cartografia geotécnica (adaptado de IAEG, 1976; González de Vallejo et al., 2002; Zuquette & Gandolfi, 2004; Júnior, 2007; Bitar et al., 2015).

Autor	Definição
Bitar et al. 2015	Ferramenta de planeamento que integra dados e informações básicas sobre as características geotécnicas do solo numa determinada área, apresentando as suas interações com a intervenção humana no uso e ocupação do solo
Dearman & Fookes 1974	Documento onde se delimitam as unidades de acordo com propriedades ou comportamentos geotécnicos
Varnes 1974, 1984	Um mapa geotécnico para ser realizado requer operações físicas de adição, seleção, generalização e transformação relacionadas com a litologia, estrutura dos solos e rochas, hidrogeologia, geomorfologia e processos geológicos
IAEG 1981,a,b, 2005	Carta que fornece uma representação de todos os componentes do meio geológico, relevantes para o ordenamento do território e para a conceção, construção e conservação de obras de engenharia civil, geológico - mineira e geotécnica
González de Vallejo et al. 2002	Representar cartograficamente informação geológico - geotécnica ou outra, com o intuito de apoiar o planeamento e ordenamento do território e o projeto, construção e gestão de obras de engenharia
Matula 1979	Um bom mapa geotécnico é o que melhor ilustra o ambiente geológico e tem aplicação em engenharia e outros
Joly (in Zuquette & Gandolfi, 2004)	É a arte de conceber, levantar, redigir e divulgar os mapas
ICA (in Zuquette & Gandolfi, 2004)	Conjunto de estudos, que têm por base o resultado de observações diretas e análise de documentos, focando-se na elaboração de cartas geotécnicas
Prandini et al. (in Zuquette & Gandolfi, 2004)	Ferramenta de aplicação do conhecimento, que congrega os métodos e as técnicas numa investigação que procura estabelecer unidades territoriais homogêneas, quer a problemas manifestos, quer a potenciais, além de formular orientações técnicas para a ocupação de cada unidade. Trata-se de um trabalho multi e interdisciplinar, que envolve a geologia fundamental, a geologia de engenharia, a pedologia, a climatologia, a hidrologia, entre outros

A cartografia geotécnica serve como base para a caracterização geral do ambiente físico (relevo, solo, rocha), bem como avaliação preliminar quantitativa do comportamento mecânico dos solos prevendo-se riscos ambientais e a identificação de potenciais impactos nas obras de engenharia (Ribeiro et al., 2012). Por tal, este terá de ser um documento gráfico rigoroso e o menos subjetivo possível, que contenha a informação necessária para o planeamento e a gestão do território, apoiando os projetos de engenharia de acordo com a aptidão geotécnica dos terrenos (Pinho, 2010).

Segundo Franco et al (2010), como a cartografia geotécnica tem a capacidade de sintetizar vários parâmetros do meio físico, a sua utilidade nos últimos anos assenta sobre:

- Produção de mapas e cartas de suscetibilidade, zonamento, risco de erosão e movimentos de terra;
- Escolha de áreas para expansão urbana;
- Diagnósticos geoambientais em bacias hidrográficas;
- Definição de áreas para a deposição de resíduos sólidos e construção de barragens e estradas;
- Auxílio na realização de Planos Diretores e Estudos de Impactes Ambientais (EIA).

Pode-se afirmar que as cartas geotécnicas são produtos cartográficos que apresentam a distribuição dos diferentes tipos de rochas e solos, tendo por base as características mecânicas e hidráulicas na conjugação do meio físico, com o objetivo de definir as limitações, potencialidades e as possíveis necessidades de intervenção do uso urbano e rural (Sobreira et al., 2012). Apesar destas constituírem uma ferramenta de extrema importância para a engenharia, não devem ser utilizadas para substituir uma investigação específica, mas sim como ferramentas de apoio, particularmente na decisão e previsão de possíveis condicionantes geológico-geotécnicos, ou até na planificação de investigações “in situ”. Além de que, estas devem estar armazenadas em bancos de dados, pois são suscetíveis de sofrer alterações e serem melhoradas após a sua execução (González de Vallejo et al., 2002; Zuquette & Gandolfi, 2004; Pinho, 2010). Segundo González de Vallejo et al. (2002), as cartas geotécnicas com relevância para a engenharia devem conter os seguintes elementos:

- Descrição e classificação geotécnica dos solos e rochas;
- Propriedades petrofísicas e mecânicas dos materiais geológicos e outros;
- Condições e processos hidrológicos, bem como a distribuição da rede de drenagem;
- Condições e processos hidroclimatológicos, hidrogeológicos, hidrogeomorfológicos;
- Condições e processos geodinâmicos, morfodinâmicos e geo-riscos.

Da mesma forma, que os conteúdos e o detalhe exigido da informação, bem como o grau de complexidade na elaboração das cartas geotécnicas, são função dos aspetos seguintes (González de Vallejo et al., 2002; Zuquette & Gandolfi, 2004; Pinho, 2010):

- Da escala e da extensão;
- Dos objetivos concretos que se pretendem alcançar;
- Da importância dos diferentes fatores geológico-geotécnicos e as suas relações;
- Da informação disponível, dados e a representatividade;
- Das técnicas de representação.

Como as cartas geotécnicas são um processo aplicado à investigação e avaliação geológico-geotécnica, não são definidas para uma única finalidade. Caso se pretenda aplica-las a uma única finalidade, o estudo deve ter um objetivo específico, obrigando a uma seleção prévia dos atributos ou uma multi-finalidade, onde os atributos devem ser escolhidos de forma a recolher o maior número de informação, neste contexto devem ser definidas diversas condições (Figura 3). As cartas geotécnicas devem ser elaboradas segundo uma metodologia que deve abranger um conjunto de conceitos, técnicas, métodos, classificações, recursos tecnológicos de investigação e processamento utilizados ao longo das diferentes etapas. No entanto, para que esta seja eficiente, deve considerar alguns pressupostos nomeadamente: atributos considerados, a gama de

heterogeneidade e a classificação devem ter em conta a escala; a ordem de obtenção dos atributos; as definições de como, quando e onde estabelecer a rede de amostragem; os critérios para definir o nível de generalização das informações e como serão representadas (Zuquette & Gandolfi, 2004; Pinho, 2010).



**Figura 3.** Aspectos a ter em consideração na cartografia para uma finalidade específica ou multi-finalidade (adaptado de Zuquette & Gandolfi, 2004).

Os objetivos das cartas geotécnicas variam conforme o nível de detalhe desejado. No quadro 4, estão representados os objetivos das cartas geotécnicas, assim como algumas das possíveis aplicações (Zaine, 2000).

**Quadro 4.** Principais objetivos e aplicações das cartas geotécnicas (adaptado de Zaine, 2000).

Objetivos	Aplicações
Utilização racional do espaço físico disponível;	Auxílio na elaboração de projetos ligados ao planeamento e gestão do uso e ocupação do solo;
Conservação ambiental e proteção dos recursos naturais;	Auxílio nos estudos de impacte ambiental;
Aplicação de critérios técnicos na expansão da ocupação e a recuperação de áreas degradadas;	Proibição da ocupação de áreas de possíveis riscos geológicos;
Segurança dos edifícios e da população;	Na definição dos locais mais adequados para a execução de obras de engenharia;
Otimização da aplicação de recursos públicos e privados;	Na melhor estimativa dos custos na realização de empreendimentos;
Orientação nos estudos e ensaios específicos nos projetos de engenharia	Na tomada de decisão dos critérios técnicos para manutenção de obras de engenharia

## 2.4. Cartografia geotécnica em áreas urbanas

O acelerado processo de urbanização e o crescimento das cidades, ocasionado pela intensa migração da população rural para as áreas urbanas, tem alterado substancialmente a fisiologia das paisagens. Na maioria das situações estas áreas não possuíam qualquer tipo de planeamento para receber toda a população, levando à criação de um mau ordenamento dos territórios urbanos (Canil, 2001). Desta forma, a cartografia geotécnica tem sido aplicada nos diversos países como uma ferramenta que ajuda a definir, bem como a fiscalizar a ocupação do território, de maneira adequada e com o devido respeito nas áreas que apresentam interesse ambiental, fornecendo informações para o planeamento do território tanto a nível regional como urbano. No quadro 5 encontram-se as informações necessárias a retirar das cartas geotécnicas que têm aplicação no

planeamento urbano e regional, sendo que neste trabalho apenas se dará relevância ao planeamento urbano.

**Quadro 5.** Informações da cartografia geotécnica aplicadas para o planeamento (adaptado de Zuquette & Gandolfi, 2004).

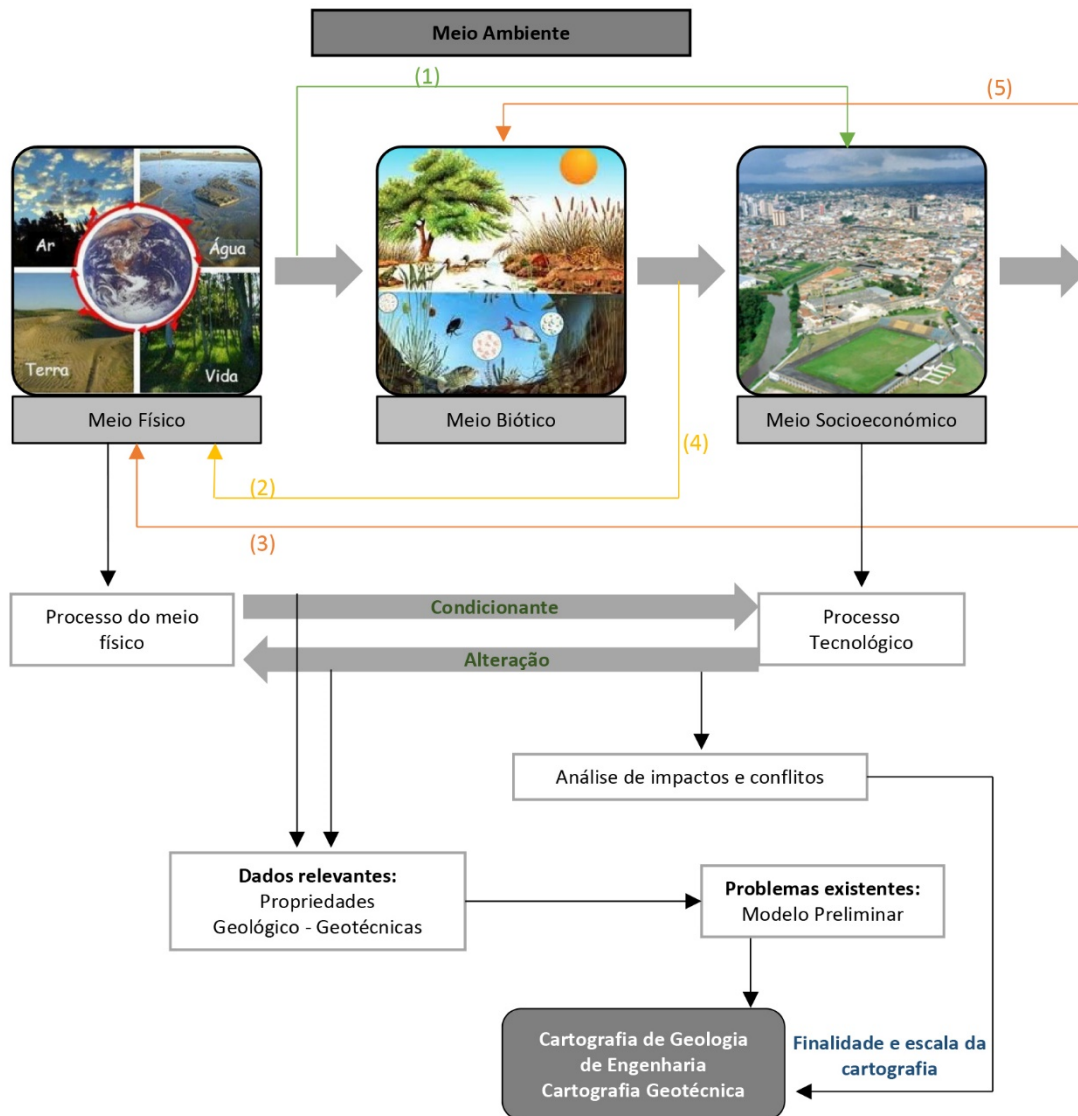
Planeamento Urbano	Planeamento Regional
Localização de estradas	Localização de estradas
Planeamento para o desenvolvimento residencial	Proteção das áreas de recarga de aquíferos
Fundações	Construção de aterros
Deposição dos resíduos industriais ou domésticos	Deposição de rejeitos
Seleção das áreas para indústria	Locais para obtenção de materiais de construção
Adaptação dos edifícios	Análise geral para fundações
Áreas de lazer	Áreas agrícolas
Controlo de cheias	Avaliação de estradas
Descoberta de possíveis jazidas minerais	Controlo da erosão

Os mapas apresentam uma importância fundamental nas geociências e práticas urbanas de engenharia, principalmente na síntese e comunicação de dados de campo, tais como geologia aplicada, geomorfologia, geologia de engenharia, geotecnia de solos e rochas, estabilidade geotécnica das encostas, investigações geotécnicas do subsolo, hidrologia urbana, hidráulica e saneamento, gestão da zona costeira, arqueologia urbana e património, planeamento e uso do solo. A correta utilização das cartas geotécnicas é essencial para auxiliar a prevenir e a evitar problemas correspondentes ao uso e ocupação do solo, desde os mais simples até aos que podem ocasionar desastres naturais (Bitar et al., 2015; Chaminé et al., 2016).

Segundo Zuquette & Gandolfi (2004), a cartografia geotécnica intervém nas diversas fases de reconhecimento em algumas ocupações específicas que são executadas no planeamento, por forma a respeitar os recursos naturais, as limitações e as condições favoráveis que induzem situações de ocupação. Esta pode fornecer dados de inventário, de análise e de escolha do possível local nas fases preliminares, no entanto não é aplicável na fase de investigação local. O planeamento deve ter em consideração tanto o meio biótico, como também o meio físico, e ser entendido de forma a escolher as melhores alternativas para o uso sustentável do meio físico, nomeadamente considerar as estimativas de aumento populacional, industrial e do crescimento dos centros escolares e sociais. Desta forma, todos os profissionais de geotecnia visam contribuir para um correto estudo do comportamento dos solos e rochas, assim como as suas aplicações sustentáveis para a natureza e ambiente e o desenvolvimento da sociedade (Chaminé et al., 2016).

A figura 4 mostra a ligação entre os diferentes componentes do meio ambiente, assim como a relação entre os processos do meio físico e tecnológico (técnicas aplicadas nas atividades de uso e

ocupação do solo). Estas têm interferência nas propriedades geológico-geotécnicas que auxiliam na elaboração do modelo preliminar de compartimentação dos terrenos na cartografia geotécnica (Diniz et al., 2012).

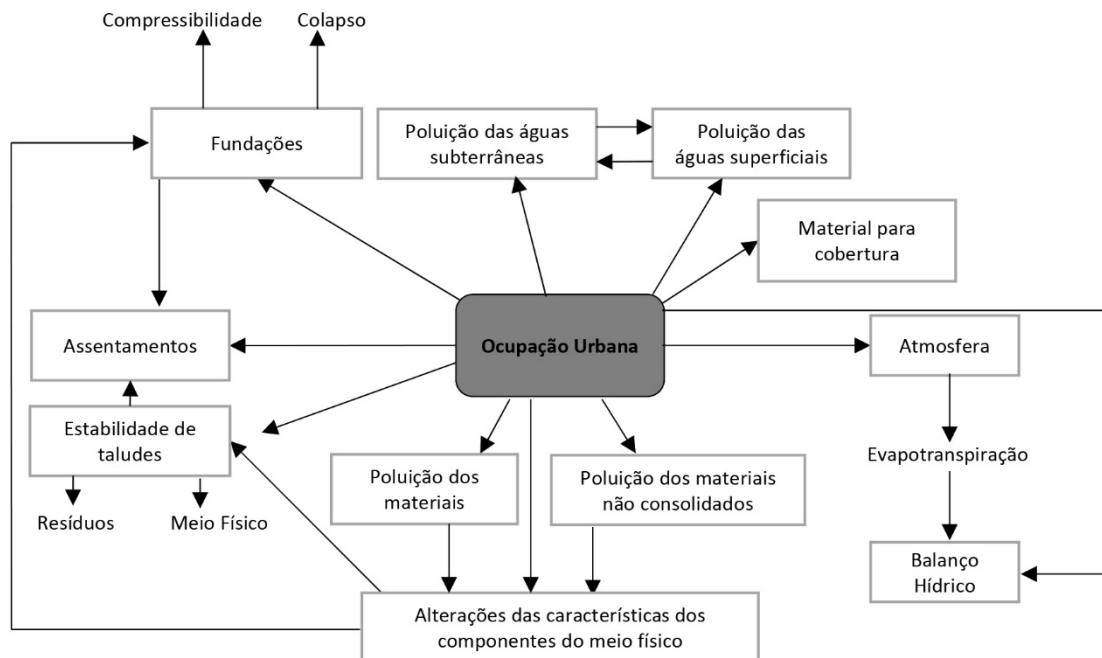


**Figura 4.** Cartografia geotécnica através da dinâmica do meio ambiente e o papel do meio físico na relação com a cartografia geotécnica (adaptado de Diniz et al., 2012).

Como se verifica na figura anterior, o meio físico condiciona as características do meio biótico e socioeconómico (1), através de fluxos de energia e matéria. Estes, por retroalimentação complementam a interação com o meio físico, por forma a regular os seus processos (2) e (3). Os pontos (4) e (5), resultam da relação entre o meio biótico e socioeconómico. Através dos condicionantes entre o meio físico e as suas alterações, nomeadamente empreendimentos, obtêm-se os dados relevantes para a elaboração de cartas geotécnicas, estas geram um conjunto de informações que permitem aos utilizadores avaliar a predisposição de uma determinada área a processos naturais como a erosão, as inundações, a queda de blocos e os movimentos de massa.

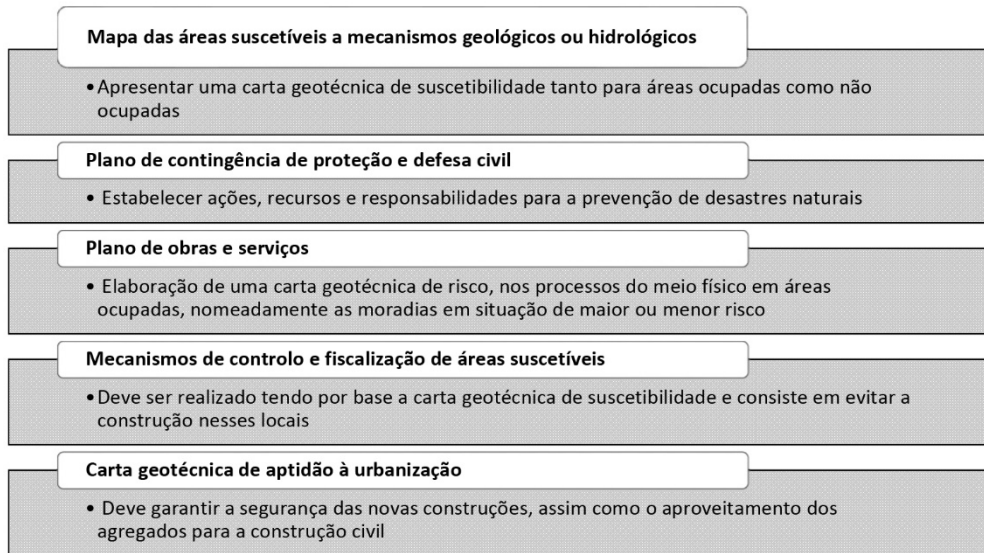
No entanto, os problemas surgem da alteração de processos naturais causados pela ocupação, dando origem aos impactes ambientais e aos conflitos de uso. É de salientar a importância do modelo preliminar quando se consideram as propriedades geológico-geotécnicas (Zuquette & Gandolfi, 2004; Diniz et al., 2012).

De forma a determinar quais as propriedades a considerar na cartografia geotécnica definida para o planeamento urbano, é necessário perceber todas as relações entre o trabalho a realizar e o meio ambiente, como se pode verificar na figura 5. Esta relaciona os aspetos que interferem nas ocupações urbanas e que orientam o desenvolvimento dos estudos na realização de mapas geotécnicos de um dado local quanto ao seu comportamento relativamente à expansão urbana (Zuquette & Gandolfi, 2004; Tinós, 2011).



**Figura 5.** Aspetos técnicos que relacionam a ocupação urbana e o ambiente (adaptado de Zuquette & Gandolfi, 2004; Tinós, 2011).

Para definir as áreas favoráveis e com restrições de ocupação é essencial analisar de forma cuidada, os condicionantes naturais e antrópicos responsáveis pela propagação dos processos, os tipos de configurações erosivas, bem como considerar a legislação já existente para a preservação ambiental e a monitorização das áreas de risco, usando os resultados dos estudos principalmente no auxílio da elaboração do Plano Diretor Municipal. Este deverá fazer parte de todos os municípios com áreas suscetíveis de deslizamentos, inundações ou mecanismos geológicos e hidrológicos, no entanto para que os municípios possam atuar na prevenção de desastres naturais, é necessário ter em atenção alguns requisitos básicos, conforme referido na figura 6 (Canil, 2001; Bitar et al., 2015).



**Figura 6.** Requisitos básicos para a prevenção de desastres naturais (adaptado de Bitar et al., 2015).

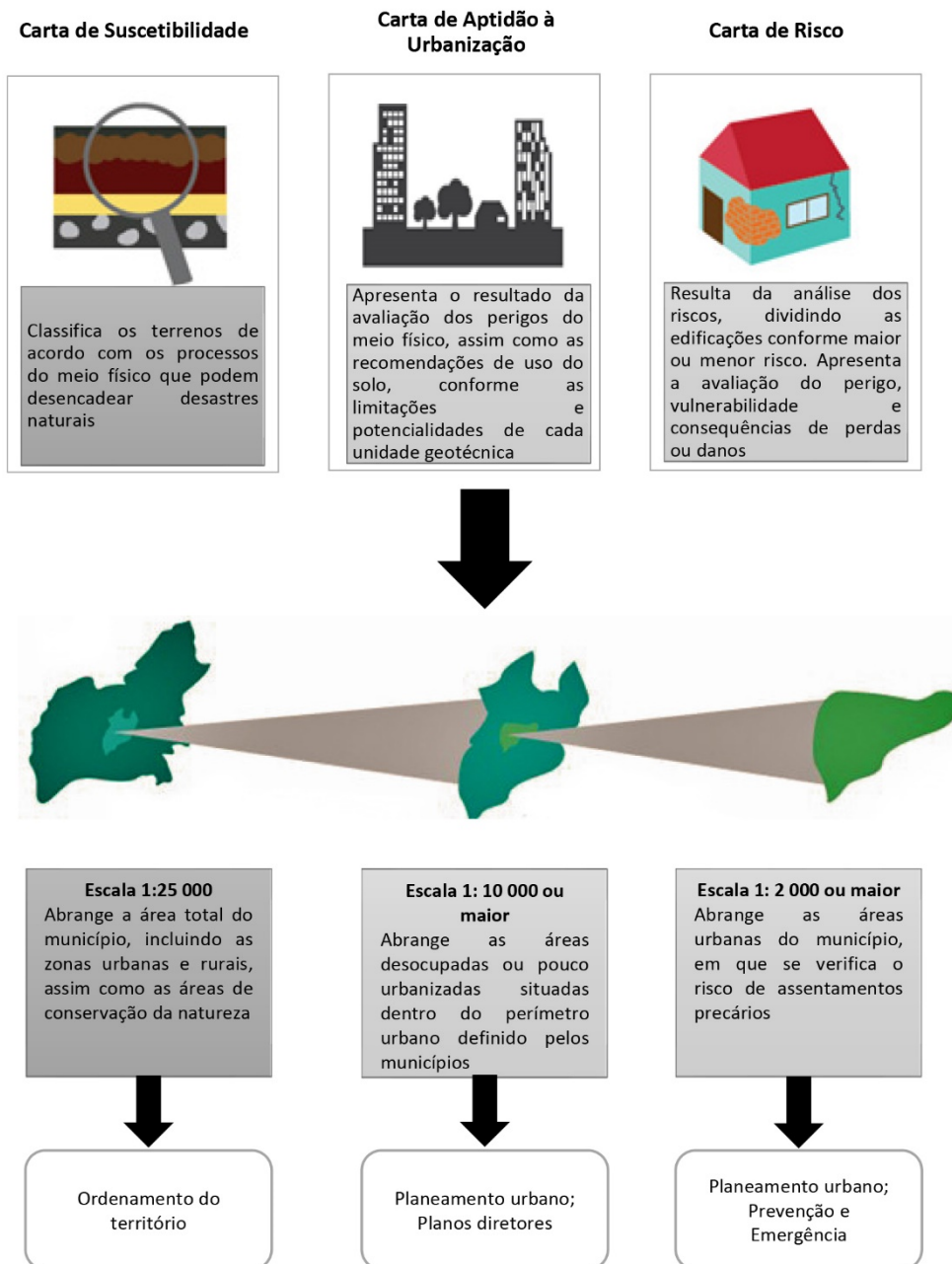
Relativamente ao planeamento, os mapas das condições do meio físico são fundamentais, pois através da interpretação dos dados geotécnicos, é possível delimitar regiões com diferentes características geológico-geotécnicas. Desta forma, os mapas assumem um papel fundamental na gestão do uso e ocupação das áreas para a realização dos Planos Diretores Municipais, assim como para as formas de planeamento e uso dos solos (Martínez-Graña et al., 2013; Poltronieri, 2013). Segundo Bitar et al., (2015), deve ser parte integrante do Plano Diretor Municipal os mapas das áreas de risco, tendo por base as cartas geotécnicas.

A cartografia geotécnica tem-se afirmado como uma ferramenta de extrema importância, no que respeita ao meio físico, principalmente no fornecimento de informações para o planeamento urbano e regional, na preservação do ambiente, ajudando a definir medidas corretivas e preventivas, por forma a minimizar os problemas ambientais e os riscos inerentes aos empreendimentos, levando ao melhor uso e ocupação do solo. Desta forma, são inseridas na cartografia geotécnica as cartas de suscetibilidade, cartas de risco, cartas de aptidão, entre outras (Franco et al., 2010).

Na figura 7, encontra-se representado os tipos de cartas recomendadas para zonas urbanas, bem como a respetiva escala geográfica para cada carta geotécnica.

Apesar de serem recomendadas as três cartas apresentadas na figura 7, é imprescindível saber se o município apresenta ou não áreas que através de fenómenos do meio físico, possam vir a desencadear desastres naturais, nomeadamente deslizamentos, inundações e entre outros. Por tal, realiza-se inicialmente a carta geotécnica de suscetibilidade, que classifica o município com baixa,

média ou alta suscetibilidade, conforme estes resultados os locais que apresentem média ou alta suscetibilidade exigem a elaboração da carta geotécnica de aptidão à urbanização e da carta geotécnica de risco. Além dos três tipos de cartas em discussão podem também ser realizadas cartas geotécnicas que contribuam para a decisão de possíveis áreas de deposição de resíduos sólidos, instalação de obras rodoviárias, obras costeiras entre outras (Bitar et al., 2015).



**Figura 7.** Cartas geotécnicas utilizadas para áreas urbanas, bem como a sua respetiva escala e aplicação no planeamento urbano e ordenamento do território (adaptado de Bitar et al., 2015; Souza, 2015).

Segundo Dearman (1991), as cartas para zonas urbanas são normalmente realizadas em escalas que variam de 1/100.000 até 1/10.000. Estas são adaptadas conforme o grau de exigência de cada

estudo e as condições do subsolo e a sua cobertura. Podendo desta forma, variar de 1/5.000 até 1/1000 e para trabalhos mais rigorosos podem ainda ser usadas escalas na ordem de 1/500 ou até 1/100.

De forma a elaborar todos os trabalhos referidos é necessário recolher a informação necessária para a realização dos mesmos. Segundo Culshaw & Price (2011), são usadas duas formas para adquirir os dados em zonas urbanas:

- Inicialmente através de dados espaciais em duas dimensões impressos em papel ou recentemente em formato digital;
- Em bancos de dados digitais combinados com modelos espaciais.

Por sua vez, a obtenção dos dados é fornecida através das seguintes fontes:

- Dados de sondagens e parâmetros “*in situ*”;
- Mapas e depósitos artificiais;
- Registos de mineração;
- Registos do uso do solo ao longo do tempo;
- Registos hidrológicos;
- Investigações dos movimentos de terra.

Em suma, para auxiliar o estudo dos problemas do meio físico é fundamental estabelecer um modelo geológico-geotécnico que se pretende representar (Fookes et al., 2001; Chaminé et al., 2016). Desta forma, os estudos geoambientais baseiam-se, também, na cartografia geotécnica (Diniz et al., 2015).

#### **2.4.1. Contributo para o planeamento urbano e ambiental**

Na década de 50 Portugal foi marcado por diversas alterações a nível económico, motivadas pelo desenvolvimento da atividade industrial principalmente nas regiões de Lisboa e do Porto, desencadeando um grande desenvolvimento da urbanização. A elevada industrialização, ocasionou um crescimento rápido e desordenado dos centros urbanos, o que proporcionou a degradação das condições socioeconómicas do campo e conseqüente agravamento das assimetrias regionais. O movimento migratório da área rural para a cidade, gerou inúmeros problemas tanto sociais como ambientais (Celeste, 2016).

A contribuição da cartografia geotécnica para o planeamento regional e urbano tem por base a análise dos fenómenos do meio físico, com o objetivo de identificar e caracterizar os problemas existentes ou esperados, por forma a orientar o uso e ocupação do solo, a análise ambiental e as

obras civis. O planeamento é dependente não só do ambiente, mas também das interações sociais e culturais, bem como da mudança económica e política e dos habitantes que deste fazem parte. Nesse sentido, a identificação, caracterização e avaliação rigorosa dos riscos naturais, tecnológicos e mistos que condicionam a segurança das comunidades são pontos fundamentais para o correto desenvolvimento dos processos de planeamento de emergência e de ordenamento do território (Julião et al., 2009; Culshaw & Price, 2011; Diniz, 2012).

Desta forma, as cartas geotécnicas municipais são úteis para orientar os trabalhos de planeamento e ordenamento de território, nomeadamente na execução de políticas públicas para o uso e ocupação do solo, áreas de desenvolvimento urbano, obras de infraestruturas, habitações, meio ambiente e defesa civil. São utilizadas principalmente na execução do Plano Diretor Municipal e na sua correspondente Lei dos Solos (Bitar et al., 2015).

Segundo Júnior (2008), as cartas geotécnicas apresentam relevância significativa no que diz respeito ao planeamento urbano aquando da realização do plano diretor municipal, tendo as seguintes aplicações:

- Escolha das áreas com interesse social;
- Definição dos vetores de expansão municipal;
- Delimitação das áreas de preservação;
- Traçado das áreas de proteção;
- Planeamento do traçado das vias em áreas de expansão;
- Definição dos locais para instalação de equipamentos públicos.

As cartas geotécnicas apresentam também aplicabilidade na identificação de locais vulneráveis e com tendência a riscos no que diz respeito a fenómenos geológicos e hidrológicos. Nesse contexto, são identificadas as áreas das encostas com risco de deslizamento, os terrenos com maior suscetibilidade a erosão, os fundos de vales onde ocorrem cheias, entre outros. A carta geotécnica aplicada ao planeamento territorial permite desta forma, a identificação de áreas críticas e de risco, onde se deve proceder a estudos detalhados, monitorização e gestão (Júnior, 2008).

São também igualmente importantes para a gestão ambiental, particularmente (Júnior, 2008):

- Identificação dos limites das áreas de preservação;
- Identificação das áreas degradadas ou em risco;
- Identificação das áreas contaminadas ou em risco de contaminação;
- Locais para implementação de aterros sanitários;
- Implantação de políticas de monitorização ambiental das áreas de expansão;

- Gestão das áreas degradadas.

Para a construção de edifícios é fundamental recolher informações do meio físico, para a construção e projeto das fundações. Por tal, é necessário perceber qual o tipo de solo, a capacidade de suporte do mesmo, bem como a profundidade do nível freático. As informações recolhidas podem ser apresentadas em mapas ou cartas geotécnicas (Júnior, 2008).

Pretende-se desta forma, mostrar que com a realização de uma carta geotécnica e a identificação das diferentes suscetibilidades naturais do meio, assim como a análise dos riscos, é importante para a avaliação do impacto ambiental e proporciona o desenvolvimento do planeamento urbano e ambiental, mas também que a cartografia geotécnica tem sido implementada em todo o mundo como uma ferramenta que presta auxílio na definição e fiscalização da ocupação do território, com respeito às áreas de interesse ambiental, proporcionando às populações as condições necessárias para que tenham qualidade de vida (Júnior, 2008; Rodrigues, 2008).

## **2.5. Cartografia analógica e digital**

A cartografia é uma área que esteve e está sistematicamente sujeita a revoluções e inovações tecnológicas. Estas revoluções levaram à denominação de uma nova cartografia (Brandalize, 2011). Assim, a cartografia relaciona-se com diversas áreas como a Geodesia, Topografia, Posicionamento e Navegação por Satélite, Deteção Remota e os Sistemas de Informação Geográfica (FCUP, 2003).

Desde as civilizações até aos tempos modernos, a informação espacial tem sido recolhida por navegadores, geógrafos e geodetas, sendo seguidamente tratada pelos cartógrafos produtores de mapas. Inicialmente, os mapas eram apenas usados como apoio à navegação e a estratégias militares. Enquanto que as cartas topográficas são concebidas para serem usadas em diversos fins, as cartas de solos, meteorologia ou cartas temáticas, apresentam apenas informações sobre um único tema sendo apoiadas numa base topográfica por forma a facilitar a compreensão dos utilizadores (FCUP, 2003).

Até se inserir o computador em cartografia todos os tipos de cartas tinham em comum a base de dados espacial que era um desenho numa folha de papel ou filme. A informação era registada através de elementos pontuais, de linha e de superfície, sendo que as entidades geográficas eram apresentadas como símbolos diversos, cores ou texto, e o seu significado explicado em legenda. No entanto, a aquisição e compilação de dados, bem como a publicação da carta impressa é demorada e bastante dispendiosa (FCUP, 2003).

Face a estes problemas, nas últimas décadas, a fotografia aérea e, recentemente as imagens obtidas por satélite (Deteção Remota), proporcionaram a avaliação de como a superfície terrestre se modifica com o tempo, principalmente na desertificação e erosão, os fogos florestais, as cheias ou até as situações meteorológicas. Mas, os produtos obtidos a bordo de aviões ou de satélites não são cartas, sendo que é necessário criar novos processos de forma a converter as sequências de números em figuras e identificar os pormenores mais significativos. Embora o computador tivesse surgido em cartografia na década de 60, a sua utilização era apenas para desenho automático e preparação de matrizes para a impressão de cartas, que em nada alterou a cartografia tradicional, pois a carta impressa permanecia como a principal forma de armazenamento de dados.

Na década de 70, surge o desenho de cartas no computador (CAD), que apresenta diversas vantagens em cartografia e no desenvolvimento dos sistemas de Informação Geográfica (FCUP, 2003):

- Produção mais rápida de cartas já existentes;
- Produção mais barata de cartas já existentes;
- Produção de cartas para fins específicos dos utilizadores;
- Permitir ensaios com diferentes representações gráficas do mesmo conjunto de dados;
- Facilitar a produção de cartas e a sua utilização quando os dados estão em formato digital;
- Facilitar a análise dos dados que exigem uma interação entre processos estatísticos e a representação cartográfica;
- Minimizar a utilização da carta impressa como forma de armazenagem dos dados;
- Produzir cartas difíceis de desenhar à mão, particularmente cartas tridimensionais;
- A introdução da automatização leva á redução dos custos e à possibilidade de diversos aperfeiçoamentos;
- A disponibilidade de informação cartográfica em formato digital fornece uma base de dados poderosa para análise de diversos problemas espaciais.

Através da caracterização de cada um dos tipos de cartografia é possível agrupá-las segundo determinadas características e, desta forma avaliar as suas diferenças (Quadro 6).

**Quadro 6.** Características da cartografia analógica e digital (adaptado de Rocha, 2002).

Características	Cartografia Analógica	Cartografia Digital
<b>Escala</b>	Serve como base de visualização, precisão, dimensão do produto e técnica de recolha de informações	Serve como base de visualização
<b>Articulação das folhas</b>	Impossibilidade de representar a cartografia num único exemplar	Utilizada tanto para facilitar o arquivamento digital como para correlacionar os mapas analógicos antigos
<b>Precisão</b>	Relacionada com a escala	Definida por quem realiza o mapa

A facilidade com que se pode converter imagens em dados digitais, e vice-versa, e a existência de um número crescente de algoritmos matemáticos adequados para tais processamentos, torna a cartografia digital um método de grande potencial e com um vasto campo de aplicação nas diversas áreas científicas (Archela, 2001).

A cartografia digital não pode ser organizada apenas como um processo de automação de métodos manuais, mas também como um meio para se investigar ou explorar novas maneiras de trabalhar com dados espaciais. Esta, pode ser compreendida como um conjunto de ferramentas que integra equipamentos e programas, voltado para a conversão do formato digital de dados espaciais, assim como para o seu armazenamento e visualização tendo como principal função, a produção de mapas (Brandalize, 2011).

A utilização da cartografia digital nas representações cartográficas apresenta uma série de vantagens relativamente à cartografia tradicional. No quadro 7 estão descritas algumas comparações entre os dois tipos de cartas.

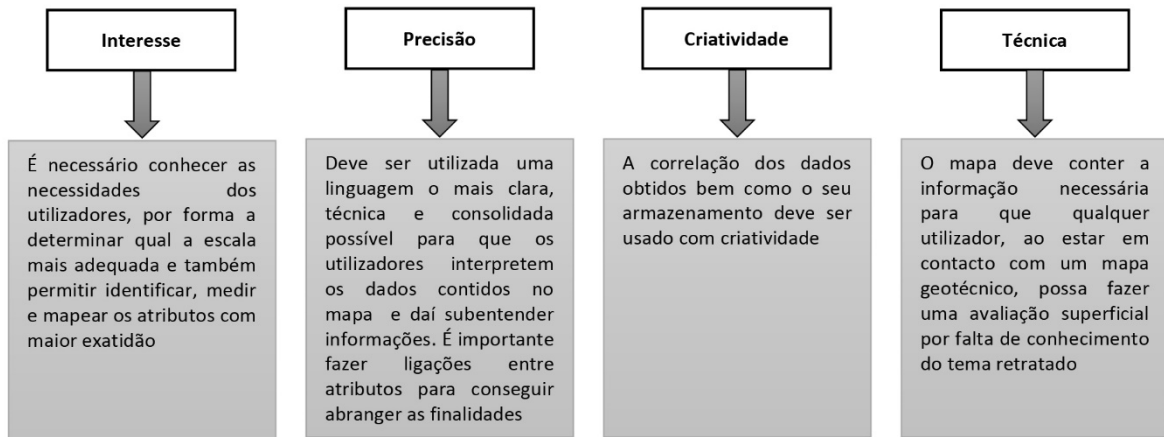
**Quadro 7.** Comparação entre cartografia tradicional e cartografia digital (adaptado de Câmara et al., 1996).

<b>Cartografia Tradicional</b>	<b>Cartografia Digital</b>
Cartas limitadas a aspetos gráficos	Cartas com recursos multimédia e multifuncionais
Imagem estática	Imagem dinâmica
Documento único	Múltiplos documentos interligados
Carta destinada a um público grande	Carta destinada a necessidades individuais
Carta destinada a comunicar um conhecimento	Carta utilizada para descobrir novas informações, usando mecanismos de visualização e exploração
Carta usada para leitura	Carta usada para comunicação interativa
Carta produzida por cartógrafo	Carta produzida por utilizador, não necessariamente um cartógrafo

## **2.6. Aspectos na elaboração de uma carta geotécnica**

Os documentos cartográficos com vertente geotécnica devem facilitar a resolução dos problemas de engenharia e de planeamento, ou qualquer outro tema que necessite de informações geotécnicas (Varnes, 1974).

A geotecnia está diretamente ligada à vida de um grande número de pessoas. Desta forma, é fulcral que o conteúdo dos mapas seja o mais relacionado possível com o tema, e de uso direto (Zuquette & Gandolfi, 2004). Segundo Varnes (1974), na elaboração de mapas geotécnicos, deve prevalecer como produto final o interesse, a exatidão, a criatividade e a profundidade técnica (figura 8).



**Figura 8.** Fatores a ter em consideração na elaboração de mapas geotécnicos (adaptado de Zuquette & Gandolfi, 2004).

Na elaboração de uma carta geotécnica, deve-se desde a fase inicial dos estudos elaborar um fluxograma de obtenção e manipulação das informações, bem como os documentos que serão obtidos em cada etapa do projeto. No que diz respeito às características geotécnicas, a sua determinação deve ser feita através de ensaios de baixo custo e de realização simples, pois a relação custo/benefício da utilização de informações preliminares e dos trabalhos de campo é significativamente mais alta do que a realização de investigações diretas, como se verifica no quadro 8 (Pejon e Zuquette, 1995; González de Vallejo et al., 2002).

**Quadro 8.** Relação custo/ benefício das investigações geotécnicas (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).

Atividade	Custo	Benefício	Relação custo/ benefício
Revisão bibliográfica	Baixo	Muito alto	2,7
Reconhecimento de campo	Baixo a médio	Muito alto	2,7 a 1,6
Ensaio de laboratório	Baixo a médio	Alto a baixo	2,3 a 0,6
Investigações in situ preliminares (anteprojeto)	Médio a alto	Alto a baixo	1,4 a 0,4
Investigações in situ (projeto)	Alto	Alto	1

As cartas geotécnicas iniciam-se por um inventário com o planeamento e levantamento orientado de dados e, posteriormente são efetuadas análises e investigações de campo, para a identificação dos problemas existentes da interação entre o meio físico, biótico e antrópico (Bressani & Costa, 2015). Segundo Bressani & Costa (2015), os mapas geotécnicos devem ter em consideração os seguintes aspetos, por forma a permitir a delimitação dos terrenos de acordo com a variação dos processos (Quadro 9).

**Quadro 9.** Aspetos gerais na elaboração de uma carta geotécnica (adaptado de Bressani & Costa, 2015).

Etapas	Procedimentos	Produtos
Planeamento da carta	Objetivos específicos Definição da escala Equipa responsável Compilação de dados	Material secundário disponível
Reconhecimento dos principais processos existentes	Entendimento dos processos Identificação dos fatores condicionantes	Carta geotécnica preliminar
Realização de estudos temáticos dirigidos	Informações do meio físico e da ocupação do solo Tratamento e elaboração de mapas temáticos à escala necessária	Informações complementares
Compartimentação geotécnica	Análise integrada dos dados temáticos e dos processos Delimitação das unidades geotécnicas	Produto Cartográfico
Estabelecimento de diretrizes	Recomendações de ocupação para cada unidade do terreno, de acordo com a probabilidade de ocorrência dos diferentes tipos de processo	Quadro - legenda
Elaboração do texto do estudo	Relatório	Notícia explicativa

De uma forma sintética, para se proceder à elaboração de uma carta geotécnica deve ter-se por base os seguintes passos (figura 9):



**Figura 9.** Etapas na elaboração de uma carta geotécnica (adaptado de Bitar et al., 2015).

A caracterização do meio físico nas cartas geotécnicas deve ser apresentada de forma integrada (geologia, pedologia, geomorfologia e geotecnia), através da descrição de perfis e de secções compostas desde a superfície do terreno até à rocha sã, para cada unidade geotécnica. Esta, é definida como um conjunto de terrenos que apresentam um comportamento homogéneo, no que respeita às características físicas, transmitindo uma resposta semelhante quando aplicado o mesmo tipo de solicitação mecânica, natural ou humana (Júnior, 2008; Pinho, 2010).

Segundo Souza (2004), ao longo da elaboração das cartas geotécnicas é importante:

- Entender a carta como um documento elaborado a partir de inúmeras informações retiradas dos diferentes mapas preliminares;
- A base cartográfica deve ser precisa relativamente às referências geográficas, bem como na localização de estradas, locais de drenagem e curvas de nível;
- Os documentos utilizados devem estar em conformidade quanto às propriedades e às escalas em que foram elaborados;
- Avaliação cuidadosa na seleção das propriedades que serão relevantes na realização dos documentos que darão origem às cartas;
- Relativamente à escala, as cartas geotécnicas são mais adequadas quando se realizam com escalas maiores que 1:10.000, pois a partir desta a precisão deve ser maior;
- Apresentar um documento demasiado simplificado ou com um número reduzido de informações, pode ser pouco eficiente para os utilizadores.

## **2.7. Tipos de mapas**

### **2.7.1. Caracterização**

Os objetivos que se pretendem atingir em cada mapa geotécnico, são responsáveis pela variação das respetivas escalas. Na variabilidade dos mapas podem ser encontradas informações geológico-geotécnicas básicas ou específicas, dependendo se a sua finalidade for uma planificação regional ou a seleção do local mais adequado para uma determinada obra de engenharia (González de Vallejo et al., 2002; Silva, 2009). São diversas as metodologias que se podem adotar para a realização dos mapas dependendo da sua finalidade, mas é de salientar que a eficiência e adequabilidade dos resultados obtidos através da cartografia geotécnica têm por base essa mesma escolha. Por tal, a sua realização deve ter por base a finalidade pretendida, nomeadamente no que diz respeito aos atributos a analisar, conteúdo, escala, etc. (Zuquette & Gandolfi, 2004; Pinho, 2010). Desta forma, na figura 10 encontra-se uma classificação dos mapas geotécnicos em função do seu objetivo e conteúdo, proposta pela IAEG (1976).

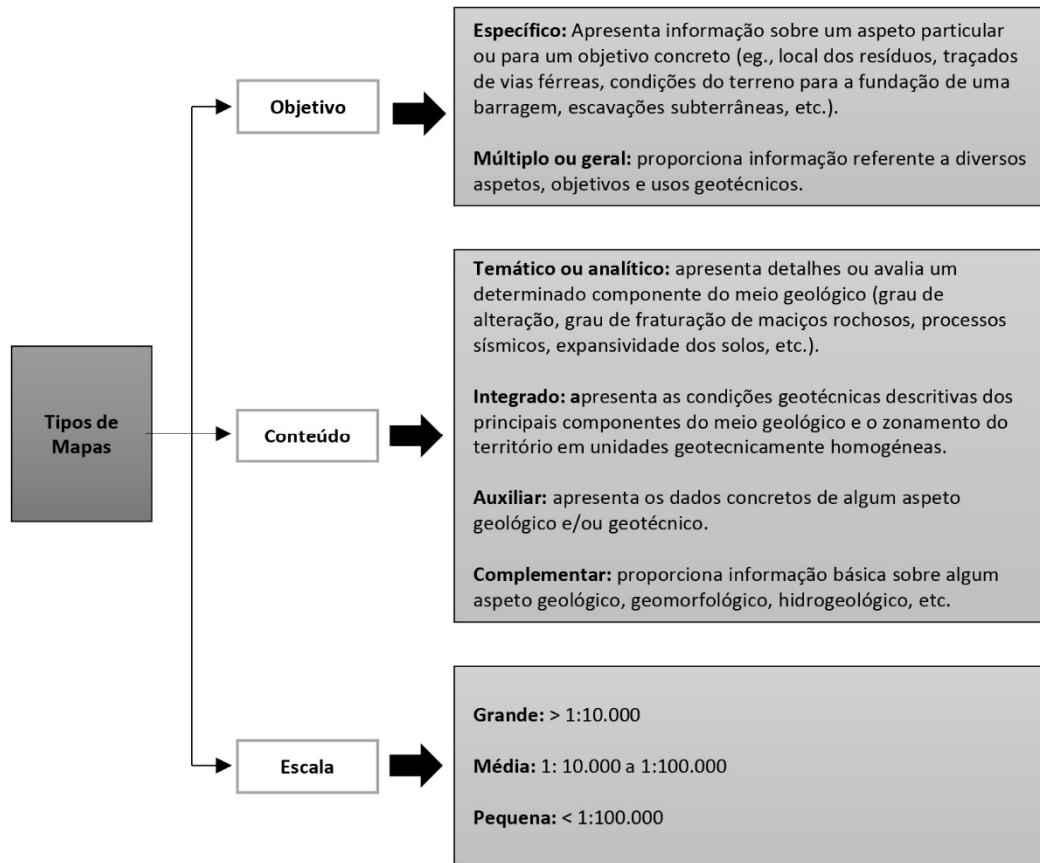


Figura 10. Classificação dos mapas geotécnicos em função do seu objetivo e conteúdo proposta pela IAEG (1976), (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).

