



**Instituto Superior de Engenharia do Porto**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA



## **Inventário hidrogeológico e dos potenciais focos de contaminação nas bacias hidrográficas da Asprela e Massarelos: implicações no ciclo hidrológico urbano**

**Cátia Luciana Pinto Rodrigues**



**2015**

(página propositadamente em branco)



**Instituto Superior de Engenharia do Porto**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA

**Inventário hidrogeológico e dos potenciais focos de contaminação nas bacias hidrográficas da Asprela e Massarelos: implicações no ciclo hidrológico urbano**

**Cátia Luciana Pinto Rodrigues**

**1120113**

*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 da Doutora Maria José Afonso, Professora Adjunta do Departamento de Engenharia Geotécnica do ISEP.*

(página propositadamente em branco)

## **Júri**

### **Presidente**

Doutor Helder Gil Iglésias de Oliveira Chaminé  
*Professor Coordenador com Agregação, Instituto Superior de Engenharia do Porto*

Doutora Maria José Coxito Afonso  
*Professora Adjunta, Instituto Superior de Engenharia do Porto*

Doutora Maria Eugénia Oliveira Lopes  
*Professora Adjunta, Instituto Superior de Engenharia do Porto*

Doutora Maria do Rosário da Encarnação de Carvalho  
*Professora Auxiliar, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa*

---

A tese de **mestrado em engenharia geotécnica e geoambiente (MEGG)** foi apresentada e defendida em prova pública, pela Licenciada **Cátia Luciana Pinto Rodrigues**, no Auditório de Geotecnia do Departamento de Engenharia Geotécnica (ISEP) em 09 de Novembro de 2015 mediante o júri nomeado, em que foi atribuída, por unanimidade, a classificação final de **17 (dezassete) valores**, cuja fundamentação se encontra em acta. Todas as correções pontuais determinadas pelo júri, e só essas, foram efectuadas.

---

## **Agradecimentos**

Gostaria de expressar o meu agradecimento a todos os que, de uma forma ou de outra, me auxiliaram no decorrer da presente dissertação, em particular:

À minha orientadora, Professora Maria José Afonso (DEG|ISEP), agradeço a cedência de bibliografia, a disponibilidade prestada no esclarecimento de dúvidas, o apoio e empenho demonstrado, as opiniões, críticas e conhecimentos transmitidos no decorrer de todas as fases da dissertação. Agradeço também a revisão atenta e exaustiva do presente manuscrito.

Ao Professor Helder I. Chaminé (DEG|ISEP), agradeço a disponibilidade, acolhimento e apoio prestados aquando do ingresso no Mestrado e ainda todos os ensinamentos, conversas, ideias, opiniões e críticas dadas no decurso da realização desta dissertação.

À Mestre Liliana Freitas (LABCARGA|ISEP) agradeço a disponibilidade e apoio sempre prestados. Agradeço a cedência de toda a bibliografia e informação necessária e crucial à realização da dissertação. Agradeço o auxílio e acompanhamento de todas as diferentes fases da presente dissertação, desde o trabalho de campo ao exaustivo trabalho de gabinete. Agradeço os conhecimentos e ideias transmitidas, assim como todo o auxílio prestado na parte gráfica de todo o documento. Agradeço a paciência, o companheirismo e a amizade que se foi criando ao longo da minha permanência no LABCARGA.

Ao Centro de Prestação de Serviços Especializados Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada (LABCARGA|ISEP) do Instituto Superior de Engenharia do Porto, na pessoa do seu diretor Professor Helder I. Chaminé, pela cedência de todo o equipamento e material necessário para a realização do trabalho de campo e de gabinete.

À Empresa Águas do Porto SA, pela cedência de informação relativa aos fontanários e chafarizes na cidade do Porto.

Ao Doutor José Teixeira (LABCARGA|ISEP), pela cedência de *software* e informação necessárias à realização da dissertação. Agradeço também as conversas e a boa disposição sempre demonstrada.

À restante equipa do LABCARGA|ISEP agradeço a disponibilidade com que me receberam, o bom acolhimento e todas as condições necessárias à realização do estudo em si. Agradeço aos meus colegas e amigos que também realizaram as suas dissertações no LABCARGA|ISEP, todo o apoio e camaradagem sempre demonstrados.

A todos os docentes do Departamento de Engenharia Geotécnica do ISEP e do Departamento de Geologia da FCUL, por todos os conhecimentos e apoio transmitidos ao longo da minha vida académica.

Aos meus colegas e amigos do curso de Mestrado por toda a hospitalidade, amizade, companheirismo e camaradagem prestados ao longo dos anos que permaneci no ISEP.