No quadro 10 encontra-se uma classificação dos mapas geotécnicos tendo por base a sua escala e conteúdo, e também os seus métodos de elaboração e as diferentes aplicações.

Quadro 10. Tipologia dos mapas geotécnicos em função da sua escala e conteúdo (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).

Tipo de Mapa Geotécnico e Escala	Conteúdo	Método de Elaboração	Aplicações
<b>Regional</b>  <b>&gt;1:10.000</b>	Dados geológicos e litológicos, estrutura geotectónica, traços geomorfológicos regionais. Informação geral de furos geotécnicos e interpretações	Fotografia aérea, mapas topográficos e geológicos prévios, informação existente, observações de campo.	Planificação e reconhecimentos preliminares, informação geral sobre a região e tipos de materiais existentes.
<b>Local</b> (Etapa de reconhecimento preliminar)  <b>1:10.000 a 1:500</b>	Descrição e classificação de solos e rochas, estruturas, geomorfologia, processos geodinâmicos, localização de materiais para construção.	Fotografia aérea, levantamentos de campo, medidas e dados de campo.	Planificação e viabilidade de obras e reconhecimento detalhado.
<b>Local</b> (Etapa de investigação <i>in situ</i> )  <b>1:5.000 a 1:500</b>	Propriedades dos materiais e condições geotécnicas, aspetos importantes para a construção de uma obra concreta.	Os anteriormente referidos e ainda dados de sondagens, geofísica, ensaios <i>in situ</i> e laboratoriais.	Detalhes sobre o local e problemas geológico-geotécnicos. Dimensionamento de obras.

Segundo González de Vallejo et al (2002), os mapas geotécnicos podem agrupar-se em dois tipos, figura 11:

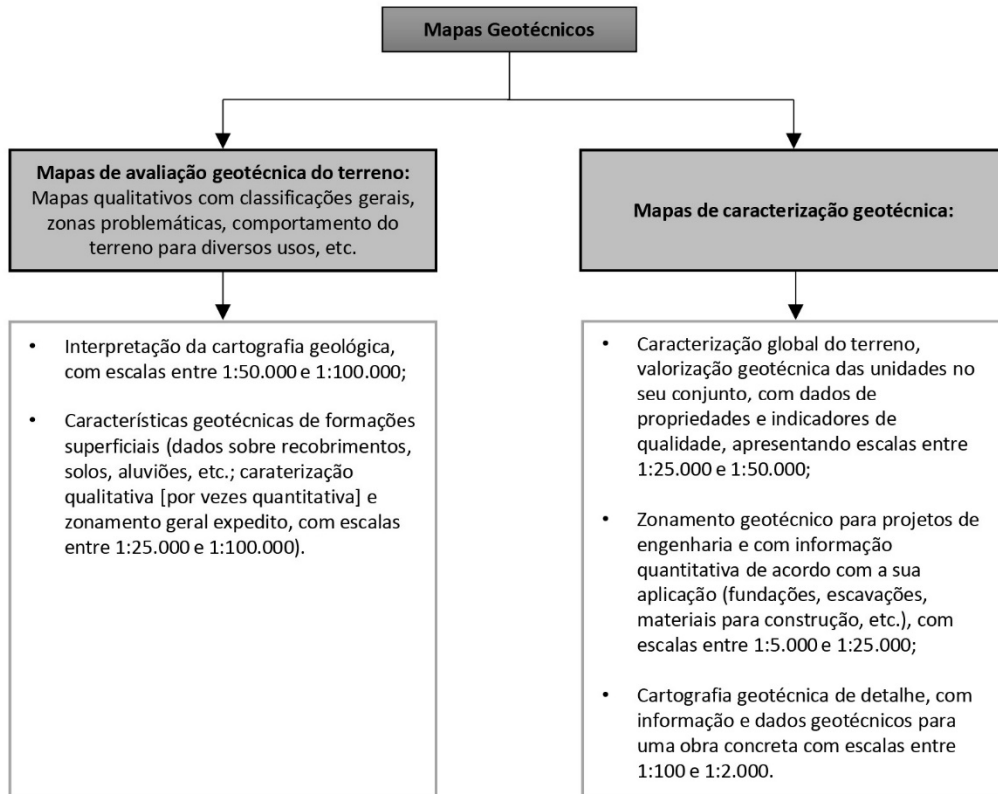
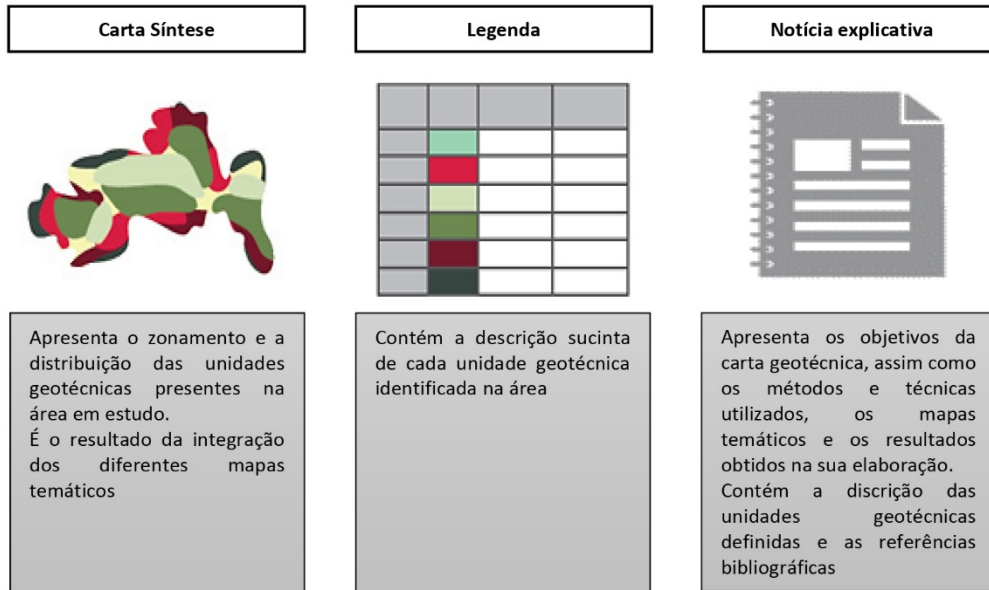


Figura 11. Tipologia dos mapas geotécnicos.

### 2.7.2. Conteúdo dos mapas geotécnicos

A denominação do tipo de mapa varia conforme a sua aplicação e objetivos, assim como com a formação técnica do grupo responsável pela sua elaboração (Diniz et al., 2012). Em geral, cada carta geotécnica deve ser constituída por três elementos básicos (Figura 12):



**Figura 12.** Principais elementos de uma carta geotécnica (adaptado de Bitar et al., 2015).

Conforme indicado na figura 12, o ideal é que cada carta geotécnica seja acompanhada pelos elementos indicados, sendo que o documento descritivo deve abranger as seguintes informações descritas no quadro 11 (Souza, 2004):

**Quadro 11.** Conteúdo importante na realização da notícia explicativa.

Elementos Constituintes	
Conteúdo	
<b>Introdução</b>	Finalidade do mapa geotécnico; Localização geográfica da área do mapa (contem os dados topográficos, localização das linhas férreas, estradas e outras rotas de transporte e a avaliação económica, bem como as perspectivas de desenvolvimento); Investigação preliminar; Métodos usados no levantamento geotécnico da área (extensão das investigações e a organização do levantamento).
<b>Geografia Física e geomorfologia</b>	Fatores climáticos que influenciam os dados da engenharia; Condições geológicas; Descrição fisiográfica; Hidrografia.
<b>Estrutura e desenvolvimento geológico</b>	Unidades litológicas; Processos geodinâmicos presentes; Características geológicas e propriedades geotécnicas das rochas e solos.
<b>Condições hidrogeológicas</b>	Características individuais das unidades aquíferas; Análise química das águas subterrâneas.
<b>Zonamento geotécnico</b>	Princípios aplicados ao mapa da área; Características das unidades das zonas.
<b>Materiais de construção</b>	
<b>Conclusões</b>	
<b>Recomendações</b>	
<b>Apêndices</b>	Referências; Fontes de Arquivos; Tabelas das propriedades geotécnicas.
<b>Índice</b>	

Qualquer que seja a finalidade dos mapas geotécnicos, estes por norma, devem conter uma série de informações básicas (González de Vallejo et al., 2002; Zuquette & Gandolfi, 2004):

- Topografia, toponímia, rede hidrográfica, hidroclimatologia;
- Distribuição e descrição litológica das unidades geológicas;
- Espessura de solos, formações superficiais e grau de alteração;
- Grau de fraturação e dados geológico-estruturais dos maciços;
- Classificação geotécnica de solos e rochas;
- Condições hidrogeológicas;
- Condições geomorfológicas;
- Processos dinâmicos;
- Investigações geológico-geotécnicas prévias;
- Riscos geológicos e naturais (em termos de suscetibilidade, perigosidade e riscos propriamente ditos).

Dos fatores identificados, os mais importantes apresentam-se de seguida detalhados.

#### **2.7.2.1. Classificação e propriedades geotécnicas de solos e rochas**

Os parâmetros geotécnicos representados nas cartas geotécnicas são definidos através das propriedades dos solos e rochas, estes são de extrema importância aquando da elaboração de documentos cartográficos. As unidades de rochas e solos são apresentadas nas cartas dependendo da sua homogeneidade de propriedades físicas e mecânicas, como a resistência, a deformabilidade, a permeabilidade, a durabilidade, etc., o que permite uma divisão inicial por zonas ou, até mesmo, em sub-zonas (Zuquette & Gandolfi, 2004; Pinho, 2010; Martins, 2011).

Por forma a obter uma perceção mais detalhada, no quadro 12 encontram-se as propriedades geológicas que resultam em características geotécnicas, e os parâmetros geológicos, petrofísicos e geotécnicos a representar na cartografia geotécnica.

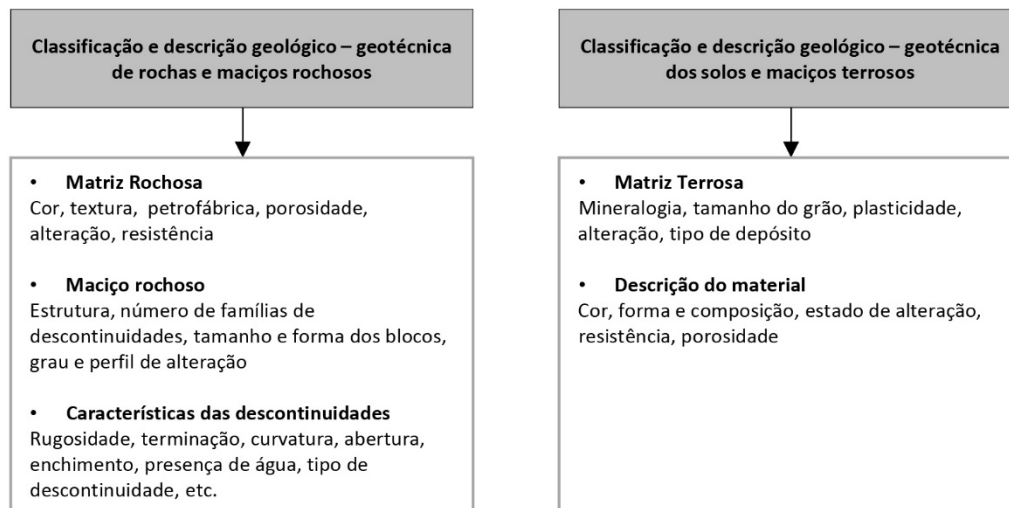
**Quadro 12.** Tipologia dos mapas geotécnicos em função da sua escala e conteúdo (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).

Propriedades Geológicas	Propriedades Geotécnicas		Parâmetros geológicos, petrofísicos e geotécnicos representados na cartografia geotécnica
	Rochas	Solos	
<b>Composição mineralógica e litológica</b>	Ligadas à densidade e plasticidade dos materiais geológicos. Condicionam a dureza, resistência, alterabilidade, etc.	Associadas à densidade e plasticidade dos materiais geológicos. Condicionam a consistência, alterabilidade, etc.	Densidade; Porosidade; Consistência e atividade mineralógica; Permeabilidade; Resistência à compressão simples e à tração; Deformabilidade; Durabilidade e alterabilidade;
<b>Textura e estrutura dos geomateriais (densidade, porosidade)</b>	Definem o comportamento geomecânico		
<b>Condições hidrogeológicas</b>	Condicionam a sua consistência e são determinantes para as condições do grau de alteração	São determinantes para as condições do grau de alteração	
<b>Grau de alteração</b>			
<b>Descontinuidades (frequência de distribuição, tipo de descontinuidades)</b>	Determinam as condições de resistência, deformabilidade, permeabilidade, etc.		

As classificações geotécnicas de solos são apoiadas no sistema unificado USCS ou no sistema ASTM (González de Vallejo et al., 2002), e para as rochas na ISRM (1978, 1981, 2007). A aplicação de expressões e correlações empíricas, assim como os índices de campo permitem a avaliação das propriedades geotécnicas e permitem a obtenção de dados quantitativos (Dearman & Eyles, 1982; González de Vallejo et al., 2002).

A definição das unidades geotécnicas e a sua localização é definida através das características geológicas e geotécnicas dos materiais e das observações de campo. No entanto, sempre que possível devem também ser retirados a partir da análise de dados de sondagens, ensaios “in situ” ou de laboratório e avaliação geomecânica de amostras (Pinho, 2010).

De forma a classificar e descrever os maciços rochosos e/ ou terrosos para a cartografia geotécnica, foi proposto o seguinte procedimento pela IAEG (1981a), descrito na figura 13.



**Figura 13.** Classificação e descrição dos maciços para efeitos de cartografia geotécnica (adaptado de IAEG, 1981a).

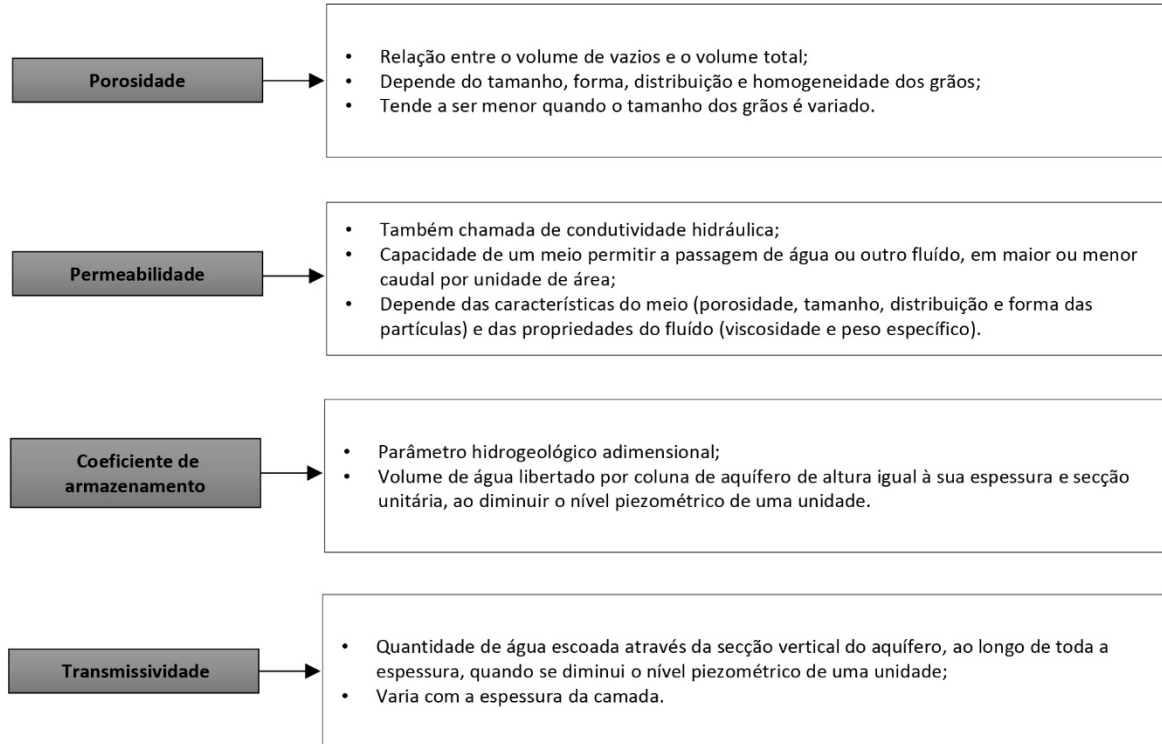
### 2.7.2.2. Condições hidrogeológicas e hidrológicas

Mais de 50% da população mundial vive em ambientes densamente urbanizados, desencadeando o aparecimento de impactos significativos no ciclo hidrogeológico. Em áreas urbanas, o mau conhecimento das características hidrogeológicas das unidades dos aquíferos, a sua exploração descontrolada e as más práticas ambientais combinadas com a deposição exagerada de resíduos sólidos e/ou efluentes, contribui para a degradação da qualidade dos recursos hídricos subterrâneos (Afonso et al., 2004).

No decorrer das últimas décadas, o conhecimento e a cartografia das condições hidrogeológicas e hidrológicas de determinada área em estudo são de extrema importância para a geotecnia, pois esta envolve o recurso e a implantação de técnicas de avaliação e a síntese de recursos hidrogeológicos. Um dos principais objetivos na cartografia é a caracterização dos recursos hídricos subterrâneos e a respetiva elaboração dos mapas hidrogeológicos de síntese. Estes classificam-se por serem representações concisas dos dados que relacionam a água com as formações rochosas (Pinho, 2010; Gonçalves, 2015).

Um mapa hidrogeológico constitui um ponto de partida para a definição de estratégias de avaliação dos recursos hídricos, ou um produto final de um programa de pesquisa. À semelhança dos mapas geológicos, os hidrogeológicos indicam propriedades das rochas e aspetos geológicos, mas, adicionalmente enfatizam sobre recursos hídricos subterrâneos (Gonçalves, 2015). Além dos dados base, os mapas hidrogeológicos carecem de um esquema e legenda apropriados, assim como um perfil ou vários (Struckmeier & Margat, 1995).

Na realização dos mapas em análise é necessário considerar algumas características fundamentais das quais estes são dependentes nomeadamente, a porosidade, permeabilidade, coeficiente de armazenamento e a transmissividade, conforme descrito na figura 14 (Diniz et al., 2014).



**Figura 14.** Características hidrogeológicas fundamentais (adaptado de Diniz et al., 2014).

Nos maciços rochosos a percolação da água ao longo das discontinuidades provoca a alteração do material – rocha, desagregando-o e afetando a sua resistência. Já nos solos a percolação através dos vazios provoca o arraste das partículas, tendo também influência na sua resistência. Além da resistência pode ocorrer a instabilidade dos maciços levando à movimentação dos mesmos. Desta forma, as condições hidrogeológicas alcançam bastante importância quando se pretendem atingir os seguintes objetivos da cartografia:

- Planeamento e ordenamento do território;
- Gestão/ exploração de recursos hídricos;
- Seleção de locais para a implantação de obras;
- Local de aterros sanitários;
- Reservatórios.

De notar que as ações antrópicas podem determinar também alterações nas condições hidrogeológicas naturais através da implementação de obras de engenharia, estruturas hidráulicas, urbanização, desflorestação e movimentos de terra (González de Vallejo et al., 2002; Pinho, 2010).

Nos mapas geotécnicos devem estar incluídos os dados hidrogeológicos, de forma a que o utilizador possa prever a alteração das suas condições e, se necessário, reportar a informação para se minimizar, atenuar, controlar ou evitar alterações. Por norma os dados incluídos nos mapas são os seguintes (González de Vallejo et al., 2002; Zuquette & Gandolfi, 2004):

- Distribuição e conteúdos de água dos materiais geológicos;
- Formações aquíferas;
- Lagos, rios, nascentes, etc.;
- Níveis piezométricos, profundidade e flutuações sazonais ou de outro tipo;
- Fluxos, direção e velocidade, hidráulica subterrânea e superficial;
- Zonas e condições de infiltração;
- Parâmetros hidrológicos e hidrogeológicos;
- Propriedades hidroquímicas e qualidade de água.

### **2.7.2.3. Condições geomorfológicas**

A geomorfologia é um parâmetro importante na explicação da história recente do desenvolvimento das paisagens, pois resulta na descrição das formas do território, como efeito de todos os fatores dinâmicos e temporais a que este esteve sujeito. É também essencial nos mapas geotécnicos, pois apesar de poder ser executado rapidamente e a baixo custo, é também um fator decisivo no planeamento e condiciona diversas obras geotécnicas (Souza, 2004; Pinho, 2010).

Deste modo, para além da descrição das formas (relevo) da região a geomorfologia permite o conhecimento dos processos dinâmicos das regiões, o que permite prever as zonas de instabilidade, inundáveis, etc. (Pinho, 2010).

A informação relacionada com as condições e processos geomorfológicos de interesse para a geotecnia incluiu os seguintes parâmetros (González de Vallejo et al., 2002; Zuquette & Gandolfi, 2004):

- Topografia;
- Elementos do relevo, vales, terraços, taludes, escarpas, etc. Unidades geomorfológicas;
- Estudo da paisagem e de relevo. Análise dos processos geomórficos;
- Origem, evolução e idade dos elementos geomorfológicos;
- Hidrogeomorfologia;
- Análise dos processos dinâmicos;
- Predição e análise dos processos de erosão, subsidência, movimentos de encostas, etc.

O objetivo das condições geomorfológicas passa por conhecer os processos que provocam a instabilidade, identificar as zonas instáveis e escolher os melhores locais para a implantação de obras de engenharia (Pereira, 2009).

#### **2.7.2.4. Processos geodinâmicos**

Os mapas geotécnicos devem caracterizar os processos geodinâmicos, externos e internos, tanto espacialmente como temporalmente e também, efetuar a análise dos riscos geológicos (perigosidade, vulnerabilidade). Desta forma, devem ser apresentados e localizados todos os dados com carácter dinâmico do meio geológico, assim como as solicitações que estes induzem ao terreno. Deve estar representado nas cartas geotécnicas uma análise dos riscos geológicos que podem interferir numa dada região. Os processos geodinâmicos podem inserir-se em todos os tipos de mapas e o seu grau de detalhe depende da escala (Pereira, 2009; Pinho, 2010).

Tendo por base a escala e os dados disponíveis, a informação a incluir na cartografia geotécnica, é a seguinte (González de Vallejo et al., 2002; Zuquette & Gandolfi, 2004):

- Limites cartográficos das unidades geológicas. Caracterização e descrição das unidades geológicas;
- Localização e extensão dos processos geodinâmicos internos e externos;
- Intensidade e frequência das ocorrências;
- Grau de atividade, velocidade;
- Condições, causas e fatores condicionantes;
- Previsões de processos potenciais.

#### **2.7.3. Métodos cartográficos**

São diversos os métodos adotados na realização de mapas geotécnicos (quadro 13), no entanto devem predominar alguns princípios básicos. Segundo a IAEG (1976), os objetivos a atingir com a elaboração destes mapas, são os seguintes:

- Realização de um estudo geológico inicial através de um inventário e a análise das principais componentes do meio geológico, principalmente os solos e as rochas, geomorfologia, hidrogeologia e os fenómenos geodinâmicos que se podem incluir também os recursos em materiais, a pedologia, etc.;
- Seguidamente realiza-se uma síntese ou interpretação dos diferentes fatores, orientando para o zonamento ou a identificação das unidades geotécnicas com base em critérios de homogeneidade;

- O documento final, constituído por uma ou várias cartas, deve conter informações precisas e detalhadas, de forma a serem legíveis para não especialistas.

**Quadro 13.** Alguns métodos internacionais de cartografia geotécnica (Adaptado de Zaine, 2000).

Métodos	Descrição	Escala	Documentos gráficos	Observações
<b>IAEG/ UNESCO</b>	Baseia-se em trabalhos realizados por diferentes países; Tem finalidades gerais e específicas; Principais aspetos: rochas, solos, água e relevo	Pré-definidas conforme a finalidade; Grande: 1:10.000; Intermédia: 1:10.000 a 1:100.000; Pequena: 1:100.000	Básicos; Sintéticos; Zonamentos	
<b>Francesa</b>	Baseada em trabalhos originados por universidades e institutos; Tem finalidades gerais e específicas; Principais aspetos: rochas, hidrologia, geomorfologia e materiais de cobertura	Condicionada pela finalidade; Regional: <1:100.000; Local: >1:100.000	Produz documentos semelhantes aos da IAEG; Carta de documentação; Cartas de fatores; Cartas de aptidão	
<b>PUCE Pattern Unit Component Evaluation</b>	Estudo das relações entre os aspetos geomorfológicos, solos, águas, rochas e vegetação; Tem finalidades gerais e específicas; Principais aspetos: geomorfológicos		Classificação taxonómica	Representação das unidades por números
<b>ZERMOS</b>	Baseia-se em trabalhos de mapeamento geotécnico; Finalidade: riscos; Principais aspetos: litologia, estrutura, drenagem, encosta e histórico de movimentos	1:50.000; 1:25.000; 1:5.000	Zonamentos; Relatórios	3 fases: 1. Bibliografia/ dados 2. Geomorfologia/ fotointerpretação 3. Estudo e controlo em cartas 1:50.000
<b>Mathewson &amp; Font</b>	Sistematização dos estudos de geologia ambiental utilizados em trabalhos de planeamento; Estudo e seleção da área para a definição do uso do solo; Principais aspetos: geológicos		1ª ordem: observações; 2ª ordem: de Geologia de Engenharia; 3ª ordem: interpretação; 4ª ordem: de uso do solo	Mapas onde a informação geológica é aplicada à adequação do uso

De uma forma geral, para a obtenção de uma cartografia geotécnica é imprescindível dispor de uma informação geológica básica sobre uma base topográfica. Se não existir a base topográfica solicitada, esta deve ser elaborada por métodos convencionais ou através de fotografias aéreas. Da mesma forma, que se não existir uma cartografia geológica regional (no geral, 1:50.000 ou 1:25.000) ou se esta não se encontrar na escala pretendida, deve-se preparar através da informação disponível e de trabalhos geológicos de campo de pormenor, se possível com a escala de 1:5.000 (González de Vallejo et al., 2002; Silva, 2009).

### 2.7.3.1. Zonamento geotécnico

O zonamento geotécnico consiste na classificação de zonas geotecnicamente homogéneas, ao qual se podem incluir diferentes idades geológicas (unidades geotécnicas). Estas são divisíveis em subunidades, e a sua definição resulta de um longo tempo de pesquisa, de interpretação, de análise e de caracterização de todos os dados obtidos. O pormenor e o grau de homogeneidade dependem da escala, objetivos e dos dados disponíveis. Nos mapas específicos o zonamento deve ter por base os parâmetros geotécnicos e os processos geológicos que estão relacionados com o objetivo do mapa (González de Vallejo et al., 2002; Zuquette & Gandolfi, 2004; Pereira, 2009). Desta forma, tal como em outros documentos cartográficos, os geotécnicos traçam linhas ao redor de porções do meio físico onde um grupo de atributos apresenta heterogeneidade mínima, e tendo como função a transmissão de informações para serem usadas nas mais diversas situações. Os atributos resultam do agrupamento de propriedades e relações, sendo que um atributo ou um grupo deles forma uma unidade, que serve de base para a análise de uma área (Zuquette & Gandolfi, 2004).

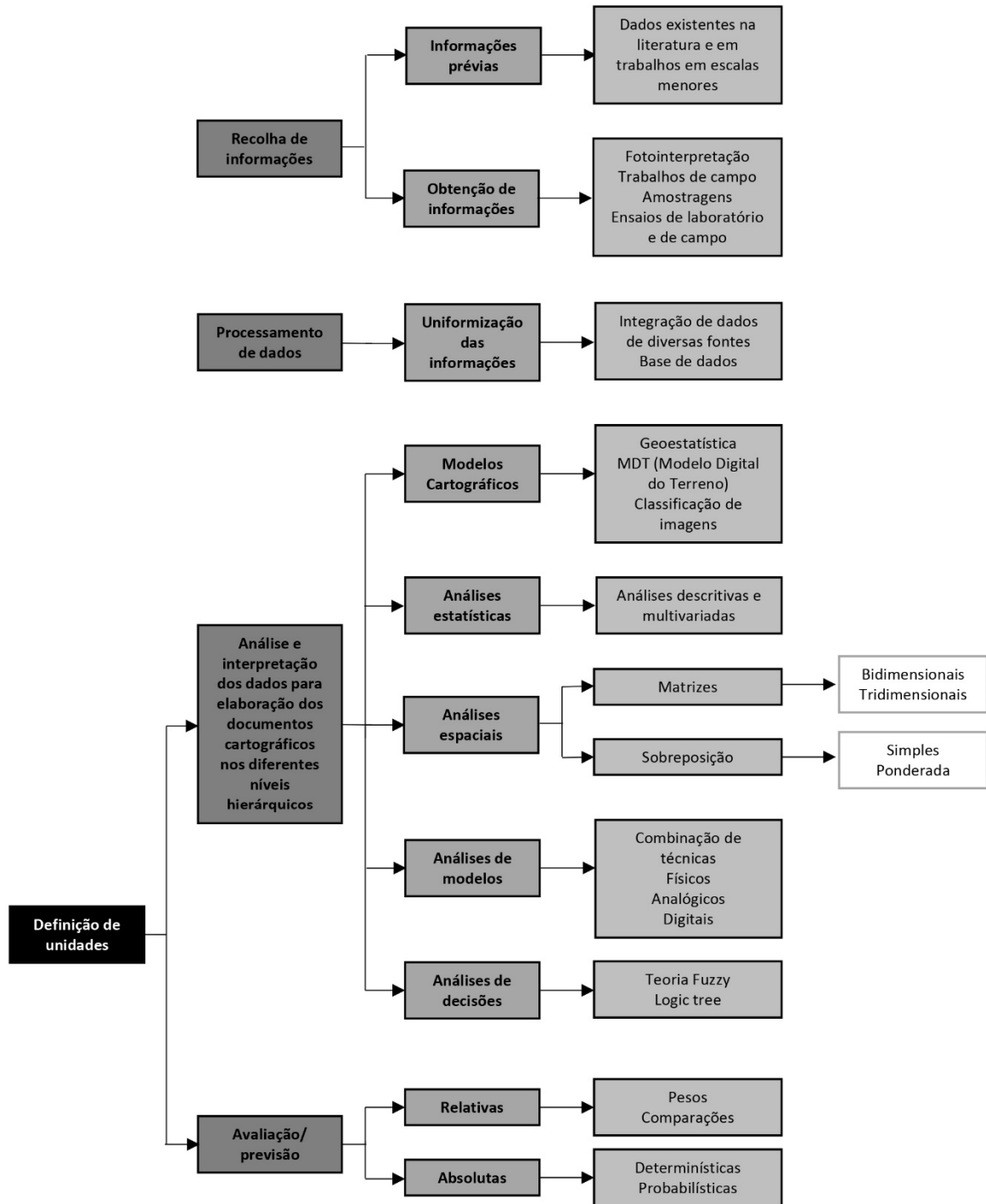
Segundo Varnes (1974), para definir as unidades deve ter-se em atenção os seguintes pontos:

- Identificação da finalidade da cartografia;
- Designação das unidades por um ou mais tipos (temporal, espacial, tipológico e relacional);
- Posicionamento formal dos atributos essenciais;
- Especificação dos caracteres e propriedades necessários e suficientes;
- Grau de homogeneidade ou heterogeneidade interna que pode ser permitido e vai de encontro às finalidades do documento cartográfico.

Os atributos são analisados de forma qualitativa e quantitativa, e podem também ser constantes ou variáveis no espaço e/ou tempo. Da mesma forma que podem existir atributos com ou sem relações causa-efeito (Pinho, 2010).

Os atributos classificam-se em quatro categorias:

- Os de tempo variam em diferentes escalas temporais, como a profundidade da zona saturada, a linha de costa ou da idade geológica;
- Os de espaço relacionam-se com a variação de materiais ou de outros atributos em área;
- Os inerentes aos materiais, que são as suas propriedades intrínsecas;
- Os de relação decorrem da semelhança entre duas propriedades.



**Figura 15.** Fluxograma ideal com as diferentes etapas envolvidas no processo da cartografia geotécnica, com destaque para as unidades geotécnicas (adaptado de Zuquette & Gandolfi, 2004).

Sendo o tema de grande complexidade o processo de selecionar, isolar, identificar, caracterizar e representar os atributos básicos, para a correta delimitação das unidades geotécnicas foram desenvolvidos formas e métodos de trabalho com esse princípio, como se pode verificar na figura 15. Os métodos podem ser manuais ou automatizados, no entanto os mais utilizados são a sobreposição simples, as matrizes, as classes taxonómicas, a árvore lógica, a hierarquização, os métodos estatísticos e os métodos determinísticos (Zuquette & Gandolfi, 2004).

Para classificar as unidades a IAEG (1976), propôs que se implementasse segundo um princípio hierárquico de classificação dos solos e rochas com base na litologia e na forma de origem. Esta, pretende classificar de uma maneira simples, objetiva, de fácil aplicação, recomendando também os símbolos mais apropriados para a cartografia geotécnica. A classificação das unidades é realizada segundo o princípio litogenético relacionado com a escala de trabalho e com a maior ou menor homogeneidade litológica e petrofísica. Os termos considerados na classificação, assim como a escala, critérios de homogeneidade e métodos de classificação estão representados no quadro 14.

**Quadro 14.** Aplicabilidade das classificações de solos e rochas em cartografia geotécnica (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).

<b>Tipo geotécnico</b>	Uniformidade litológica e petrofísica, caracterizados por valores médios das suas propriedades geotécnicas a partir de determinações e medidas pontuais. Podem realizar-se em mapas geotécnicos de grande escala.
<b>Tipo litológico</b>	Unidade homogénea na composição, textura e estrutura, mas geralmente uniforme nas suas características petrofísicas; não podem agrupar-se propriedades mecânicas médias para todo o conjunto, sem um intervalo de valores. Aplicam-se em mapas de grande escala e, se possível, a média escala.
<b>Complexo litológico</b>	Um grupo de tipos litológicos relacionados, de iguais condições genéticas e tectónicas, não uniformes em litologia nem propriedades petrofísicas. Agrupam-se dados sobre os tipos litológicos individuais e sobre o comportamento geral da unidade. Aplicam-se a escalas médias ou pequenas.
<b>Conjunto litológico</b>	Vários complexos litológicos desenvolvidos sob iguais condições genéticas e tectónicas; apresentam certas características litológicas comuns que os diferenciam de outras unidades ou conjuntos litológicos; só se podem agrupar propriedades geotécnicas muito gerais. Aplicam-se em mapas com pequena escala.

A classificação anterior tem por base as condições geológicas e pode ser aplicada em mapas específicos ou gerais integrados, ao qual para cada unidade devem ser descritas as características petrográficas, estratigráficas e geológico-estruturais.

Relativamente aos mapas específicos com o objetivo de uma aplicação concreta, o zonamento geotécnico deve basear-se nos parâmetros, nas condições geotécnicas e nos processos geológicos que afetam a área da cartografia. A definição das unidades ou zonas permite uma avaliação do terreno quanto à sua aptidão para o fim desejado e desta forma classificar em termos de aptidão geotécnica, ou seja, “zonas aptas”, “zonas aptas com restrições” e “zonas não aptas” (González de Vallejo et al., 2002; Pinho, 2010).

### 2.7.3.2. Representação dos dados

O reconhecimento geológico e geotécnico das áreas urbanas é dificultado pela falta de afloramentos. No entanto a recolha de dados obtidos em trabalhos de prospeção pode ser uma mais – valia para o reconhecimento, não só em termos geotécnicos para o local, mas também geológicos e a nível regional. Desta forma, o documento cartográfico-geotécnico deve ser capaz de resolver problemas referentes à engenharia e também ao planeamento (Varnes, 1974; Veiga, 2011; Chaminé et al., 2016).

Ao longo dos tempos têm sido apresentadas várias propostas, pelas associações profissionais e sociedades científicas tendo por base a geologia de engenharia, nomeadamente a “Geological Society of London” (GSL) de Inglaterra, principalmente o “Engineering Geology Group” da GSL, a “Association of Environmental and Engineering Geologists” (AEG) dos E.U.A., ou a “International Association for Engineering Geology and Environment” (IAEG), tendo principal ênfase nos procedimentos de realização, nos dados representados nas cartas e na forma como são apresentados. Mas, devido à complexidade e finalidade dos mapas não existe um procedimento padrão, mas sim uma série de recomendações (IAEG, 1981a,b,2005; Griffiths, 2002; González de Vallejo et al., 2002).

As cartas geotécnicas devem estar acompanhadas por uma memória descritiva ou notícia explicativa, uma legenda onde se encontre descrito as simbologias adotadas, assim como os padrões e cores utilizados e os cortes geológicos de forma a permitir ao utilizador conhecer a disposição dos terrenos cartografados (Silva, 2015).

A informação sobre as características e as propriedades geotécnicas dos solos e rochas deve ser representada num mapa geotécnico da seguinte forma (González de Vallejo et al., 2002):

- Assinalar as propriedades geológico-geotécnicas dos diferentes conjuntos litológicos ou unidades geotécnicas estabelecidas;
- Delimitar as unidades homogéneas a respeito de alguma propriedade (resistência, densidade, plasticidade, grau de fracturação, grau de alteração, etc.);
- Definir o zonamento em unidades geotecnicamente homogéneas e assinalando, se possível, os parâmetros quantitativos.

Como já referido, cada mapa deve fazer-se acompanhar da respetiva legenda, realizada através do uso de símbolos, cores e outros grafismos por forma, a permitir uma apresentação clara e

simplificada. Esta deve ser abrangente e explícita em termos de informação contida no mapa (Pinho, 2010).

É usual utilizar símbolos gráficos geomorfológicos, geológicos e hidrogeológicos padronizados (IAEG, 1981). No entanto, as letras e os números utilizados para definir as litologias e as idades das formações geológicas não fornecem dados sobre as propriedades petrofísicas e mecânicas. No quadro 15 incluem-se os métodos de representação habituais. A representação de determinados parâmetros geotécnicos, dados de sondagens ou ensaios pode ser apresentada mediante gráficos ou diagramas que incluam setores de acordo com a informação contida, situando-se no mapa sobre as unidades a que dizem respeito e explicando na legenda o seu significado (Pinho, 2010).

**Quadro 15.** Representação cartográfica dos elementos básicos nos mapas geotécnicos (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).

Escala	Classificação de solos e rochas	Propriedades geológico-geotécnicas	Condições Hidrogeológicas	Condições geomorfológicas	Processos dinâmicos
Pequena	Cores e molduras; Letras e números	Cores e molduras/ linhas	Símbolos e valores numéricos	Curvas de nível; Símbolos pontuais para elementos geomorfológicos	Símbolos
Média		Cores e linhas; Valores numéricos; Diagramas e gráficos	Contornos e linhas; Valores numéricos	Curvas de nível; Limites e recursos morfológicos de detalhe	Contornos e linhas
Grande			Linhas de isovalores; Valores numéricos		

### 2.7.3.3. Perfis geotécnicos

Os perfis geotécnicos são definidos como representações das características e interpretações geotécnicas de interesse do solo em profundidade segundo secções transversais ou longitudinais (González de Vallejo et al., 2002). Normalmente são apresentados sob a forma de um gráfico de eixos ortogonais, sendo que o eixo horizontal representa as distâncias entre os pontos do perfil e o eixo vertical as cotas ou altitudes dos diversos pontos a marcar (Coelho & Ribeiro, 2006).

Consoante a relação entre as escalas horizontal e vertical os perfis podem classificar-se em (Coelho & Ribeiro, 2006):

- **Perfil natural do terreno:** as escalas horizontal e vertical são iguais;
- **Perfil elevado:** a escala vertical é maior do que a escala horizontal, sendo esta igual à escala da carta;
- **Perfil rebaixado:** a escala vertical é menor que a escala horizontal.

A realização dos perfis tem por base a informação em profundidade recolhida do estudo da geologia de engenharia e da prospeção geotécnica. Desta forma, a profundidade a caracterizar devera ser a mesma que a alcançada pela investigação “in situ”, de forma a garantir a caracterização e representação de toda a profundidade em análise, assim como aquando da aplicação de correlações das diferentes propriedades medidas ou estimada de forma indireta. O conteúdo, tipo de dados analisados e a sua representação, tal como nos documentos cartográficos dependem da finalidade do estudo. De acordo com esta finalidade, determina-se o número e orientação dos perfis a elaborar em função das condições geomorfológicas e morfotectónicas, da estrutura geológica regional e local, da heterogeneidade litológica e complexidade das variações em profundidade presentes (Pinho, 2010).

Os perfis geotécnicos constituem extrema importância na cartografia geotécnica, bem como em estudos para a implementação de obras de engenharia (projetos de fundações de barragens, de obras subterrâneas, etc.). São diversas as informações que estes podem transmitir, no entanto o mais comum é apresentarem (Zuquette & Gandolfi, 2004):

- Os limites geológicos;
- As propriedades hidrogeológicas;
- A variação das propriedades geomecânicas dos materiais geológicos em profundidade;
- O zonamento geotécnico.

#### **2.7.4. Obtenção de dados**

A combinação de dados recolhidos do local em estudo aplicada à geotecnia apresenta aspetos relevantes no que diz respeito á avaliação do meio físico. Desta forma, a complexidade do mundo real, deve ser considerada sob o ponto de vista geotécnico (Valente, 1999). A obtenção dos dados com o objetivo da concretização de mapas geotécnicos deve ter por base os métodos habituais usados em engenharia geológica, mas para tal efeito, complementados com os métodos de prospeção direta e indireta, de acordo com a complexidade da área em estudo e do tipo e objetivo do mapa. O tempo disponível pode condicionar a realização dos mesmos (Pereira, 2009).

Previamente ao estudo propriamente dito a obtenção dos dados deve compreender sempre uma primeira recolha e análise de toda a informação de cartas geológicas, topográficas, militares, litológicas, hidrogeológicas, hidrológicas, geomorfológicas, tectónicas, etc., existentes do local, assim como dados referentes a projetos e publicações da área. Este processo permitirá definir o plano de trabalhos de caracterização e prospeção geotécnica (Pinho, 2010; Silva, 2015).

Na fase inicial de caracterização cartográfica em áreas urbanas, e nos estudos prévios e de viabilidade é importante recorrer a técnicas de deteção remota e interpretação de fotografias aéreas (Silva, 2015).

Relativamente ao reconhecimento do solo, segundo Zuquette (1987) é realizado através do conhecimento do conjunto de informações obtidas de forma direta (ensaios “in situ” de solos naturais, SPT, CPT, permeabilidade) e indireta (cartografia geológica, fotointerpretação, mapas topográficos, etc.) podendo ou não existir o processo de amostragem, ou ainda, mediante a aplicação de classificações empíricas, permitindo a obtenção de dados quantitativos.

Caso se execute a amostragem, esta tem de garantir uma quantidade de amostras de qualidade, de forma a serem realizados os ensaios previstos (Silva, 2015).

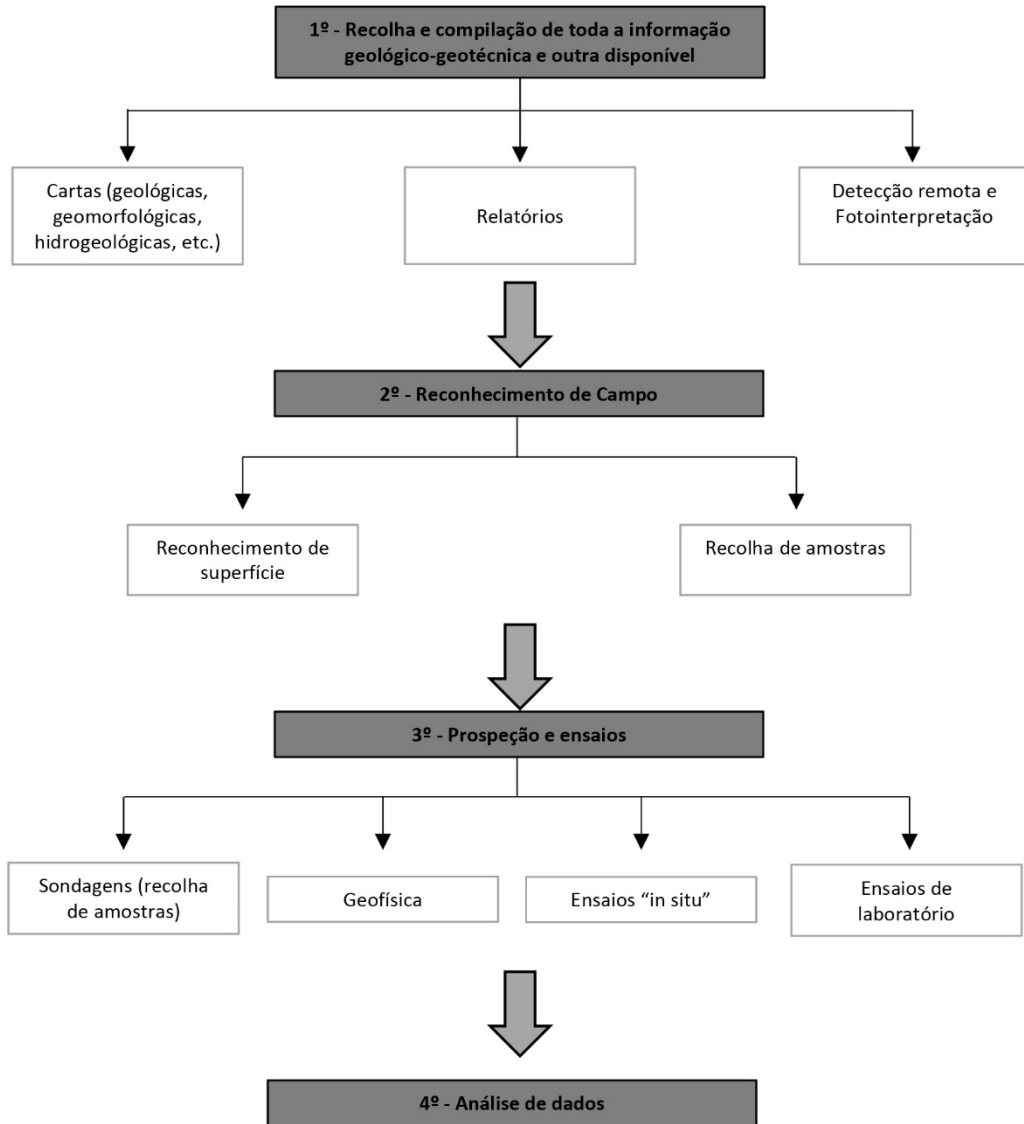
A informação quantitativa contida na carta geotécnica deve ser fiável e representativa da unidade ou zona a que se refere. É importante que a seleção, análise e interpretação dos dados, bem como o seu cruzamento se realizem de forma rigorosa e objetiva, para que resulte uma apresentação gráfica fundamentada, clara e útil (González de Vallejo et al., 2002; Silva, 2015).

O quadro 16 apresenta os principais métodos para a obtenção de cada fase da investigação de importância para a cartografia geotécnica (González de Vallejo et al., 2002).

**Quadro 16.** Principais métodos para a obtenção dos dados constantes na cartografia geotécnica.

<b>Método</b>	<b>Dados</b>
<b>Deteção remota e Fotointerpretação (fotogeologia, fotogeomorfologia)</b>	Cartografia de solos e rochas Estruturas geológicas e tectónica Hidrologia e redes de drenagem Processos morfodinâmicos
<b>Reconhecimentos e recolha de dados de campo</b>	Detalhes geológicos e geomorfológicos Caracterização geológico-geotécnica de campo
<b>Métodos geofísicos aplicados</b>	<b>Resistividade eléctrica:</b> Porosidade, fraturação, saturação e salinidade Profundidade do nível freático Profundidade do substrato rochoso
	<b>Sísmica:</b> Densidade, módulos de deformação Grau e profundidade de zonas alteradas Profundidade do substrato rochoso
<b>Sondagens e amostragem</b>	Recolha de amostras representativas Permitir a observação direta dos materiais Propriedades físicas e características do terreno Condições hidrogeológicas
<b>Ensaio "in situ"</b>	Propriedades resistentes e deformacionais Tensões naturais Permeabilidade, pressão da água Dados de ensaios em sondagens
<b>Ensaio de laboratório</b>	Propriedades físicas e mecânicas dos materiais

Como se verifica no quadro 16, podem ser utilizados vários métodos para a obtenção de dados de interesse para a cartografia geotécnica, assim como a aquisição dos mesmos compreende várias fases. Normalmente, para a obtenção de dados são realizadas as etapas apresentadas no fluxograma referente à figura 16.



**Figura 16.** Fluxograma ideal para a aquisição de dados em cartografia geotécnica (adaptado de Pinho, 2010).

## 2.7.5. Aplicações

### 2.7.5.1. Ordenamento do território

O crescimento populacional verificado nos últimos anos tem intensificado a concentração dos centros urbanos já existentes, assim como a construção e reconstrução de outros, conduzindo a

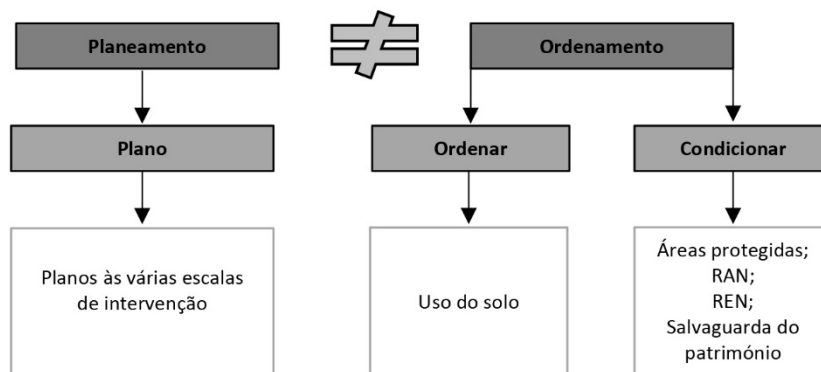
uma elevada ocupação do solo. Desta forma, é cada vez mais importante a necessidade de implementar uma cultura de ordenamento do território, por forma a subsistir uma gestão das relações entre o desenvolvimento humano e o espaço natural (Pinho, 2010).

O ordenamento do território pode ser definido segundo a Carta Europeia do Ordenamento do Território, como a tradução espacial das políticas económica, social, cultural, e ecológica de toda a sociedade, sendo simultaneamente, uma disciplina científica, uma técnica administrativa e uma política que se desenvolve numa perspetiva interdisciplinar e integrada, com tendência ao desenvolvimento equilibrado das regiões e à organização física do espaço assente numa estratégia de conjunto (Europeu, 1983). Por sua vez, o planeamento territorial deverá planear a ocupação do território, a partir de uma gestão racional do espaço em concordância com o aproveitamento equilibrado dos recursos naturais e ambientais, bem como escolher as melhores alternativas entre as existentes para o uso mais equilibrado e sustentável do meio físico e biológico, atendendo às estimativas de aumento populacional, industrial e do crescimento das procuras recreativas, escolares e sociais (Zuquette & Gandolfi, 2004; Pinho, 2010).

Para Matula (1978) as etapas de interesse para o planeamento territorial são:

- Estimativa do potencial de uso das diversas unidades cartografadas;
- Avaliação de áreas para uso específico;
- Decisão e avaliação da melhor forma de ocupação de uma determinada porção de terreno.

Não existe uma relação sequencial entre ordenamento e planeamento (figura 17), enquanto o ordenamento faz o reconhecimento da realidade, o planeamento intervém nele (Pardal et al., 2000).



**Figura 17.** Conceitos fundamentais (adaptado de Lopes, 2014).

Através da Geologia de Engenharia é possível obter informações cruciais para a elaboração da cartografia geotécnica, permitindo conhecimentos fundamentais para o ordenamento, planeamento e desenvolvimento do território, tais como (González de Vallejo et al., 2002):

- Identificação e avaliação de problemas;
- Previsão do comportamento geotécnico dos terrenos;
- Conhecimento dos problemas gerais característicos de cada unidade geotécnica;
- Zonamento da área em diferentes graus de aptidão ou risco;
- Planeamento e desenvolvimento de acordo com as características de cada zona;
- Recomendações especiais para a realização de estudos detalhados.

Segundo o mesmo autor, a cartografia aplicada ao ordenamento, planeamento e desenvolvimento urbano contribui para:

- A seleção de áreas de desenvolvimento urbano ambientalmente favoráveis ou sustentáveis;
- A solução de compromissos entre aspetos técnicos, económicos e ambientais;
- A solução de problemas durante as fases de desenvolvimento, projeto e construção.

Relativamente à ocupação das novas áreas, as primeiras decisões são apresentadas com base nos dados geológicos e geotécnicos. A sua utilização pelas equipas de planeamento de território irá auxiliar a resolução de problemas de vária ordem, permitindo alcançar os seguintes objetivos (Zuquette & Gandolfi, 2004):

- Economia na implantação de obras de engenharia;
- Segurança das construções, previsão e prevenção dos riscos naturais;
- Utilização racional do ambiente geológico e proteção dos recursos naturais.

O planeamento e ordenamento do território apresentam um papel determinante na prevenção dos riscos, na medida em que o seu objetivo passa por garantir a utilização sustentável, de forma a maximizar os recursos que o território apresenta e minimizar os riscos do mesmo. Desta forma, o desafio é alcançar a interligação geográfica harmoniosa das atividades económicas, que sustêm qualquer sociedade criando os recursos essenciais para o bem-estar social (Ramos et al., 2010).

Segundo Ramos et al. (2010), o ordenamento do território deve apresentar dois pontos fundamentais:

- Dar espaço aos sistemas naturais de forma a que se possam autorrenovar e autossustentar;
- Manter as pessoas e os bens afastados dos perigos com incidência espacial, levando à diminuição do risco, criando princípios de prevenção e precaução.

Como reflexão, pode considerar-se que o ordenamento do território é a implementação no solo de todas as políticas públicas, nomeadamente económico-sociais, urbanísticas e ambientais, visando a localização, organização e gestão correta das atividades antrópicas (Pedrosa & Pereira, 2013).

### **2.7.5.2. Obras de engenharia**

Os mapas geotécnicos destacam-se como aplicação corrente na área de engenharia, na medida em que se inserem na representação cartográfica da informação geológico-geotécnica na aplicação de projetos, construções e gestão de obras. As informações inseridas nos mapas são fundamentais na realização de obras geotécnicas. Para toda e qualquer obra de engenharia, o conhecimento prévio das características geotécnicas é, em geral, um facto de economia e segurança aquando da escolha da localização, da planificação e no respetivo projeto (Pinho, 2010).

Segundo González de Vallejo et al. (2002), os mapas geotécnicos para aplicações específicas de engenharia têm as seguintes finalidades:

- Estudos prévios ou de viabilidade para seleção de locais ou traçados;
- Informação de dados para o projeto e construção de uma obra.

De salientar que em ambos os casos a informação dos mapas deve ser complementada com perfis geotécnicos e nestes casos, as respetivas cartas apresentam escalas maiores, e tanto a quantidade de atributos como o detalhe normalmente são menores (Zuquette & Gandolfi, 2004).

Das principais aplicações da cartografia geotécnica destacam-se os estudos de viabilidade e a seleção de alternativas para o traçado e construção de obras lineares: estradas, vias férreas, etc., ao qual as condições geológico-geotécnicas são determinantes na execução do traçado (Zuquette & Gandolfi, 2004). Desta forma, a cartografia deve fornecer informação sobre as condições topográficas e geomorfológicas, cursos de água, propriedades gerais de solos e rochas, materiais de construção, etc. (González de Vallejo et al., 2002).

Nas cartas onde se apresentam informações e dados relevantes para o projeto e construção de uma obra, as escalas devem ser menores, mas em contrapartida o grau de detalhe, bem como a quantidade de atributos analisados e caracterizados é maior pois nestas circunstâncias é exigido um estudo aprofundado das características e do estado dos maciços, tanto à superfície como em profundidade. É determinante na cartografia com esta finalidade um estudo geológico – geotécnico complementado com prospeção geotécnica e ensaios geotécnicos “in situ” e laboratoriais (Silva, 2009; Pinho, 2010).

Quando a aplicação é direcionada a túneis, a cartografia deve aprovisionar informação sobre as propriedades dos materiais em profundidade, e as escalas de trabalho são semelhantes às das obras lineares de superfície. Para realizar os mapas e perfis geotécnicos é necessária a execução de sondagens que atinjam, pelo menos, a cota do túnel. Já no caso de aplicação para a construção de barragens os mapas geotécnicos devem ser realizados, tanto na zona de fundação da estrutura de betão, como na área que ocupará o reservatório/ albufeira (González de Vallejo et al., 2002; Zuquette & Gandolfi, 2004).

No quadro 17 apresentam-se de forma sintetizada os estudos geotécnicos a realizar, função da sua escala, para diferentes obras de engenharia.

**Quadro 17.** Síntese dos estudos geotécnicos a realizar, função da sua escala, para diferentes obras de engenharia (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).

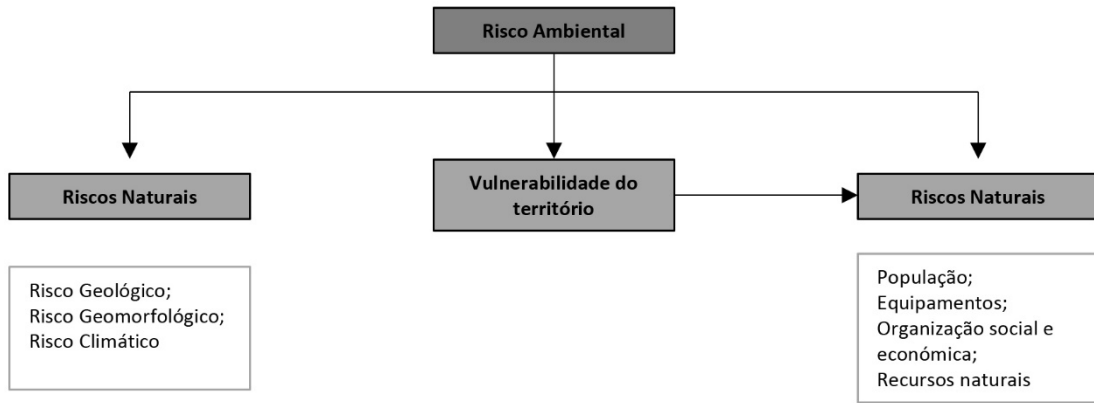
Tipos de Obras	Escala	Escala de Pormenor	Parâmetros a estudar
<b>Obras lineares: estradas, vias férreas, etc.</b>	1:10.000 a 1:2.000	1:500 a 1:2.000	Localização das sondagens e investigações realizadas; Processos dinâmicos (deslizamentos e subsidência), áreas instáveis e riscos geológicos; Aptidão geotécnica para fundações e apoio de obras de terra; Taludes de escavações; Condições de drenagem; Situação e qualidade dos materiais de empréstimo.
<b>Túneis</b>	1:10.000 a 1:2.000	1:500 a 1:2.000	Litologia, descontinuidades e falhas; Resistência e deformabilidade dos materiais; Fluxos de água e drenagens; Tensões naturais; Métodos de escavação; Métodos de sustimento; Zonas de emboquilhamento: estabilidade, recobrimentos, zonas alteradas, presença de água, etc.
<b>Barragens</b>	1:10.000 a 1:2.000	1:1.000 a 1:500 (escalas de desenho da barragem)  1:5.000 a 1:2.000 (zona de albufeira)	Litologia, descontinuidades e falhas; Propriedades resistentes e deformacionais dos maciços rochosos de fundação; Estabilidade dos maciços nas zonas de encostas; Permeabilidade e condições hidrogeológicas; Sismicidade e outros riscos naturais; Formações superficiais e profundidade de zonas alteradas; <b>Os mapas da zona de albufeira devem complementar:</b> Riscos geológicos; Estabilidade de encostas/ taludes; Formações superficiais; Materiais de construção, zonas de empréstimo e de pedreiras.

### **2.7.5.3. Riscos geológicos**

Com a chegada do século XX, desenvolveram-se o crescimento socioeconómico e o desenvolvimento tecnológico, que ao contrário do esperado, não foram acompanhados pela redução da ocorrência de catástrofes naturais, responsáveis por perdas humanas, materiais ou ambientais significativas. A elevada ocupação do território, levou ao aumento da vulnerabilidade das populações, principalmente nas zonas urbanas e áreas litorais. A falta de organização entre o Homem e o território conduziu à expansão da população e das suas atividades económicas para zonas que sempre permaneceram expostas a perigos naturais (Zêzere, 2007; Monteiro, 2012). A perceção da existência de superfícies mais vulneráveis do que outras a potenciais riscos, de origem geológicos e/ ou antrópicos, sempre condicionaram o uso que o Homem pode fazer dos diferentes segmentos da superfície terrestre (Zuquette & Gandolfi, 2004).

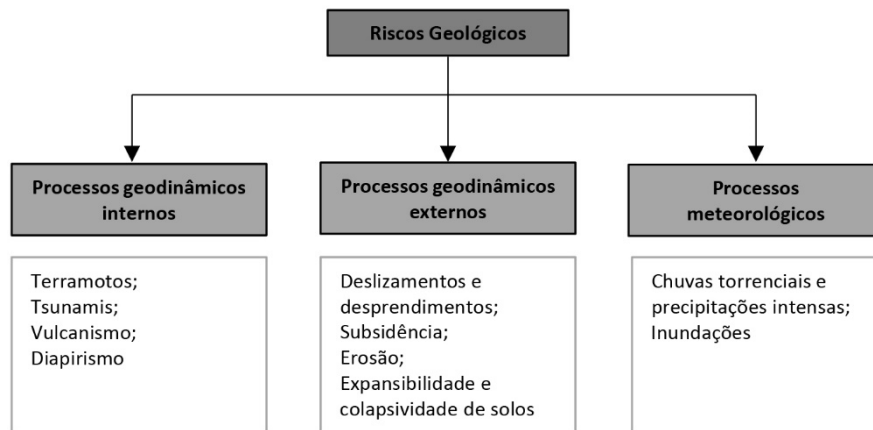
A cartografia geotécnica é uma ferramenta indubitável não só para o planeamento do território, mas também na hora da tomada de decisões, além que se integra em diversos ramos de engenharia nomeadamente na realização de obras e avaliação do meio físico. Cartografar as áreas suscetíveis é determinante na análise do risco e de extrema utilidade, na medida em que permite perceber quais os processos que podem causar danos às populações, aos edifícios ou às infraestruturas. Mas, a sua definição implica identificar o processo que induz ao risco, determinar qual a sua probabilidade de ocorrência, conhecer a área geográfica que poderá ser afetada, assim como precisar o grau de vulnerabilidade das populações contingentemente afetadas (Assis et al., 2016; Celeste, 2016).

A influência da dinâmica terrestre e as ações antrópicas promovem mecanismos que conduzem a vários riscos naturais. Os riscos naturais traduzem-se pela probabilidade de ocorrer dano e perdas provocadas por uma catástrofe num determinado local ou região devido à ação de um processo natural acelerado ou não por processos antrópicos. O risco natural é também considerado o produto da frequência e da magnitude de fatores de riscos naturais e antrópicos pela vulnerabilidade a esse mesmo risco. Já o risco geológico além de ser parte integrante do conceito mais vasto de risco natural e integrado na noção de risco ambiental (figura 18) pode ser definido como a vulnerabilidade aos fatores de risco de natureza geológica, ou seja, um evento geológico capaz de afetar as atividades humanas (Varnes, 1974; Dias, 2010).



**Figura 18.** Definição de risco geológico integrada na noção de risco ambiental (adaptado de Dias, 2010).

Os processos que podem originar riscos de natureza geológica são vários. Na figura 19 encontram-se os processos de dinâmica terrestre e meteorológicos que podem originar potenciais riscos.



**Figura 19.** Processos geodinâmicos e meteorológicos suscetíveis de originar riscos (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).

É de evidenciar que um qualquer processo pode originar maiores ou menores danos dependendo da sua intensidade, velocidade e extensão. No caso de terramotos, de grandes deslizamentos e de subsidências, em que as movimentações dos terrenos são catastróficas, em geral, os danos também os são. Já no caso de fluxos e outros movimentos de encostas, como os movimentos se processam lentamente, de um modo geral, apresentam menor gravidade. Devido aos constantes acontecimentos e à incerteza associada à ocorrência destes processos ou os fatores que lhes podem dar origem é cada vez maior a relevância do planeamento da ocupação territorial, assim como das medidas de prevenção e reação. No caso de inundações, subsidências e desprendimentos, a partir de estudos, em algumas situações é possível saber, quando e em que condições podem ocorrer determinados processos, permitindo desta forma realizar uma prevenção a curto prazo. Relativamente a erupções, tornados, terramotos e tsunamis, a incerteza é muito elevada, sendo

necessário uma prevenção a médio e longo prazo, ou até envolver dados probabilísticos. Como se pode verificar são vários os processos, o que implica que as medidas de prevenção sejam implementadas de várias formas, sendo as mais eficazes e com menores custos as medidas não estruturais que têm por base a integração dos riscos geológicos no ordenamento do território. Por tal, a importância do conhecimento das características geológico-geotécnicas dos terrenos e a elaboração de cartas de zonamento, de vulnerabilidade e de risco do território tornam-se um instrumento de elevada utilidade para o ordenamento do território (Zuquette & Gandolfi, 2004; Pinho, 2010).

No estudo geológico – geotécnico para integração dos riscos geológicos no planeamento do território, é importante distinguir os conceitos de perigosidade, vulnerabilidade e de risco (quadro 18).

**Quadro 18.** Síntese dos conceitos de perigosidade, vulnerabilidade e de risco (adaptado de Varnes, 1984).

<b>Perigosidade (P)</b>	Referente ao processo geológico, à probabilidade de ocorrência de um processo com um determinado nível de intensidade e severidade dentro de um período e área específica
<b>Vulnerabilidade (V)</b>	Define o grau de danos ou potenciais perdas causadas por um elemento ou conjunto de elementos como consequência da ocorrência de um fenómeno com determinada intensidade
<b>Risco (R)</b>	Incorpora considerações socioeconómicas e define as potenciais perdas causadas por um determinado fenómeno natural, (vidas humanas, perdas económicas diretas e indiretas, danos nos edifícios e estruturas, etc.) $Risco = P \times V \times Custos$

Através dos meios existentes atualmente pode afirmar-se que os estudos geológico-geotécnicos de uma dada região permitem avaliar suficientemente os riscos, relativamente à integração destes com o ordenamento do território. Segundo Ragueneil (1974) estes estudos permitem a avaliação da aptidão de uma área para determinado tipo de ocupação, da seguinte forma:

- Definir zonas perigosas e, se possível, prever a intensidade máxima do fenómeno e a sua frequência;
- Conhecer a influência das obras humanas, que em certas condições aceleram ou retardam o desencadeamento dos fenómenos, ou dos fatores que aumentam ou diminuem a sua amplitude;
- Saber se é possível atuar sobre um certo nível de risco por meio de técnicas especiais ou precauções adequadas.

A cartografia permite estimar medidas estruturais para proteção de pessoas e bens e mitigação dos danos, que possam responder de forma adequada às solicitações exigidas pelo meio, no caso de acontecimentos potencialmente devastadores. Destas medidas destacam-se as obras ou atuações

para controlar os processos (drenagens ou muros para estabilizar deslizamentos, obras hidráulicas para evitar inundações, etc.) e o projeto adequado de obras de engenharia para se evitar danos (edifícios antissísmicos, barragens, pontes e obras de drenagem adequadas aos caudais máximos previsíveis), (González de Vallejo et al., 2002).

Relativamente às medidas estruturais, destacam-se os regulamentos e códigos construtivos para que as estruturas estejam conformes com os projetos a que estão sujeitas. São exemplos de aplicações em Portugal, o “Eurocódigo 7 – Projeto geotécnico” (Maranha Neves, 1994; Matos Fernandes, 2000) e o “Regulamento de Segurança e Ações para Estruturas de Edifícios e Pontes” (Sousa Oliveira, 1986; Sousa Oliveira et al., 1999; RSAEEP, 2000).

Desta forma, os mapas são um meio mais eficaz de representar a informação, a uma escala conveniente, com referência a perigosidade e risco de um local, e devem ser executados e usados por entidades competentes sempre que necessário. A cartografia tem como objetivo dividir o território em zonas ou unidades com diferente grau de perigosidade ou risco (González de Vallejo et al., 2002).

Os mapas de inventário apresentam a localização espacial dos processos e/ ou zonas afetadas, assim como as características das mesmas. Normalmente, os mapas de processos de geodinâmica externa contém informações topográficas e geomorfológicas (Silva, 2009).

A suscetibilidade define-se pela possibilidade de uma zona ser afetada por diversos processos, expressa em diversos graus qualitativos e relativos. Os mapas de suscetibilidade baseiam-se em:

- **Mapas de inventário:** zonas que foram afetadas ou podem vir a ser afetadas por processos geodinâmicos;
- **Mapas de fatores:** áreas onde existe a convergência de determinados fatores que condicionam a ocorrência dos processos numa determinada zona, ou ainda que não tenham ocorrido se possam manifestar no futuro. Estes são realizados através da preparação de mapas temáticos dos fatores condicionantes e da sobreposição dos mesmos, sendo elaborados com base em técnicas SIG (Sistemas de Informação Geográfica) que permitem uma análise automática dos dados.

Podem ser considerados como elementos culturais, os monumentos e edifícios históricos, e como ambientais os parques e as zonas protegidas. Os dados obtidos podem ser representados em mapas individuais (perigosidade, vulnerabilidade, etc.) ou num único mapa síntese que incorpore todos os aspetos (Silva, 2009).

Para a elaboração de mapas de risco é apresentada a seguinte metodologia (González de Vallejo et al., 2002), quadro 19:

- Estimar o grau de perigosidade do processo geológico, considerando a intensidade/magnitude e o período de tempo;
- Identificar e valorizar os elementos sociais, estruturais e económicos, bem como ambientais e culturais que podem ser afetados;
- Avaliação da vulnerabilidade social, estrutural e económica dos elementos expostos;
- Estimar o risco com base na perigosidade e na vulnerabilidade, e dos custos dos elementos das zonas consideradas.

**Quadro 19.** Tipos de mapas de perigosidade vs. conteúdo/ metodologia adotada (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).

Tipo de Mapa	Conteúdo	Metodologia
Inventário	Localização e distribuição espacial dos processos atuais e passados e/ou das zonas afetadas; Características dos processos (tipo, magnitude, velocidade, intensidade, etc.).	Compilação dos dados; Estudo da tipologia e características dos processos.
Suscetibilidade	Zonas com diferente grau de suscetibilidade face à ocorrência de um tipo de processo.	Análise de processo; Análise dos fatores condicionantes; Sobreposição dos fatores.
Perigosidade	Zonas com diferente grau de perigosidade; Representada qualitativamente (alta, média ou baixa).	Análise dos fatores desencadeadores; Previsão espacial e temporal da ocorrência dos processos.
Vulnerabilidade	Localização espacial dos elementos ou zonas com diferente grau de vulnerabilidade.	Identificação dos elementos expostos; Avaliação da sua vulnerabilidade.
Risco	Divisão do território com base no risco ou grau de risco.	Avaliação das perdas devido a um processo.
Multi - riscos	Divisão do território com base no risco ou grau de risco.	Avaliação das perdas devido a vários riscos

## 2.8. Sistemas de informação geográfica (SIG)

### 2.8.1. Noções básicas

Devido ao avanço das tecnologias de informação nas décadas de 40 e 50, a cartografia começou a sua informatização com o primeiro trabalho realizado por Tomlinson em 1962, tendo sido denominado de Sistema de Informação Geográfica Canadiano (*Canadian Geographic Information System – CGIS*). Já na década de 70, as informações contidas nos mapas passaram a ser registadas na forma numérica. Desde então, a chamada cartografia informatizada tornou-se um sistema, sistema de informação geográfica (SIG), contendo o próprio banco de dados, o que permitiu uma diminuição bastante acentuada no tempo de produção de um mapa (Bastos, 1996; Zuquette & Gandolfi, 2004).

Ao longo de toda a pesquisa é possível averiguar que são diversas as definições de SIG apresentadas por vários autores, sendo que não existe uma definição universal, podendo considerar-se que os Sistemas de Informação Geográfica, são ferramentas computacionais que permitem a integração de informação diversa, bem como a sua manipulação, sendo adequadas principalmente na análise de problemas de natureza espacial, tanto a nível global, regional ou local (Fortes, 2007). As várias definições dependem, do contexto de recolha, do tipo de armazenamento, manipulação e apresentação da informação, dos trabalhos a executar (consulta, atualização e análise), ou até, da utilização feita (decisão, gestão, investigação). Por tal, pode afirmar-se, de forma lata que os SIG têm dois componentes complementares (Bateira, 2001):

- O conjunto de máquinas e programas (essencial para a eficiência do trabalho a realizar);
- O processo informativo (condição básica para que os resultados a atingir tenham fiabilidade).

Desta forma, os sistemas de informação geográfica, surgem com a necessidade de rapidez, melhor desempenho, e maior precisão aquando da elaboração dos mapas. O termo GIS (*Geographic Information System*) tem sido utilizado em diversas áreas científicas para os mais diversos fins, tendo revolucionado os métodos de armazenamento, processamento e de visualização dos dados permitindo a modelação das mais distintas situações (Bastos, 1996; Pinho, 2010).

É um sistema que permite a conexão dos dados espacialmente referenciados com outros dados, agrupando-os de forma sistemática e organizada. A partir destes dados é possível analisar e criar novas informações, com base nos objetivos do utilizador, tendo ainda a capacidade de permitir trabalhar com um grande número de informações, quer sejam espaciais, numéricas ou temporais, de forma ágil e rápida (Zuquette & Gandolfi, 2004). Neste momento, estes sistemas são já providos com uma infinidade de ferramentas cartográficas, de ferramentas de interpolações e estimativas, edições e compatibilidade com as mais diversas extensões de arquivos. Além disso, permitem a programação para trabalhos em três dimensões (3D) e gerar arquivos de alta definição (Zuquette & Gandolfi, 2004).

Segundo Bastos (1996), os SIG apresentam aplicação em cinco áreas, conforme se apresenta no quadro 20.

**Quadro 20.** Síntese das principais aplicações SIG (adaptado de Bastos, 1996).

<b>Ocupação Humana</b>	Planeamento e gestão urbana - redes de infraestrutura, telecomunicações e ordenamento do território; Saúde e educação - Rede hospitalar e de ensino, saneamento básico e controlo epidemiológico; Transporte - supervisão das redes viárias, controlo de tráfego, sistemas de informação turística; Segurança - controlo do espaço aéreo, marítimo e terrestre, controlo de tráfego, cartografia náutica.
<b>Uso do Território</b>	Planeamento agropecuário; Classificação de solos e vegetação; Gestão de bacias hidrográficas: planeamento de barragens, levantamento topográfico e planimétrico; Cartografia do uso do terreno.
<b>Uso dos Recursos Naturais</b>	Controlo do uso da extracção vegetal e mineral; Gestão de recursos hídricos; Gestão costeira.
<b>Meio Ambiente</b>	Controlo de queimadas; Gestão florestal.
<b>Atividades Económicas</b>	Planeamento de pesquisas socioeconómicas; Distribuição de produtos e serviços; Transporte de matéria-prima.

As aplicações informáticas aplicadas à cartografia geotécnica, principalmente o recurso aos Sistemas de Informação Geográfica permitem, distinguir os seguintes aspetos (González de Vallejo et al., 2002):

- O tratamento, processamento, cruzamento e análise automática dos inúmeros dados de campo e laboratório;
- A obtenção de mapas de elementos ou de fatores (individuais ou combinados);
- O desenvolvimento de uma base de dados dinâmica e interativa;
- A atualização contínua dos mapas, incluindo a incorporação de novos dados e informação;
- A preparação de modelos tridimensionais e a simulação computacional de ações sobre o terreno.

A aplicação do SIG no tratamento e análise automática da informação geológico-geotécnica tem a finalidade de aprimorar o zonamento geomecânico e toda a modelação geotécnica associada. Estes sistemas em junção com os sistemas de análise computacional e os dados obtidos no campo, a partir dos métodos tradicionais usados na cartografia, quando aplicados à cartografia geotécnica permitem a facilidade na consulta de dados, bem como a eficácia no seu tratamento e interpretação. Permitem, ainda, a elaboração de análises a diferentes escalas, possibilitando o acompanhamento das alterações do meio físico e a sua rápida atualização. Estes sistemas adquiriram bastante importância nas geociências (tectónica, geomorfologia, hidrogeologia, geologia de engenharia, geofísica, etc.), nas engenharias (geotécnica, geológica, minas, civil, ambiente, etc.) e ainda para o planeamento territorial e urbano (Bateira, 2001; Pinho, 2010).

Os Sistemas de Informação Geográfica, devem ser vistos como um processo de tomada de decisões, e não só como um “software”. O modo como os dados são inseridos, armazenados e analisados dentro de um SIG deve refletir a forma como a informação será usada, tanto para uma pesquisa como para uma tomada de decisão. Estes sistemas utilizam georreferências como meio primordial para armazenar e aceder à informação, tendo por isso a possibilidade de utilizar e aceder a outras bases de dados, fotografias aéreas, imagens de satélite e modelos estatísticos já existentes, permitindo desta forma a integração destas informações num sistema único (Bateira, 2001).

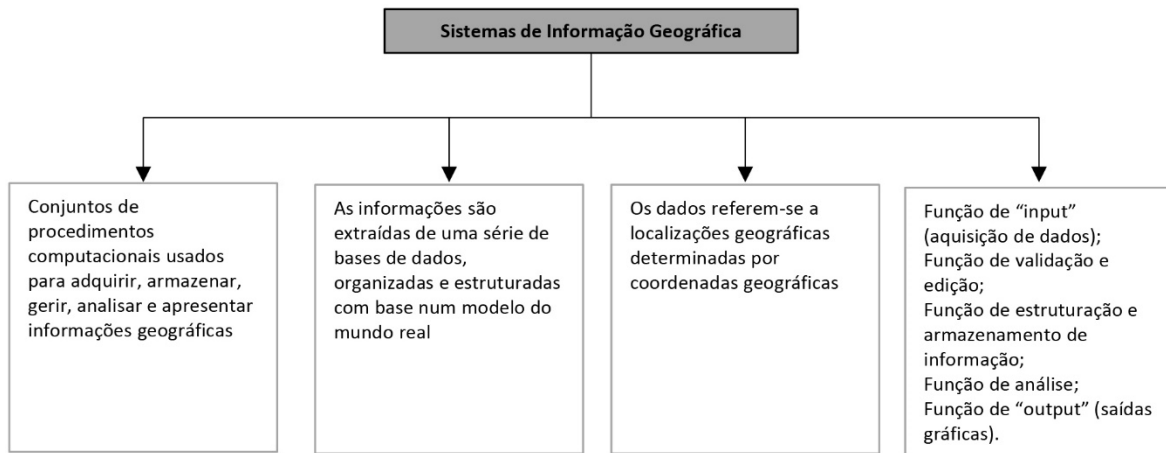
A cartografia geotécnica combinada com um SIG tem sido usada como ferramenta de apoio para a determinação e monitorização da ocupação do solo, em especial na regulação dos espaços geográficos de forma a proteger as áreas de interesse ambiental, além de ajudar com a análise do ambiente em relação á utilização dos recursos e produção de mapas importantes para a engenharia geotécnica (Ribeiro et al., 2012). Hoje em dia, a cartografia assenta no suporte tecnológico e na informática, destacando-se a mais recente cartografia portuguesa, a nova Série Cartográfica Nacional (SCN), com a orientação do IGP (corresponde à cobertura nacional de cartografia topográfica nas escalas 1:10.000 e inferiores), com a particularidade de inserir o conceito da multicodificação (Alexandre, 2011).

A par dos Sistemas de Informação Geográfica destacam-se as seguintes tecnologias: CAD (desenho assistido por computador), cartografia numérica, sistema de gestão de base de dados (SGBD) e deteção remota (Pinto, 2009).

Segundo Câmara (1999), as principais características de um SIG são:

- Integrar, numa única base de dados, informações espaciais provenientes de dados cartográficos, imagens de satélite, redes e modelos numéricos do terreno;
- Combinar as várias informações, através de algoritmos de manipulação, para produzir mapas derivados;
- Consultar, recuperar e visualizar o conteúdo de base de dados geocodificados.

De uma forma sucinta, a figura 20, ilustra as funções de um Sistema de Informação Geográfica.



**Figura 20.** Funções de um Sistema de Informação Geográfica (adaptado de Cunha, 2009; Pinto, 2009).

O armazenamento da cartografia em suporte digital, processa-se segundo os seguintes modelos (Alexandre, 2011):

- **Modelo matricial ou raster:** consiste na conversão da informação gráfica (analógica) para a forma numérica (digital), tendo como desvantagem o facto de gerar imagens muito “pesadas” e não ter capacidade para separar os vários objetos pelos seus atributos ou classificação. Em contrapartida, apresenta vantagens a nível das funcionalidades de cálculo e análise espacial.
- **Modelo vetorial:** é adquirido por estéreorestituição ou simplesmente por “digitalização” manual e automática, apresentando maiores vantagens no que respeita aos níveis de manipulação, tornando a informação muito mais leve e os objetos têm todo o dinamismo e suscetibilidade para se diferenciar por atributos ou classes, adquirindo a forma de ponto, linha, área ou texto.

De forma a compreender melhor a estrutura de um SIG, é importante ter em atenção algumas noções básicas, de maneira a entender a sua utilização em mapas geotécnicos (Oliveira, 2014):

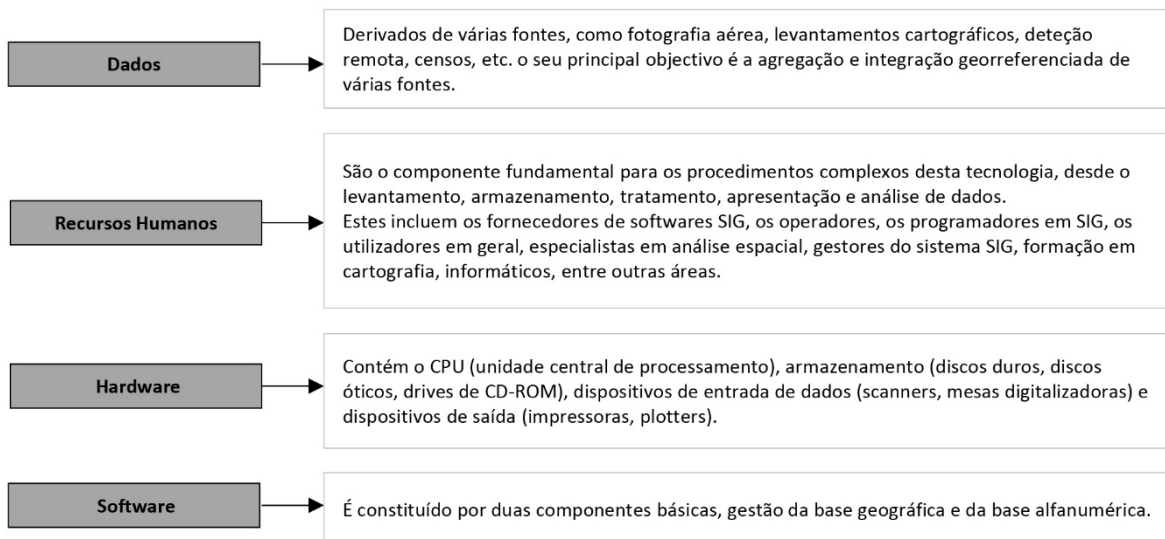
- **Mapas temáticos:** cartas geográficas relacionadas com o uso do solo, unidades geológicas e aptidão agrícola. Podem ser representados na forma matricial ou vetorial;
- **Topologia:** forma como os diferentes elementos gráficos se relacionam entre si. As informações geográficas podem ser apresentadas segundo três conceitos básicos: ponto, linha e área;
- **Atributos:** informações não gráficas associadas a elementos representados por pontos, linhas ou áreas;
- **Base de dados:** um SIG apresenta dois tipos de dados, os gráficos e os não gráficos. Os primeiros correspondem à cartografia, e podem ser apresentados segundo o modelo

vetorial ou raster. Os dados não gráficos, caracterizam quantitativa e qualitativamente os atributos da base cartográfica digital.

### 2.8.2. Componentes de um SIG

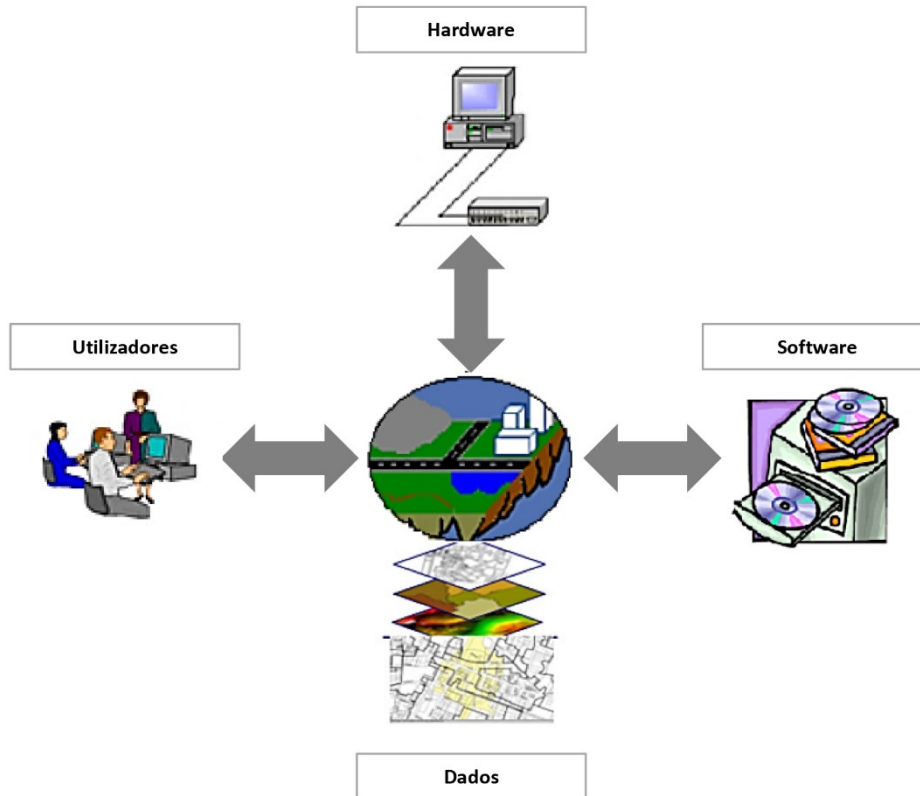
O SIG como qualquer sistema de informação, é constituído por um conjunto de dados que permite dar resposta a questões do âmbito de formação desse sistema, principalmente porque os dados são georreferenciados, isto é, possibilitam a localização geográfica das entidades ou objetos que fazem parte das respostas, mas para tal, um SIG necessita de informação alfanumérica (estatística) e gráfica (mapas), (Alexandre, 2011).

Os Sistemas de Informação Geográfica são constituídos pelos seguintes componentes principais (figura 21):



**Figura 21.** Descrição dos componentes de um SIG (adaptado de Fortes, 2007; Cunha, 2009).

A implementação destes sistemas requer que alguns princípios sejam atingidos, nomeadamente a definição de objetivos, a conceção das suas componentes principais (físicas e funcionais), o próprio *hardware e software*, as fontes de informação, a equipa técnica, a recolha, validação e edição da informação, o sistema de consulta e análise, entre outros (Alexandre, 2011). Na figura 22, encontra-se especificado como atuam os diferentes componentes.



**Figura 22.** Componentes de um SIG (adaptado de Fortes, 2007).

Se não existissem as pessoas, os dados a disponibilizar por outras pessoas e/ ou levantamentos externos a realizar, os procedimentos e objetivos a seguir, um bom hardware e software, um SIG não funcionaria, por tal é fulcral a articulação entre todos os componentes (Cunha, 2009).

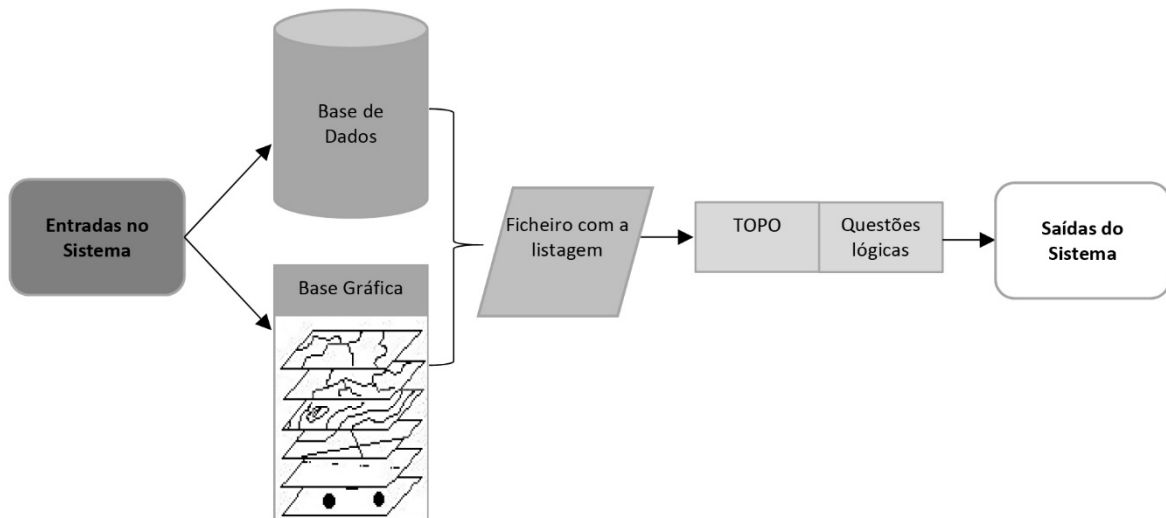
### **2.8.3. Metodologia na implementação do SIG**

As metodologias estão diretamente relacionadas com o conhecimento e a experiência do profissional, este através de um objetivo bem delineado submete os dados a um tratamento específico, de forma a obter os resultados desejados.

Todo o conjunto de operações e funções de um Sistema de Informação Geográfico só é concretizável com a constituição de um fluxo de trabalho em ambiente SIG, que apresenta a infraestrutura de todo o tratamento da informação a executar com a construção das questões lógicas. A construção destas, não é possível se não existir um ficheiro topológico capaz de implementar o trabalho de relacionamento espacial da informação (Bateira, 2001).

Segundo Bateira (2001), os trabalhos em SIG apresentam a seguinte sequência (figura 23):

1. Construção da base gráfica e da base de dados;
2. Construção de um ficheiro de listagem com toda a informação;
3. Construção de um ficheiro topológico que aglutina a informação não espacial com a informação gráfica;
4. Construção das questões lógicas;
5. Ligação entre as questões lógicas e o ficheiro topológico;
6. Saídas do sistema.



**Figura 23.** Fluxo de trabalho em ambiente SIG (adaptado de Bateira, 2001).

Após digitalizada a base gráfica, procede-se à caracterização dos elementos gráficos com o preenchimento dos atributos na base de dados. Isto é, a identificação do sistema, dos elementos gráficos e a construção de uma ligação destes com a base de dados. Desta forma, obtém-se a base informativa que permite realizar uma lista com toda a informação, construir um ficheiro topológico associado às questões lógicas e capaz de reproduzir a informação que constitui as saídas do sistema (Bateira, 2001).

## 2.9. Bases de dados: aplicações à geotecnia

Uma base de dados não passa de um simples repositório de informação, relacionada com um determinado assunto ou finalidade, armazenada no computador em forma de ficheiros, permitindo gerir elevados conjuntos de informação de maneira a facilitar a organização, manutenção e pesquisa de dados. De uma forma generalizada, pode afirmar-se que todo e qualquer conjunto de dados organizados é uma base de dados (BD), (Hoffman, 2003; Pinho, 2010; Zeiler, 2010).

As bases de dados surgiram comercialmente nos anos 60, do século XX, tendo a sua aplicabilidade na gestão de empresas para a gestão de pessoal, de *stocks*, financeira, entre outros. Com a chegada dos anos 70 surgem os Sistemas de Gestão de Base de Dados (SGBD) ou *Database Management system* (DBMS). Estes, são um conjunto de *softwares* que regulam a estrutura e elaboração da base de dados, controlam o acesso dos dados armazenados e permitem a sua atualização permanente (Pinho, 2010). Um exemplo bastante notório destes programas é o *Microsoft Access*. Estes, para o seu desempenho e manipulação de dados apresentam uma linguagem própria:

- **Definição de dados:** Data Definition Language (DDL), usada na criação e alteração da estrutura da base de dados;
- **Consulta de dados:** Data Query Language (DQL) para obter e processar os dados armazenados;
- **Manipulação de dados:** Data Manipulation Language (DML) para acrescentar dados e modificar outros já existentes.

Comparando com os modelos tradicionais, o *Microsoft Access* tem a vantagem de compacidade, pois evita volumosos conjuntos de papéis; rentabilidade; velocidade, na medida em que o computador consegue manusear grandes quantidades de informação num curto espaço de tempo e a correção, porque as informações tendem a ser mais atuais, corretas e precisas (Access, 2001).

Segundo Zeiler (2010), os SGBD's apresentam as seguintes características:

- Podem ser utilizados por vários utilizadores, podendo aceder à base de dados ao mesmo tempo;
- Permite definir que tipo de dados cada utilizador pode ter acesso;
- Permitem combinar a gestão do armazenamento/ manipulação dos dados com a construção das aplicações que implementam os processos da organização.

Após surgirem os SGBD, começam também a aparecer métodos para elaboração de bases de dados. A primeira proposta surge em 1971, tendo por base a definição de níveis para a modelação, onde cada nível isolava as suas características específicas, denominado de “arquitetura de três níveis”.

Posteriormente em 1977, Peter Chen, propôs o método da “entidade-relacionamento”, relacionado com a perceção do mundo real, e consiste num conjunto de objetos básicos chamados entidades nos relacionamentos entre esses objetos, tendo por base os modelos conceptual, lógico e físico. O modelo conceptual, representa os objetos e as suas características, bem como os seus relacionamentos o mais fielmente possível, sem a preocupação com programas ou o modo de implementação dos dados. O modelo lógico refere-se aos objetos, às suas características e

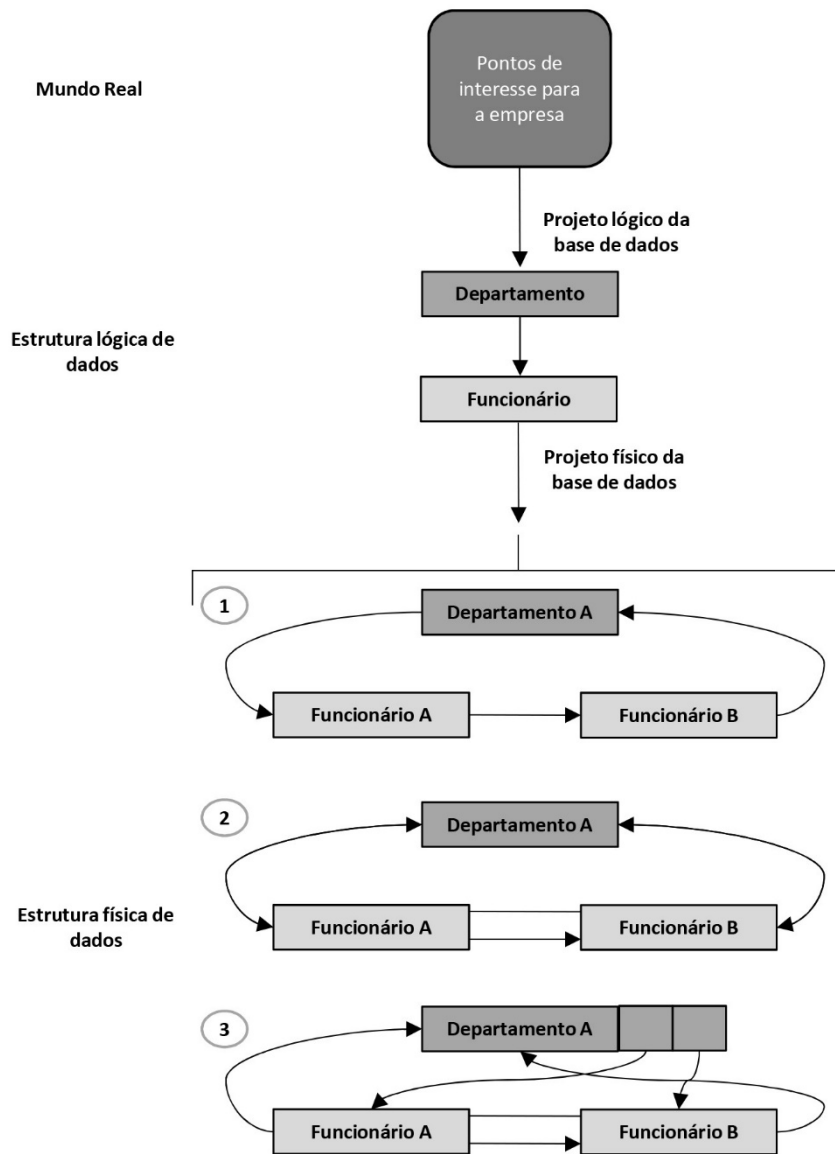
relacionamentos de acordo com as regras de implementação e restrições impostas pelo software a utilizar. O modelo físico diz respeito ao tipo de estruturas de armazenamento, ou seja, à forma de disposição e acesso físico aos dados (Fileto, 2006; Pinho, 2010). Esta técnica criou avanços significativos na modelação de dados, por apresentar uma independência do esquema conceptual de dados e também na facilidade na organização de dados (entidade-relação) tornando o processo muito mais simplificado.