Aos meus amigos de longa e curta data pela amizade e apoio dispensados aquando da realização do presente documento, em especial à Sara Ferreira, por toda a paciência e disponibilidade sempre prestadas.

À Mafalda e ao André, meus amigos geólogos por toda a amizade e companheirismo ao longo destes anos. Mesmo longe o apoio manteve-se sempre constante. Agradeço a leitura do documento e opiniões sempre prestadas.

Ao meu namorado, Tiago Costa, por todo o companheirismo, apoio e auxílio prestado no decorrer da presente dissertação e acima de tudo pela paciência demonstrada nestes últimos tempos.

Por fim, mas não menos importante, aos meus Pais por terem investido na minha formação, por sempre me apoiarem e acreditarem em mim. Sem eles nada disto teria sido possível.

A todos, sem exceção, o meu sincero Obrigada!

### ***Palavras-chave***

Hidrogeologia urbana, inventário hidrogeológico e dos focos de contaminação, Bacias hidrográficas da Asprela e Massarelos

### ***Resumo***

O desenvolvimento incessante em áreas urbanas ameaça a qualidade e quantidade das águas subterrâneas. O Porto é uma cidade densamente urbanizada, dominada por granitos, os quais constituem um meio fraturado anisotrópico e heterogéneo. O principal objetivo desta dissertação foi realçar a importância da cartografia hidrogeológica, bem como a relevância de realizar inventários hidrogeológicos e de potenciais focos de contaminação para compreender a vulnerabilidade dos sistemas aquíferos na cidade do Porto. Para tal, foram selecionadas as bacias hidrográficas da Asprela e de Massarelos. Assim, foram levados a cabo dois inventários, um hidrogeológico e outro das potenciais atividades de contaminação. O estudo foi apoiado pelos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), os quais foram fundamentais para um melhor conhecimento e integração nas áreas de estudo. Previamente à implementação dos inventários foi feita uma caracterização das duas bacias, em termos geográficos, hidroclimatológicos, de ocupação do solo, geomorfológicos e hidrogeológicos. As duas bacias desenvolvem-se, principalmente, na unidade hidrogeológica do granito de grão médio a fino, por vezes com saprólito. O inventário hidrogeológico contemplou principalmente fontanários e nascentes, tendo incluído, respetivamente, 8 e 21 pontos de água nas bacias da Asprela e de Massarelos. As águas subterrâneas são límpidas, sem turvação ou cheiro, ácidas, com mineralizações baixas a médias, temperaturas baixas e caudais muito pequenos. Quanto aos potenciais focos de contaminação, na bacia da Asprela foram reconhecidos 61, enquanto que na bacia de Massarelos foram identificados 78. A maioria destas atividades é pontual correspondendo, nomeadamente, a estabelecimentos de ensino e estações de serviço/oficinas de automóveis. Contudo, os focos lineares apresentam uma difusão significativa nas duas bacias hidrográficas. Apesar de a vulnerabilidade intrínseca à contaminação das águas subterrâneas nestas áreas ser baixa a moderada, a localização dos potenciais focos de contaminação poderá ser responsável pelo aumento da vulnerabilidade nas duas bacias estudadas. Esta metodologia demonstrou ser extremamente importante para um melhor conhecimento dos sistemas de água subterrânea do Porto e, ainda, da hidrogeologia de áreas urbanas.

(página propositadamente em branco)

**Keywords**

Urban hydrogeology, hydrogeological and contamination sources inventories, *Asprela* and *Massarelos* drainage basins

**Abstract**

The increased development of urban areas poses a threat to the quality and quantity of groundwater. Porto City is a densely urbanized region dominated by granites, which constitute an anisotropic and heterogeneous fractured media. The main target of this work was to highlight the importance of hydrogeological mapping, as well as the vital significance of hydrogeological and potential contamination sources inventories to understand the vulnerability of Porto City groundwater systems. Such study was developed in *Asprela* and *Massarelos* drainage basins. An extensive groundwater inventory and also an inventory of potential contamination activities were documented in these areas. This study was supported by GIS technology, which was fundamental to a better understanding and integration over the study areas. Previously to the inventory implementation, a characterization of the drainage basins, regarding their geography, hydroclimatology, land use, geomorphology and hydrogeology, was performed. Both drainage basins are developed mostly in the hydrogeological unit granite, medium to fine grained, sometimes with saprolite. The hydrogeological inventory, mostly fountains and springs, included 8 water points in *Asprela* drainage basin and 21 in *Massarelos* drainage basin. Groundwaters are colorless, with no turbidity and no smell, acidic, with low to medium mineralizations, low temperatures and very low yields. Concerning potential contamination sources, 61 activities in *Asprela* drainage basin and 78 in *Massarelos* drainage basin were recognised. Most of these activities are point sources, namely school buildings and gas station/garages, although line sources have a significant spreading through both drainage basins. Although the intrinsic vulnerability to groundwater contamination is low to moderate in these areas, the location of the potential contamination sources may enhance the vulnerability in the study areas. This methodology demonstrated valuable in further broadening our knowledge of Porto City groundwater systems and also hydrogeology in urban areas.