Desta forma, o modelo de Chen (1977) além de ser bastante difundido, também foi largamente utilizado até hoje, havendo exceções em algumas funcionalidades adicionais, como referência para o processo de modelação.

### **2.9.1. *Sistemas de base de dados e modelos de dados***

Um projeto de uma base de dados esta compreendido em duas fases (Zeiler, 2010), figura 24:

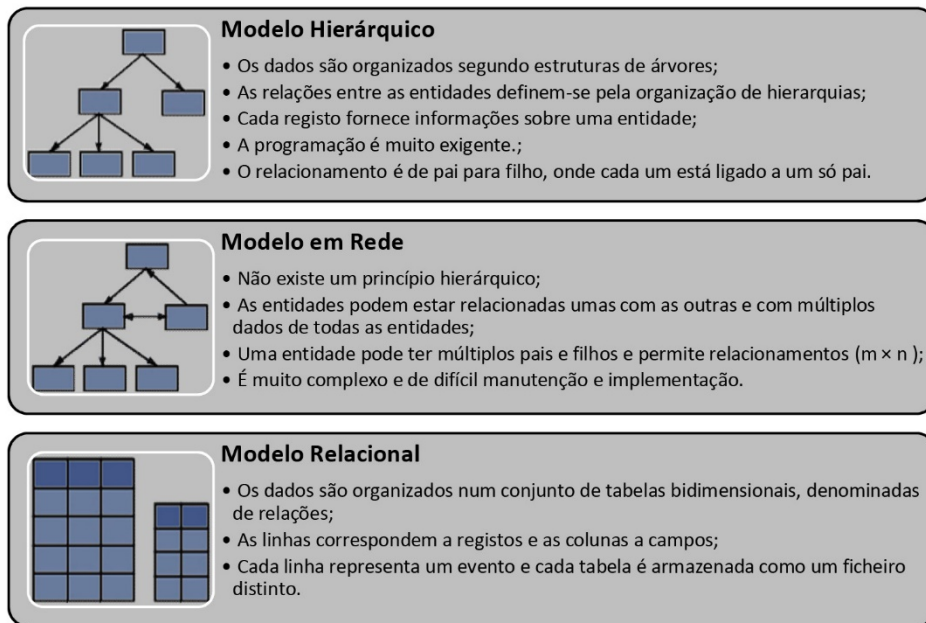
- **Projeto físico:** processo de escolha de uma estrutura física mais adequada para uma dada estrutura lógica de dados;
- **Projeto lógico:** processo de planeamento de uma estrutura lógica de dados para um sistema de base de dados.



**Figura 24.** Projeto físico e lógico de uma base de dados (adaptado de Chen, 1977).

São vários os sistemas, ou modelos de base de dados. Os modelos dividem-se em modelos conceptuais e modelos de implementação, os conceptuais são usados para obter uma descrição lógica da base de dados e os de implementação descrevem a forma como os dados estão representados na base de dados. Estes, por sua vez, são classificados segundo três categorias: modelo hierárquico, em rede e relacional, apresentando como principal diferença entre eles, o tipo de estruturas lógicas de dados que podem ser suportadas (projeto lógico), (Costa, 2009; Pinho, 2010).

Na figura 25, encontram-se descritas algumas das características de cada modelo referido.



**Figura 25.** Características dos principais modelos das bases de dados (adaptado de Costa, 2009; Pinho, 2010).

Dos modelos referidos, o modelo mais utilizado nas bases de dados é o relacional, pois apresenta maiores vantagens comparativamente aos restantes, além de ser o único com capacidade de se adaptar aos Sistemas de Informação Geográfica, apresentando as seguintes vantagens (Pinho, 2010; Zeiler, 2010):

- Flexibilidade quase limitada em formar relacionamentos;
- Não exige hierarquia dos campos de dados num registo;
- As tabelas são realizadas conforme as necessidades e permitem ligações dinâmicas entre elas;
- A busca dos dados pode ser efetuada em qualquer tabela, usando um qualquer atributo da mesma;
- Todos os campos podem ser usados como chave;
- Podem ser utilizadas tabelas relacionais para otimizar o desempenho do sistema.

A desvantagem mais notória deste método é o facto do seu lento desempenho nas operações que envolvem buscas sequenciais para encontrar os dados.

### **2.9.2. Base de dados relacional**

O projeto de uma base de dados relacional deve ser constituído por duas fases: a construção de um modelo conceptual (modelação conceptual dos dados) e construção de um modelo lógico dos

dados. Tendo por base o método descrito por Chen (1977), denominado de entidade-relacionamento, a construção do modelo deve apresentar a seguinte forma:

- **1ª fase:** construção do modelo conceptual onde a preparação e representação gráfica é obtida pela abordagem e técnica da entidade-relacionamento;
- **2ª fase:** construção do modelo lógico, a partir da transformação do modelo conceptual, tendo em consideração algumas regras, para o modelo de dados do *software* do SGBD utilizado, como por exemplo o *Microsoft Access*.

A técnica de entidade-relacionamento, consiste em determinar a relação entre entidades (objetos) e os seus atributos (propriedades), e na sua representação esquemática. Por tal, antes de se usar esta técnica é necessário assimilar os conceitos que lhe são atribuídos, bem como a forma de os representar. Destacam-se desta forma, as seguintes noções básicas (Pinho, 2010):

- **Entidade:** todos os objetos observados ao qual é necessário guardar a informação (pessoas, órgãos, documentos, materiais, etc.) Cada entidade é descrita por diversas propriedades ao qual se denominam de atributos;
- **Atributos:** devem permitir detalhar a entidade, fornecendo-lhe propriedades descritivas. Estes podem ser identificadores (usados para descrever univocamente uma entidade, chamados de chave primária), ou descritores (descrevem as características da entidade);
- **Relacionamentos:** apresentam a forma como os objetos estão interligados. Estes são definidos da seguinte forma:
  - Cardinalidade: (ou grau de relacionamento entre as entidades). Podem ser de um para um (1:1); um para muitos (n 1: n) e muitos para muitos (n m: n);
  - Número de elementos que participam do relacionamento: podem ser estabelecidos entre um ou mais elementos, sendo os mais usuais os relacionamentos binários;
  - Condição de participação dos elementos no relacionamento;
  - Condição de estabelecimento do relacionamento.

Na técnica em análise os relacionamentos são representados por losangos com linhas conectadas ao tipo de entidades relacionadas, sendo estas representadas por retângulos. Para que a técnica tenha o objetivo previsto, é necessário que se cumpram algumas regras, nomeadamente a definição de todos os elementos, o seu significado, os exemplos ilustrativos, correlação entre os conceitos, assim como todas as informações consideradas úteis para cada projeto. Esta fase designa-se por dicionarização e apresenta uma importância significativa, na medida em que

permite eliminar as ambiguidades, incertezas e proporcionar uma compreensão fácil dos conceitos, acessíveis para todos os utilizadores (Pinho, 2010).

Segundo o modelo de Chen (1977), deve ter-se em consideração a normalização imposta pelo autor, de forma a melhorar, organizar e eliminar erros associados. A normalização consiste numa série de regras, para verificar, validar e ajustar as estruturas de dados, e deverá ser aplicada no processo de construção do modelo conceptual, na derivação do modelo lógico e após a derivação do mesmo.

### **2.9.3. Bases de dados geotécnicas**

As bases de dados com finalidades geológico-geotécnicas surgiram no final da década de 1960, com o estabelecimento dos Sistemas de Informação Geográfica e a gestão da base de dados. Desta forma, a evolução das bases de dados impulsionou o aparecimento de novos métodos e técnicas envolvidas em cada projeto (Zuquette, 1987).

É de destacar os elementos referentes às bases de dados geológico-geotécnicas, com base nas suas técnicas e finalidades (Machado, 2015):

- Baseiam-se em dados obtidos principalmente em ensaios e descrições geológico-geotécnicas, assim como, todas as fontes que sejam uteis a cada projeto;
- Utilizam *softwares* capazes de incorporar e relacionar dados geológico-geotécnicos em formato digital, facilitando a organização, o armazenamento e a visualização dos dados;
- Permitem o uso de Sistemas de Informação Geográfica, que otimizam a manipulação e análise dos dados, possibilitando uma conexão entre a informação gráfica e alfanumérica, de forma a obter cartas geotécnicas e outros documentos auxiliares.

Quando se está perante um grande número de informações é essencial o uso de bases de dados. Cada empresa vai realizando as suas bases de dados à medida que implementa os mais diversificados projetos, no entanto estas justificam-se quando se pretende compilar informação de grandes áreas, como municípios, com o objetivo da realização de cartas geotécnicas. Desta forma, para a realização destas é essencial um exaustivo trabalho de recolha e tratamento de informação. Muitas das vezes os dados recolhidos estão sob a forma gráfica, tabelas e memória descritiva, o que através da realização de uma base de dados permite uniformizar e hierarquizar a informação geotécnica.

No manuseamento de dados geotécnicos podem distinguir-se dois tipos de programas (Hoffman, 2003; Zuquette & Gandolfi, 2004):

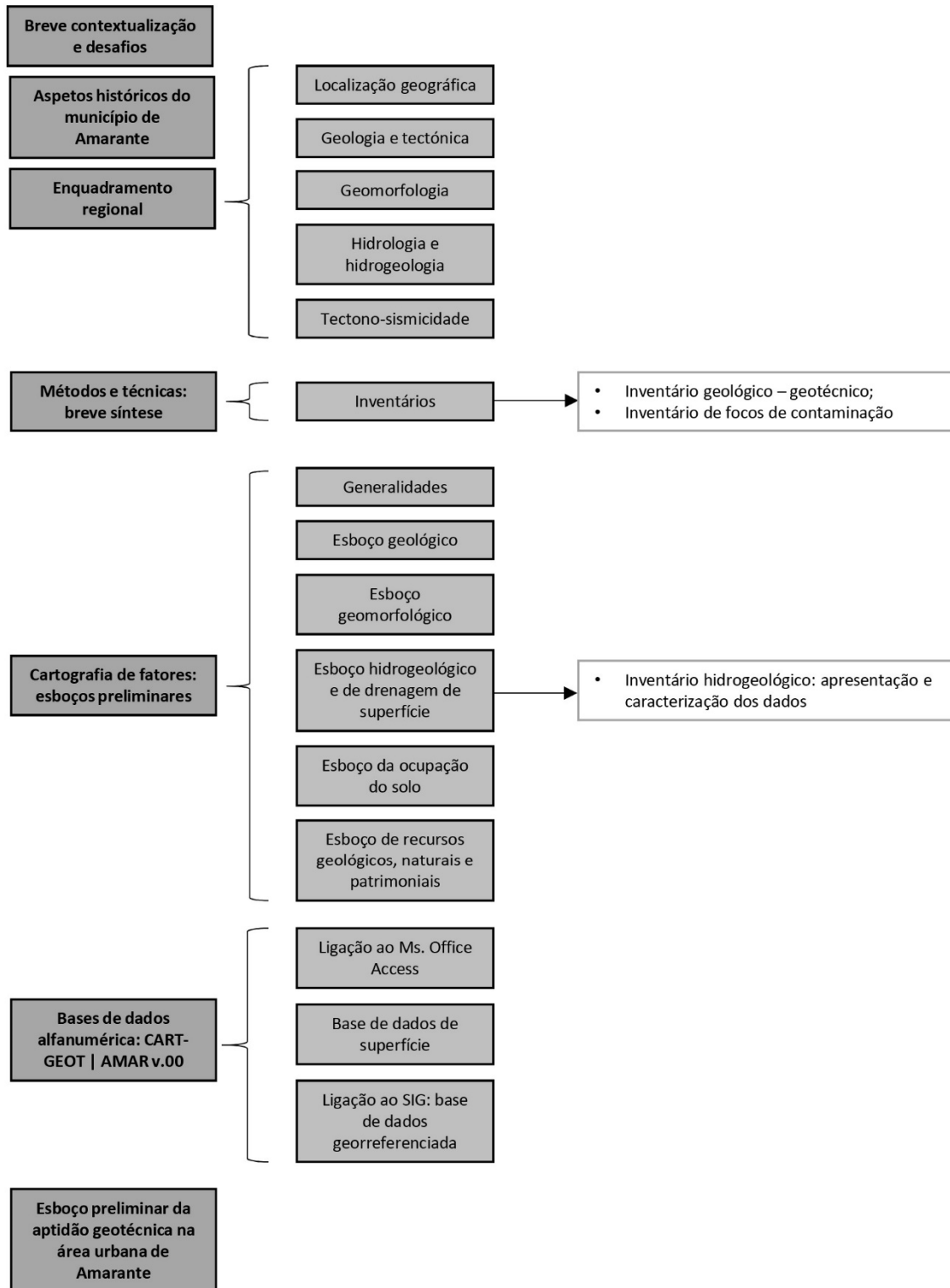
- Programas de bases de dados comerciais existentes ou sistemas de gestores de base de dados (SGBD) geotécnicos comerciais, que são programas criados especificamente e próprios para a gestão de informação geotécnica. Consistem na introdução e armazenamento de informação geotécnica do terreno e laboratorial a partir da qual se obtêm gráficos ou registos/ resultados característicos dessa informação. São sistemas importantes na organização da informação geotécnica e para a elaboração de relatórios e interpretações geotécnicas. São exemplos os registos (logs) dos furos de sondagem, resultados de ensaios laboratoriais, perfis do terreno, entre outros. Para estes casos são apresentados os seguintes programas: HoleBASE+ e SID (em ambiente Windows) e TECHBASE e Gint (em ambiente DOS) ou o Strater da Golden Software;
- Programas de base de dados adaptados, que são programas de bases de dados não específicos, ao qual se podem adaptar para funcionar como base de dados geotécnicas, como por exemplo o Microsoft Access ou DBASE.

Neste trabalho para a gestão de dados será realizada com sistemas gestores de dados como o *Microsoft Access*. Uma base de dados deste género considera toda a informação geotécnica com interesse disponível. Os dados podem ser organizados de diversas formas, sendo a mais utilizada a seguinte forma:

- **Dados de identificação:** identificação da empresa ou entidade da qual provém a informação, data e localização da informação que esta fornece, o tipo de trabalho que a mesma apresenta;
- **Dados geológicos e geotécnicos:** geologia, geomorfologia, hidrogeologia, etc.;
- **Dados de prospeção geotécnica:** prospeção mecânica (sondagens), geofísica e dados de ensaios “in situ” e laboratório.

A organização dos dados necessários a cada trabalho permite obter um esquema da estrutura de cada base de dados através do esquema de ligação e a relação entre todos os dados pode ser elaborada a base de dados nos programas escolhidos para a introdução dos dados.

### 3 - Geotecnia urbana de Amarante: estudos preliminares para uma cartografia geotécnica



[Página propositadamente em branco]

### **3. Geotecnia urbana de Amarante: estudos preliminares para uma cartografia geotécnica**

#### **3.1. Breve contextualização e desafios**

A presente dissertação visa contribuir para o estudo da geotecnia do núcleo urbano da cidade de Amarante situada no distrito do Porto. Por tal, procedeu-se à compilação, revisão, bem como à sistematização de toda a informação geológico-geotécnica, geográfica e cartográfica fornecida e recolhida do local visando a preparação da criação de uma base de dados SIG. Este projeto está inserido num estudo preliminar do DEG| ISEP, através do Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada – LABCARGA| ISEP em parceria com a Câmara Municipal de Amarante (CMA).

O local de estudo é a zona urbana de Amarante, que integra o Centro Histórico, assim como as áreas imediatamente adjacentes que complementam a estrutura morfológica do núcleo central da cidade, local já definido pelos serviços da câmara (figura 26). É constituído também por espaços com elevada qualidade ambiental que, de forma muito estreita interagem com as margens ribeirinhas do Tâmega contribuindo para a formação de um ecossistema paisagístico diversificado (Município de Amarante, 2014). A abordagem tem em consideração os aspetos geomorfológicos, geológicos, hidrológicos e a inspeção visual do local. Por tal, este documento apresenta uma síntese e análise de todos os dados relativos à cartografia em ambiente SIG, com o intuito de contribuir para a elaboração de um esboço da cartografia geotécnica da área em análise, com os primeiros resultados obtidos neste trabalho, e a extrema importância da cartografia nas zonas urbanas nomeadamente no que diz respeito ao Planeamento e Ordenamento do Território.

O estudo iniciou-se no dealbar de 2016, em que numa primeira fase procedeu-se à compilação de bibliografia e documentação cartográfica. Posteriormente, efetuou-se um reconhecimento e trabalho de campo sistemático com a identificação de todos os dados pertinentes à elaboração dos esboços preliminares de cartografia de fatores orientados para a proposta de um esboço de cartografia geotécnica da área urbana de Amarante. Seguidamente procedeu-se a um intensivo trabalho de gabinete, através da manipulação, entre outros, de Sistemas de Informação Geográfica (ArcGis 9.3|ESRI), de desenho vetorial cartográfico (Ocad 11), de folha cálculo Ms. Excel 2016 e de base de dados Ms. Access 2013. Para o tratamento cartográfico e geotécnico de campo recorreu-se aos equipamentos e instalações do LABCARGA| ISEP.



**Figura 26.** Localização da área em estudo (centro histórico de Amarante e área envolvente).

Numa primeira análise deste capítulo serão abordados de uma forma sintética os aspetos históricos do local, bem como o seu enquadramento regional com base em pesquisas bibliográficas, para posteriormente se proceder à elaboração dos esboços cartográficos preliminares de fatores e de síntese, bem como da base de dados.

### 3.2. Aspetos Históricos do Município de Amarante

Amarante é uma cidade do Norte de Portugal e considerada uma das mais charmosas do País, banhada pelo belo rio Tâmega. O município beneficia de uma riqueza histórica inigualável, onde se atribui a sua origem mais remota aos povos que habitaram a serra da Aboboreira (habitada desde a idade da pedra). Amarante começou, assim, a estabelecer a sua importância com a chegada de São Gonçalo (1187-1259), nascido em Guimarães que após peregrinação por Roma e Jerusalém, decidiu viver na cidade do Tâmega, sendo considerado o autor da construção da velha ponte sobre o rio Tâmega (Guia da Cidade, 2003; Colégio de S. Gonçalo, 2010). Alguns atribuem a fundação de Amarante aos Turdetanos da Lusitânia, em meados de 360 a.C., que através do domínio dos

romanos, foi reedificada por Amaranto, governador do império, de quem herdou o nome. No entanto, existe uma segunda versão para a derivação do seu nome, onde Amarante deriva de “Admaranus” que significa “junto ao Marão” (Vieira & Pinto, 2013). Na figura 27, encontram-se algumas das fotografias retiradas do arquivo do colégio de São Gonçalo de Amarante, que apresentam a imagem da cidade no passado.



**Figura 27.** Fotografias do passado da Cidade de Amarante. (1)- vista do lado oriental da ponte de S. Gonçalo, margens direita e esquerda do Tâmega; (2)- estação de Amarante, caminho de ferro do vale do Tâmega, Minho e Trás-os-Montes (margem direita) inaugurado em 21-03-909; (3)- Bairro de Santa Luzia (arquivo do colégio de S. Gonçalo).

No século XVI, D. João III ordenou que se construísse o Mosteiro de São Gonçalo sobre a capela. Em 1763, devido às cheias do Rio Tâmega ocorreu a derrocada da velha ponte de São Gonçalo, sendo de seguida reconstruída com o aspeto que atualmente apresenta. Em início do século XIX, Napoleão Bonaparte tentou invadir Portugal, sendo Amarante também alvo de invasão por parte dos franceses, do qual se destaca a defesa da ponte de Amarante que atribuiu ao General Silveira o título de Conde de Amarante e que deu à cidade a condecoração com o colar da Ordem Militar da

Torre e Espada que se reflete no brasão municipal. Já nos inícios do século XX, dá-se o auge da cultura por parte de Teixeira de Pascoaes, nas letras e Amadeo de Sousa-Cardoso, na pintura (Colégio de S. Gonçalo, 2010).

Amarante passou a ser distinguida como cidade a 8 de julho de 1985, data do seu feriado municipal. Esta cidade desde muito cedo ofereceu férteis solos, o fresco rio e verdejantes paisagens de extrema beleza. As tradicionais ruas são construídas com materiais da região como o granito, que evidenciam a sua história e património, proporcionando locais agradáveis, e monumentos dos quais se destaca o Convento e Igreja de São Gonçalo, a Ponte, as Igrejas de São Pedro e São Domingos, o Solar dos Magalhães e a Casa da Cerca. Apresenta também diversos locais para momentos de lazer como o Parque Florestal, o Complexo Desportivo da Costa Grande e as Praias Fluviais (Guia da Cidade, 2003).

A forte urbanização da cidade provocou novas transformações nas dinâmicas da mesma, da paisagem e do rio Tâmega, incitando diversos impactes nos suportes físicos do território. Desta forma, o Homem é o principal potenciador das diferentes mudanças que resultaram da sua atuação ao longo dos tempos. Atualmente é um centro urbano em franca expansão e que deriva naturalmente alguma pressão no uso do solo e ordenamento territorial. O seu crescimento urbano apresenta características muito próprias resultantes das especificidades do suporte físico e do percurso histórico, o que lhe proporcionou uma elevada tradição cultural marcada pela visibilidade patrimonial e artística do seu centro histórico (Costa, 1998). Na figura 28 encontram-se alguns dos locais da cidade descritos anteriormente, que permitem evidenciar a evolução e a urbanização da cidade.



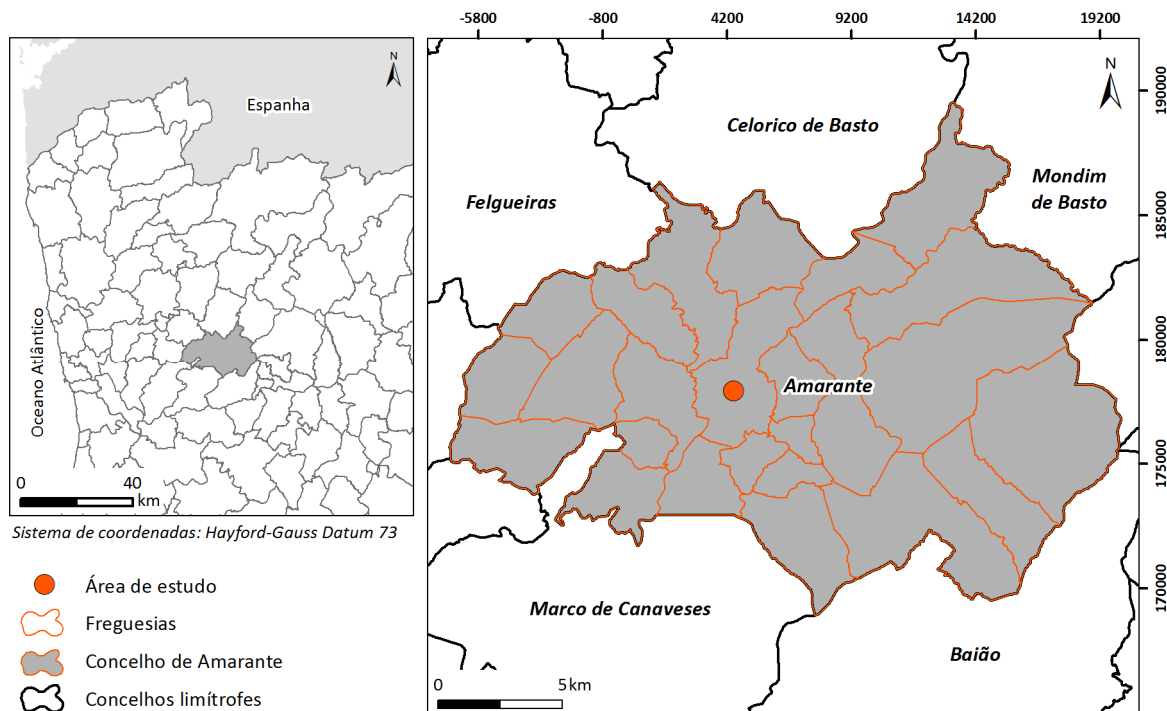
**Figura 28.** Algumas imagens da evolução recente da cidade. (1) - centro histórico de Amarante onde se encontra a Ponte de S. Gonçalo e a Igreja de S. Gonçalo; (2) - Solar dos Magalhães; (3) - Rio Tâmega; (4) - Rua Teixeira de Vasconcelos (informação retirada do sítio Canelas do Douro [consultado em Setembro de 2016]: <http://canelasdodouro.comunidades.net/amarantehistoria-e-fotografia>).

Na última década a reabilitação urbana tem assumido maior interesse, deixando de parte o conceito de apenas ser implementada como reabilitação do património edificado degradado, e passando a ser determinante numa visão integrativa em termos de reabilitação social, económica, ambiental e cultural das cidades.

### 3.3. Enquadramento regional

#### 3.3.1. Localização geográfica

Amarante é uma cidade pertencente ao distrito do Porto e o maior concelho do mesmo, apresenta uma área de aproximadamente 301,33 Km<sup>2</sup> (INE – Instituto Nacional de Estatística, 2013), sendo composta por 55 171 habitantes (INE – Instituto Nacional de Estatística, 2013), contendo 26 freguesias. O município é limitado a norte por Celorico de Basto, a este por Vila Real e Santa Marta de Penaguião, a sul por Baião, Marco de Canaveses e Penafiel, a oeste por Lousada e a noroeste por Felgueiras (Figura 29). O principal curso de água do concelho é o rio Tâmega, mas também banham a cidade o rio Ovelha, o rio Olo e o rio Odres, integrando ainda a serra do Marão e da Aboboreira.



**Figura 29.** Localização geográfica do concelho de Amarante no mapa de Portugal, bem como as suas freguesias e concelhos limítrofes.

A cidade de Amarante encontra-se privilegiada por uma localização geográfica estratégica, ao qual num raio de 50Km encontra-se a cidade do Porto, bem como grande parte da sua área metropolitana, inclusive o porto de Leixões, principal eixo para exportações por via marítima, e também o aeroporto Francisco Sá Carneiro. A ligação a estes pontos de interesse é realizada diretamente pela A4. Beneficia também da proximidade com as cidades históricas do Minho, Guimarães e Braga onde se acede pela A11 a partir de Amarante, a ligação com o Douro, região avaliada como património mundial da Unesco, que apresenta enorme importância turística

internacionalmente. A ligação à cidade de Vila Real é realizada de forma mais cómoda devido à recente construção do túnel do marão Amarante – Vila Real (Figura 30).

Relativamente aos declives (anexo 2), a sua definição relaciona-se com a diferença entre a variação de cotas altimétricas e planimétricas, na medida em que é um estudo fundamental para o ordenamento territorial. O estudo dos declives pode fornecer informações relativas à perigosidade e/ou risco de erosão dos solos e permitir a definição de zonas com aptidão para determinados usos (PUFA, 2009). As classes de declives escolhidas estão representadas no mapa de declives (figura 31).

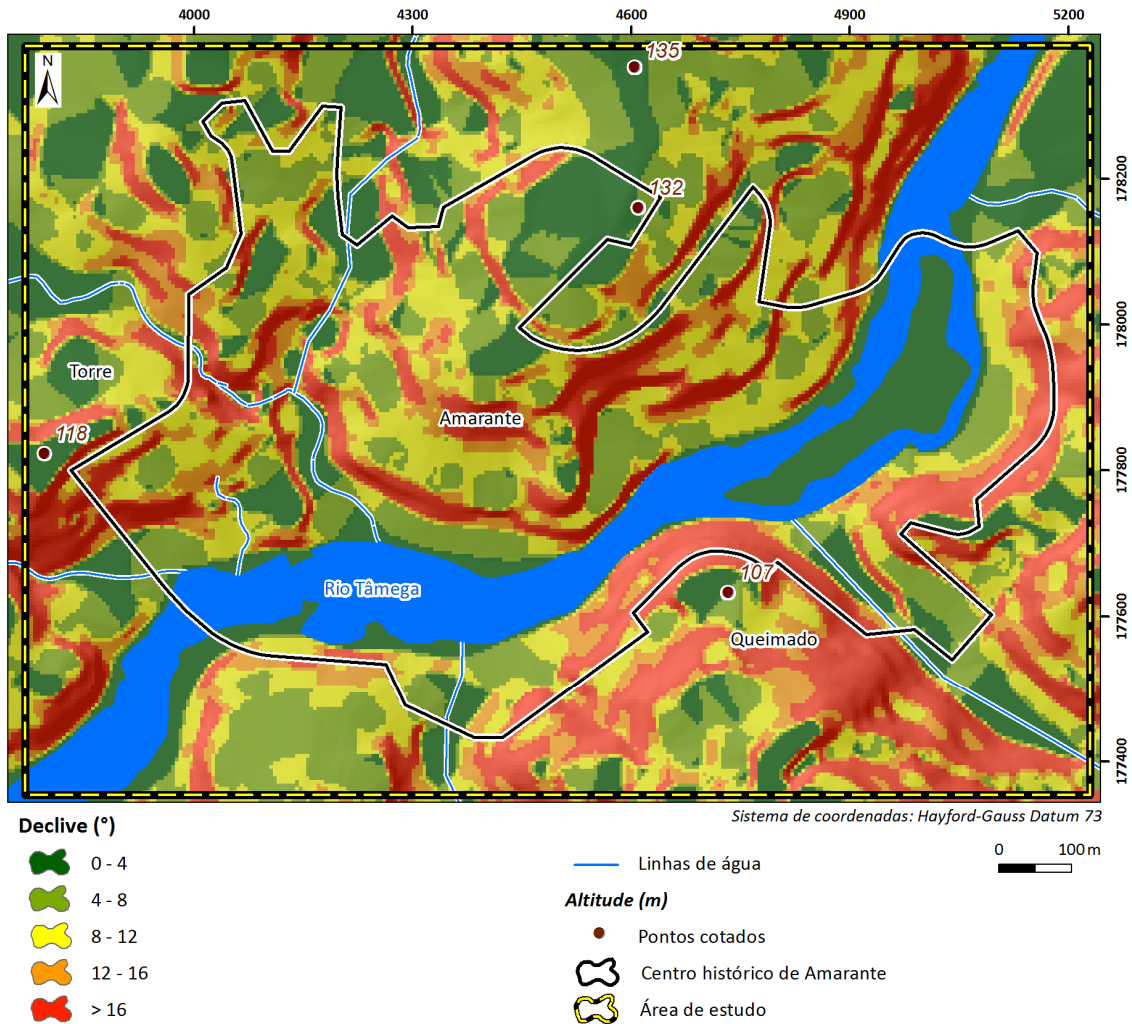


**Figura 30.** Acessos ao concelho de Amarante e delimitação das áreas de interesse.

No quadro 21, encontram-se as classes definidas e a respetiva designação. Estas permitem uma análise homogénea de toda a área.

**Quadro 21.** Classe de declives.

Intervalo (º)	Designação da classe
0 – 4	Declive suave
4 – 8	Declive suave a moderado
8 – 12	Declive moderado
12 – 16	Declive moderado a acentuado
>16	Declive acentuado



**Figura 31.** Mapa de declives da área urbana de Amarante e zona envolvente.

No perímetro urbano predominam as classes 0 – 4, 8 – 12 e >16, sendo que nas margens do rio apenas se encontram as classes 0 – 4 (declive suave) e >16 (declive acentuado). Já na área envolvente ao local predominam as classes 0 – 4 e >16. Nas zonas de encaixe do rio Tâmega predominam os declives >16°. Relativamente às linhas de água em geral encontram-se encaixadas com declives >16° nas vertentes.

### **3.3.2. Geologia e tectónica**

O substrato geológico da região de Amarante é composto por um granito biotítico porfiróide de idade Varisca (ou Hercínica), com aproximadamente 311 Ma, e composta por um extenso maciço alongado, com direção NW-SE, apresentando texturas algo orientadas, em que a foliação é marcada por megacristais de feldspato potássico e/ou pela biotite (Pereira et al., 1989) estendendo-se desde Paredes de Coura a Baião, correspondendo sub-paralelamente ao alinhamento Vigo – Amarante – Régua (Martins et al., 2010). Sob o ponto de vista geotectónico a região está inserida na zona Centro-Ibérica (ZCI) do Maciço Ibérico (Ribeiro et al., 2007; Martins et al., 2010), sendo que do seguimento da Cadeia Varisca Europeia, a zona Centro-Ibérica é a que detém rochas granitóides que aparecem em grande extensão e elevada diversidade tipológica (Teixeira, 2008). Os principais lineamentos tectónicos da zona granítica de Amarante representam duas direções preferenciais N50°E, resultado das linhas de fratura profundas que promoveram o encaixe do rio Tâmega e N50°W, marcado pela designada falha Fornelo – Padronelo (Martins et al., 2010). O granito de Amarante (granito porfiróide de grão grosseiro, essencialmente biotítico) verifica-se quase na totalidade da área em estudo, sendo apenas intersetado por um pequeno depósito de terraços fluviais e por aluviões no vale do rio Tâmega (figura 32).

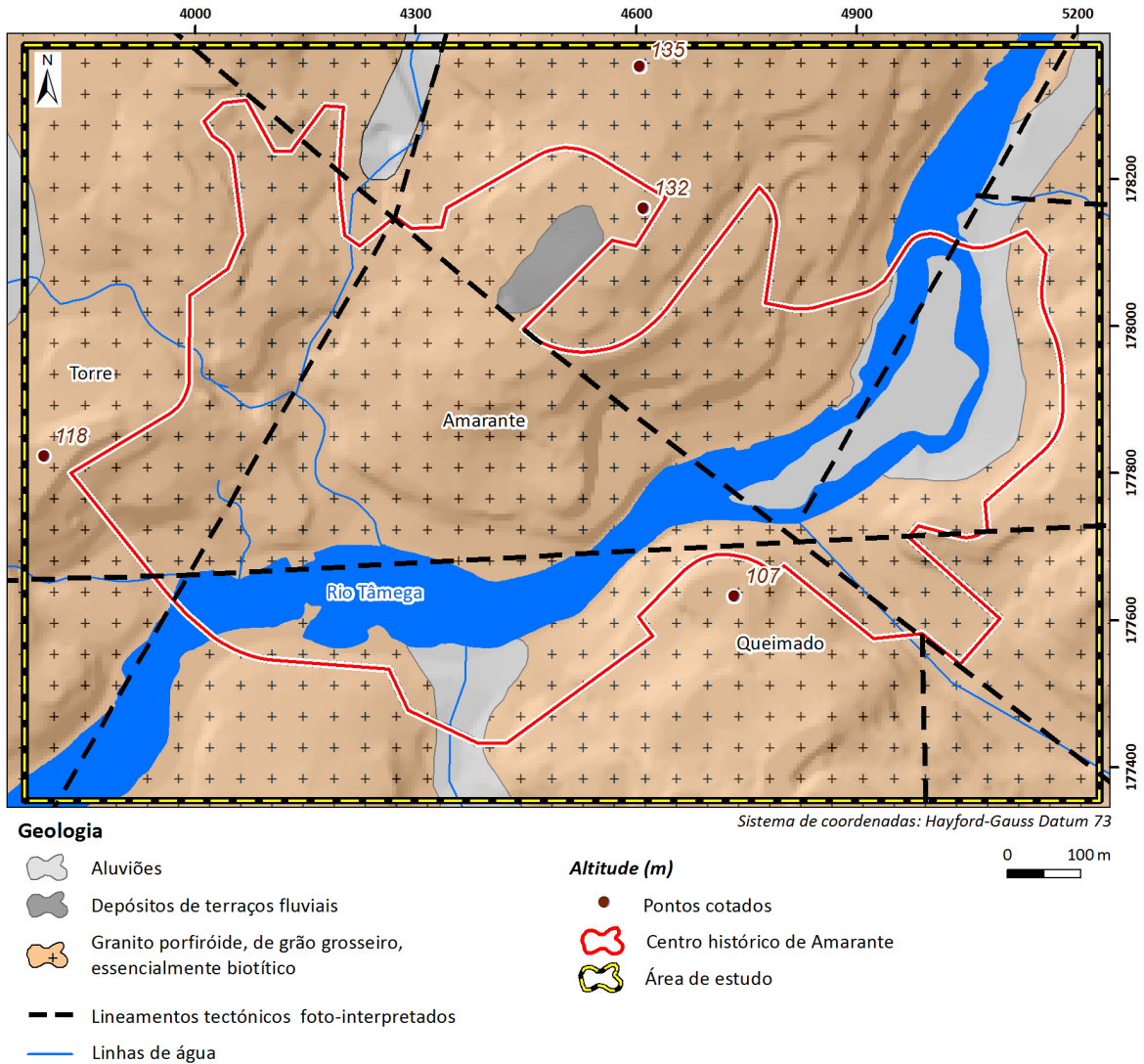


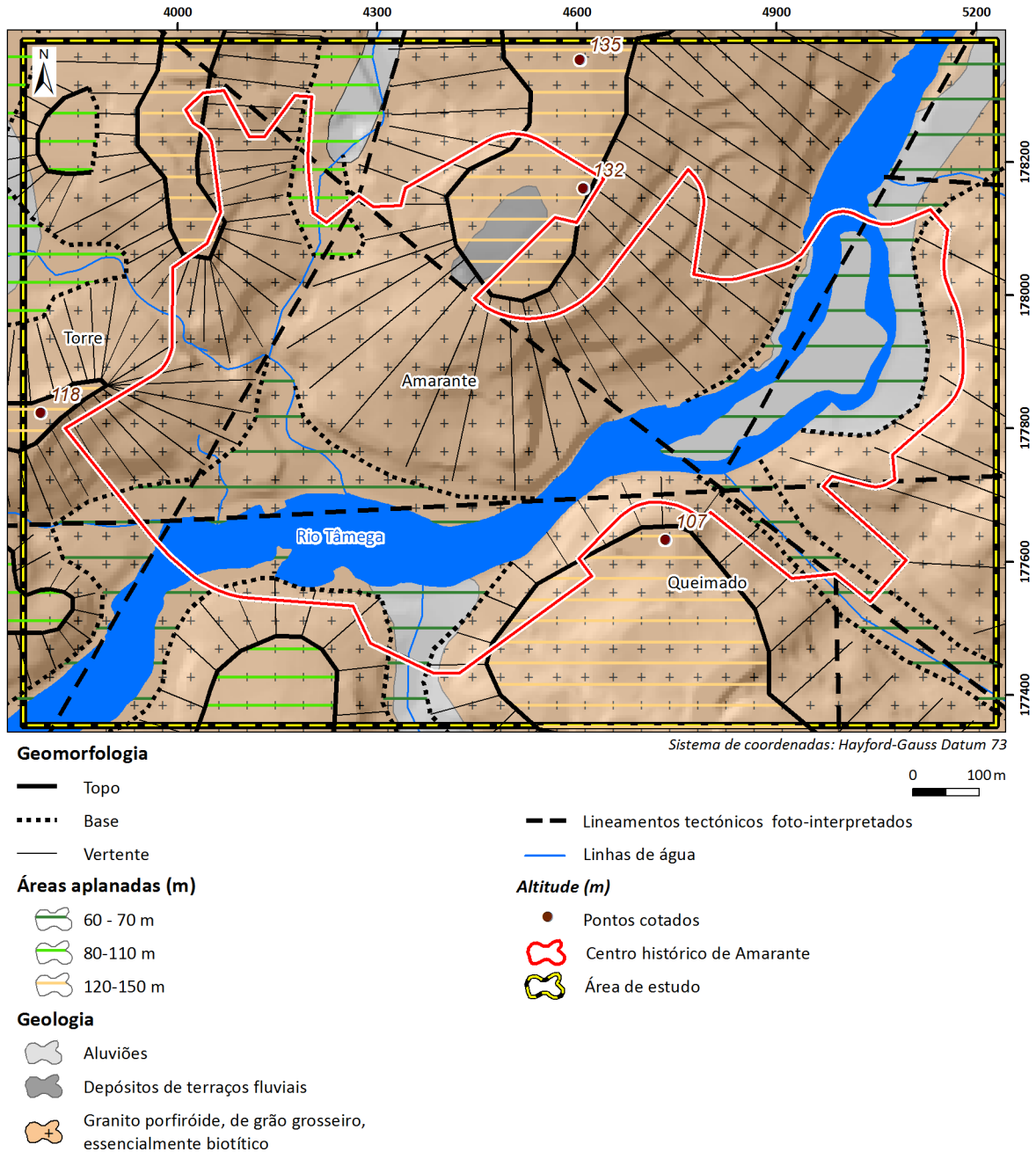
Figura 32. Esboço geológico da área urbana de Amarante e zona envolvente.

### 3.3.3. Geomorfologia

As características morfológicas da cidade de Amarante, localizada numa área de depressão é influenciada pela sua localização, bem como pela passagem do rio Tâmega pelo seu centro histórico, elemento integrante e importante na morfologia natural e urbana de Amarante (Pedrosa & Costa, 2015), devido às suas características geomorfológicas, favorecem a ocorrência de cheias no centro urbano (Costa, 2013).

O rio Tâmega encontra-se encaixado num vale resultante de uma falha de orientação NE-SW, e o seu retilíneo canal, na passagem pelo centro urbano de Amarante, aparece ligeiramente desviado

para noroeste, pensa-se que é devido ao cruzamento desta falha com outra que define o vale de fratura do rio Fornelo (Fernandes, 1960; Costa, 1998). As margens do rio apresentam características morfológicas (figura 33) e biogeográficas distintas. A margem esquerda, apresenta declives mais suaves, sendo visíveis algumas manchas de aluviões atuais, já a margem direita caracteriza-se por ter um perfil mais irregular (Pedrosa & Costa, 2015).



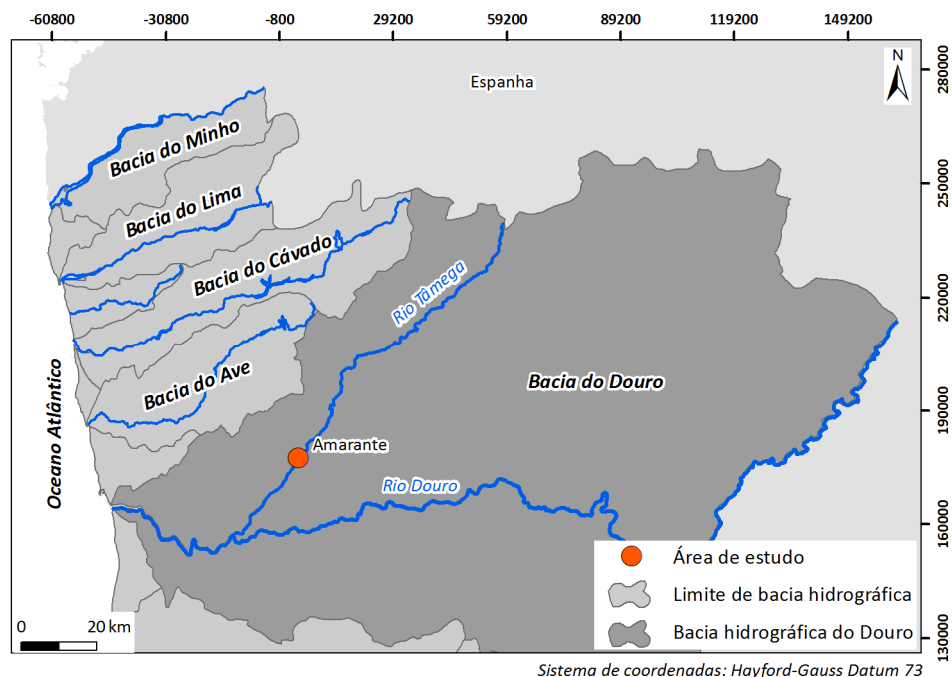
**Figura 33.** Esboço geomorfológico da área urbana de Amarante, e zona envolvente.

### 3.3.4. Hidrologia e Hidrogeologia

A análise da hidrografia, apresenta maior importância quando direcionada como ferramenta para definir o uso do solo, onde os dados com vertente hidrográfica devem estar relacionados com a salvaguarda dos recursos (Maia, 2014). Nesta perspetiva, tem como objetivo minimizar os riscos que estejam associados a esses recursos, como por exemplo as cheias, fator de extrema importância no local em estudo.

O concelho de Amarante é atravessado pelas duas margens do rio Tâmega, encontrando-se encaixado num vale resultante de uma falha com orientação NE-SW (Costa, 1998). Este, é considerado um rio internacional luso-espanhol, com uma bacia hidrográfica de 3310 Km<sup>2</sup> (SNIRH, 2016). Apresenta um caudal médio anual de 70,31m<sup>3</sup>/s, e a sua bacia uma temperatura média anual de 13,2°C, assim como, uma precipitação média anual de 1336mm (SNIRH, 2016).

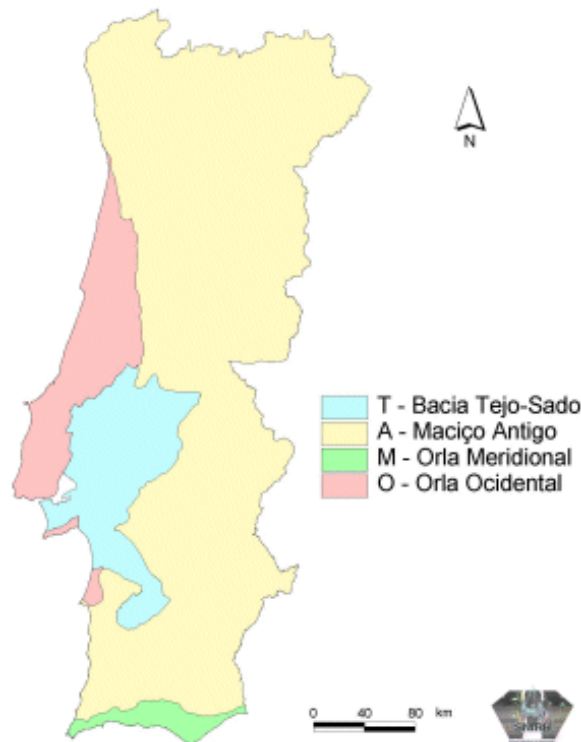
As características geomorfológicas da bacia do rio Tâmega e as condições locais de escoamento fluvial, bem como a forma da bacia e a sua extensão (figura 34), associadas às características geológicas e de drenagem do local, contribuem para uma rápida subida das águas do rio na sua passagem por Amarante (Costa, 2013), proporcionando repetidamente as constantes cheias ao longo dos anos, não eliminando as ações antrópicas na ocupação nos leitos de cheia, observadas principalmente na margem esquerda.



**Figura 34.** Características da bacia do Tâmega. Localização da bacia do Tâmega e sua geometria, na bacia hidrográfica do Douro.

Os recursos hídricos subterrâneos distribuem-se ao longo do território nacional em função das ações geológicas que ocasionaram esse mesmo local, sendo que a sua circulação se encontra diretamente relacionada com as características das formações geológicas que atravessam, assim como com as condições hidroclimatológicas. Desta forma, o território de Portugal Continental encontra-se dividido em quatro unidades hidrogeológicas, que por sua vez correspondem às quatro grandes unidades morfoestruturais que dividem o país (SNIRH, 2016), (figura 35):

- Maciço Antigo, Maciço Ibérico ou Maciço Hespérico;
- Orla Mesocenozóica Ocidental ou Orla Ocidental;
- Orla Mesocenozóica Meridional ou Orla Meridional;
- Bacia do Tejo – Sado, que se divide em duas subunidades, a Bacia Terciária do Tejo e a Bacia de Alvalade.



**Figura 35.** Unidades hidrogeológicas de Portugal Continental. (adaptado de SNIRH, 2016).

Hidrogeologicamente, dado o local em estudo se encontrar localizado no Maciço Antigo e ser constituído na sua globalidade por rochas graníticas (figura 36), a circulação hidráulica subterrânea é essencialmente realizada por meio fissurado (Pedrosa, 1998; Carvalho, 2006), cujo valor de permeabilidade é médio a baixo, no entanto podem ocorrer alterações de permeabilidade nas zonas mais fraturadas e com grau de alteração elevado. As potencialidades dos recursos hídricos

nestes locais dependem como já referido dos fatores geológicos e das características climáticas regionais (Maia, 2014).

Na figura seguinte encontram-se as unidades hidrogeológicas do local, bem como os pontos de inventário hidrogeológico, que serão descritas e tratadas de forma mais pormenorizada na avaliação do esboço hidrogeológico e de drenagem de superfície.

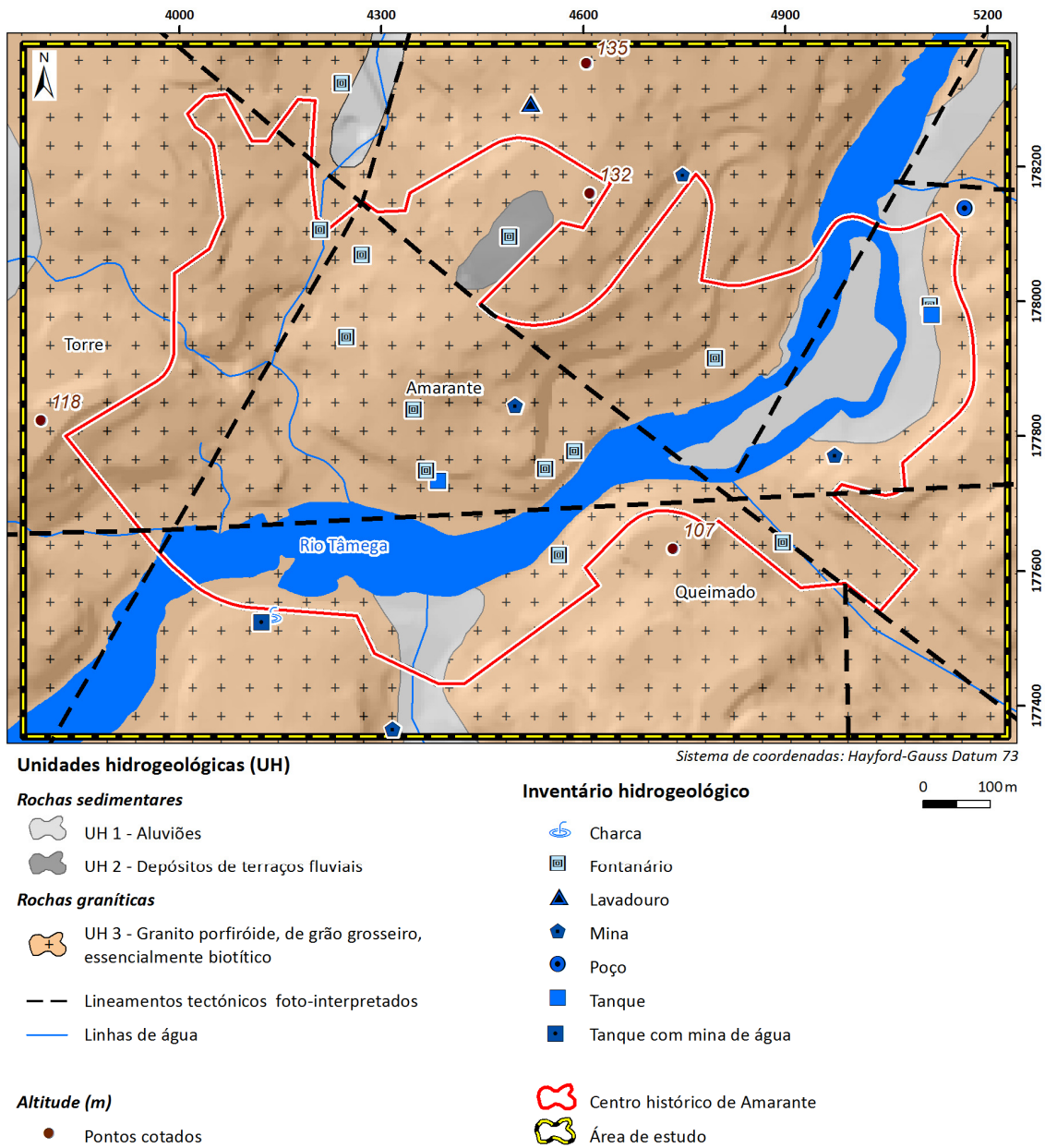
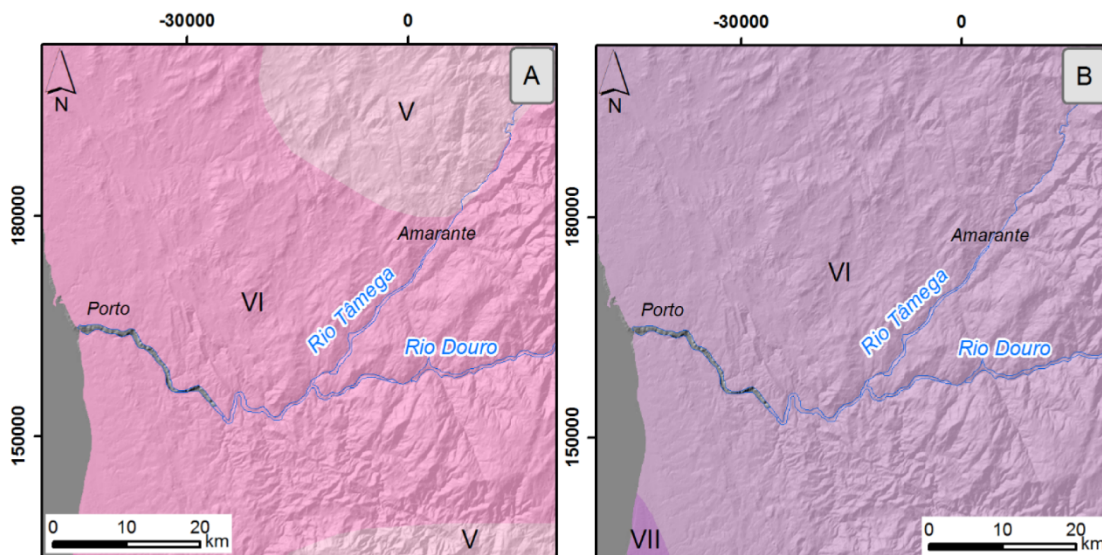


Figura 36. Esboço hidrogeológico da área urbana de Amarante e envolvente.

### 3.3.5. Tectono-sismicidade

Tendo por base o Regulamento de Segurança e Ações para Estruturas de Edifícios e Pontes (RSAEEP, *in* Brazão Farinha et al., 2006), o concelho de Amarante encontra-se na zona D de atividade sísmica, assim como todo o Norte de Portugal. Esta zona é considerada de baixo risco sísmico e maior segurança, sendo também uma zona essencialmente granítica, o que lhe confere maior resistência, e como tal, é uma zona em que as medidas a tomar, principalmente a construção anti-sísmica não apresenta uma exigência elevada. Por sua vez, o zonamento sísmico em Portugal, segundo o Eurocódigo 8 (NP EN- 1998-1, 2010), caracteriza o município de Amarante na zona sísmica 1.6 (Ação Sísmica Tipo I) e na zona sísmica 2.5 (Ação Sísmica Tipo II), às quais correspondem, respetivamente, valores de aceleração máxima de referência ( $a_{gR}$ ) de  $0,35\text{m/s}^2$  e  $0,8\text{ m/s}^2$ .

Por forma a ter uma visão mais conceptual da tectono-sismicidade do local, foi elaborada a figura 37. Na figura 37A, representam-se as zonas de intensidade máxima (escala internacional), através dos dados sísmicos de 1901 – 1972 (Atlas do Ambiente, 1991). Verifica-se desta forma que Amarante apresenta um valor de intensidade máxima de VI. A figura 37B representa as isossistas de intensidades máximas, na escala de Mercalli Modificada de 1956, contendo dados de 1755 – 1996, concluindo-se também que a intensidade máxima registada na área corresponde a VI, incluindo-se no conjunto de valores de intensidade moderada.



**Figura 37.** Sismicidade da área de Amarante: A - zonas de intensidade máxima (escala internacional); B - isossistas de intensidades máximas, escala de Mercalli Modificada de 1956.

### 3.4. Métodos e técnicas: breve síntese

A investigação em análise desenvolveu-se, numa primeira fase, na recolha exaustiva do maior número de elementos bibliográficos existentes (*e.g.*: livros, cartografia, teses, artigos científicos, relatórios, ...) sobre as temáticas do presente estudo. Ao longo deste tópico será realizada uma breve descrição das principais metodologias e técnicas utilizadas na elaboração do projeto, apresentando também uma descrição geral dos equipamentos aplicados, tanto no trabalho de campo como de gabinete.

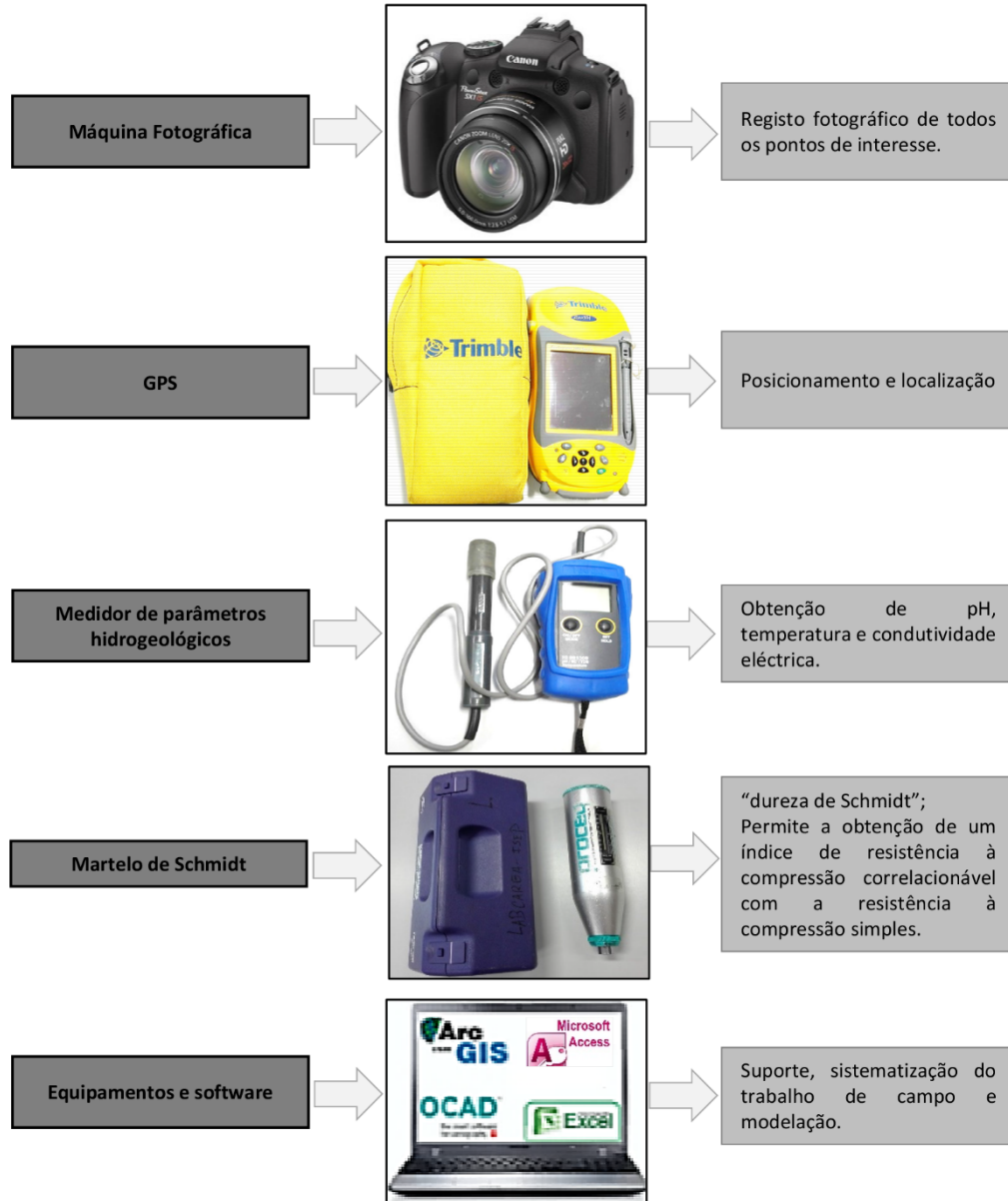
O estudo consiste na compilação, revisão, sistematização de toda a informação geológica, geomorfológica, hidrogeológica cedida pela Câmara Municipal de Amarante, assim como de toda a informação recolhida no campo no mês de junho na zona urbana de Amarante, para a criação de uma base de dados de inventário SIG georreferenciada e todos os esboços preliminares com vista à sistematização dos primeiros dados para a elaboração da carta geotécnica de Amarante. É de salientar na elaboração do projeto a importância da cartografia no planeamento e ordenamento do território. No local em estudo, pode aferir-se que por vezes ocorreu gestão menos adequada do ordenamento do espaço, evidenciado principalmente na ocupação antrópica nas margens do rio Tâmega, caracterizadas por zonas facilmente inundáveis, que em conjunto com os condicionalismos naturais propiciam as elevadas cheias no centro histórico de Amarante.

Na figura 38 encontra-se o equipamento utilizado no trabalho de campo; desde a câmara fotográfica, GPS, medidor portátil de parâmetros hidrogeológicos, até aos equipamentos utilizados em laboratório.

Por forma a auxiliar o estudo do local, recorreu-se a documentos cartográficos e outros elementos bibliográficos. Desta forma, no que diz respeito à cartografia, foram consultados os seguintes elementos (figura 39):

- Carta topográfica da “Carta Militar de Portugal”, à escala 1/25.000, Série M888: folha 113 (Arnóia – Celorico de Basto), IGeoE (1997);
- Ortofotomapas da área de Amarante e imagens aéreas de alta – resolução “Google Earth Pro”;
- Carta Geológica de Portugal, folha 10-C (Peso da Régua), de Teixeira et al. (1967), à escala 1/50.000;
- Carta Geológica de Portugal, de Pereira et al. (1989), à escala 1/200.000;
- Carta Geológica de Portugal, 5ª edição, de Oliveira et al. (1992), à escala 1/500.000;
- Carte Géomorphologique du Portugal, de Brum Ferreira (1981);

- Carta Tectónica de Portugal de Ribeiro et al. (1972) e Carta Neotectónica de Portugal de Cabral & Ribeiro (1988, 1989), à escala 1/1000.000;
- Carta hidrogeológica de Portugal, folha 2 (Pedrosa, 1998);
- Cartografia fornecida pela Câmara Municipal de Amarante, à escala 1/10.000.



**Figura 38.** Equipamentos utilizados na recolha e sistematização dos dados e respetiva função.

Foi realizado um reconhecimento de campo e retirados todos os dados de interesse para o projeto. Estes foram inseridos e registados numa base de dados dinâmica, designada de “base de dados de inventário” e apresentados em fichas de inventário produzidas para o efeito. Na fase de tratamento de dados recorreu-se aos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), por forma a hierarquizar toda a informação.

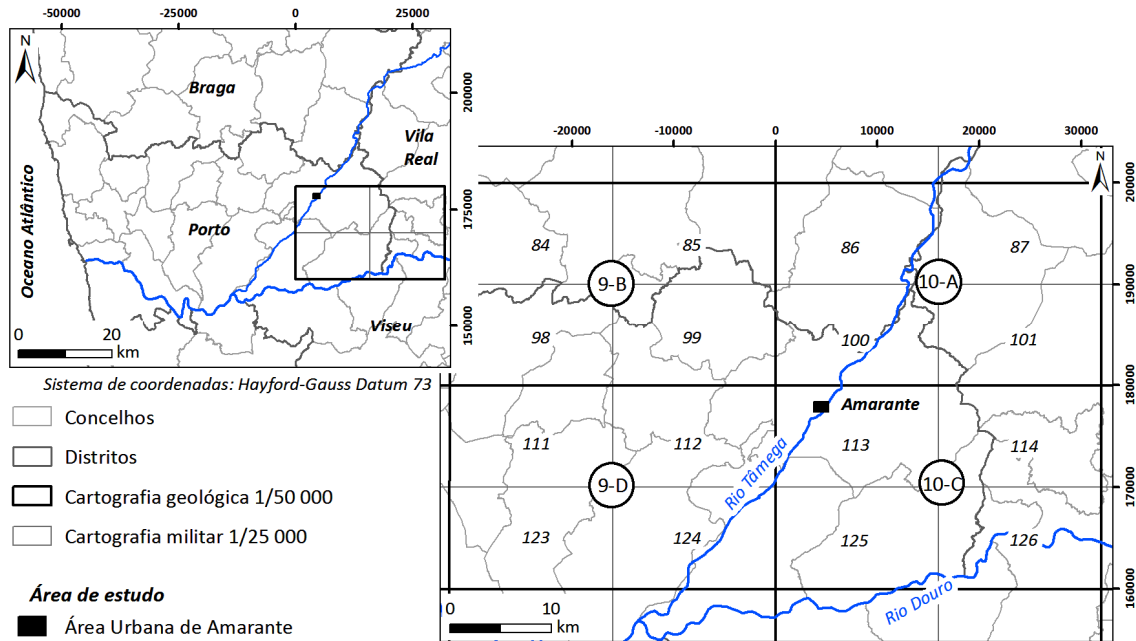
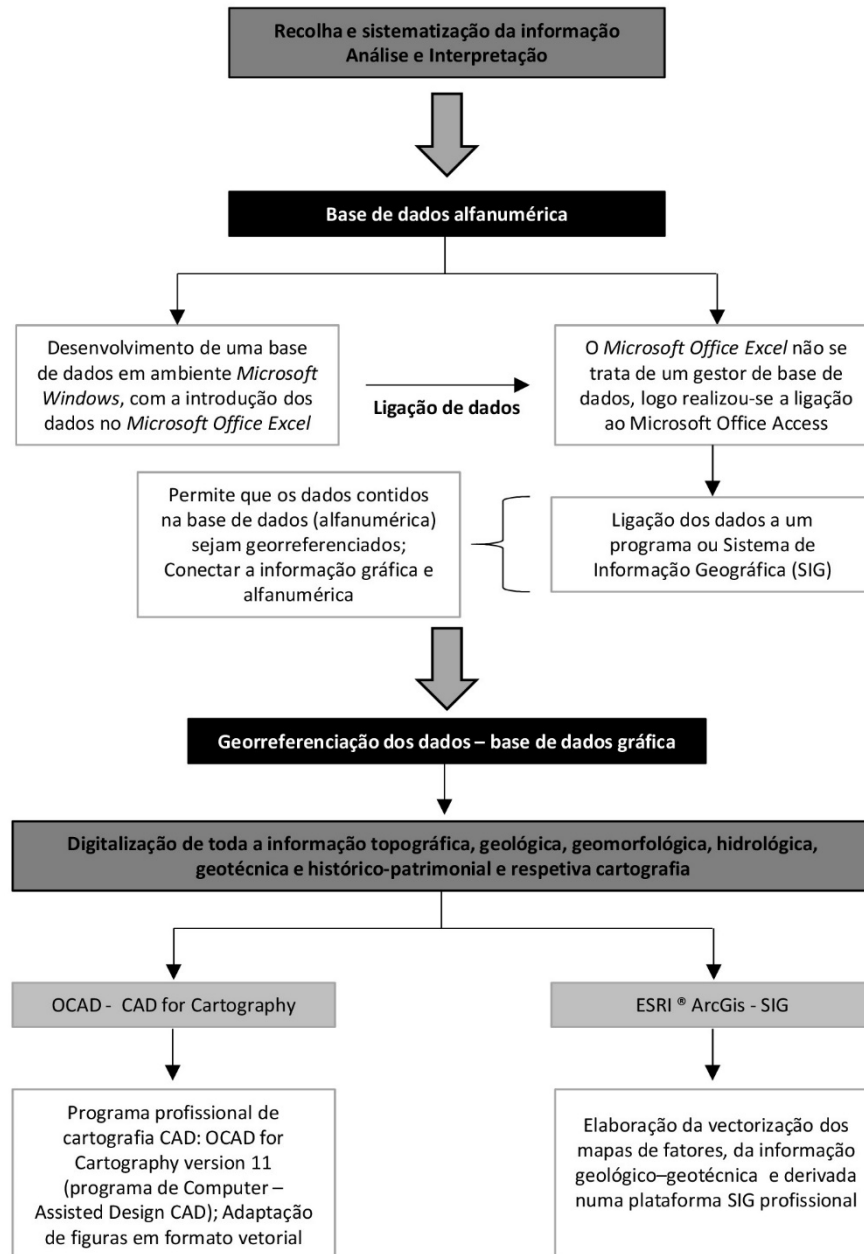


Figura 39. Enquadramento cartográfico do concelho de Amarante.

Para o efeito, seguiu-se a seguinte metodologia de trabalhos, com o intuito da obtenção de mapas vetorizados, para posterior análise e discussão, apresentando também quais as ferramentas utilizadas ao longo do processo (figura 40):



**Figura 40.** Fluxograma esquemático da abordagem metodológica realizada no projeto.

O sistema de coordenadas utilizado em toda a cartografia foi o Hayford-Gauss Datum 73. A cartografia consultada inicialmente e os SIG apresentam um papel fundamental no projeto, pois a cartografia permite obter uma representação gráfica, nomeadamente das curvas de nível, pontos cotados e rede hidrográfica, enquanto os SIG facilitam a análise das relações espaciais, através da criação e armazenamento de dados em ferramentas computacionais, possibilitando a sua visualização através de diferentes perspetivas (Burke et al., 2001; Silayo, 2002; Costa, 2014).

A recolha de dados de estudos geológicos, prospeção geotécnica e mecânica entre outra, foi de difícil acesso, na medida em que são informações que pertencem a entidades privadas, que apesar

de, muitas vezes, contratadas pelos serviços da Câmara Municipal de Amarante, não disponibilizam em muitas das situações as informações de ensaios de prospeção, por exemplo. Por tal, o esboço de trabalhos de prospeção não será abordado neste trabalho apesar de se ter feito um esforço, na medida do possível, por inventariar e documentar todas as situações de obras do passado e recentes (com escavação, desmonte ou contenção associadas) e/ou estudos e ensaios geológico-geotécnicos ou outros relevantes para o projeto da carta geotécnica de Amarante. Contudo, ter-se-á que desenvolver, necessariamente, a médio-prazo uma campanha de inventário exaustivo (campo, gabinete e arquivo), com o apoio da Câmara Municipal de Amarante, de todos os elementos relevantes para se estabelecer uma carta de fatores de prospeção geotécnica. Assim, será fundamental continuar a recolha exaustiva e a sistematização dos dados à sub-superfície e em profundidade (através, especialmente, de estudos geológico-geotécnicos e de prospeção mecânica e/ou geofísica), para que caso seja necessária uma intervenção na área urbana de Amarante e especial no seu centro histórico, a tomada de decisão, nomeadamente no planeamento e ordenamento do território, seja facilitada e baseada em dados técnico-científicos.

### **3.4.1. Inventários**

Tendo por base a informação bibliográfica, posteriormente procedeu-se, no terreno, à inventariação geológico-geotécnica (*e.g.*: fontanários, afloramentos, poços, construções, ...) e à inventariação das principais atividades potenciais de contaminação das águas subterrâneas (*e.g.*: jardins, cemitérios, escolas, ...). Desta forma, na implementação dos dois inventários referidos, recorreu-se a duas fichas de inventário, por forma a acompanhar os trabalhos de campo, com a seleção prévia da base cartográfica em suporte SIG.

Para localizar os pontos recorreu-se ao posicionamento georreferenciado dos dados com o apoio de um GPS de alta precisão (Trimble Geoexplorer) do LABCARGA-ISEP (figura 41).



**Figura 41.** Exemplo de utilização do GPS de alta precisão Trimble GeoExplorer GeoXH2005 na georreferenciação dos pontos de inventário geológico – geotécnico.

As condições de acesso aos locais de interesse, tornaram-se fáceis, pois a maior parte encontra-se sob a proteção da instituição pública, Câmara Municipal de Amarante.

### 3.4.1.1. Inventário geológico geotécnico

Na realização do inventário geológico-geotécnico (anexo 3), procedeu-se à localização de todos os pontos de água, construções e afloramentos de forma a enriquecer a investigação. Na figura 42, encontram-se alguns dos elementos localizados.



**Figura 42.** Exemplos de tipologias utilizadas no inventário geológico - geotécnico. (1)- Fontanário; (2)- Afloramento; (3)- Construção; (4)- Tanque; (5)- Poço e (6)- Mina.

Foram reconhecidos 45 pontos de interesse, no que concerne à realização dos inventários geológico – hidrogeológico – geotécnicos do terreno, estando a sua tipologia descrita no quadro 22.

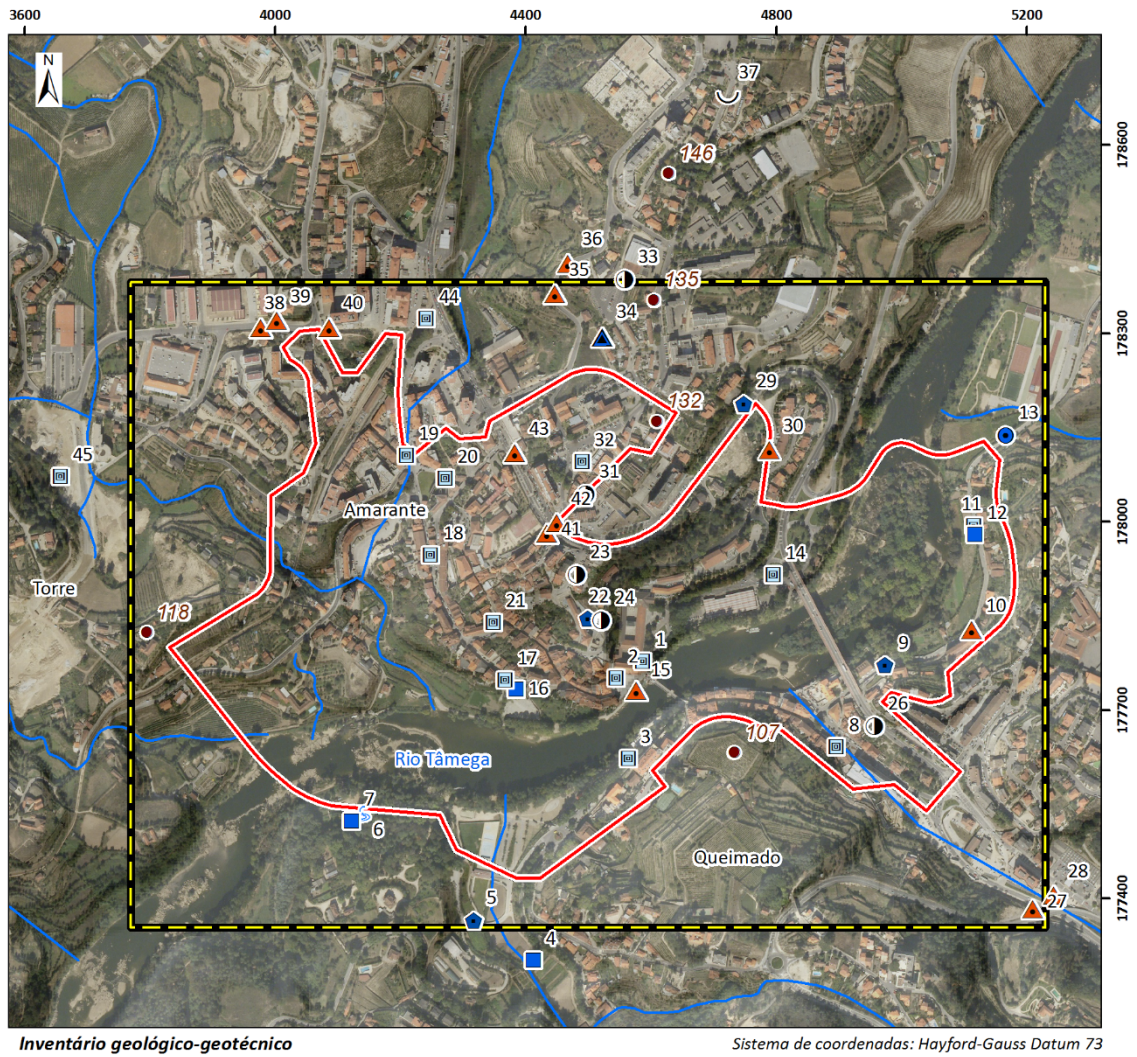
**Quadro 22.** Elementos recolhidos para o inventário geológico – hidrogeológico – geotécnico.

Inventário geológico-geotécnico	Total
Charca	1
Fontanário	14
Lavadouro	1
Mina	5
Poço	1
Tanque	4
Afloramentos	13
Construções	5
Vala	1
	45

Após a localização de todos os pontos, bem como a realização na totalidade das fichas de inventário, estes foram representados no mapa, para desta forma se perceber a sua distribuição ao longo do local em estudo (figura 43).

Após a análise do mapa da figura 43 é possível verificar que o maior número de pontos, de qualquer natureza, se encontra no centro histórico da cidade, destacando-se a maior frequência dos pontos de inventário hidrogeológico.

Na inventariação dos pontos de água, recorreu-se a um medidor multi-paramétrico portátil HI991300, utilizado em hidrogeologia, da marca *Hanna Instruments*. Este permite recolher dados de pH, temperatura e condutividade elétrica. Quando possível, foi também controlado o caudal, retiradas informações organoléticas (turbidez, sabor, cheiro e cor), bem como perceber se estes pontos pertencem à rede ou se são águas de mina, entre outras, por forma a obter uma melhor caracterização física e espacial dos pontos de água (figura 44). Importa ressaltar, que até à data de recolha de informações, praticamente todos os fontanários são abastecidos com águas provenientes de nascente e/ ou minas.



**Figura 43.** Localização dos pontos de inventário – hidrogeológico – geotécnico.



**Figura 44.** Inventariação dos pontos de água. (1)- Medição do pH, temperatura e condutividade elétrica; (2)- medição do caudal.



### 3.4.1.2. Inventário de focos de contaminação

Segundo Zaporozec (2004), os inventários dos focos de contaminação realizam-se segundo um processo que envolve o agrupamento, avaliação e classificação de todos os potenciais focos de contaminação que poderão ameaçar a qualidade das águas subterrâneas. Para a elaboração e avaliação dos inventários dos potenciais focos de contaminação, seguiu-se de perto as bases teóricas dos trabalhos de Vrba & Zaporozec (1994), Zaporozec (2004), Fetter (2008) e Afonso (2011).

O inventário das atividades potenciais de contaminação (figura 46) contemplou 23 focos distribuídos pela zona urbana e envolvente (Anexo 4). No presente inventário foram registados alguns aspetos importantes, com o intuito de possuir uma análise mais cuidada da caracterização física e espacial dos focos, nomeadamente: proprietário, localização, geomorfologia, geologia e hidrogeologia, bem como a descrição concisa do foco e o tipo de contaminante.



**Figura 46.** Exemplos dos potenciais focos de contaminação no local em estudo: (1)- jardim no parque florestal de Amarante; (2)- pneus do queimado; (3)- cemitério; (4)- centro veterinário; (5)- Escola Secundária /3 de Amarante e (6)- centro de saúde de Amarante.

Para cada ponto foi preenchida uma ficha de inventário. Na figura 47, encontra-se um exemplo de uma dessas fichas preenchida para o foco de contaminação como o ID\_1, denominado como “Parque Florestal”.


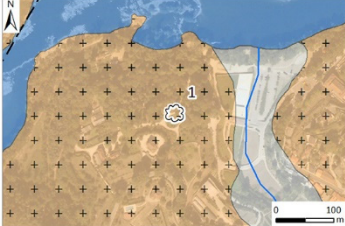

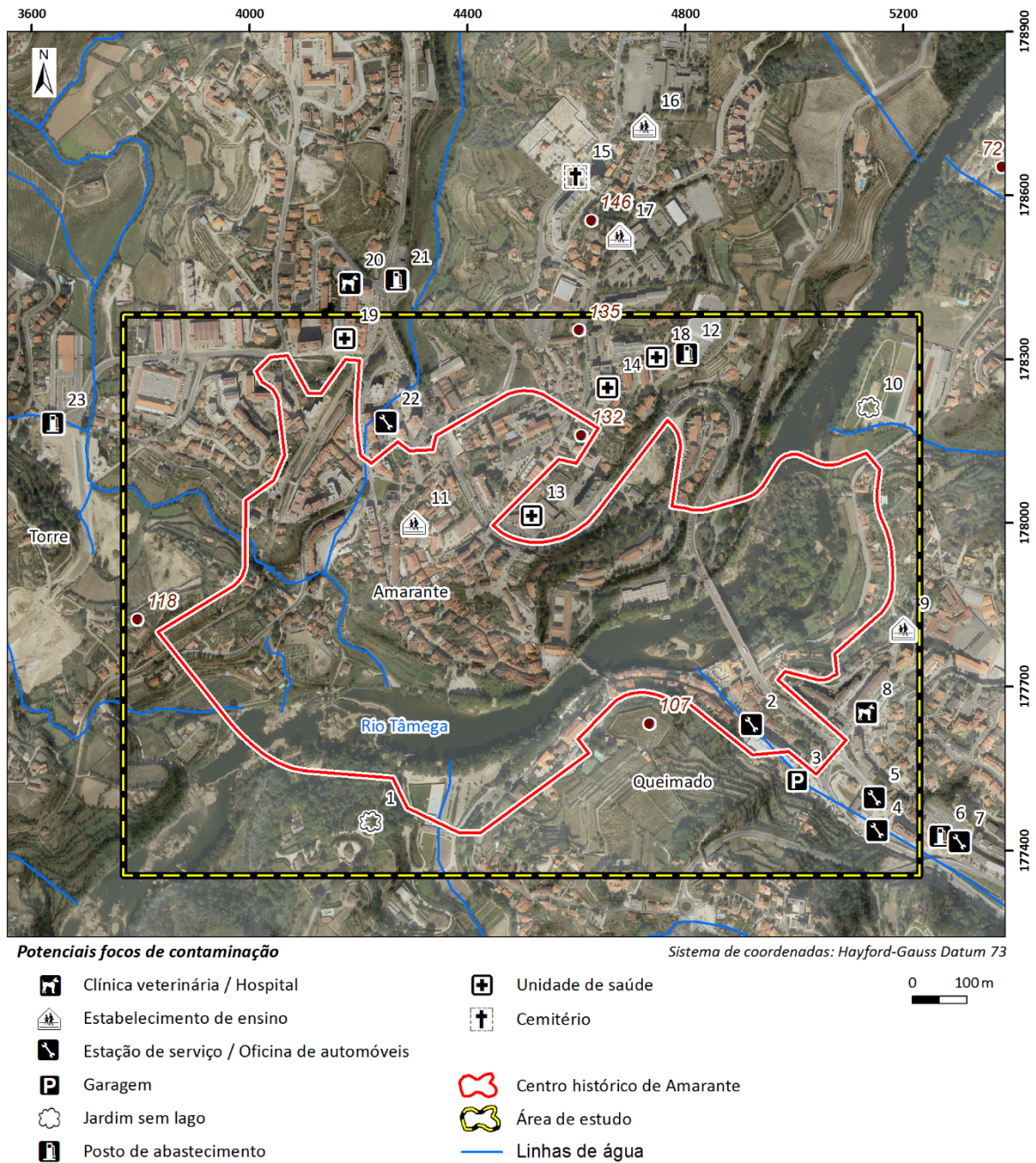
Atividades potenciais de contaminação da água subterrânea: Ficha de inventário			
ID: 1	Denominação: Parque Florestal	Classificação (Pontual, P; Difusa, D; Linear, L): P/D	
			
Planta de localização *	Mapa hidrogeológico	Fotografia	
Carta Militar de Portugal (1/25 000):	113 - Amarante	Cota (m):	85,8
Coordenadas (WGS84):	Latitude: 41° 15' 58,585" N	Longitude:	8° 4' 57,947" W
Condições de acesso:	Fácil: x	Difícil: -	Condicionado: -
		Inacessível: -	
Observações:	-		
<b>Proprietário</b>			
Residencial:	-	Comercial:	-
Industrial:	-	Agrícola:	-
Institucional (e.g., Câmara Municipal):	x		
Outro (especificar):	-	Morada:	Rua das Carvalhinhas, S/n Amarante
<b>Geomorfologia (T - Topo; I - Intermédio; B - Base)</b>			
Planalto (T; B):	B	Vale (T; I; B):	-
Encosta (T; I; B):	-		
Observações:	Área aplanada (80 - 110 m)		
<b>Geologia e hidrogeologia **</b>			
Carta Geológica (nº/nome):	10-C Peso da Régua	Escala:	1/ 50.000
Carta hidrogeológica (nº):	2	Escala:	1/200.000
Litologia:	Granito porfiróide, de grão grosseiro, essencialmente biotítico		
Unidade hidrogeológica local (ver mapa em anexo):	UH 3		
Armadiça hidrogeológica:	-		
<b>Potenciais focos de contaminação (pela origem)</b>			
<b>Urbanização</b>		<b>Área cultivada com uso frequente de fertilizantes /pesticidas</b>	<b>Má gestão da água</b>
Quintal	-	Estabelecimento de ensino	-
Espaço verde urbano	X	Estação de serviço/oficina de automóveis	-
Fossa séptica	-	Posto de abastecimento	-
Jardim com lago	X	Garagem	-
Jardim sem lago	-	Sucata/ferro velho	-
Unidade de saúde	-	Aterro sanitário ativo	-
Hospital	-	Aterro sanitário abandonado	-
Rede de saneamento	-	Clínica veterinária/Hospital	-
Rede de abastecimento de água potável	-	<b>Agricultura</b>	
Sistema municipal de drenagem de águas pluviais	-	Área cultivada com uso limitado de fertilizantes/pesticidas	-
Mictório	-	<b>Indústria</b>	
Lavadouro	-	Condução de gás/hidrocarbonetos	-
		Complexo industrial	-
		Indústria	-
		Matadouro	-
		Estação de tratamento de águas residuais (ETAR)	-
		Estação de tratamento de águas (ETA)	-
		Depósito à superfície	-
		Depósito enterrado	-
		<b>Diversos</b>	
		Poço/Furo ativo	-
		Poço/Furo abandonado	-
		Lago artificial	X
		Cemitério	-
		Lixeira	-
		Instalações militares	-
		Linha de água contaminada	-
		Linha de água	-
		Linha de água canalizada	-
		Galeria de água subterrânea	-
		Canil	-
		Outro:	-
<b>Descrição do contaminante (em termos químicos)</b>			
Tipo:	Hidrocarbonetos (e.g., benzeno e tolueno); metais e não metais (e.g., nitratos e fosfatos)		
Tipo de descarga (sólido, líquido e/ou gasoso):	Sólido e líquido		
Observações:	-		
Preenchido por:	SG/LF	Data:	16-06-2016
Verificado por:	HIC	Data:	03-10-2016
[Revisto e atualizado de Vrba & Zaparozec (1994), Struckmeier & Margat (1995), Zaparozec (2004), Fetter (2008), Afonso (2011)]			
* CMA (Câmara Municipal de Amarante), 2015; ** Teixeira et al., 1967 e Pereira et al., 2001			

Figura 47. Exemplo de uma ficha preenchida para o inventário de focos de contaminação (modelo Labcarga | ISEP).

Por forma, a obter uma visualização mais pormenorizada da distribuição e identificação dos focos de contaminação, procedeu-se ao seu mapeamento, tal como se verifica na figura 48.



**Figura 48.** Localização dos focos de contaminação pontuais.

A maioria dos focos encontra-se a norte do centro histórico da cidade, e a Sudeste do mesmo local. No quadro 23, encontra-se uma síntese de todos os pontos inventariados, com as principais características recolhidas. Desta forma, é possível concluir que apenas 2 dos focos intersectam unidades geológicas distintas (aluviões), sendo que os restantes se situam na unidade granítica.

**Quadro 23.** Síntese das principais características retiradas no inventário de potenciais focos de contaminação.

ID	Denominação	Geomorfologia	Litologia	UH	Armadilha Hidrogeológica Potencial	Origem
1	Parque florestal	Planalto (base)	Granito porfiróide, de grão grosseiro, essencialmente biotítico	3	-	Espaço verde urbano, jardim com lago e lago artificial
2	Auto Abreu	Planalto (base)		3	Falha geológica	Estação de serviço/ oficina de automóveis
3	Parque automóvel	Planalto (base)		3	Falha geológica	Garagem
4	Pneus do Queimado	Planalto (base)		3	Falha geológica	Estação de serviço/ oficina de automóveis
5	Pressão Brilhante	Encosta (base)		3	-	Estação de serviço/ oficina de automóveis
6	Prio	Planalto (base)		3	-	Posto de abastecimento, depósito enterrado
7	Eletricista de automóveis	Encosta (base)		3	-	Estação de serviço/ oficina de automóveis
8	Clínica Veterinária do Tâmega	Encosta (intermédio)		3	-	Clínica veterinária/ hospital
9	Colégio de S. Gonçalo	Encosta (intermédio)		3	-	Estabelecimento de ensino
10	Parque de Manutenção da Costa Grande	Planalto (base)	Aluvião	1	Contacto geológico	Espaço verde urbano, jardim sem lago
11	Apriamarante	Encosta (intermédio)	Granito porfiróide, de grão grosseiro, essencialmente biotítico	3	-	Estabelecimento de ensino
12	Intermarché	Encosta (intermédio)		3	-	Posto de abastecimento, depósito enterrado
13	Centro de Saúde de Amarante	Planalto (topo)		3	-	Unidade de saúde
14	Clipóvoa	Planalto (topo)		3	-	Unidade de saúde
15	Cemitério de Amarante	Planalto (topo)		3	-	Cemitério
16	Escola Secundária de Amarante	Planalto (topo)		3	-	Estabelecimento de ensino
17	Escola EB23 de Amarante	Planalto (topo)		3	-	Estabelecimento de ensino
18	Cruz Vermelha	Encosta (intermédio)		3	-	Unidade de saúde
19	Clínica do Salto	Encosta (base)		3	-	Unidade de saúde
20	Centro Veterinário de Amarante	Encosta (intermédio)		3	-	Clínica veterinária/ hospital
21	BP	Planalto (base)		3	-	Posto de abastecimento, depósito enterrado
22	Pneus Santa Luzia	Encosta (base)		3	Falha geológica e contacto geológico	Estação de serviço/ oficina de automóveis
23	Galp	Planalto (base)		Aluvião	1	-

A análise dos focos pontuais de contaminação pela origem permitiu tecer algumas considerações em que são maioritariamente (22%), estações de serviço/ oficinas de automóveis, seguindo-se com a mesma frequência (17%), as unidades de saúde, postos de abastecimento e os estabelecimentos de ensino (figura 49).

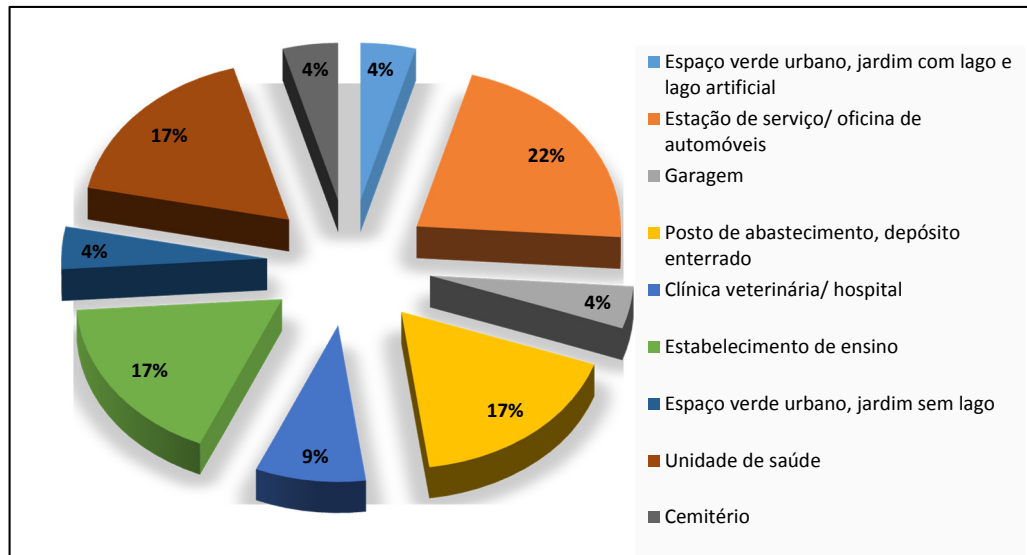


Figura 49. Origem dos focos pontuais de contaminação.

### 3.5. Cartografia de fatores: esboços preliminares

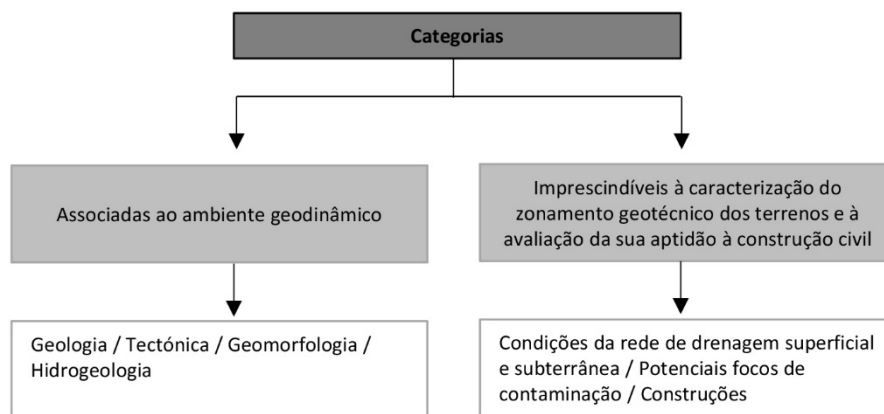
#### 3.5.1. Generalidades

Neste ponto, pretende-se expor os principais critérios assumidos, no que diz respeito à caracterização, assim como o esboço da cartografia de fatores considerados relevantes para a elaboração de uma proposta preliminar da cartografia da aptidão geotécnica dos terrenos de Amarante (carta síntese; versão preliminar). Nesta dissertação a abordagem assumida ao longo da investigação geotécnica urbana tem como objetivo primordial, preparar as bases metodológicas para obter de forma ainda que preliminar os dados para a futura carta geotécnica da área urbana de Amarante, incluindo o seu centro histórico-patrimonial. Neste contexto, ao longo de todo o projeto foram acompanhados de perto os principais documentos com as recomendações de cartografia geotécnica em meio urbano publicada em Portugal e internacionalmente, sobre esta temática.

Uma investigação geotécnica de pormenor em áreas urbanas é cada vez mais essencial, na medida em que tal como outras cidades do país, Amarante também padeceu de uma expansão urbana por vezes desequilibrada e com ocupação do solo de forma desorganizada e sem qualquer estudo inicial, o que proporciona nos dias de hoje a ocorrência de potenciais riscos geológicos (por

exemplo, as cheias). Desta forma, e tendo em consideração a escassez de estudos regionais e informações científicas recentes de carácter geológico aplicado, geomorfológico, e geotécnico de Amarante, justifica-se o estudo preliminar da geotecnia urbana do local referido, e evolução deste no sentido de realização de um esboço da cartografia geotécnica. É de referir que a presente dissertação, deverá complementar futuros trabalhos de investigação aplicada e/ou estudos técnico-científicos nos domínios da geotecnia urbana. No entanto, apesar de as cartas geotécnicas (ou mapas de geologia de engenharia) apresentarem a caracterização e aptidão geológico-geotécnica dos terrenos, não dispensam a necessidade de se efetuarem estudos geológico-geotécnicos aquando da realização do projeto de qualquer obra (COBA, 2003; Oliveira et al., 2009; Chaminé et al., 2016). Este pressuposto é vital em geotecnia urbana. Todavia, tendo esta informação é uma mais-valia no apoio à decisão de um dado projeto urbano e mesmo nos estudos geotécnicos de pormenor (estudos “in situ”) e nos estudos de planeamento e ordenamento territorial.

A escala utilizada na representação gráfica final da informação dos esboços cartográficos (topografia, geologia, geomorfologia e hidrogeologia) foi de 1:10.000, partindo-se principalmente de escalas 1:10.000, 1:25.000 e 1:50.000, mas com todos os cuidados técnicos para se minimizar os erros de redução de escalas. Os fatores cartografados neste trabalho são essencialmente de duas categorias (figura 50).



**Figura 50.** Categorias dos fatores cartografados no presente estudo.

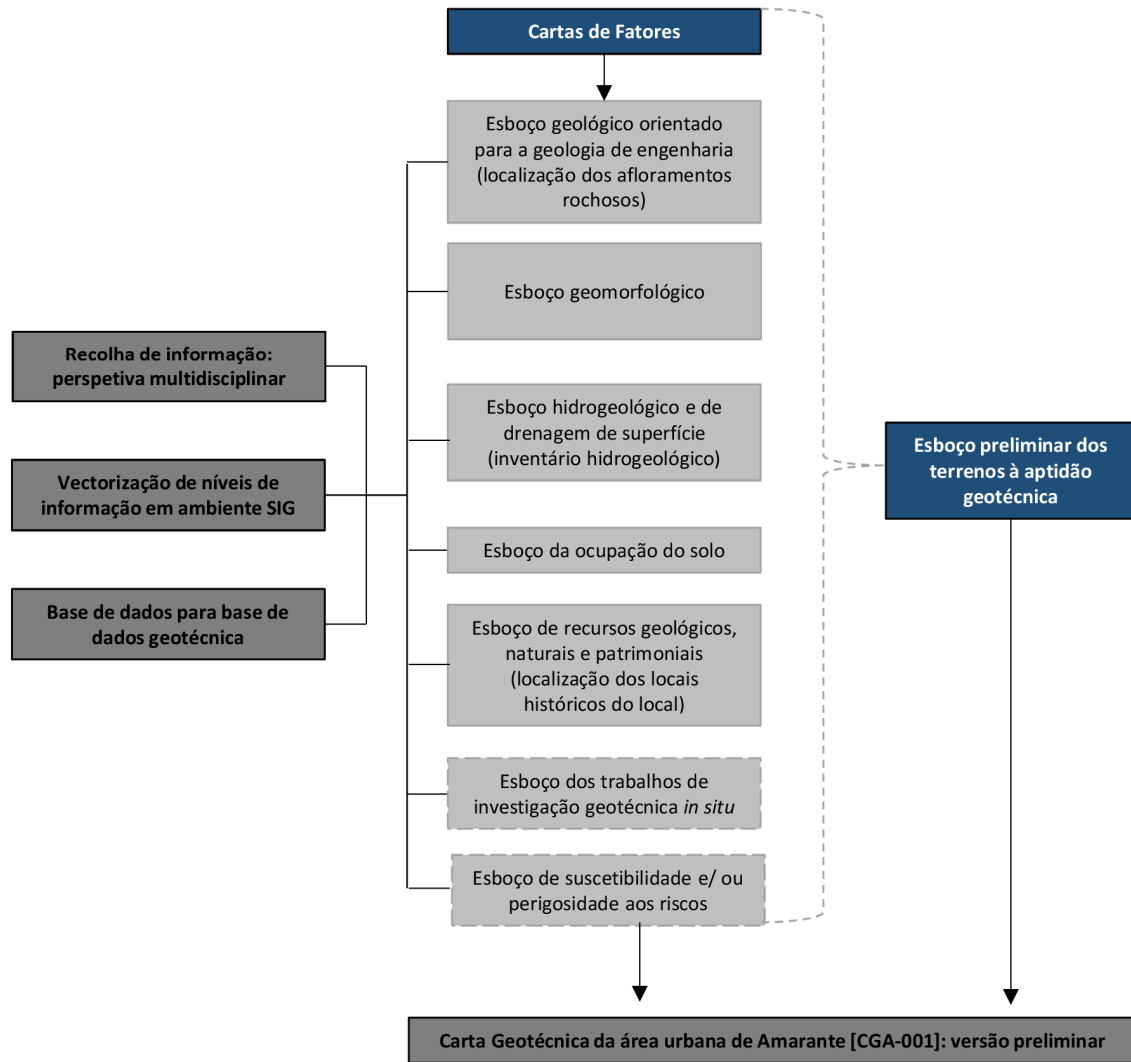
Nesta primeira versão dos esboços cartográficos da área urbana de Amarante, foram elaborados dois tipos, os de fatores (ou analíticos) e os de síntese.

Os de fatores caracterizam-se por representarem um ou mais tipos de dados ou fenómenos (fatores) considerados importantes para um determinado trabalho, sendo que a escolha dos fatores é determinante do local que se está a estudar e daqueles que são considerados essenciais,

tendo sempre em consideração as características do meio urbano. As cartas síntese representam as principais características síntese de um dado meio urbano, sob o ponto de vista geotécnico e de condicionantes dos respetivos terrenos para construção (Silva, 2009). Ou seja, esta caracteriza-se por ser como que uma síntese de todas as cartas de fatores elaboradas, contribuindo também na construção da carta geotécnica preliminar.

A metodologia de trabalho de toda a cartografia aplicada foi representada num Sistema de Informação Geográfica, tornando os esboços da zona urbana de Amarante, documentos versáteis, de fácil manuseamento e consulta, assim como de simples atualização à medida que se vão recolhendo mais informações. Fator de extrema importância, pois desta forma é possível ir atualizando o documento, que de outra maneira se tornaria desatualizado e incompleto e ao fim de algum tempo não teria a utilidade pretendida. Toda a cartografia elaborada foi encarada como preliminar e exploratória, tomando a designação de “esboço cartográfico” a uma escala de 1:10.000, e apresenta-se um esboço de carta síntese relacionada com a suscetibilidade da qualidade geotécnica dos terrenos da área estudada. Por fim, avançou-se para uma proposta, ainda que preliminar, dos primeiros dados como vista à obtenção da “carta geotécnica da área urbana de Amarante”.

Na figura 51 encontram-se os esboços cartográficos elaborados nesta dissertação, bem como a metodologia seguida.



**Figura 51.** Tipologia dos esboços cartográficos elaborados nesta dissertação para o estudo geotécnico da área urbana e envolvente de Amarante.

### 3.5.2. Esboço geológico

Após análise da zona em estudo, verifica-se que a descrição das unidades geológicas, avaliadas na descrição regional do local, vai de encontro aos resultados obtidos. No anexo 5, apresenta-se o esboço geológico da área urbana de Amarante e envolvente.

Desta forma, na área cartografada distinguem-se os seguintes tipos de unidades geológicas locais:

- i) Aluviões (estão ligados essencialmente aos principais cursos de água, ao longo das margens do rio Tâmega, maioritariamente na zona envolvente e ao longo das linhas de água, com predominância nas que se encontram na zona envolvente ao local, verificando-se também, ainda que em menor quantidade na zona em estudo);

- ii) Depósitos de terraços fluviais (apenas uma pequena mancha, localizada no Norte do centro histórico de Amarante);
- i) Granito porfiróide, de grão grosseiro essencialmente biotítico (constituição maioritária tanto do local principal do estudo, como na sua envolvente).

Por forma a obter informações mais detalhadas do local, foram localizados no presente esboço os afloramentos encontrados ao longo do reconhecimento de campo exploratório, sendo na sua totalidade 13, e realizada uma avaliação preliminar do seu grau de alteração ( $W_1$  a  $W_5$ ), e do seu grau de fracturação ( $F_1$  a  $F_5$ ) segundo a classificação da ISRM (1978, 1981). Na figura 52, encontram-se alguns exemplos de afloramentos analisados.



**Figura 52.** Exemplos de afloramentos no local em estudo: (1) - ID\_15; (2) - ID\_27; (3) - ID\_28; (4) - ID\_36; (5) - ID\_41 e (6) - ID\_36.

No quadro 24, encontra-se uma avaliação dos principais afloramentos analisados no local, verificando-se que predomina o grau de alteração,  $W_4$ -5 (muito alterado a completamente alterado).

Relativamente ao grau de fracturação em alguns dos afloramentos, tendo em conta o seu elevado grau de alteração, a definição da sua fracturação é de difícil análise, na medida em que se optou por usar o critério, que quanto mais alterado o maciço se encontrar, mais afastadas se encontram as descontinuidades, podendo por vezes não ser identificadas, o que concluiu que o grau de fracturação F1-2 (muito afastadas a afastadas) é o predominante no local em análise. De salientar que esta avaliação é ainda bastante preliminar.

No que respeita ao grau de resistência (S) foram avaliados os maciços que era possível obter algum resultado concreto (em especial, ID\_15, 27 e 28), e para tal foi utilizado o Martelo de Schmidt, do tipo L (figura 53) tendo-se usado as técnicas previstas pela ISRM, (1981, 1987) e a ASTM (2001). Seguidamente, recorreu-se ao ábaco de Miller para determinar a resistência à compressão uniaxial (MPa). Desta forma, foi possível determinar qual a sua classe de resistência (ISRM, 1981). Estes resultados são meramente exploratórios e indicativos (anexo 6).

**Quadro 24.** Avaliação do grau de alteração e de fracturação dos afloramentos localizados, segundo a classificação ISRM.

Afloramento	ID	Grau de Alteração, W	Grau de Fracturação, F	Resistência à compressão uniaxial (MPa)	Classe de Resistência; S (ISRM,1981)	Localização
1	10	W3	F3	-	-	41° 16' 10,703" N 8° 4' 19,678" W
2	15	W1-2	F4-5	99	S1-2	41° 16' 7,583" N 8° 4' 42,709" W
3	27	W1-2	F4-5	111	S1-2	41° 15' 56,312" N 8° 4' 15,484" W
4	28	W4-5	F1-2	50	S3	41° 15' 57,008" N 8° 4' 14,063" W
5	30	W4-5	F1-2	<20	S4-5	41° 16' 19,994" N 8° 4' 33,560" W
6	35	W4-5	F1-2	<20	S4-5	41° 16' 28,064" N 8° 4' 48,276" W
7	36	W4-5	F1-2	<20	S4-5	41° 16' 29,639" N 8° 4' 47,374" W
8	38	W4-5	F1-2	<20	S4-5	41° 16' 26,329" N 8° 5' 8,476" W
9	39	W4-5	F1-2	<20	S4-5	41° 16' 26,682" N 8° 5' 7,379" W
10	40	W4-5	F1-2	<20	S4-5	41° 16' 26,328" N 8° 5' 3,786" W
11	41	W4-5	F1-2	<20	S4-5	41° 16' 15,706" N 8° 4' 48,820" W
12	42	W4-5	F1-2	<20	S4-5	41° 16' 16,246" N 8° 4' 48,138" W
13	43	W4-5	F1-2	<20	S4-5	41° 16' 19,841" N 8° 4' 51,011" W

Como se verifica no quadro anterior, para o ID\_15 e o ID\_27, obteve-se uma classe de resistência elevada (S1-2). O ID\_28 encontra-se bastante alterado, mas na sua constituição encontram-se alguns blocos, por tal procedeu-se à avaliação da sua classe de resistência, tendo-se obtido uma classe S3 (média) nos mesmos, podendo diferenciar este local de todos os outros que se encontram bastante alterados. Relativamente ao ID\_10, este apesar de visualmente se verificar que se encontra pouco alterado, não foi possível realizar ensaios de resistência, pois encontra-se num local de difícil acesso.



**Figura 53.** Exemplos de aplicação do martelo de Schmidt, tipo L (1)- ID\_15; (2)- ID\_27.

### 3.5.3. Esboço geomorfológico

A geomorfologia do centro histórico de Amarante e envolvente (anexo 7), é dominada essencialmente por duas unidades morfológicas distintas, nomeadamente por um conjunto de áreas aplanadas a diversas altitudes, e por vertentes, em geral, de declives acentuados ( $>16^\circ$ ). As áreas aplanadas surgem essencialmente entre os limites superiores e inferiores das áreas de vertente.

No centro histórico da cidade, predominam as áreas de vertente. Encontram-se também algumas das áreas aplanadas, nomeadamente, com altitudes entre os 60 e os 70m nas margens do rio Tâmega, coincidindo em alguns locais com a unidade geológica de aluviões; altitudes entre os 80 e os 110m em pequenas dimensões junto à estrada nacional (EN312); podem também encontrar-se altitudes entre os 120 e os 150m coincidindo com a pequena mancha de depósitos de terraços fluviais e a sua envolvente.

No limite entre o centro histórico da cidade e o local denominado por “área de estudo”, verifica-se a predominância das áreas de vertente, nomeadamente na zona superior direita junto à estrada nacional (EN15), no local da Torre e junto à estrada nacional (EN210). No que diz respeito às áreas aplanadas, destacam-se as que apresentam altitudes entre os 120 e os 150m na zona do Queimado,

a norte do limite do centro histórico, bem como junto à estrada nacional (EN312). Verifica-se de igual modo, junto às margens do rio Tâmega e coincidindo com as unidades geológicas de depósitos de terraços fluviais, áreas aplanadas com altitudes entre os 60 e os 70m.

Por fim, ao analisar a área envolvente ao local em estudo, verifica-se novamente a predominância das áreas de vertente, com especial destaque os locais de Sobreiro, Murtas, Figueiredo e Eido. Na área envolvente, beneficia-se do estudo de todas a diversidade de áreas aplanadas presentes na legenda, com evidência do único local onde se encontram áreas aplanadas com altitudes entre os 210 e os 250m (nas proximidades de Fontanelas) e também os locais com altitudes entre os 170 e os 200, nomeadamente no canto superior esquerdo (coincidente com o ponto cotado de 166m). de salientar os principais locais com altitudes entre os 120 e os 150m, zona norte da área envolvente, lado esquerdo junto à estrada nacional (EN210) e no local das carvalhinhas. Nas unidades geológicas de aluviões ocorrem no local de São Lázaro altitudes entre os 80 e os 110m e no local das aluviões junto ao rio Tâmega altitudes de 60 a 70m.




#### **3.5.4. Esboço hidrogeológico e de drenagem de superfície**

No anexo 8 encontra-se o esboço hidrogeológico e de drenagem de superfície. Este, tem como objetivo caracterizar, de uma forma, ainda que preliminar, os terrenos que constituem o local em estudo, em termos hidrogeológicos, assim como, as condições de drenagem de superfície. Desta forma, foi elaborada uma carta de fatores, acompanhada pela rede de drenagem, a localização do inventário hidrogeológico (charcas, fontanários, lavadouros, minas, poços, tanques e tanques com minas de água), sob a base geológica local e as unidades hidrogeológicas por ela caracterizadas. Ao longo do projeto verificou-se, por vezes, escassez de informações, não permitindo desta forma, um estudo hidrogeológico mais pormenorizado.

Relativamente à drenagem de superfície, verifica-se que as linhas de água que atualmente se observam drenam para o rio Tâmega.

No que respeita às unidades hidrogeológicas definidas, é exposta uma síntese das respetivas características no quadro 25, as quais poderão ser utilizadas no futuro, como um instrumento importante na gestão dos recursos hídricos locais. Na sua definição são contemplados diversos fatores, nomeadamente: a geotectónica, geomorfologia e a informação hidrogeológica.

**Quadro 25.** Caracterização das unidades hidrogeológicas definidas para área urbana e envolvente de Amarante (adaptado de Carvalho, 2006).

Unidades hidrogeológicas (UH)		Tipologia dos aquíferos								
			Ligação à rede hidrográfica		Tipo de escoamento		Horizonte de alteração			
			Tem	Não tem	Meio poroso	Meio fissurado	Espessura baixa	Espessura alta	Argiloso	Arenoso
Rochas sedimentares	UH 1 - Aluviões atuais		x		x		n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	UH 2 - Depósitos de terraços fluviais		x		x		n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Rochas graníticas	UH 3 - Granito porfiróide, de grão grosseiro, essencialmente biotítico			x		x		x	x	x

n.a.: não aplicável

### 3.5.4.1. Inventário hidrogeológico: apresentação e caracterização dos dados

Como referido anteriormente, no inventário geológico–geotécnico, foram localizados e analisados todos os pontos de água presentes no local, sendo identificados na totalidade 26 pontos: 14 fontanários, 4 tanques, 5 minas, 1 charca, 1 poço e 1 lavadouro (quadro 26). Desta forma, seguidamente encontram-se algumas considerações sobre as características dos pontos inventariados, bem como o tratamento dos dados recolhidos, nomeadamente: pH, condutividade elétrica e temperatura.

As cotas às quais se encontram variam entre os 62 e os 122m, localizando-se geomorfologicamente em zonas de vertente e áreas aplanadas a diferentes altitudes.

No que respeita ao enquadramento hidrogeológico, os pontos situam-se na sua maioria, nas unidades graníticas, sendo que 2 se localizam na UH1 (aluviões), e 1 ponto apenas na UH2 (depósitos de terraços fluviais).

**Quadro 26.** Síntese das principais características dos pontos de água inventariados.

ID	Cota (m)	Unidade geológica local	Unidade hidrogeológica local	Formas de relevo	Tipologia	Observações
1	73,8	Granito porfiróide, de grão grosseiro, essencialmente biotítico	UH3	Encosta (B)	Fontanário	Água de mina
2	73,9		UH3	Encosta (B)	Fontanário	Água de mina
3	73,1		UH3	Encosta (B)	Fontanário	Água de mina
4	72,6	Aluvião	UH1	Planalto (B)	Tanque	Água de mina
5	72,5	Granito porfiróide, de grão grosseiro, essencialmente biotítico	UH3	Encosta (B)	Mina	Sem acesso
6	74		UH3	Encosta (I)	Charca	-
7	79		UH3	Encosta (I)	Tanque	Água de mina
8	69,7		UH3	Planalto (B)	Fontanário	Água controlada
9	74,6		UH3	Encosta (B)	Mina	Sem acesso
11	68,8		Aluvião	UH1	Planalto (B)	Fontanário
12	62	Granito porfiróide, de grão grosseiro, essencialmente biotítico	UH3	Planalto (B)	Tanque	Recebe do ID_11
13	69,8		UH3	Encosta (B)	Poço	Privado
14	75,8		UH3	Encosta (I)	Fontanário	-
16	71,6		UH3	Encosta (B)	Tanque	Água de mina
17	82,6		UH3	Encosta (I)	Fontanário	Sem água
18	-		UH3	Encosta (I)	Fontanário	Torneira
19	-		UH3	Planalto (T)	Fontanário	Sem água
20	90,3		UH3	Planalto (B)	Fontanário	Sem água
21	105,2		UH3	Encosta (I)	Fontanário	Sem água
22	100,7		UH3	Encosta (I)	Mina	Sem acesso
25	-		UH3	Encosta (I)	Mina	Sem acesso
29	104,5		UH3	Encosta (I)	Mina	Sem acesso
32	126		Depósitos de terraços fluviais	UH2	Planalto (T)	Fontanário
34	122,5	Granito porfiróide, de grão grosseiro, essencialmente biotítico	UH3	Encosta (T)	Lavadouro + Fontanário	Sem acesso
44	95,6		UH3	Planalto (B)	-	Sem água
45	93		UH3	Planalto (B)	Fontanário	Água de mina

No quadro 27, encontram-se as características físico-químicas dos pontos de água que foi possível aceder, para a sua avaliação. Dos parâmetros hidrogeológicos “in situ”, em apenas 9, foi possível realizar a medição do caudal, sendo que dos 14 pontos que foi possível analisar, 9 caracterizam-se por fontanários, 4 por tanque e 1 por charca.

Em termos organoléticos, a água caracteriza-se em todos os pontos por ser límpida, sem sabor, sem cheiro e incolor. No que concerne aos parâmetros físico-químicos, obtiveram-se os seguintes resultados:

- A temperatura mediana foi cerca de 20,4°C nos fontanários, 20,1°C nos tanques e na charca 20,5°C (ponto único) (figura 54\_1);
- Em termos de pH, a água dos fontanários e tanques caracteriza-se como sendo ácida, com valores medianos, respetivamente de: 6,06; 5,96, e para a charca obteve-se o valor de 5,55 (figura 54\_2);
- Quanto à condutividade elétrica, a água dos fontanários apresenta um valor mediano de 303µS/cm, e a água dos tanques 314 µS/cm, apresentando a charca o valor de 199µS/cm (figura 54\_3). Concluiu-se desta forma, que as águas analisadas são pouco mineralizadas.

**Quadro 27.** Características físico-químicas e valores de caudal dos pontos de água.

ID	Tipologia	Temperatura	pH	Condutividade eléctrica ( $\mu\text{S/cm}$ )	Caudal (L/s)
1	Fontanário	20,4	7,02	1279	-
2	Fontanário	19,3	6,06	1413	0,09
3	Fontanário	20,1	6,11	493	0,08
4	Tanque	20,1	6,11	440	0,03
6	Charca	20,5	5,55	199	-
7	Tanque	18,0	5,27	132	0,14
8	Fontanário	18,9	5,85	210	0,03
11	Fontanário	20,0	5,80	234	0,07
12	Tanque	20,0	5,80	234	-
14	Fontanário	22,2	5,72	297	0,05
16	Tanque	21,4	6,34	394	0,08
18	Fontanário	23,9	7,07	357	-
32	Fontanário	22,1	7,19	303	-
45	Fontanário	21,7	5,18	220	0,15



**Figura 54.** Valores medianos dos parâmetros físico-químicos registados "in situ" nas diferentes tipologias: (1) - Temperatura; (2) -pH e (3) - Condutividade elétrica.

Foram analisados posteriormente dados de análises físico-químicas fornecidos pela Câmara Municipal de Amarante, referentes aos anos de 2013 e 2015 de alguns dos fontanários que interseitam o local em estudo.

No quadro 28, encontra-se o resumo dos dados fornecidos de interesse para o projeto, bem como a sua correspondência aos ID's dos pontos inventariados. Desta forma, podemos concluir que as águas são essencialmente sódicas, ácidas a neutras e pouco mineralizadas.

Concluiu-se assim, que os dados recolhidos no campo dos respetivos fontanários e os dados fornecidos são semelhantes, apesar de apenas se puder comparar os valores de pH e condutividade elétrica.

**Quadro 28** - Dados das análises físico-químicas dos fontanários, fornecidos pela Câmara Municipal de Amarante.

Fontanários	Arquinho (ID_8)	Av. Alexandre Herculano (ID_11)	Tílias (ID_3)	Arquinho (ID_8)	Av. Alexandre Herculano (ID_11)	Tílias (ID_3)
Data da análise	11/11/2013			30/12/2015		
pH	6,7-7,2	6,6-7,0	6,1-7,4	6,2-7,0	6,3-6,7	6,0-6,2
Condutividade elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	101-220	130-180	160-284	119-141	118-147	146-161
Na (mg/l)	6	11	6	11	18	12
K (mg/l)	Não determinado	Não determinado	Não determinado	Não determinado	Não determinado	Não determinado
Cl (mg/l)	11	14	<10	15	14	13
Ca (mg/l)	<5	5	12	<5	7	10
HCO <sub>3</sub> (mg/l)	Não determinado	Não determinado	Não determinado	Não determinado	Não determinado	Não determinado
Mg (mg/l)	2	2,8	1,5	1,2	2,1	2,1
SO <sub>4</sub> (mg/l)	<10	13	17	<10	11	15
NO <sub>3</sub> (mg/l)	<10-69	12-23	20-22	<10-17	14-17	15-18
NO <sub>2</sub> (mg/l)	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02

### 3.5.5. Esboço da ocupação do solo

O esboço de ocupação do solo ou ocupação de superfície (figura 55) refere-se a uma carta com informação relativa ao tipo de cobertura da superfície e sub-superfície da área em análise, que de algum modo, podem ter influência no comportamento geotécnico dos terrenos (Pinho, 2010).

Tendo por base a carta de uso e ocupação do solo de Portugal Continental para 2007, COS2007 (IGP, 2010) verifica-se a existência de uma ampla diversidade de usos na área em estudo, bem como na sua envolvente (quadro 29 e Anexo 9).

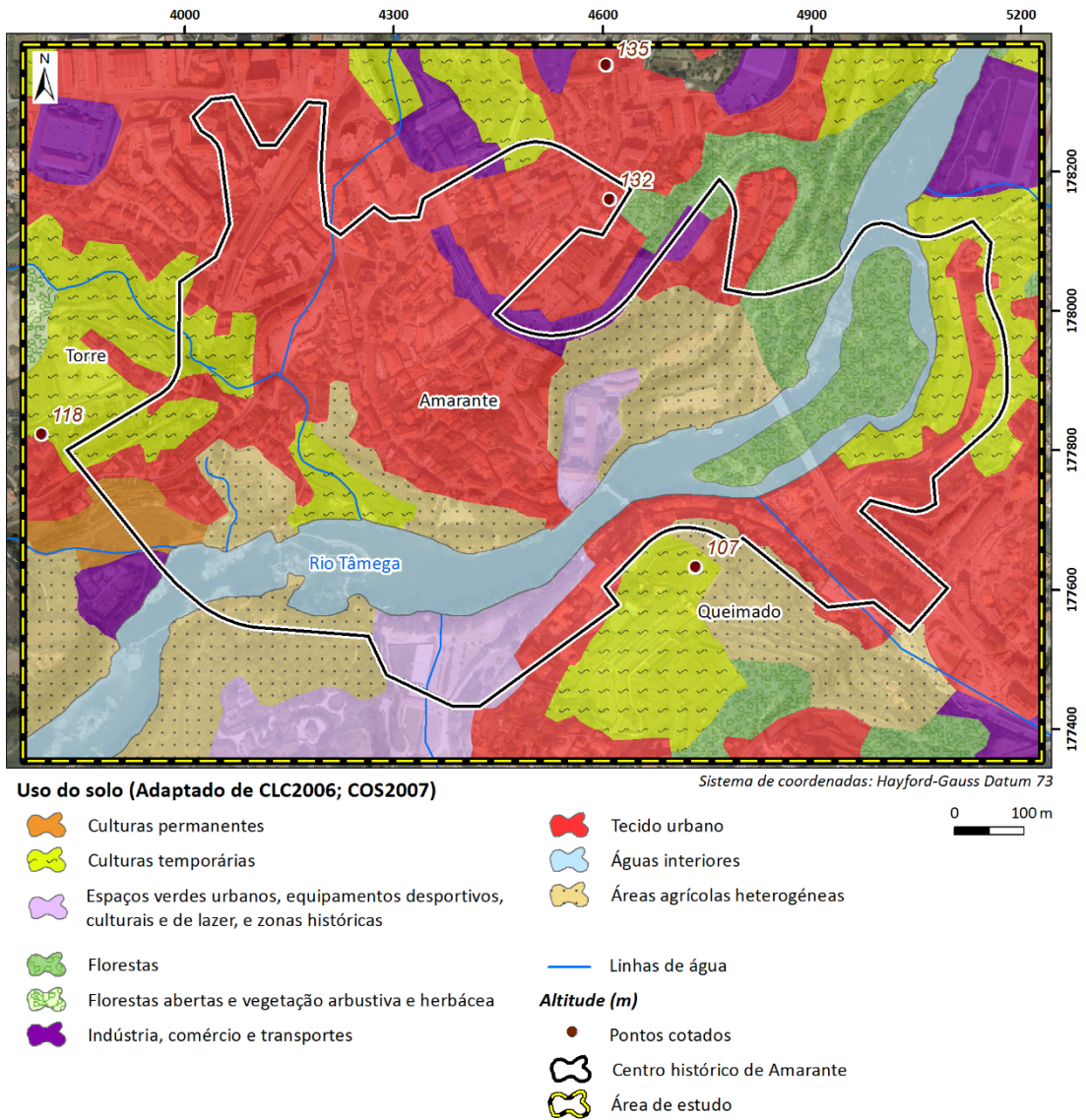


Figura 55. Mapa de ocupação do solo na área urbana de Amarante (centro histórico) e área de estudo.

**Quadro 29.** Classes de ocupação do solo na área urbana de Amarante (centro histórico) e área de estudo.

Classes de Ocupação do Solo, COS (2007)	Área de estudo		Área Urbana de Amarante	
	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%
1.1-Tecido urbano	0,60	41,2	0,30	47,7
1.2-Indústria, comércio e transportes	0,10	6,7	0,01	1,8
1.4- Espaços verdes urbanos, equipamentos desportivos, culturais e de lazer, e zonas históricas	0,08	5,4	0,04	6,8
2.1-Culturas temporárias	0,23	15,8	0,06	10,0
2.2-Culturas permanentes	0,02	1,3	0,01	1,4
2.4-Áreas agrícolas heterogéneas	0,20	13,9	0,09	14,7
3.1-Florestas	0,08	5,5	0,01	2,3
3.2-Florestas abertas e vegetação arbustiva e herbácea	0,01	0,4	-	-
5.1- Águas interiores	0,14	9,9	0,10	15,4
<b>Total</b>	<b>1,46</b>	<b>100</b>	<b>0,63</b>	<b>100</b>

Relativamente à área de estudo (área envolvente ao centro histórico) de Amarante, representada no Anexo 9, e totalizando 1,46Km<sup>2</sup>, verifica-se que a classe com maior representatividade é a classe do tecido urbano (41,2%). Seguem-se as áreas de culturas temporárias (15,8%), áreas agrícolas heterogéneas (13,9%) e águas interiores (9,9%). Estas representam 80,8% da área total, sendo que as restantes 19,2% correspondem às classes com menor representatividade, nomeadamente a indústria, comércio e transportes (6,7%), florestas (5,5%), espaços verdes urbanos, equipamentos desportivos culturais e de lazer, e zonas históricas (5,4%), culturas permanentes (1,3%) e por fim a classe com uma representatividade muito pequena é a das florestas abertas e vegetação arbustiva e herbácea (0,4%).

A área urbana de Amarante (centro histórico) corresponde a 0,63% da área total representada. No que concerne aos usos com maior representatividade, verifica-se que é o tecido urbano (47,7%), as águas interiores (15,4%), as áreas agrícolas heterogéneas (14,7%) e as culturas temporárias (10%), estas ocupam 87,8% da área do centro histórico. Os restantes 12,2% dizem respeito aos espaços verdes urbanos, equipamentos desportivos, culturais e de lazer, e zonas históricas (6,8%), florestas (2,3%), indústria, comércio e transportes (1,8%) e culturas permanentes (1,4%). É de salientar que nesta área não é identificada a classe referente a florestas abertas e vegetação arbustiva e herbácea. O trabalho de campo, permitiu, de certa forma, concluir os dados agora apresentados.

### 3.5.6. Esboço de recursos geológicos, naturais e patrimoniais

O concelho de Amarante é rico em património histórico e cultural, sendo indispensável aquando da sua visita o mosteiro e igreja de São Gonçalo, S. Pedro e S. Domingos, bem como os museus de Amadeo de Souza-Cardoso e de Arte Sacra, locais de elevado renome (quadro 30). A assimilação das características das 26 freguesias que constituem este concelho torna-o um local, com história, arte, gastronomia e modos de vida peculiares.

O rio Tâmega e a serra do Marão destacam-se como os elementos mais significativos do património natural, sendo que a serra do Marão não intersesta o local em estudo. Relativamente aos recursos geológicos, na área urbana não se encontra qualquer tipo de exploração.

No anexo 10, apresenta-se o esboço dos recursos naturais e patrimoniais do local em estudo.

**Quadro 30.** Síntese do principal património existente no centro urbano de Amarante.

Património	Construção	Localização	Observações
Igreja de S. Pedro	1727	Largo de São Pedro	Fachada e torre de estilo barroco. O teto da sacristia, revestido em talha de madeira, com cor natural, é um dos melhores do país.
Igreja de S. Domingos e Museu de Arte Sacra	1725	Praça da República (Largo de São Gonçalo), 4600 Amarante	Exibe uma fachada, de estilo barroco, rematada no tímpano, com as armas dominicanas. Num espaço contíguo à igreja, ganha visibilidade o Museu de Arte Sacra, dividido em 2 pisos.
Solar dos Magalhães	XVI	Rua do Seixedo	Da estrutura original, permanecem apenas, as paredes exteriores, testemunhas dos violentos ataques das invasões francesas.
Convento e Igreja de S. Gonçalo	1540	Praça da República (Largo de São Gonçalo), 4600 Amarante	Julga-se estar sepultado São Gonçalo. Esta, impõe o carácter religioso à cidade, fundido na riqueza e diversidade de elementos arquitetónicos que testemunham as diversas etapas da sua construção.
Ponte de S. Gonçalo	XVIII	Sobre o rio Tâmega, na freguesia de união das freguesias de Amarante, Madalena, Cepelos e Gatão	Símbolo de identidade local, com cerca de 50m de comprimento, suporta um tabuleiro com 4 varandins semicirculares e, em cada extremidade, dois obeliscos barrocos com inscrições relativas à construção e as invasões francesas
Igreja da Misericórdia	XVI	Rua Dr. Miguel Pinto Martins	Sofreu profundas alterações no século XIX, pois após as invasões francesas foi profundamente destruída
Mosteiro de Santa Clara ou Casa da Cerca	Entre XIII e XVI	Largo de Santa Clara	Incendiado em 1809 aquando das invasões francesas, apresenta-se hoje em ruínas, restando apenas parte da capela e o renascentista Portal de entrada.
Ponte do Arquinho	XIII	Largo Conselheiro António Cândido e Rua António Carneiro	Ponte de granito, com um arco de volta perfeita, que atravessava a Ribeira de Padronelo, tendo a designação que deu o nome ao Largo: Arquinho

Na figura 56, encontram-se alguns exemplos dos monumentos descritos no quadro anterior, bem como o rio Tâmega elemento do património natural.



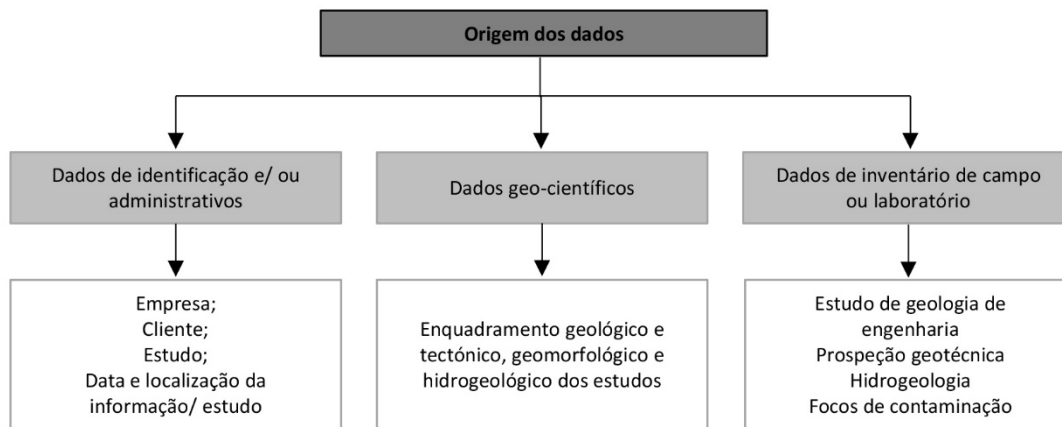
**Figura 56.** Património constituinte do centro urbano de Amarante. (1)- Fontanário; (2)- Igreja de São Gonçalo; (3)- Igreja de São Pedro; (4)- Ponte de São Gonçalo; (5)- Rio Tâmega e (6)- Solar dos Magalhães.

### 3.6. Base de dados alfanumérica: a “CART-GEOT|AMAR v.00”

Como já referido previamente, para a compilação de toda a informação, foi elaborada uma base de dados alfanumérica designada neste estudo por “CART-GEOT|AMAR”. Esta permitiu a gestão de toda a informação de base, sendo também elaborada de forma a conceder a ligação a um SIG, e assim, possibilitar a representação espacial e geográfica de todos os dados constituintes de um mapa e como objetivo obter os diversos esboços cartográficos. A base de dados é do tipo relacional, o que indica que os dados foram armazenados em linhas e colunas, funcionando como tabelas bidimensionais, onde as linhas representam os registos e as colunas correspondem aos campos desses registos.

Numa primeira fase, foram recolhidas todas as informações possíveis, tanto em documentos fornecidos pela Câmara Municipal de Amarante, como dados retirados dos elementos cartográficos já referenciados e principalmente através da compilação de todos os dados recolhidos no

reconhecimento de campo. Desta forma, pode afirmar-se que se identificaram dados com as origens elencadas na figura 57.



**Figura 57.** Origem dos dados para a realização da base de dados.

A organização dos dados segundo o esquematizado na figura 57, permite definir a estrutura da base de dados e perceber ainda, que esta deveria ser dividida em duas partes, uma realizada especificamente para os dados de inventário geológico-geotécnico (permitindo o preenchimento tanto para os dados referentes a construções, afloramentos ou dados hidrogeológicos) e a outra direcionada para retirar informações dos principais focos de contaminação. Desta forma, criou-se uma base de dados designada por **CART-GEOT|AMAR**, que diz respeito aos dados geológico-geotécnicos, e a outra designa-se por *base de dados de atividades potenciais de contaminação da água subterrânea*, sendo estas denominações designadas de código identificador e atribuído o termo de **ID Geral**.

Em cada uma das bases de dados, cada ponto é identificado com um **ID** e atribuído o respetivo número (e.g., ID\_2), seguindo-se a sua denominação (e.g., Auto Abreu). O exemplo descrito diz respeito a um dos pontos da base de dados realizada para os focos de contaminação (figura 58). Como já descrito no fluxograma esquemático da abordagem metodológica do projeto, as bases de dados foram elaboradas em ambiente *Ms. Windows*. Numa primeira etapa dos trabalhos, os dados foram introduzidos no programa *Ms. Office Excel* e, seguidamente, transferidos para um sistema gestor de dados, o *Ms. Office Access*, que por sua vez se realizou a sua correspondência a um *Sistema de Informação Geográfica (SIG)*.

A descrição dos principais passos a seguir, nos tópicos relativos às bases de dados, seguiu de perto as metodologias descritas, bem como as análises obtidas ao longo do estudo desenvolvido no LABCARGA|ISEP por Pinho (2010).

ID	Concelho	Freguesia	M	P	Cota [Z]	Carta geologica [n]	Unidade Geologica	Hydrogeologia local	carta hidrogeologica
1	Amarante	U. F. Amarante (S. Gonçalo)	41° 16' 9,120" N	8° 4' 42,288" W	73,8	10-C Peso da Régua	Granito porfiróide, de grão grosseiro, essencialmente biotítico	UH3	2
2	Amarante	U. F. Amarante (S. Gonçalo)	41° 16' 8,262" N	8° 4' 44,112" W	73,9	10-C Peso da Régua	Granito porfiróide, de grão grosseiro, essencialmente biotítico	UH3	2
3	Amarante	U. F. Amarante (S. Gonçalo)	41° 16' 4,112" N	8° 4' 43,268" W	71,1	10-C Peso da Régua	Granito porfiróide, de grão grosseiro, essencialmente biotítico	UH3	2
4	Amarante	U. F. Amarante (S. Gonçalo)	41° 15' 53,692" N	8° 4' 49,800" W	72,6	10-C Peso da Régua	Aluvião	UH1	2
5	Amarante	U. F. Amarante (S. Gonçalo)	41° 15' 55,748" N	8° 4' 53,899" W	72,5	10-C Peso da Régua	Granito porfiróide, de grão grosseiro, essencialmente biotítico	UH3	2
6	Amarante	U. F. Amarante (S. Gonçalo)	41° 16' 1,260" N	8° 5' 1,651" W	74	10-C Peso da Régua	Granito porfiróide, de grão grosseiro, essencialmente biotítico	UH3	2
7	Amarante	U. F. Amarante (S. Gonçalo)	41° 16' 0,881" N	8° 5' 2,243" W	79	10-C Peso da Régua	Granito porfiróide, de grão grosseiro, essencialmente biotítico	UH3	2
8	Amarante	U. F. Amarante (S. Gonçalo)	41° 16' 4,708" N	8° 4' 28,979" W	69,7	10-C Peso da Régua	Granito porfiróide, de grão grosseiro, essencialmente biotítico	UH3	2
9	Amarante	U. F. Amarante (S. Gonçalo)	41° 16' 8,511" N	8° 4' 25,640" W	74,6	10-C Peso da Régua	Granito porfiróide, de grão grosseiro, essencialmente biotítico	UH3	2
10	Amarante	U. F. Amarante (S. Gonçalo)	41° 16' 10,703" N	8° 4' 19,678" W	72,3	10-C Peso da Régua	Granito porfiróide, de grão grosseiro, essencialmente biotítico	UH3	2
11	Amarante	U. F. Amarante (S. Gonçalo)	41° 16' 16,106" N	8° 4' 19,557" W	68,8	10-C Peso da Régua	Aluvião	UH1	2
12	Amarante	U. F. Amarante (S. Gonçalo)	41° 16' 15,663" N	8° 4' 19,473" W	62	10-C Peso da Régua	Granito porfiróide, de grão grosseiro, essencialmente biotítico	UH3	2
13	Amarante	U. F. Amarante (S. Gonçalo)	41° 16' 20,781" N	8° 4' 17,341" W	69,8	10-C Peso da Régua	Granito porfiróide, de grão grosseiro, essencialmente biotítico	UH3	2
14	Amarante	U. F. Amarante (S. Gonçalo)	41° 16' 13,389" N	8° 4' 33,299" W	75,8	10-C Peso da Régua	Granito porfiróide, de grão grosseiro, essencialmente biotítico	UH3	2
15	Amarante	U. F. Amarante (S. Gonçalo)	41° 16' 7,583" N	8° 4' 42,709" W	65,3	10-C Peso da Régua	Granito porfiróide, de grão grosseiro, essencialmente biotítico	UH3	2
16	Amarante	U. F. Amarante (S. Gonçalo)	41° 16' 7,580" N	8° 4' 50,976" W	71,6	10-C Peso da Régua	Granito porfiróide, de grão grosseiro, essencialmente biotítico	UH3	2
17	Amarante	U. F. Amarante (S. Gonçalo)	41° 16' 8,176" N	8° 4' 51,733" W	82,6	10-C Peso da Régua	Granito porfiróide, de grão grosseiro, essencialmente biotítico	UH3	2
18	Amarante	U. F. Amarante (S. Gonçalo)	41° 16' 14,609" N	8° 4' 56,816" W	10-C	Peso da Régua	Granito porfiróide, de grão grosseiro, essencialmente biotítico	UH3	2
19	Amarante	U. F. Amarante (S. Gonçalo)	41° 16' 19,773" N	8° 4' 58,484" W	10-C	Peso da Régua	Granito porfiróide, de grão grosseiro, essencialmente biotítico	UH3	2
20	Amarante	U. F. Amarante (S. Gonçalo)	41° 16' 18,365" N	8° 4' 55,816" W	90,3	10-C Peso da Régua	Granito porfiróide, de grão grosseiro, essencialmente biotítico	UH3	2
21	Amarante	U. F. Amarante (S. Gonçalo)	41° 16' 11,267" N	8° 4' 52,567" W	105,2	10-C Peso da Régua	Granito porfiróide, de grão grosseiro, essencialmente biotítico	UH3	2
22	Amarante	U. F. Amarante (S. Gonçalo)	41° 16' 11,317" N	8° 4' 46,052" W	100,7	10-C Peso da Régua	Granito porfiróide, de grão grosseiro, essencialmente biotítico	UH3	2
23	Amarante	U. F. Amarante (S. Gonçalo)	41° 16' 13,591" N	8° 4' 46,814" W	115,6	10-C Peso da Régua	Granito porfiróide, de grão grosseiro, essencialmente biotítico	UH3	2
24	Amarante	U. F. Amarante (S. Gonçalo)	41° 16' 11,235" N	8° 4' 45,122" W	134,1	10-C Peso da Régua	Granito porfiróide, de grão grosseiro, essencialmente biotítico	UH3	2
25	Amarante	U. F. Amarante (S. Gonçalo)	41° 16' 15,038" N	8° 4' 41,558" W	10-C	Peso da Régua	Granito porfiróide, de grão grosseiro, essencialmente biotítico	UH3	2
26	Amarante	U. F. Amarante (S. Gonçalo)	41° 16' 5,748" N	8° 4' 26,384" W	80,5	10-C Peso da Régua	Granito porfiróide, de grão grosseiro, essencialmente biotítico	UH3	2
27	Amarante	U. F. Amarante (S. Gonçalo)	41° 15' 56,312" N	8° 4' 15,484" W	83,6	10-C Peso da Régua	Granito porfiróide, de grão grosseiro, essencialmente biotítico	UH3	2
28	Amarante	U. F. Amarante (S. Gonçalo)	41° 15' 57,098" N	8° 4' 14,063" W	83,7	10-C Peso da Régua	Granito porfiróide, de grão grosseiro, essencialmente biotítico	UH3	2
29	Amarante	U. F. Amarante (S. Gonçalo)	41° 16' 22,417" N	8° 4' 35,340" W	104,5	10-C Peso da Régua	Granito porfiróide, de grão grosseiro, essencialmente biotítico	UH3	2
30	Amarante	U. F. Amarante (S. Gonçalo)	41° 16' 19,994" N	8° 4' 33,560" W	97,8	10-C Peso da Régua	Granito porfiróide, de grão grosseiro, essencialmente biotítico	UH3	2
31	Amarante	U. F. Amarante (S. Gonçalo)	41° 16' 17,741" N	8° 4' 46,182" W	128	10-C Peso da Régua	Granito porfiróide, de grão grosseiro, essencialmente biotítico	UH3	2
32	Amarante	U. F. Amarante (S. Gonçalo)	41° 16' 19,424" N	8° 4' 46,413" W	126	10-C Peso da Régua	Depósitos de terrações fluviais	UH2	2
33	Amarante	U. F. Amarante (S. Gonçalo)	41° 16' 28,821" N	8° 4' 48,504" W	136,5	10-C Peso da Régua	Granito porfiróide, de grão grosseiro, essencialmente biotítico	UH3	2
34	Amarante	U. F. Amarante (S. Gonçalo)	41° 16' 25,870" N	8° 4' 45,022" W	122,5	10-C Peso da Régua	Granito porfiróide, de grão grosseiro, essencialmente biotítico	UH3	2
35	Amarante	U. F. Amarante (S. Gonçalo)	41° 16' 28,064" N	8° 4' 48,276" W	115,6	10-C Peso da Régua	Granito porfiróide, de grão grosseiro, essencialmente biotítico	UH3	2
36	Amarante	U. F. Amarante (S. Gonçalo)	41° 16' 29,639" N	8° 4' 47,374" W	123,9	10-C Peso da Régua	Granito porfiróide, de grão grosseiro, essencialmente biotítico	UH3	2
37	Amarante	U. F. Amarante (S. Gonçalo)	41° 16' 38,208" N	8° 4' 36,359" W	150,5	10-C Peso da Régua	Granito porfiróide, de grão grosseiro, essencialmente biotítico	UH3	2
38	Amarante	U. F. Amarante (S. Gonçalo)	41° 16' 26,329" N	8° 5' 8,476" W	113,6	10-C Peso da Régua	Granito porfiróide, de grão grosseiro, essencialmente biotítico	UH3	2
39	Amarante	U. F. Amarante (S. Gonçalo)	41° 16' 26,682" N	8° 5' 7,379" W	114,4	10-C Peso da Régua	Granito porfiróide, de grão grosseiro, essencialmente biotítico	UH3	2

Figura 58. Exemplo da base de dados com alguns dos respetivos campos para o preenchimento de cada ID.

### 3.6.1. Ligação ao Ms. Office Access

Após o preenchimento das duas bases de dados no *Microsoft Office Excel*, procedeu-se à passagem para o programa escolhido para o Sistema de Gestão de Base de Dados (SGBD) o *Microsoft Office Access*.

O *Microsoft Office Access* (SGBD) é do tipo relacional, consistindo numa coleção de objetos, principalmente tabelas, formulários, relatórios e consultas. As tabelas são o objeto que permite guardar a informação, podendo a mesma BD (base de dados) apresentar uma ou mais tabelas relacionadas entre si. A ligação entre o *Microsoft Office Excel* e o *Microsoft Office Access* permitiu a facilidade de armazenamento, manuseamento, consulta dos dados e a possibilidade de uma atualização permanente, bem como a possibilidade de ligação a Sistemas de Informação Geográfica (SIG). A ligação destes dois programas é feita de forma idêntica, na medida em que o *Microsoft Office Access* também permite a realização de tabelas em formato matricial, isto é, sob a forma de linhas e colunas, permitindo a passagem dos dados com facilidade. Desta forma, os códigos e a estrutura dos dados utilizados, bem como a ligação das tabelas para a ligação do *Microsoft Office Excel*, mantiveram-se neste programa. A diferença que se evidencia principalmente, é que este permitiu a realização de relatórios – tipo que posteriormente foram convertidos em ficheiros do tipo PDF para proceder à hiperligação ao SIG.

Nos pontos seguintes é realizada uma síntese da construção da base de dados de superfície, em ambiente *Microsoft Office Excel*, *Microsoft Office Access* e SIG (ArcGis).

Nas figuras 59 e 60, é apresentado um exemplo da construção de cada relatório-tipo, dos diferentes estudos, em ambiente *Microsoft Office Access*. A sua construção efetua-se adicionando o campo (coluna na tabela de dados), que ao mesmo tempo será preenchida automaticamente no relatório-tipo para o seu respetivo registo.

A figura 59 é relativa às atividades potenciais de contaminação de água subterrânea, está é iniciada pelo respetivo ID, de cada ponto inventariado, seguindo-se a sua localização que apresenta o primeiro grupo do relatório-tipo, localizando cada foco na planta, no mapa hidrogeológico e também é apresentada uma figura, do respetivo foco identificado. Os restantes grupos da ficha passam pelo reconhecimento do proprietário, a geomorfologia, a geologia e hidrogeologia, e por fim por perceber qual a origem dos potenciais focos de contaminação.

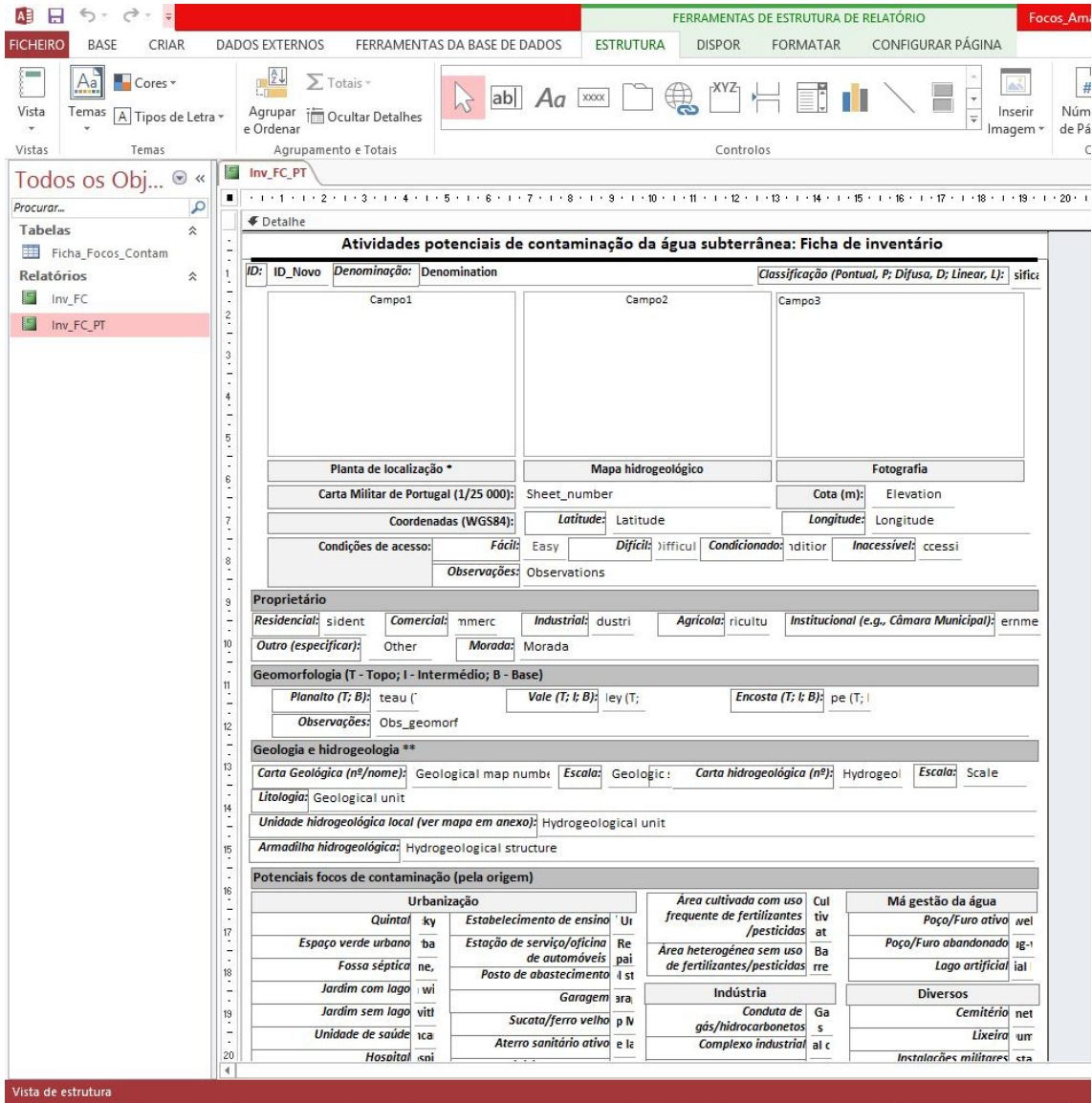


Figura 59 - Exemplo da construção dos relatórios-tipo, para as atividades potenciais de contaminação de água subterrânea, em vista de estrutura, com recurso ao programa Microsoft Access.

Na figura 60, é apresentado um relatório-tipo, relativo às fichas de inventário geológico-geotécnico. Este é dividido em cinco grupos, o primeiro designa-se por enquadramento, onde se identifica o ID em análise, a localização do ponto na planta e a respetiva fotografia do mesmo. Seguidamente segue-se a identificação da geologia, hidrologia/ hidroclimatologia, informações gerais-estudos, projetos, obras e ainda a prospeção geotécnica. Este último não é abordado neste projeto tal como justificado anteriormente, mas encontra-se já em curso a compilação de dados de campo e gabinete.

**Ficha de inventário geológico-geotécnico**  
**Carta Geotécnica de Amarante (versão preliminar - 2016)**

**Enquadramento**

planta	LOG	ID:	ID
		Concelho:	Concelho
		Freguesia:	Freguesia
		Cota (m):	Cota (Z)
Coordenadas Hayford-Gauss Datum 73			
		M:	M
		P:	P

**Geologia (Escala 1/50.000) / Hidrogeologia (Escala 1/200.00) / Geomorfologia (T - Topo; I - Intermédio; B - Base)**

Unidade geológica regional:	Unidade Geológica	Carta geológica (nº):	Carta geologica (n)
Unidade hidrogeológica local:	Hidrogeologia local	Carta hidrogeológica (nº):	carta hidrogeol
Formas de relevo:	Formas de Relevo	Observações:	Observações (Geo)

**Hidrogeologia / Hidroclimatologia**

Hidroclimatologia		Características organolépticas		Parâmetros físico-químicos	
Data:	Dara	Turbidez:	Límpida	Temperatura (°C):	Temp
Hora:	Hora	Sabor:	Sabor	pH:	ph
Temperatura do ar (°C):	temperatura d	Cheiro:	Cheiro	Condutividade eléctrica (µS/cm):	CE
Humidade relativa (%):	humidade rela	Cor:	Cor		

Tipologia:	Nascentes	Caudal (L/s):	Caudais	Nível hidrostático (m):	Nível hid (NHE)
Observações:	Furos/ Poços	Medido com:	medido com	Análises químicas:	Análises Quím

**Informações gerais - estudos, projectos, obras**

Nome projecto:	Nome Projecto		
Código do projecto:	ID Geral	Autor estudo:	Autor Estudo
		Código da prospecção:	Cod Prosp

**Prospecção geotécnica**

**Tipo de prospecção**

Sondagens:	Sondagem	Poços:	Poços	Valas e trincheiras:	ilas e Trin	Afloramentos:	loramenti
------------	----------	--------	-------	----------------------	-------------	---------------	-----------

**Sondagens / Poços**

Inclinação (°):	Inclina (°)	Profundidade (m):	Prof (m)	"In situ"
-----------------	-------------	-------------------	----------	-----------

**Ensaio**

**Figura 60.** Exemplo da construção dos relatórios-tipo, para o inventário geológico-geotécnico, em vista de estrutura, com recurso ao programa Microsoft Access.

### 3.6.2. Base de dados de superfície

Ambas as bases de dados são consideradas bases de dados de superfície, diferenciando entre si na informação que se deve retirar em cada estudo. Como já referido, uma foi implementada para a realização do inventário geológico-geotécnico (CART-GEOT|AMAR) e a outra para o inventário de focos de contaminação.

Na figura 61 é apresentada uma descrição sucinta de cada grupo que incorpora a base de dados para as fichas de inventário geológico-geotécnico, apresentando desta forma as principais informações retiradas para o estudo.



**Figura 61.** Contextualização da base de dados geológico-geotécnica (CART-GEOT|AMAR).

Para o grupo do **enquadramento**, foram inseridos todos os dados de vertente identificativa e de localização do presente estudo, definindo-se as propriedades acima descritas.

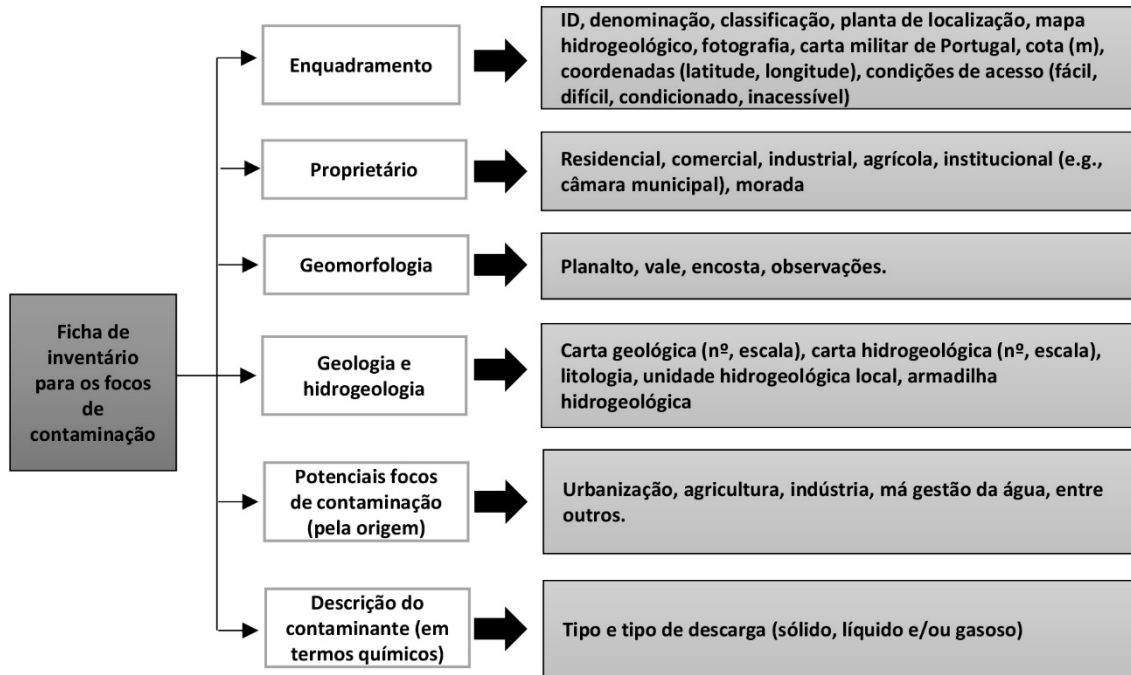
Relativamente à categoria da **geologia, hidrogeologia e hidroclimatologia**, partiu-se dos dados das principais cartas (geológica e hidrogeológica) onde se insere o local em análise, para que desta forma se defina e caracterize o seu enquadramento geológico, hidrogeológico e geomorfológico regional;

No que respeita ao grupo da **hidrogeologia/ hidroclimatologia**, os campos nele incluídos foram preenchidos de acordo com a natureza do inventário, pois foram inventariados locais com afloramentos, construções e com pontos de água. Desta forma, este grupo apresentou um maior interesse quando se procedeu à recolha de dados para os pontos de água.

O grupo de **informações gerais (estudo, projetos e obras)**, é mais direcionado principalmente nos locais onde se visualizou que se estavam a realizar construções, na medida em que resulta como uma avaliação preliminar e num futuro poderá contactar-se as principais empresas envolvidas, com vista á recolha de informações de prospeção mais detalhadas.

Relativamente ao grupo de **prospecção geotécnica**, neste trabalho não será preenchido, mas foi incluído nas fichas, pois no futuro permitirá a sua atualização permanente podendo-se a qualquer momento proceder ao preenchimento destes campos.

Na figura 62, procedeu-se à mesma análise que a da ficha descrita anteriormente, e desta forma é possível também perceber as principais diferenças entre as mesmas, bem como obter os dados para a posterior elaboração dos esboços cartográficos.



**Figura 62.** Contextualização da base de dados de superfície sobre os potenciais focos de contaminação.

No que respeita ao grupo de **enquadramento**, este apresenta diferenças relativamente ao anterior na medida em que apenas apresenta a localização em planta e a respetiva fotografia do foco. Este inclui também as condições de acesso.

O grupo de **proprietário** é incluído neste relatório, pois indica onde se encontra cada foco, bem como a quem pertence, podendo tratar-se de uma entidade privada ou pertencente à câmara municipal em apreço.

No grupo de caracterização da **geomorfologia**, este transmite-nos informações que se apresentam importantes aquando da realização do esboço geomorfológico, assim como quando se identifica que se trata de uma zona aplanada, nas observações incluem-se, qual o grupo de altitudes o mesmo pertence.

Relativamente à **geologia e hidrogeologia**, é importante determinar quais as cartas onde se insere o local, para desta forma determinar qual a litologia e a unidade hidrogeológica que estão afetadas pelo potencial foco de contaminação.

O grupo de **potenciais focos de contaminação (pela origem)**, são um estudo de extrema relevância, na medida em que no estudo é necessário identificar o local onde se inicia o foco, bem como a sua natureza, pois a conclusão deste grupo serve como ponto de partida para **determinar o grupo da descrição do contaminante (em termos químicos)**. Este grupo pode ser importante para quando se realizam análises às águas reconhecer qual seja a sua origem de contaminação.

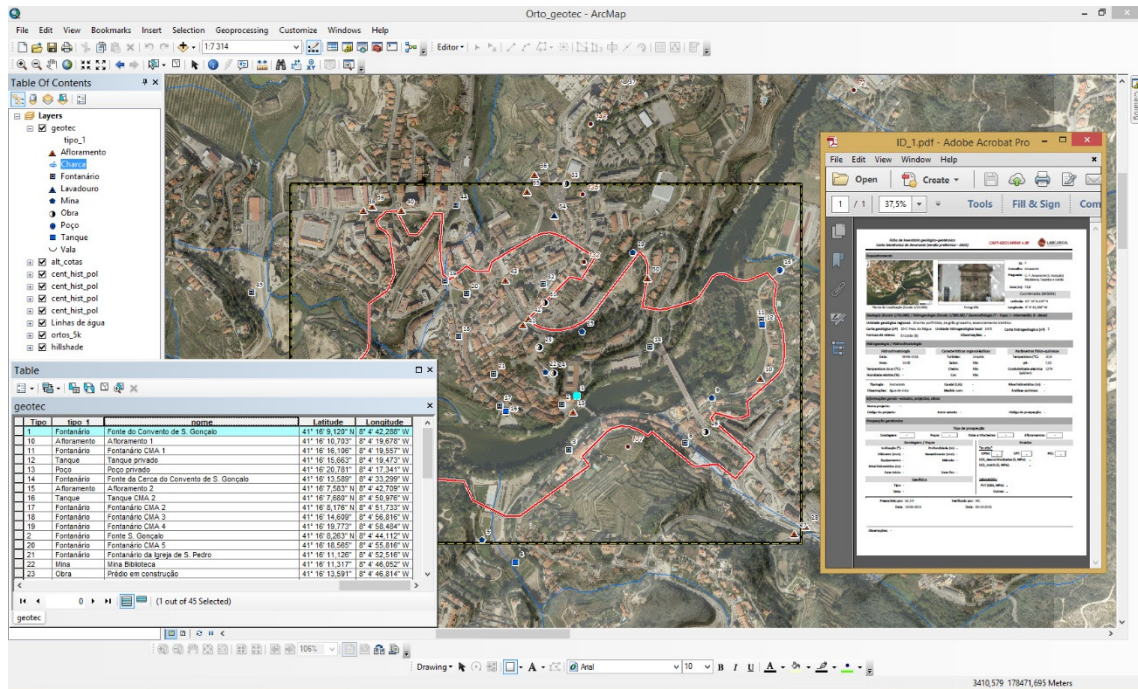
A realização destes relatórios-tipo na base de dados, apresenta vantagens pois permite o preenchimento de todas as fichas, sem que se tenha o transtorno de corrigir uma ficha de cada vez, podendo ser geradas num curto espaço de tempo e realizada qualquer tipo de alteração sempre que necessário.

### ***3.6.3. Ligação ao SIG: base de dados georreferenciada***

As bases de dados realizadas foram associadas a uma base de dados geográfica, utilizando os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), que desta forma permitem a ligação entre dados alfanuméricos e dados gráficos, permitindo desta forma obter os principais esboços cartográficos de interesse para o estudo.

Os indicadores estabelecidos no primeiro programa mantêm-se os mesmos do início até à obtenção do produto final desejado, permitindo que a informação seja sempre a mesma. Ou seja, ao aceder a um registo de base de dados é possível saber qual a sua localização no mapa e vice-versa (figura 63).

A partir deste momento, a informação passa a adquirir uma componente espacial, onde os pontos no mapa podem ser representados sobre diferentes informações de base, nomeadamente a topografia, geologia, hidrogeologia entre outros, e é também possível efetuar hiperligações para os diferentes pontos inventariados (tal como fichas e fotos) que ficam facilmente acessíveis a partir da base SIG.



**Figura 63.** Exemplo do funcionamento da base de dados em ambiente SIG (CART-GEOT|AMAR), onde se pode visualizar a localização do ponto escolhido, bem como a informação alfanumérica da tabela que lhe está associada.

### 3.7. Esboço preliminar da aptidão geotécnica dos terrenos na área urbana de Amarante

Tendo por base todos os dados recolhidos ao longo da investigação, tanto através dos dados gentilmente cedidos pela Câmara Municipal de Amarante, como do trabalho de campo, bem como de todo o tratamento realizado em laboratório, apresenta-se desta forma, no anexo 11 um esboço, dividido em duas versões, ainda que muito preliminar da aptidão geotécnica dos terrenos na área urbana de Amarante. Este constitui o primeiro passo, ainda que exploratório, para a futura carta geotécnica de Amarante.




Para a elaboração deste esboço cartográfico, teve-se em consideração os seguintes critérios:

- Identificação do tipo litológico em termos geotécnicos (solos, rochas brandas e rochas duras);
- Localização de todos os afloramentos avaliados bem como a descrição de algumas propriedades geotécnicas (ISRM, 1981) dos mesmos, principalmente, o grau de alteração (W), o grau de fracturação (F) e o grau de resistência (S);
- Características geotectónicas e geomorfológicas, nomeadamente lineamentos tectónicos, declives a rede hidrográfica e, ainda, a rede de drenagem superficial e hidrologia subterrânea;

- Apresentação de duas versões do mesmo esboço uma contendo apenas o edificado e a outra com o edificado e a rede viária.

Por tal, foi possível instituir a seguinte diferenciação geológico-geotécnica preliminar do centro histórico e urbano da cidade de Amarante (quadro 31):

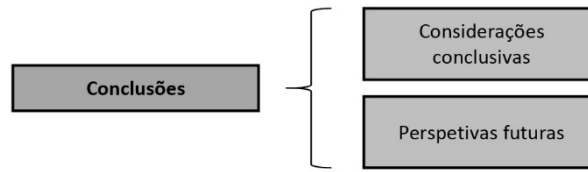
Quadro 31. Síntese do esboço de aptidão geotécnica dos terrenos (versão preliminar).

Unidades de aptidão geotécnica		ID	Grau de alteração (W)	Grau de fracturação (F)	Resistência à compressão uniaxial (MPa)	Classe de resistência (S)
[A] Aluvião e depósitos sedimentares		-	-	-	-	-
[B] Solo residual granítico		30	W4-5	F1-2	< 20	S4-5
		35	W4-5	F1-2	< 20	S4-5
		36	W4-5	F1-2	< 20	S4-5
		38	W4-5	F1-2	< 20	S4-5
		39	W4-5	F1-2	< 20	S4-5
		40	W4-5	F1-2	< 20	S4-5
		41	W4-5	F1-2	< 20	S4-5
		42	W4-5	F1-2	< 20	S4-5
		43	W4-5	F1-2	< 20	S4-5
[C] Granito grosseiro		10	W3	F3	-	-
		15	W1-2	F4-5	99	S1-2
		27	W1-2	F4-5	111	S1-2
		28	W4-5	F1-2	50	S3

[Página propositadamente em branco]

## 4. Conclusões

---



[Página propositadamente em branco]

## **4. Conclusões**

### **4.1. Considerações conclusivas**

A ocupação do solo evoluiu ao longo dos tempos na medida em que a zona histórica e urbana da cidade de Amarante apresenta particularidades especiais e vulneráveis principalmente no que diz respeito aos riscos naturais, como é o caso das cheias, o que se foi agravando, nomeadamente devido ao aumento da urbanização. Desta forma, e contemplando estes factos devido à escassez de estudos técnico-científicos recentes de índole geológica aplicada e geotécnica em Amarante, justificam o presente estudo, ainda que exploratório, no âmbito da geotecnia urbana e assim com o desenvolvimento dos primeiros estudos preliminares para a produção de uma proposta de cartografia geotécnica.

Através de um estudo bibliográfico pormenorizado, foi possível concluir que cada município deveria de alguma forma, fazer-se acompanhar por três tipos de cartografia: suscetibilidade, aptidão à urbanização e de risco. No entanto, tal só se justifica se após a realização da carta de suscetibilidade, se obtiverem locais com média a alta suscetibilidade, o que indica a necessidade de realização da carta geotécnica de aptidão à urbanização e por sua vez, da carta de risco. Desta forma, pretende-se mostrar que com a realização de estudos de geotecnia urbana, e a identificação das diferentes suscetibilidades do meio, assim como com a análise dos riscos, é de extrema importância para a avaliação do impacto ambiental proporcionando o desenvolvimento do planeamento urbano e ambiental, mas também para prestar auxílio na definição e fiscalização da ocupação dos territórios, por forma a proporcionar às populações a qualidade de vida desejada.

O presente projeto, envolveu primeiramente, a compilação, a revisão, bem como a sistematização de toda a informação geológico-geotécnica, geográfica fornecida e recolhida do local em estudo realizando um reconhecimento de campo e retirados todos os dados de interesse para o projeto, e apresentados em fichas de inventário, visando, numa segunda fase, a preparação da criação de uma base de dados de inventário SIG georreferenciada e todos os esboços preliminares da cartografia de fatores com vista à sistematização dos primeiros dados para a elaboração da futura carta geotécnica de Amarante.

Por tal, do estudo desenvolvido e tendo por base os objetivos a desenvolver, resultam os seguintes aspetos conclusivos:

- A criação de uma base de dados, definida como CART-GEOT|AMAR, com os dados recolhidos através do inventário geológico-geotécnico, e uma base de dados com os

potenciais focos de contaminação, bem como através destes o desenvolvimento de um projeto cartográfico SIG;

- Foram recolhidos 45 pontos para a realização do inventário geológico-geotécnico, verificando-se a sua maior afluência no centro histórico da cidade, e de natureza hidrogeológica. Da mesma forma, foram localizados 23 potenciais focos de contaminação, distribuídos maioritariamente pelo centro histórico, e a sudeste do mesmo, sendo principalmente estações de serviço/ oficinas de automóveis;
- A base de dados realizada constitui uma compilação de todos os dados disponíveis até à data, permitindo uma fácil consulta ao longo do estudo, assim como a sua versatilidade de possível atualização em trabalhos futuros. Esta é útil, para o conhecimento do centro histórico e urbano de Amarante e poderá, inclusive, ser um suporte para a revisão/ criação do plano diretor municipal (PDM), a diversas escalas, do subsolo da cidade;
- A produção de uma série de esboços cartográficos (cartas de fatores) da área em estudo considerados relevantes para a elaboração de uma proposta preliminar da cartografia de aptidão geotécnica dos terrenos de Amarante, designada por carta síntese, versão muito preliminar. Esta resulta da compilação das cartas de fatores, fornecendo, numa primeira análise, um zonamento geotécnico exploratório dos terrenos e perspetivar pistas sobre futuros estudos a desenvolver. Toda a cartografia foi elaborada à escala 1:10.000.
- O esboço geológico orientado para a geologia de engenharia e com a localização dos principais afloramentos, permite distinguir o local em três unidades geológicas: i) Aluviões, ligados essencialmente aos principais cursos de água, ao longo das margens do rio Tâmega; ii) depósitos de terraços fluviais, apenas uma pequena mancha a norte do centro histórico; iii) granito porfiróide, de grão grosseiro, essencialmente biotítico apresentando a maior constituição do local principal de estudo, como da sua envolvente;
- A análise do grau de alteração permite constatar que o material-rocha, ocorre na maioria dos afloramentos, muito alterado a completamente alterado ( $W_{4-5}$ ), e até em alguns dos casos já não se reconhece a sua petrofábrica, podendo ser designados por  $W_6$  (solo residual); contudo constatasse que existem, ainda que em muito pequena quantidade

afloramentos rochosos expostos que se encontram são a pouco alterados ( $W_{1-2}$ ) e medianamente alterado ( $W_3$ );

- O grau de fracturação tendo em conta o descrito anteriormente relativo à grande alteração dos afloramentos, permite concluir que quanto mais alterado mais afastadas estarão as descontinuidades ou até não são possíveis de identificar. Desta forma, verifica-se um grau de fracturação maioritariamente muito afastadas a afastadas ( $F_{1-2}$ );
- A resistência à compressão uniaxial, com recurso ao “Martelo de Schmidt”, permitiu concluir que a pequena quantidade de afloramentos onde foi possível realizar o ensaio, se obteve uma classe de resistência, elevada ( $S_{1-2}$ ), sendo que os restantes se encontram bastante alterados e definiu-se a classe  $S_{4-5}$ , com a exceção que um deles apresenta na sua constituição alguns blocos e os seus resultados apontaram para uma classe de resistência média ( $S_3$ );
- Geomorfologicamente, verifica-se tanto no centro histórico, como no limite entre o centro histórico e ao local denominado de “área de estudo”, bem como na restante área envolvente a predominância das áreas de vertentes, dando especial destaque na área envolvente aos locais de Sobreiro, Murtas, Figueiredo e Eido;
- A classe que apresenta maior representatividade, aquando da análise do esboço da ocupação do solo é o tecido urbano, tanto na área urbana de Amarante (47,7%), como na zona envolvente (41,2%);
- A avaliação hidrogeológica e de drenagem de superfície, determina a existência de três unidades hidrogeológicas, nomeadamente: Aluviões atuais (UH1), Depósitos de terraços fluviais (UH2), estas apresentam uma circulação hidráulica realizada por meio poroso; e por fim a unidade dominante, o granito porfiróide de grão grosseiro, essencialmente biotítico, com uma circulação hidráulica realizada essencialmente por meio fissurado, podendo no entanto, ocorrer variações de permeabilidade nas zonas mais fraturadas e com grau de alteração elevado.

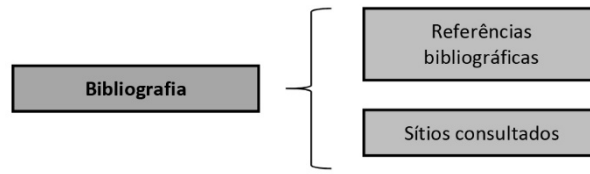
#### 4.2. Perspetivas futuras

Após análise de todo o projeto, bem como os seus principais objetivos e conclusões, poder-se-ão apresentar os seguintes trabalhos futuros:

- A revisão e atualização de todos os esboços cartográficos em ambiente SIG, bem como, a definição das versões finais das cartas de fatores e de condicionantes realizadas, por forma a ser apresentada uma proposta de carta geotécnica da área urbana de Amarante;
- A descrição e caracterização geológico-geomecânica de todos os afloramentos referidos de uma forma ainda mais abrangente e aprofundada, bem como uma análise geoestatística de todos os dados obtidos;
- O inventário exaustivo e sistemático dos trabalhos de prospeção geotécnica e estudos geológico-geotécnicos realizadas por empresas e/ou entidades que possam fornecer esses elementos e assim o desenvolvimento de uma base de dados dinâmica que permitirá a gestão e o suporte de informação geotécnica urbana por parte Câmara Municipal de Amarante. Continuação da recolha e a sistematização dos dados à sub-superfície e em profundidade para que, caso exista necessidade de intervenção na área urbana e em especial no centro histórico, a tomada de decisão seja facilitada e baseada em dados técnico-científicos;
- A definição dos locais de suscetibilidade e de vulnerabilidade aos riscos naturais e geotécnicos apresentados por mapas temáticos de avaliação da perigosidade e dos riscos naturais;
- Contribuir como um instrumento de apoio às entidades relacionadas ao planeamento e ordenamento do território, bem como para empresas e técnicos de engenharia e arquitetura que pretendam implementar obras no local, reduzindo desta forma o tempo despendido em procura de documentos e estudos para análise do local, assim como a consequente redução de custos.

## 5. *Bibliografia*

---



[Página propositadamente em branco]

## 5. Bibliografia

### 5.1. Referências Bibliográficas

- Afonso M. J. C., Chaminé H. I., Gomes A., Teixeira J., Araújo M. A., Fonseca P. E., Carvalho J. M., Marques J. M., Silva M. A. M. & Rocha F. T., 2004. Cartografia geológica e geomorfológica estrutural da área metropolitana do Porto: implicações na gestão dos recursos hídricos subterrâneos. *Xeográfica, Revista de Xeografia, Território e Medio Ambiente*, Nº 4, 101-115.
- Alexandre M., 2011. Integração em Sistemas de Informação Geográfica da Cartografia da SCN 10K como Informação de Base para os Instrumentos de Gestão Territorial. Instituto Politécnico de Castelo Branco. (Tese de Mestrado)
- Andrade R., 2005. Mapeamento geotécnico preliminar em escala de semi-detalhe (1: 25000) da área de expansão urbana da Uberlândia- MG. Universidade Federal da Uberlândia, FECIV. (Tese de Mestrado).
- Assis L. E., Marques E. A. G., Menezes S. J. C., Lima C. A., Faria A. C. S & Lacerda A. C. B. G., 2016. Geological-Geotechnical Evaluation in High Landslide Susceptibility Areas in Rio Piracicaba (MG).
- Archela R. S., 2001. Cartografia contemporânea e novas tecnologias, p. 41-56. *Novas tecnologias*. Londrina.
- Bastos G., 1996. Estudo em Sistemas de Informação Geográfica para o Mapeamento Geotécnico de Feira de Santana – BA. UnB, Brasília. (Tese de Mestrado).
- Bateira C., 2001. Movimentos de Vertente no NW de Portugal, Susceptibilidade Geomorfológica. Faculdade de Letras da Universidade do Porto, FLUP. (Tese de Doutoramento)
- Birhane G., Weldearegay K. & Gure E. G., 2013. Engineering geological and geotechnical appraisal of Northern Ethiopia. *American Scientific Research Journal of Engineering, Technology, and Sciences (ASRJETS)* Volume 5, No 1, p 23-56.
- Bitar O., Geraldo C., Freitas L & Macedo E., 2015. Guia de Cartas Geotécnicas: orientações básicas aos municípios. Instituto de Pesquisas Tecnológicas.
- Burke R., Napoleon E., Ormsby T., Groess C. & Feaster L., 2001. Getting to Know ArcGIS Desktop: The Basics of ArcView, ArcEditor, and ArcInfo Updated for ArcGIS 9. Getting to Know Series. Esri California. 550p.
- Brandalize M. C. B., 2011. Técnicas de Cartografia Digital, aula 2.
- Brazão Farinha, J. S., Brazão Farinha, M. & Brazão Farinha, J. P., 2006. RSA Anotado – Regulamento de Segurança e Ações para Estruturas de Edifícios e Pontes (incluindo Eurocódigos), 2ª edição. Edições Gustavo Eiffel. 383p.
- Bressani L. A. & Costa E. A., 2015. Cartas Geotécnicas Aplicadas ao Planeamento Territorial – alguns ajustes no instrumento. 15º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 10pp.
- Brum Ferreira, D., 1981. Carte Géomorphologique du Portugal. Memórias Centro Estudos Geográficos, Lisboa, 6: 1-54 (+2 mapas, escala 1/500.000).
- Cabral, J. & Ribeiro, A., 1988. Carta neotectónica de Portugal Continental., escala 1/1000.000.
- Cabral, J. & Ribeiro, A., 1989. Carta neotectónica de Portugal, escala 1/1000.000. Nota explicativa. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa. 10p.

- Câmara G., 1999. Sistemas de Informação Geográfica para Aplicações Ambientais e Cadastrais: Uma Visão Global.
- Câmara G., Casanova M. A., Hemerly A., Medeiros C. M. B. M. & Magalhães G. C., 1996. Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica. IX Escola de Computação. UNICAMP, Campinas.
- Canil K., 2001. Metodologia para a elaboração da carta de risco de erosão do município de França, SP. VII Simpósio Nacional de Controlo de Erosão, Goiânia, pp 8.
- Carvalho J., 2006. Prospecção e pesquisa de recursos hídricos subterrâneos no Maciço Antigo Português: linhas metodológicas. Universidade de Aveiro, UA. (Tese de Doutoramento)
- Celeste J., 2016. Evolução do contexto legislativo português no ordenamento do território para a definição de critérios em estudos de risco de instabilidades geotécnicas. 15º Congresso Nacional de Geotecnia, Porto, pp 11.
- COBA, 2003. Carta Geotécnica do Porto: Notícia Explicativa e Cartas. 2ª edição. Câmara Municipal do Porto COBA/FCUP. 223pp + anexos.
- Coelho R. & Ribeiro P., 2006. Cartografia: Topografia. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade Nova de Lisboa.
- Costa A., 2014. Cartografia e avaliação geotécnica de blocos rochosos em plataformas costeiras (Gaia, NW Portugal). Instituto Superior de Engenharia do Porto, ISEP. (Tese de Mestrado)
- Costa F., 1998. O rio e a cidade: contributo para o estudo da qualidade ambiental do rio Tâmega na sua passagem pelo centro urbano de Amarante. Revista da Faculdade de Letras- Geografia I série, vol. XV/XVI, Porto, 1999-2000, pp. 79-95.
- Costa F., 2013. As grandes cheias de Amarante fatalidade, aleatoriedade e incerteza, II Congresso Histórico de Amarante, pp. 123-139.
- Chaminé H.I., Afonso M.J., Silva R., Monteiro R., Teixeira J., Moreira P., Meixedo J.P. & Trigo J.F., 2010. Da teoria à prática em geotecnia urbana de maciços rochosos: o exemplo da zona ribeirinha de Gaia. Tecnologia e Vida, Revista da Secção Regional do Norte da ANET, Porto, volume 6, pp. 39-45.
- Chaminé H. I., Teixeira J., Freitas L., Pires A., Silva R. S., Pinho T., Monteiro R., Costa A. L., Abreu T., Trigo J. F., Afonso M. J. & Carvalho J. M., 2016. From engineering geosciences mapping towards sustainable urban planning. European Geologist Journal. Nº41. Pp 16-25.
- Chen P., 1977. Modelagem de dados: A abordagem entidade-relacionamento para projecto lógico. Sao Paulo. McGraw Hill Ltda.
- Culshaw M. G. & Price S. J., 2011. The contribution of urban geology to the development, regeneration and conservation of cities. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, Volume 70, No 3, pp 333-376.
- Dearman W. R., 1991. Engineering Geological Mapping, pp 413.
- Dearman W.R. & Fookes P. G., 1974. Engineering geological mapping for civil engineering practice in the United Kingdom. Q. Jl Engng Geol. Vol 7 pp 223-256.
- Dearman W.R. & Eyles N., 1982. An engineering geological map of the soils and rocks of United Kingdom. Bulletin IAEG, 25: 3-18.

- Dias R., 2010. Riscos Geológicos e Geologia Urbana. Unidade de Geologia e Cartografia Geológica. Laboratório Nacional de Energia e Geologia, LNEG.
- Diniz J., Monteiro A., Silva R. & Paula T., 2014. Manual de Cartografia Hidrogeológica. Ministério de Minas e Energia, 124 pp.
- Diniz N. C., 2012. Cartografia Geotécnica por classificação de unidades de terreno e avaliação da suscetibilidade e aptidão. Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, pp 29-77.
- Diniz N. C., Cintra J. P., Almeida M. C. J., Salles E. R & Costa M. O., 2015. Mapeamento Geoambiental em base de dados georreferenciados como suporte de análise de riscos e avaliação ambiental regional, pp 49-62.
- Diniz N.C., Freitas C. G. L., Netto A. L. C., Moretti R., Zuquim L., Souza N. M., Macedo E. S. & Alheiros M., 2012. Capítulo 3: Cartografia geotécnica.
- Doobs, M. R., Culshaw, M. G., Northmore, K. J., Reeves, H. J & Entwisle, D. C., 2012. Methodology for creating national engineering geological maps of the UK. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, 45, 335 – 347.
- Europeu C., 1983. Carta Europeia do Ordenamento do Território.
- Fernandes A., 1960. O vale de fractura de Fornelo – Padronelo – Amarante. Boletim do Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico da Vacuidade de Ciências, Lisboa, pp. 139-147.
- Fetter, C. W., 2008. Contaminant Hydrogeology. 2nd edition. Waveland Press. 500pp.
- Fileto R., 2006. O Modelo Entidade-Relacionamento. Curso de Sistemas de Informação. INE/ CTC/ UFSC.
- Fortes M., 2007. Sistema de Informação Geográfica na Gestão do Cadastro Urbano Municipal Aplicado ao Município da Praia. Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação da Universidade Nova de Lisboa. (Tese de Mestrado)
- Franco G. B., Marques E. A. G., Calijuri M. L., Gomes R. L., 2010. Cartografia Geotécnica: estágio atual do conhecimento. Caminhos de geografia, revista online, Uberlândia, volume 7, pp 158-172.
- Gonçalves E., 2015. Cartografia hidrogeológica das áreas de Valongo, de Paredes e de Arouca. Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, Volume 36, 25-36.
- González de Vallejo, L. I.; Ferrer, M.; Ortuño, L. & C [coords.], 2002. Ingeniería geológica Prentice Hall Madrid, 715 pp.
- Griffiths J. S., 2001. Engineering geological mapping. Geological Society, London, v. 18; p. 39-42.
- Hoffman D. R., 2003. Effective Database Design for Geoscience Professionals. Pennwell Books, 273pp.
- IAEG/ UNESCO – International Association for Engineering Geology, 1976. Guide pour la préparation des cartes géotechniques. Sciences de la Terre. Les Presses de l'Unesco, Paris. 79pp.
- IAEG – International Association for Engineering Geology, 1981a. Recommended symbols for engineering geological mapping. Bulletin IAEG, 24: 235-274.
- IAEG – International Association for Engineering Geology, 1981b. Rock and Soil description and classification for engineering geological mapping. Bulletin IAEG, 24: 235-274.
- IAEG – International Association for Engineering Geology, 2005. Bulletin of Engineering Geology and Environment. Bulletin IAEG, 64: 1-54.

- IAEG – International Association for Engineering Geology, 2006. Engineering geological mapping for urban areas of the Oltrepo Pavese plain (Northern Italy).
- IGeoE – Instituto Geográfico do Exército, 1997. Carta Militar de Portugal, à escala 1/25.000, Série M888: folha 113 (Amarante).
- IGP – Instituto Geográfico Portugues, 2010. Carta do uso e ocupação do solo de Portugal Continental para 2007 (COS 2007). Memória descritiva, 87p.
- ISRM – International Society for Rock Mechanics, 1978. Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses. *Int. Journ Rock Mech. Min. Sci. & Geom. Abstr.*, 15 (6), 319-368.
- ISRM – International Society for Rock Mechanics, 1981. Basic geotechnical description of rock mass. *Int. Journ Rock Mech. Min. Sci & Geom. Abstr.*, 18, 85-110.
- ISRM – International Society for Rock Mechanics, 2007. The complete ISRM suggested methods for characterization, testing and monitoring: 1974-2006. In: Ulusay R. & Hudson J.A., eds., suggested methods prepared by the commission on testing methods, ISRM. Ankara, Turkey. 628 pp.
- Julião R. P., Nery F., Ribeiro J. L., Branco M. C. & Zêzere J. L., 2009. Guia metodológico para a produção de cartografia municipal de risco e para a criação de sistemas de informação geográfica (SIG) de base municipal, pp 93.
- Júnior C., 2007. Elaboração do mapa preliminar de unidades geotécnicas do município de Brusque associado a um banco de dados geotécnico em ambiente de SIG. Universidade Federal de Santa Catarina. (Tese de Mestrado). 136 pp.
- Júnior J., 2008. Análise da utilização de cartas geotécnicas em diferentes escalas para a gestão ambiental de rodovias em operação. (Tese de Doutoramento). 199 pp.
- Lemos C. R., Gomes L. M. F., Hespanha J. & Pinheiro L. M., 2011. Cartografia de Zonamento Geotécnico Digital em Formato SIG para a Região de Aveiro. Livro de Atas. Jornadas da Ria de Aveiro, pp 385.
- LNEC., 1962. Elementos para a Carta Geotécnica de Lisboa.
- Lopes M. E., 2014. Ordenamento do Território: Conceitos. Unidade Curricular de Planeamento e Ordenamento do Território. Mestrado em Engenharia Geotécnica e Geoambiente. Instituto Superior de Engenharia do Porto, ISEP. (apontamentos teóricos)
- Machado F., 2015. Banco de dados geológico-geotécnicos aplicado a escavações subterrâneas: implementação no túnel de adução da central hidroelétrica Chaglla, Peru.
- Maia J., 2014. Proposta Metodologia para Levantamentos Hidrogeológicos em Ambientes Graníticos. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, FEUP. (Tese de Mestrado)
- Maranha das Neves E., 1994. Estados limites e segurança em Geotecnia. *Geotecnia, Rev. Soc. Portg. Geotecnia, Lisboa*, 72: 5 – 62.
- Martínez-Graña A., Goy J. L., Zazo C. & Yenes M., 2013. Engineering Geology Maps for Planning and Management of Natural Parks: “Las Batuecas – Sierra de Francia” and “Quilamas” (Central Spanish System, Salamanca, Spain), *Geosciences*, 3, 46-62.

- Martins A., 2011. Cartografia geotécnica subterrânea do maciço granítico de Arca D'Água (sector de Carvalhido – Burgães): implicações para o modelo geomecânico comportamental. Instituto Superior de Engenharia do Porto, ISEP. (Tese de Mestrado).
- Martins L., 2010. Radioatividade natural na região de Amarante. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila – Real, 177p. (Tese de Mestrado)
- Martins L., Gomes E., Neves L., Sousa L. & Oliveira A., 2010. Dados preliminares da radioatividade natural na região de Amarante (Norte de Portugal). Revista Eletrónica de Ciências da Terra, Geosciences On-line Journal, volume 13.
- Matos Fernandes M., 2000. Eurocódigo 7: questões essenciais e ponto da situação. VII Congresso Nacional de Geotecnia. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, FEUP.
- Matula M., 1978. Engineering geological evaluation for regional and urban development. In: International Congress of International Association of Engineering Geology, 3, Madrid.
- Matula M., 1979. Regional Engineering geological mapping for planning purposes. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, 19: 18-24.
- Monteiro T., 2012. Mapeamento de Riscos Ambientais no Município de Vila Nova de Gaia. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, FCUP. (Tese de Mestrado).
- NP EN-1998-1 [Eurocódigo 8], 2010. Eurocódigo 8 – Projecto de estruturas para resistência aos sismos: Parte I – Regras gerais, ações sísmicas e regras para edifícios. Instituto Português da Qualidade. 230 p.
- Oliveira F., 2014. Mapeamento geotécnico preliminar e aplicação do modelo shalstab na análise de escorregamentos da bacia de Santo António de Lisboa – Florianópolis/ SC. Universidade Federal de Santa Catarina.
- Oliveira J., 2011. Conceitos de Cartografia. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais: Ministério da Ciência e Tecnologia.
- Oliveira R., Gomes C. & Guimarães S., 2006. Engineering geological map of Oporto: A municipal tool for planning and awareness of urban geoscience. Geological Society of London, 7pp (IAEG Paper number 615).
- Oliveira, J. T., Pereira, E., Ramalho, M., Antunes, M. T. & Monteiro, J. H. (coords.), 1992. Carta Geológica de Portugal, escala 1/500.000, 5ª edição. 2 folhas. Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa.
- Pardal S., Lobo M. C. & Correia P., 2000. Planeamento Integrado do Território: Elementos de Teoria Critica. Normas Urbanísticas, Volume IV. Direcção Geral do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Urbano. Universidade Técnica de Lisboa.
- Pedrosa, M. Y., 1998. Carta Hidrogeológica de Portugal, escala 1/200 000, Instituto Geológico e Mineiro, Lisboa.
- Pedrosa A. & Costa F., 2015. As cheias do rio Tâmega. O caso da área urbana de Amarante, pp. 49-60.
- Pedrosa A. & Pereira A., 2013. Cidades e dinâmicas urbanas: a gestão de relações complexas em territórios de risco. 599-617.
- Pejon O. J. & Zuquette L. V., 1995. Mapeamento Geotécnico Regional na Escala 1: 100 000 – Considerações Metodológicas. Rev. IG. São Paulo, Volume especial 1995. 23-29.

- Pereira, E., Ribeiro, A., Carvalho, G. S., Noronha, F., Ferreira, M. & Monteiro, J. H., 1989. Carta Geológica de Portugal, escala 1/200.000. Folha 1, Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- Pereira M., 2009. Obras geotécnicas: Introdução à cartografia geotécnica. Instituto Superior Técnico.
- Pinho T., 2010. Geotecnia Urbana da Zona Ribeirinha de Vila Nova de Gaia: Criação de uma Base de Dados SIG Geotécnica. Instituto Superior de Engenharia do Porto, ISEP. (Tese de Mestrado).
- Pinto I., 2009. Introdução aos Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Curso de Introdução á Georreferenciação de CH & C. Instituto de Investigação Científica Tropical, IICT.
- Poltronieri G., 2013. Espacialização de dados geotécnicos para análise do meio físico. Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pp 62. (Trabalho de Diplomação).
- PUFA, 2009. Memória Descritiva do Plano de Urbanização da Foz do Arelho, Caldas da Rainha, 94pp. (Relatório de Caracterização).
- Ragueneil A., 1974. Incidence des conditions géologiques et géotechniques sur la sécurité et le coût des projets d'aménagement et d'urbanisme. Journée d'information Géotechnique, aménagement e urbanism, Rouen, Mars.
- Ramos C., Zêzere J. L & Reis E., 2010. Avaliação da suscetibilidade aos perigos naturais da região de Lisboa e Vale do Tejo. Prospecção e Planeamento, Vol. 17.
- Ribeiro A., Silva C. & Barroso S., 2012. Proposition of a Geotechnical Mapping Based on Artificial Neural Networks for the Town of Caucaia, Ceará, Brazil for Paving Purposes. International Journal of Engineering & Technology, vol. 12. 65 - 73.
- Ribeiro, A., Conde, L. & Monteiro, J., 1972. Carta tectónica de Portugal, escala 1/1000.000. Direcção Geral de Minas e Serviços Geológicos. Lisboa.
- Ribeiro, A., Munhá, J., Dias, R., Mateus, A., Pereira, E., Ribeiro, L., Fonseca, P. E., Araújo, A., Oliveira, J. T., Romão, L., Chaminé, H. I., Coke, C. & Pedro, J., 2007. Geodynamic evolution of the SW Europe Variscides. Tectonics, 26, TC6009, 24p.
- Rocha R., 2002. Exatidão cartográfica para as cartas digitais urbanas. Universidade Federal de Santa Catarina, pp 123. (Tese de Doutoramento).
- Rodrigues V., 2008. Mapeamento geotécnico como base para o planeamento urbano e ambiental: Município de Jaú/ SP. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. (Tese de Mestrado).
- RSAEEP – Regulamento de Segurança e Ações para Estruturas de Edifícios e Pontes (aprovado pelo decreto-lei nº235/83, de 31 de Maio), 2000. In: Coleção Regulamentos, Porto Editora. Anexo III – Elementos para quantificação da acção dos sismos, 4: 87-96.
- Silva C., 2011. Cartografia Geotécnica Tridimensional do Setor Noroeste de Brasília. Universidade de Brasília. (Tese de Doutoramento).
- Silva A., 2015. Caracterização Geológica e Geotécnica da área compreendida entre o Lumiar e o Olival Basto. Universidade de Lisboa. Faculdade de Ciências. Departamento de Geologia, Lisboa. (Projecto de Investigação).

- Silva R., 2009. Geotecnia Urbana da Zona Ribeirinha de Vila Nova de Gaia (Cais de Gaia, Santa Marinha – Lavadores, Canidelo): Uma Avaliação Preliminar. Instituto Superior de Engenharia do Porto, ISEP. (Tese de Mestrado).
- Silayo E. H., 2002. Cartography in a GIS environment. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 34 (6): 20-24.
- Smith A. & R. A. Ellison, 1999. Applied geological maps for planning and development: a review of examples from England and Wales, 1983 to 1996. British Geological Survey, Keyworth, Nottinghamshire, 48pp.
- SNIRH, 2016. Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos. Rios de Portugal Continental, Hidromorfologia dos rios.
- Sobreira F. & Souza L., 2012. Cartografia geotécnica aplicada ao planeamento urbano. *Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiente*, pp 79-97.
- Sousa Oliveira C., 1986. A sismicidade histórica e a revisão do catálogo sísmico. Relatório 99/86-NDA. Proc. 36/11/7368. Serviço de estruturas, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa. 192pp.
- Sousa Oliveira C., Sousa M. L. & Costa A. C., 1999. Contribuição para a revisão da acção sísmica em Portugal Continental no contexto do Eurocódigo 8. In: 4º Encontro Nacional de Sismologia e Engenharia Sísmica/ 2ème Rencontre en Génie Parasismique des Pays Méditerranées, Sismica'99, Faro, Algarve, pp. 153-164.
- Souza L., 2015. Cartografia geoambiental e cartografia geotécnica progressiva em diferentes escalas: aplicação na bacia hidrográfica do Ribeirão do Carmo, municípios de Ouro Preto e Mariana, Minas Gerais, 461 pp. (Tese de Doutoramento)
- Souza N., 2004. Cartografia Geotécnica: Conceitos básicos da cartografia geotécnica. EESC/USP- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 43pp.
- Struckmeier W. F. & Margat J., 1995. Hydrogeological Maps. A Guide and a Standard Legend. *International Contributions to Hydrogeology, Founded by Castany G., Groba E. & Ronijn E. International Association of Hydrogeologists*, Volume 17, 1 – 177.
- Teixeira R., 2008. Mineralogia, petrologia e geoquímica dos granitos e seus enclaves da região de Carrazeda de Ansiães. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila – Real, 463p. (Tese de Doutoramento)
- Teixeira, C., Fernandes, A. P., Peres, A. M. & Ribeiro, A., 1967. Carta Geológica de Portugal, escala 1/50.000. Folha 10-C (Peso da Régua), Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- Varnes D. J., 1974. The logic of geological maps, with reference to their interpretation and use for engineering purposes. U. S. Geological Survey Professional Paper 837, 48pp.
- Varnes D. J., 1984. Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles and Practice. *Natural Hazards 3*, UNESCO, Paris.
- Valente A., 1999. Integração de dados por meio de geoprocessamento, para a elaboração de mapas geotécnicos, análise do meio físico e as suas interações com a mancha urbana: O caso de Porto Alegre (RS). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 153 pp. (Tese de Doutoramento)
- Veiga, A. Q. N., 2011. Caracterização Geotécnica dos terrenos do Vale Tifónico Parceiros- Leiria. Universidade de Coimbra, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Departamento de Ciências da Terra. Coimbra, 362 p. (Dissertação de Doutoramento).

- Vieira, J. A. & Pinto, P. A., 2013. Amarante em “O Minho Pittoresco”. Reedição “Lisboa, Livraria de António Maria Pereira, 1887 – Tomo 2: Amarante – p.403-442”. Círculo Lago Cerqueira, Amarante, 46p.
- Vrba, J. & Zaporozec, A., 1994. Guidebook on mapping groundwater vulnerability. International Contributions to Hydrogeology. Vol. 16. Verlag Heinz Heise, Hannover. 131pp.
- Zaine J. E., 2000. Mapeamento geológico-geotécnico por meio do método do detalhamento progressivo: Ensaio de aplicação na área urbana do município de rio claro (SP). Universidade Estadual Paulista. (Tese de Doutorado).
- Zaporozec, A., 2004. Groundwater contamination inventory: a methodological guide with a model legend for groundwater contamination inventory and risk maps. UNESCO. Paris. 160pp.
- Zêzere J. L., 2007. Riscos e Ordenamento do Território. Inforgeo, 59 – 63.
- Zeiler M., 2010. Modelling our world: The ESRI guide to geodatabase concepts, 2nd edition, ESRI Press, Redlands, 297pp.
- Zuquette L. V., 1987. Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para condições brasileiras. São Carlos – SP, 4vol., USP de São Carlos. (Tese de Doutorado).
- Zuquette L. V. & Gandolfi N., 2004. Cartografia geotécnica. Oficina de textos, Brasil, 194 pp.

## 5.2. Sítios Consultados

Access, 2001: Base de dados I.

Disponível em: <https://www.dcc.fc.up.pt/~ricroc/aulas/0102/sap/access.pdf>

[consultado a 01/09/2016]

Colégio de S. Gonçalo, 2010: Origem e História de Amarante.

Disponível em: <http://csgontemehoje.blogspot.pt/2010/03/origem-e-historia-de-amarante.html>

[consultado a 07/09/2016]

Costa M., 2009: Modelos de bases de dados.

Disponível em: [http://ccmarta.blogspot.pt/2009/03/blog-post\\_10.html](http://ccmarta.blogspot.pt/2009/03/blog-post_10.html)

[consultado a 01/09/2016]

Engenharia Geográfica, FCUP: Cartografia.

Disponível em: <http://www.fc.up.pt/liceg/cartografia.html>

[consultado a 04/07/2016]

Guia da Cidade, 2003: Amarante.

Disponível em: <https://www.guiadacidade.pt/pt/poi-amarante-20968>

[consultado a 07/09/2016]

Município, S. A. Sistemas de Informação Geográfica.

Disponível em: <http://www.municipia.pt/gca/?id=110>

[consultado a 14/04/2016]

Município de Amarante, 2014: Delimitação da área de reabilitação urbana da cidade de Amarante.

Disponível em: <http://www.cm-amarante.pt/pt/area-de-reabilitacao-urbana>

[consultado a 06/09/2016]

SNIRH, 2016. Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos.

Disponível em: <http://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=4&idItem=3&idSubtem=link4>

[consultado a 06/09/2016]

[Página propositadamente em branco]

## **6. Anexos (em CD-ROM)**

---

Anexo 1 - Histórico da documentação geotécnica em Portugal: uma breve síntese

Anexo 2 - Esboço dos declives da área urbana de Amarante e envolvente

Anexo 3 - Fichas de inventário geológico – geotécnico

Anexo 4 - Fichas de inventário dos potenciais focos de contaminação

Anexo 5 - Esboço geológico da área urbana de Amarante e envolvente

Anexo 6 - Resistência à compressão uniaxial

Anexo 7 - Esboço geomorfológico da área urbana de Amarante e envolvente

Anexo 8 - Esboço hidrogeológico e de drenagem de superfície da área urbana de Amarante e envolvente

Anexo 9 - Esboço da ocupação do solo da área urbana de Amarante e envolvente

Anexo 10 - Esboço dos recursos patrimoniais e naturais da área urbana de Amarante e envolvente

Anexo 11 - Esboço preliminar da aptidão geotécnica da área urbana de Amarante e envolvente

[Página propositadamente em branco]

---

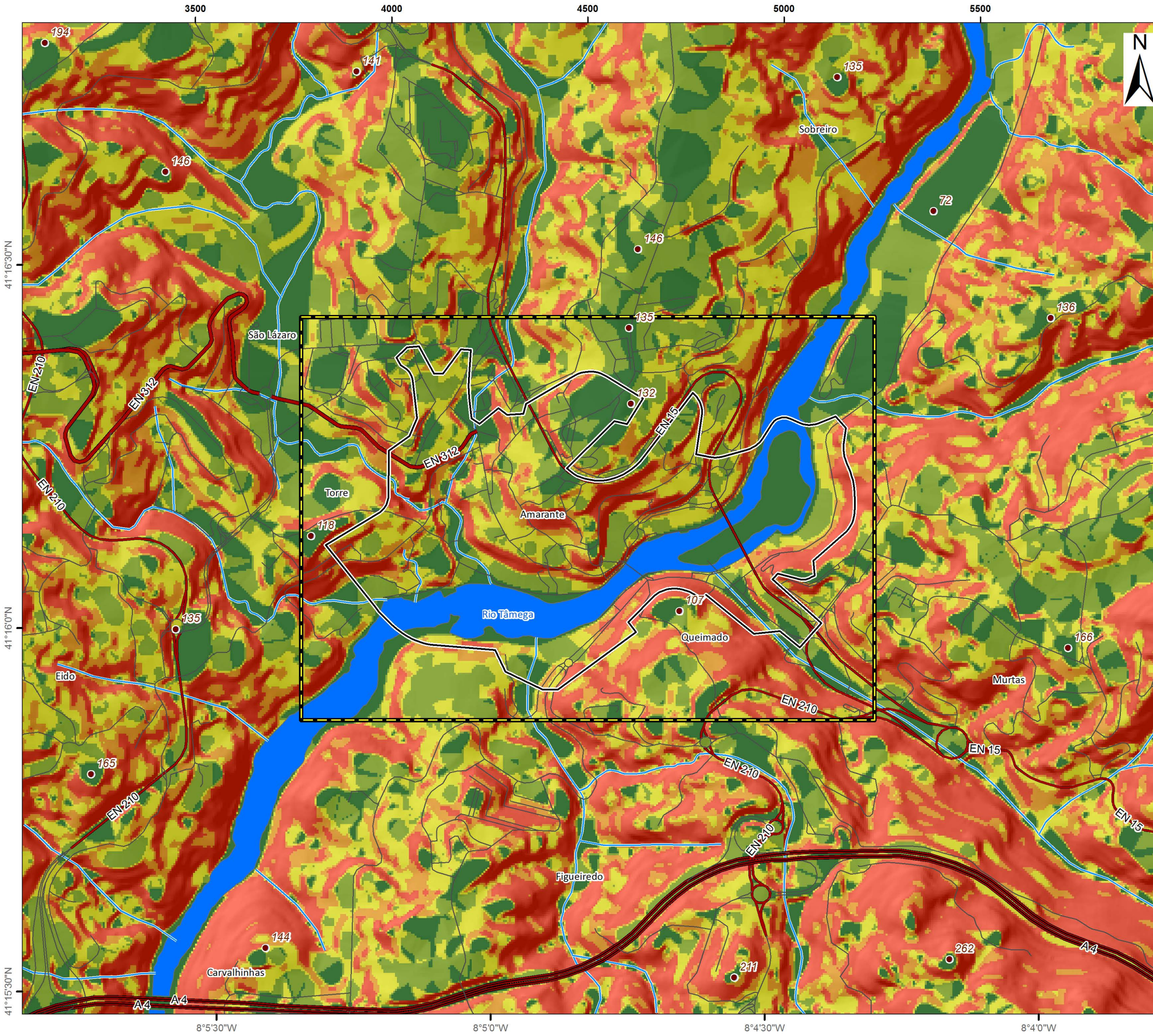
Anexo 1 - Histórico da documentação geotécnica em Portugal: uma breve síntese

---

---

Anexo 2 - Esboço dos declives da área urbana de Amarante e envolvente

---



- Área urbana de Amarante
  
- Declive (°)**

  - 0 - 4
  - 4 - 8
  - 8 - 12
  - 12 - 16
  - > 16

  
- Altimetria (m)**

  - Pontos cotados





  
- Rede hidrográfica**

  - Linhas de água

  
- Rede viária**

  - Auto-estrada
  - Estrada nacional
  - Estrada municipal e outras vias asfaltadas

  
- Centro histórico de Amarante
- Área de estudo

 	<b>Carta Geotécnica de Amarante</b> (versão preliminar [CMA-001] - 2016) 
Des.: SG / LF	<b>Esboço de declives da área urbana de Amarante e envolvente</b> (adaptado de CMA, 2015)
Verif.: HIC	Escala: 1/10.000 
Data: Outubro de 2016	Sistema de coordenadas: Hayford-Gauss Datum 73 Projecção cartográfica: Transversa de Mercator
Versão 001	

---

Anexo 3 - Fichas de inventário geológico – geotécnico

---

---

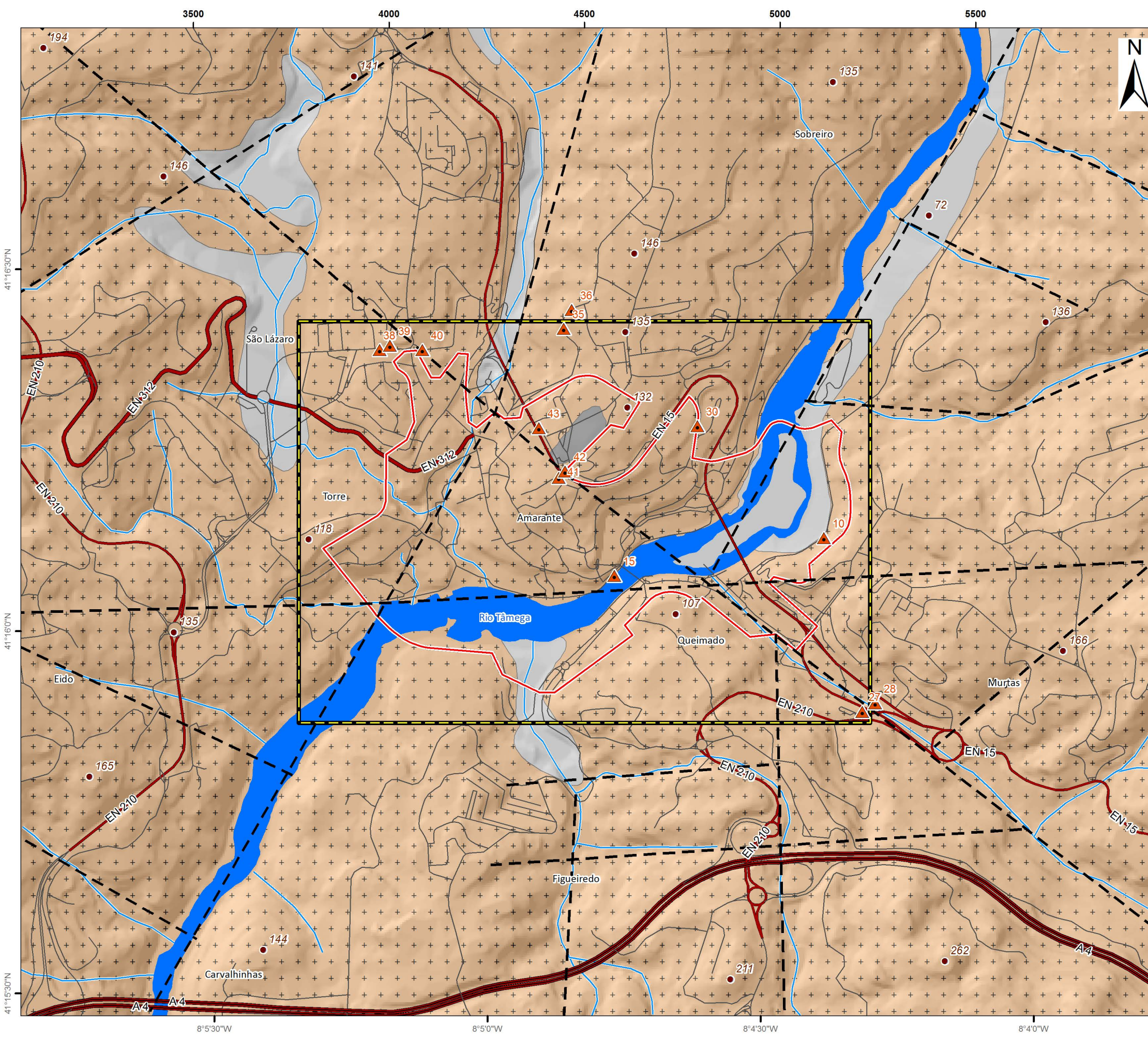
Anexo 4 - Fichas de inventário dos potenciais focos de contaminação

---

---

Anexo 5 - Esboço geológico da área urbana de Amarante e envolvente

---



- Geologia**
- Aluviões
  - Depósitos de terraços fluviais
  - Granito porfíroide, de grão grosseiro, essencialmente biotítico
  - Afloramentos rochosos

- Altimetria (m)**
- Pontos cotados
  - Lineamentos tectónicos foto-interpretados

- Rede hidrográfica**
- Linhas de água

- Rede viária**
- Auto-estrada
  - Estrada nacional
  - Estrada municipal e outras vias asfaltadas

- Centro histórico de Amarante
- Área de estudo

 	<b>Carta Geotécnica de Amarante</b> (versão preliminar [CMA-001] - 2016)	
	<b>Esboço geológico da área urbana de Amarante e envolvente</b> <i>(adaptado de Teixeira et al., 1967; Pereira et al., 2001)</i>	
Des.: SG / LF	Escala: 1/10.000	
Verif.: HIC		
Data: Outubro de 2016	Sistema de coordenadas: Hayford-Gauss Datum 73 Projecção cartográfica: Transversa de Mercator	
Versão 001		

---

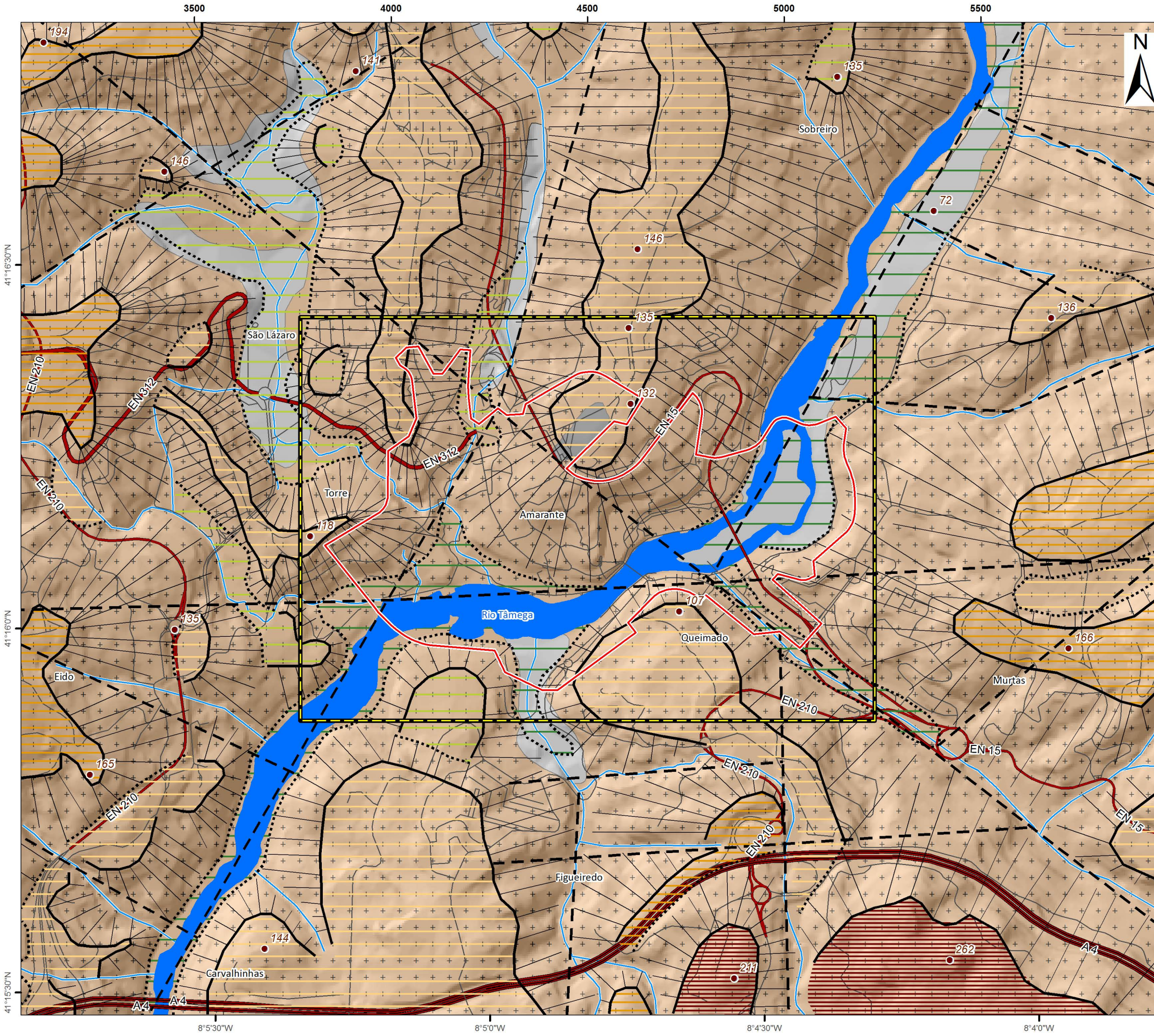
## Anexo 6 - Resistência à compressão uniaxial

---

---

Anexo 7 - Esboço geomorfológico da área urbana de Amarante e envolvente

---



**Geomorfologia**

- Topo
- - - - Base
- Vertente

**Áreas aplanadas (m)**

- 60 - 70
- 80 - 110
- 120 - 150
- 170 - 200
- 210 - 250

**Geologia ( adaptado de Teixeira et al., 1967 e Pereira et al., 2001)**

- Aluviões
- Depósitos de terraços fluviais
- Granito porfiróide, de grão grosseiro, essencialmente biotítico

**Altimetria (m)**

- Pontos cotados
- - - - Lineamentos tectónicos foto-interpretados

**Rede hidrográfica**

- Linhas de água

**Rede viária**

- Auto-estrada
- Estrada nacional
- Estrada municipal e outras vias asfaltadas

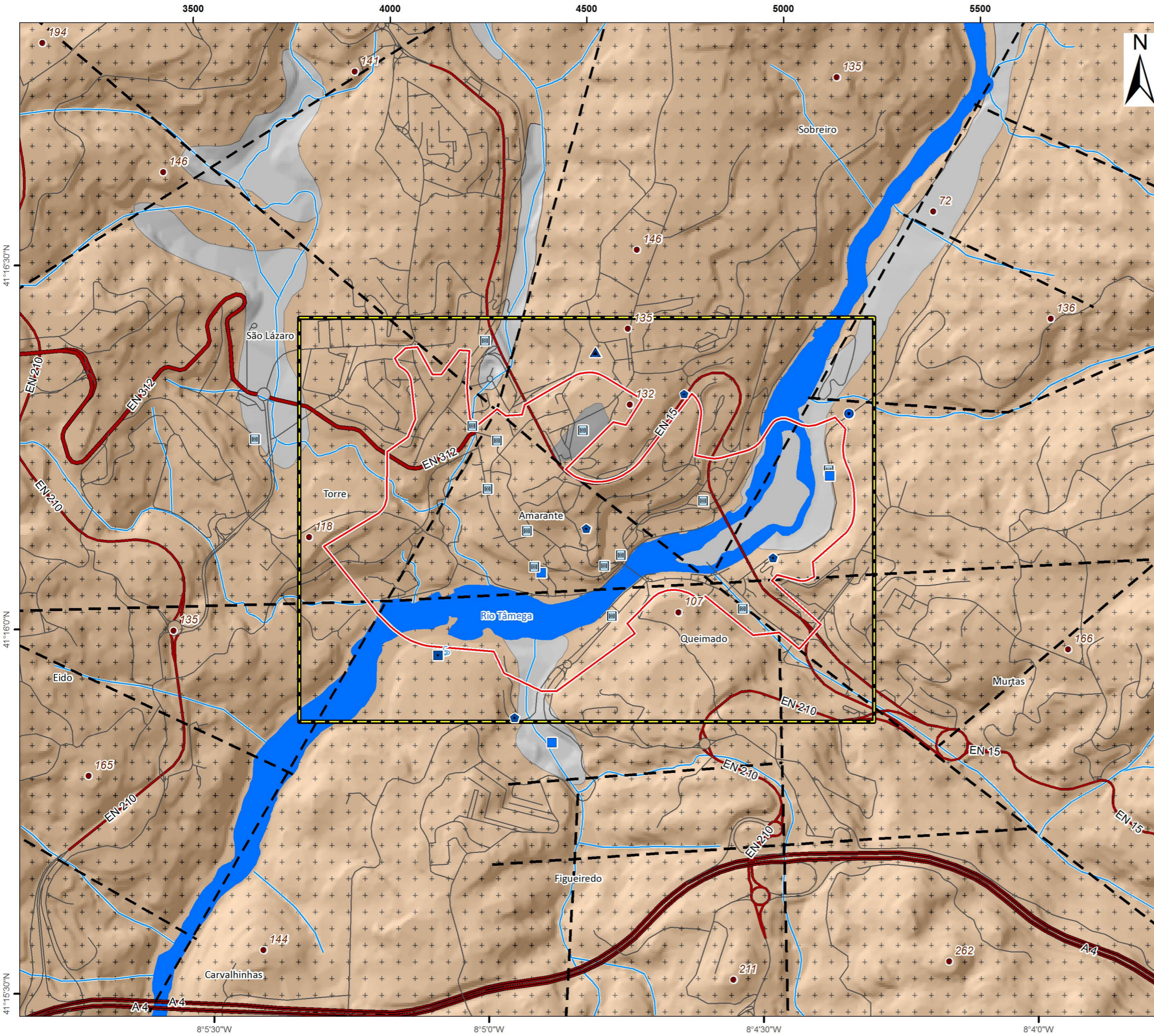
- Centro histórico de Amarante
- Área de estudo

 	<b>Carta Geotécnica de Amarante</b> (versão preliminar [CMA-001] - 2016)
	<b>Esboço geomorfológico da área urbana de Amarante e envolvente</b>
Des.: SG / LF	Escala: 1/10.000
Verif.: HIC	Sistema de coordenadas: Hayford-Gauss Datum 73 Projecção cartográfica: Transversa de Mercator
Data: Outubro de 2016	Versão 001

---

Anexo 8 - Esboço hidrogeológico e de drenagem de superfície da área urbana de Amarante e envolvente

---



**Inventário hidrogeológico**

- Charca
- Fontanário
- Lavadouro
- Mina
- Poço
- Tanque
- Tanque com mina de água

**Unidades hidrogeológicas [UH] (adaptado de Carvalho, 2006)**

- Rochas sedimentares**
- UH 1 - Aluviões
  - UH 2 - Depósitos de terraços fluviais
- Rochas graníticas**
- UH 3 - Granito porfiróide, de grão grosseiro, essencialmente biotítico

Unidades Hidrogeológicas	Tipologia dos aquíferos							
	Ligação à rede hidrográfica		Tipo de escoamento		Horizonte de alteração			
	tem	não tem	meio poroso	meio fissurado	espessura baixa	espessura alta	argiloso	arenoso
UH 1	x		x		n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
UH 2	x		x		n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
UH 3		x		x		x	x	x

n.a.: não aplicável

**Altimetria (m)**

- Pontos cotados
- Lineamentos tectónicos foto-interpretados

**Rede hidrográfica**

- Linhas de água

**Rede viária**

- Auto-estrada
- Estrada nacional
- Estrada municipal e outras vias asfaltadas

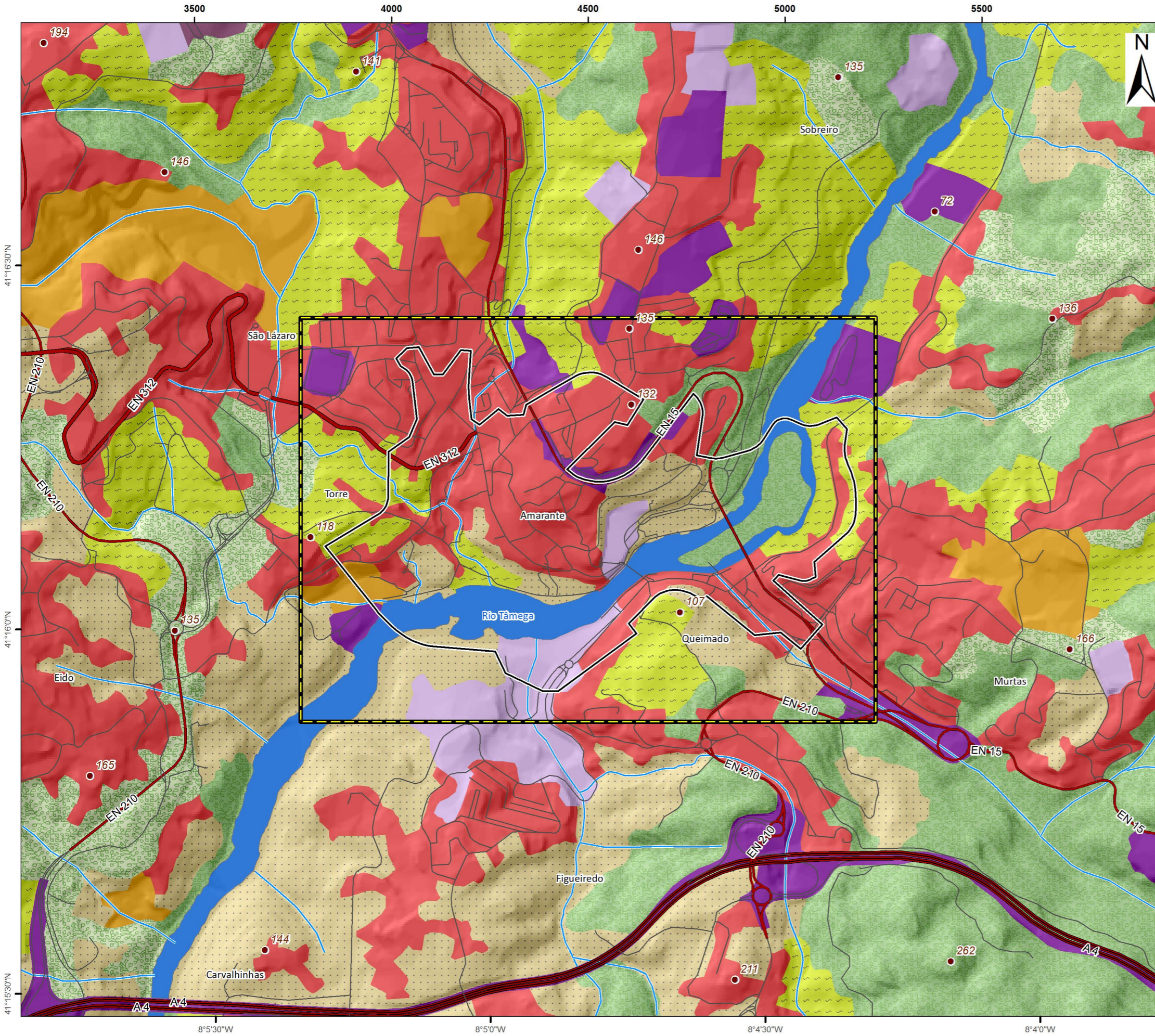
- Centro histórico de Amarante
- Área de estudo

 	<b>Carta Geotécnica de Amarante</b> (versão preliminar [CMA-001] - 2016)	
	Des.: SG / LF	
Verif.: HIC	Escala: 1/10.000	
Data: Outubro de 2016	Sistema de coordenadas: Hayford-Gauss Datum 73 Projecção cartográfica: Transversa de Mercator	
Versão 001		

---

Anexo 9 - Esboço da ocupação do solo da área urbana de Amarante e envolvente

---



**Uso do solo (Adaptado de CLC2006; COS2007)**

- Culturas permanentes
- Culturas temporárias
- Espaços verdes urbanos, equipamentos desportivos, culturais e de lazer e zonas históricas
- Florestas
- Florestas abertas e vegetação arbustiva e herbácea
- Indústria, comércio e transportes
- Tecido urbano
- Águas interiores
- Áreas agrícolas heterogéneas

**Altimetria (m)**

- Pontos cotados

**Rede hidrográfica**

- Linhas de água

**Rede viária**

- Auto-estrada
- Estrada nacional
- Estrada municipal e outras vias asfaltadas

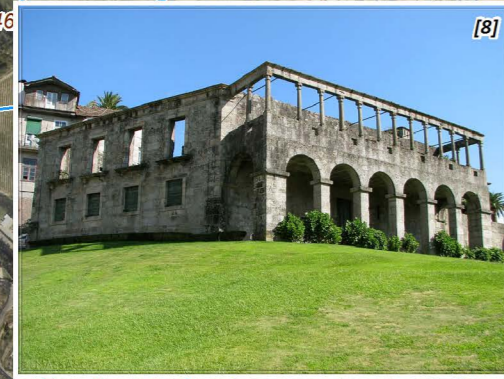
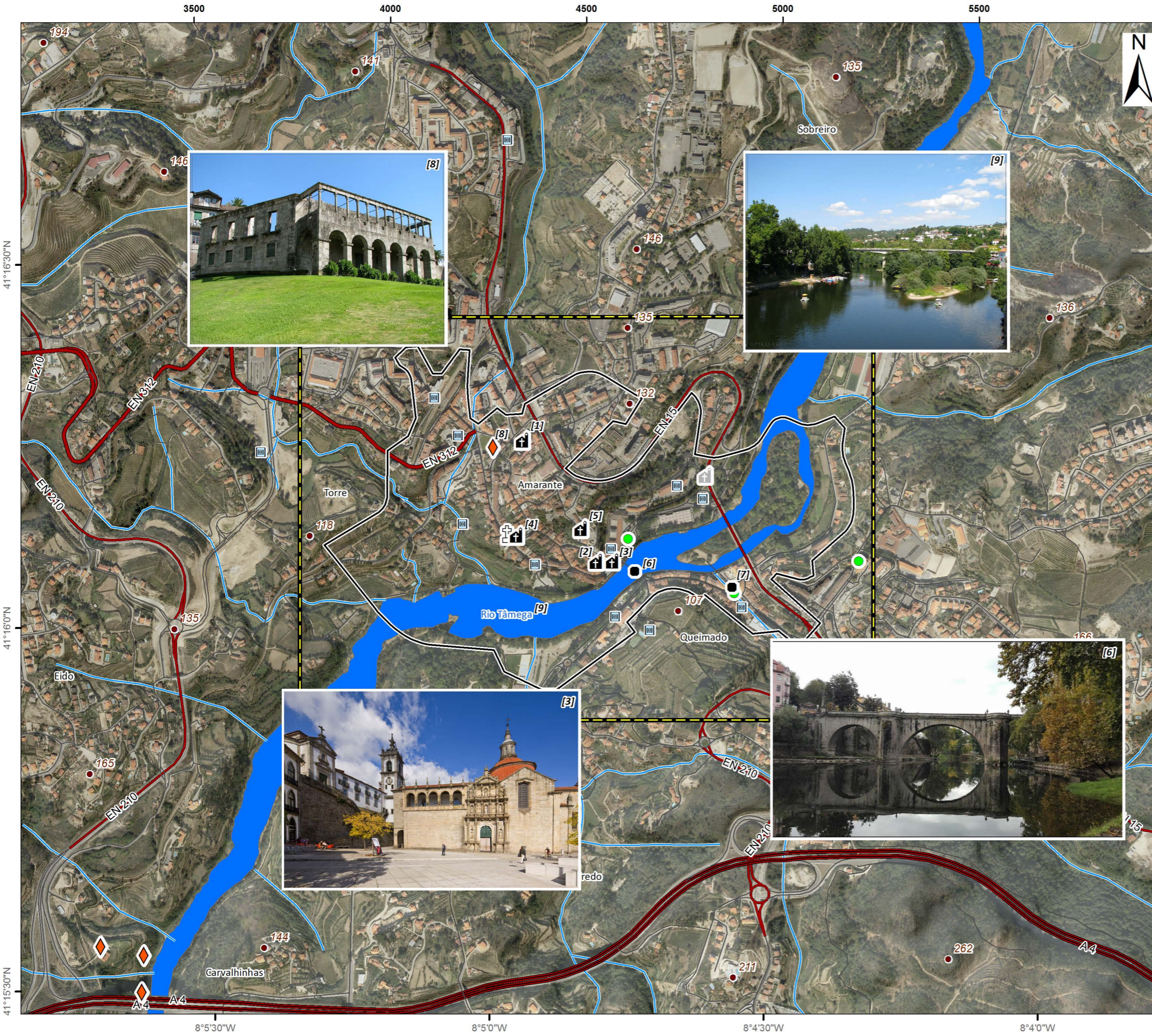
- Centro histórico de Amarante
- Área de estudo

 	<p><b>Carta Geotécnica de Amarante</b> (versão preliminar [CMA-001] - 2016)</p>
<p>Des.: SG / LF</p>	<p><b>Esboço de ocupação do solo da área urbana de Amarante e envolvente</b> (adaptado de CLC2006 e COS2007)</p>
<p>Verif.: HIC</p>	<p>Data: Outubro de 2016</p>
<p>Versão 001</p>	<p>Escala: 1/10.000</p> <p>Sistema de coordenadas: Hayford-Gauss Datum 73 Projeção cartográfica: Transversa de Mercator</p>

---

Anexo 10 - Esboço dos recursos patrimoniais e naturais da área urbana de Amarante e envolvente

---



**Património cultural**

- Capela
- Chafariz
- Cruz
- Estatua
- Ruínas

**Monumentos**

- Igreja da Mesericórdia [1]
- Igreja de S. Domíngos e Museu da Arte Sacra [2]
- Igreja de S. Gonçalo [3]
- Igreja de S. Pedro [4]
- Mosteiro de Sta. Clara [5]
- Ponte de S. Gonçalo [6]
- Ponte do Arquinho [7]
- Solar dos Magalhães [8]

**Património natural**

- Rio Tâmega [9]

**Altimetria (m)**

- Pontos cotados

**Rede hidrográfica**

- Linhas de água

**Rede viária**

- Auto-estrada
- Estrada nacional
- Estrada municipal e outras vias asfaltadas

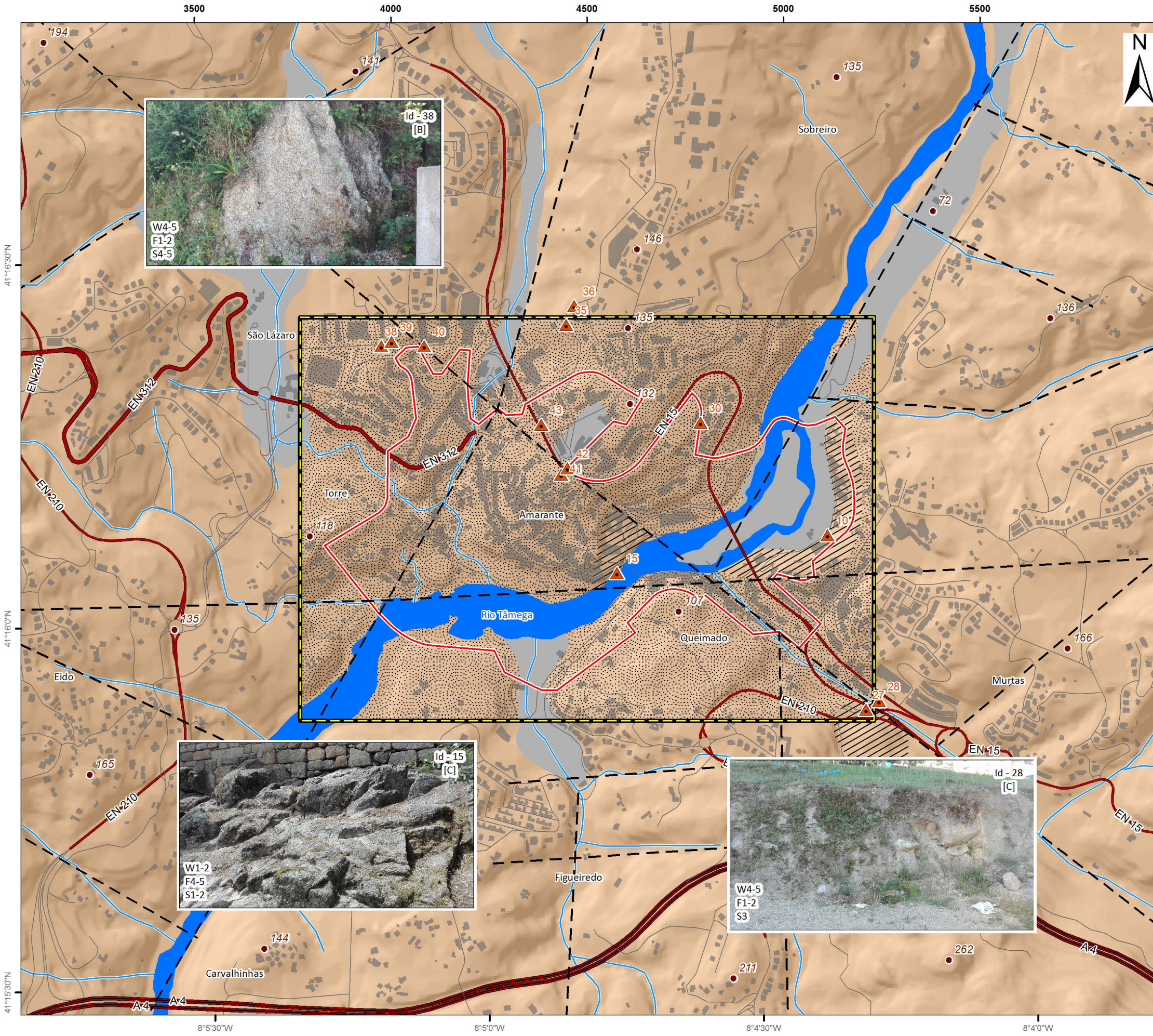
- Centro histórico de Amarante
- Área de estudo

 	<b>Carta Geotécnica de Amarante</b> (versão preliminar [CMA-001] - 2016)	
	<b>Esboço dos recursos patrimoniais e naturais urbana de Amarante e envolvente</b> (adaptado de CMA, 2015)	
Des.: SG / LF	Escala: 1/10.000	
Verif.: HIC	Sistema de coordenadas: Hayford-Gauss Datum 73 Projecção cartográfica: Transversa de Mercator	
Data: Outubro de 2016	Versão 001	

---

Anexo 11 - Esboço preliminar da aptidão geotécnica da área urbana de Amarante e envolvente

---



ID	Grau de alteração (W)	Grau de fracturação (F)	Resistência à compressão uniaxial (MPa)	Classe de resistência (S)
10	W3	F3	-	-
15	W1-2	F4-5	99	S1-2
27	W1-2	F4-5	111	S1-2
28	W4-5	F1-2	< 20	S3
30	W4-5	F1-2	< 20	S4-5
35	W4-5	F1-2	< 20	S4-5
36	W4-5	F1-2	< 20	S4-5
38	W4-5	F1-2	< 20	S4-5
39	W4-5	F1-2	< 20	S4-5
40	W4-5	F1-2	< 20	S4-5
41	W4-5	F1-2	< 20	S4-5
42	W4-5	F1-2	< 20	S4-5
43	W4-5	F1-2	< 20	S4-5

**Geologia** (adaptado de Teixeira et al., 1967; Pereira et al., 2001)

- Aluviões
- Depósitos de terraços fluviais
- Granito porfíroide, de grão grosseiro, essencialmente biotítico
- Afloramentos rochosos

**Unidades de aptidão geotécnica (versão preliminar)**

- [A] - Aluvião e depósitos sedimentares
- [B] - Solo residual granítico (W4-5 a W6)
- [C] - Granito grosseiro (W1-2 a W3)

**Altimetria (m)**

- Pontos cotados
- Lineamentos tectónicos foto-interpretados

**Rede hidrográfica**

- Linhas de água

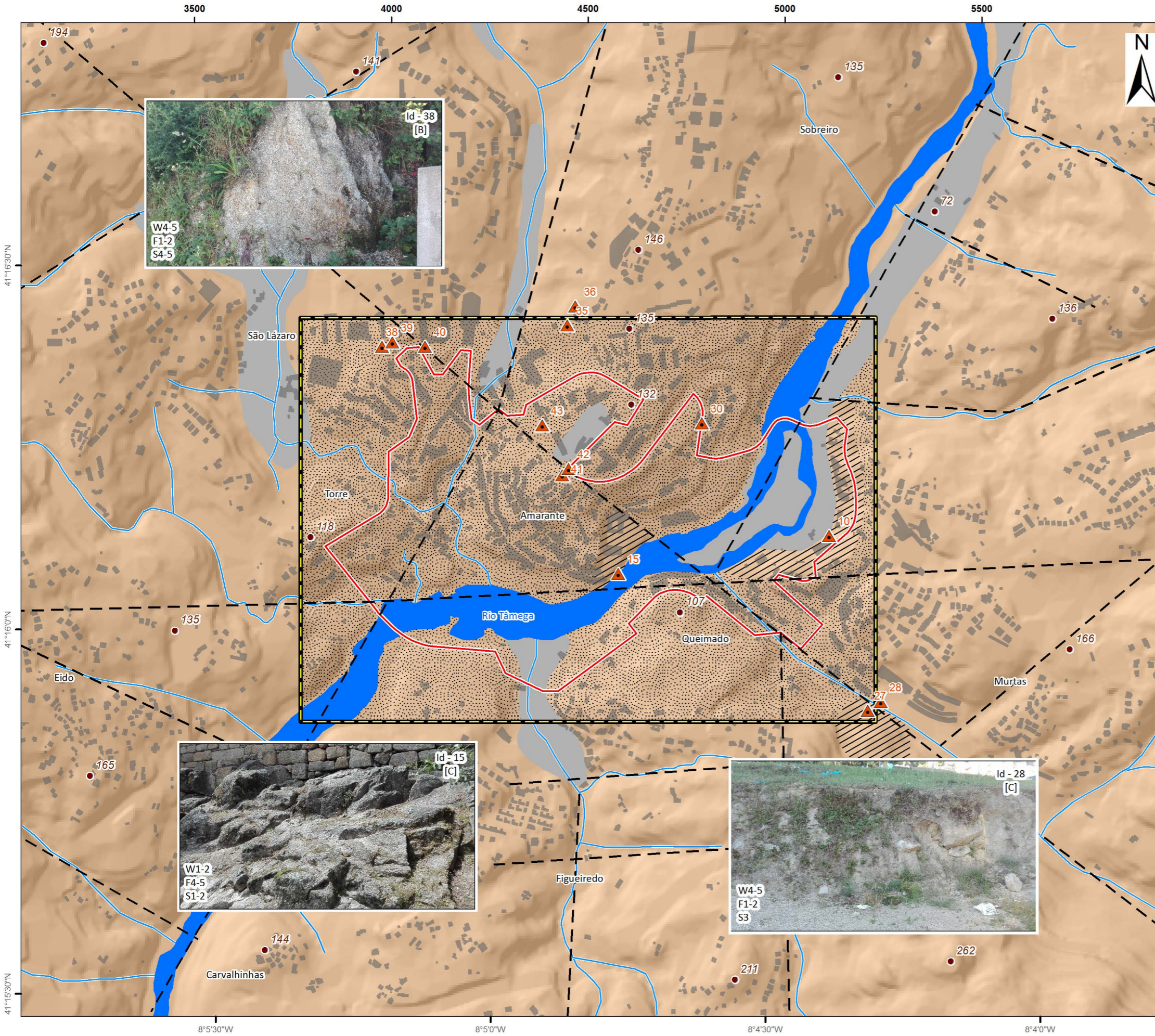
**Rede viária**

- Auto-estrada
- Estrada nacional
- Estrada municipal e outras vias asfaltadas

- Edificado (CMA, 2015)

- Centro histórico de Amarante
- Área de estudo

 	<b>Carta Geotécnica de Amarante</b> (versão preliminar [CMA-001] - 2016)		
	<b>Esboço preliminar da aptidão geotécnica da área urbana de Amarante e envolvente</b>		
	Escala: 1/10.000		
	Sistema de coordenadas: Hayford-Gauss Datum 73 Projecção cartográfica: Transversa de Mercator		
	Versão 001		



ID	Grau de alteração (W)	Grau de fracturação (F)	Resistência à compressão uniaxial (MPa)	Classe de resistência (S)
10	W3	F3	-	-
15	W1-2	F4-5	99	S1-2
27	W1-2	F4-5	111	S1-2
28	W4-5	F1-2	< 20	S3
30	W4-5	F1-2	< 20	S4-5
35	W4-5	F1-2	< 20	S4-5
36	W4-5	F1-2	< 20	S4-5
38	W4-5	F1-2	< 20	S4-5
39	W4-5	F1-2	< 20	S4-5
40	W4-5	F1-2	< 20	S4-5
41	W4-5	F1-2	< 20	S4-5
42	W4-5	F1-2	< 20	S4-5
43	W4-5	F1-2	< 20	S4-5

- Geologia** (adaptado de Teixeira et al., 1967; Pereira et al., 2001)
- Aluviões
  - Depósitos de terraços fluviais
  - Granito porfiróide, de grão grosseiro, essencialmente biotítico
  - Afloramentos rochosos

- Unidades de aptidão geotécnica (versão preliminar)**
- [A] - Aluvião e depósitos sedimentares
  - [B] - Solo residual granítico (W4-5 a W6)
  - [C] - Granito grosseiro (W1-2 a W3)

- Altimetria (m)**
- Pontos cotados
  - Lineamentos tectónicos foto-interpretados

- Rede hidrográfica**
- Linhas de água
  - Edificado (CMA, 2015)
  - Centro histórico de Amarante
  - Área de estudo

 	<b>Carta Geotécnica de Amarante</b> (versão preliminar [CMA-001] - 2016)		
	<b>Esboço preliminar da aptidão geotécnica da área urbana de Amarante e envolvente</b>		
Des.: SG / LF			
Verif.: HIC			
Data: Outubro de 2016	Escala: 1/10.000		
Versão 001	Sistema de coordenadas: Hayford-Gauss Datum 73 Projecção cartográfica: Transversa de Mercator		