(página propositadamente em branco)

## Índice

<b>1. Introdução geral</b> .....	3
<b>1.1. Enquadramento</b> .....	3
<b>1.2. Objetivos</b> .....	4
<b>1.3. Estrutura da tese</b> .....	4
<b>2. Metodologias e técnicas</b> .....	9
<b>3. Hidrogeologia aplicada</b> .....	17
<b>3.1. Generalidades</b> .....	17
<b>3.2. O Ciclo Hidrológico</b> .....	20
<b>3.3. Distribuição vertical da água subterrânea</b> .....	22
<b>3.4. Formações geológicas: noções e tipos</b> .....	23
<b>3.4.1. Classificação dos aquíferos quanto ao tipo de permeabilidade</b> .....	24
<b>3.4.2. Classificação dos aquíferos quanto às características estruturais e hidráulicas</b> .....	26
<b>3.4.3. Classificação dos aquíferos quanto à localização geográfica</b> .....	28
<b>3.5. Parâmetros hidrogeológicos</b> .....	30
<b>3.5.1. Porosidade</b> .....	30
<b>3.5.2. Coeficiente de armazenamento</b> .....	31
<b>3.5.3. Permeabilidade</b> .....	32
<b>3.5.4. Porosidade vs Permeabilidade</b> .....	34
<b>3.5.5. Transmissividade</b> .....	35
<b>3.6. Características físico-químicas e outras propriedades da água</b> .....	36
<b>3.7. Contaminação das águas subterrâneas</b> .....	41
<b>3.7.1. Potenciais focos de contaminação</b> .....	42
3.7.1.1. Focos naturais .....	44
3.7.1.2. Agricultura e Silvicultura .....	45
3.7.1.3. Urbanização .....	46
3.7.1.4. Atividades industriais e mineiras .....	48
3.7.1.5. Má gestão da água.....	50

## ÍNDICE

---

3.7.1.6.	Focos diversos .....	51
3.7.2.	Vulnerabilidade das águas subterrâneas à contaminação: índices GOD-S e DRASIC.....	53
4.	As bacias hidrográficas da Asprela e de Massarelos (Porto): caracterização preliminar hidrogeológica e dos focos de contaminação numa área urbana.....	57
4.1.	Trabalhos prévios.....	57
4.2.	Enquadramento geográfico e socioeconómico.....	57
4.3.	Ocupação do solo.....	59
4.4.	Enquadramento geomorfológico e geológico.....	60
4.5.	Rede de drenagem.....	63
4.6.	Hidroclimatologia.....	63
4.7.	Unidades hidrogeológicas.....	66
4.8.	As bacias hidrográficas da Asprela e de Massarelos: descrição .....	67
4.9.	Inventário hidrogeológico .....	71
4.10.	Inventário das atividades potenciais de contaminação da água subterrânea .....	91
4.10.1	Atividades potenciais de contaminação <i>versus</i> vulnerabilidade intrínseca .....	115
5.	Conclusões e perspetivas futuras.....	127
6.	Referências bibliográficas.....	133
7.	Anexos.....	141

### Índice de Anexos

**Anexo 1** – Síntese das características das atividades potenciais de contaminação da água subterrânea inventariadas na bacia hidrográfica da Asprela

**Anexo 2** – Síntese das características das atividades potenciais de contaminação da água subterrânea inventariadas na bacia hidrográfica de Massarelos

**Índice de figuras**

Figura 1 – Modelo de ficha de inventário hidrogeológico, em meios urbanos, utilizado no trabalho de campo (modelo LABCARGA ISEP).....	10
Figura 2 – Modelo de ficha de inventário das atividades potenciais de contaminação utilizado no trabalho de campo (modelo LABCARGA ISEP).....	11
Figura 3 – Diversos aspetos do trabalho de campo.....	12
Figura 4 – Exemplo da utilização do GPS de alta precisão Trimble® GeoExplorer GeoXH2005 na georreferenciação dos pontos de água e dos potenciais focos de contaminação.....	13
Figura 5 – Usos da água (adaptado de <a href="http://www.Ineg.pt/CienciaParaTodos/edicoes_online/diversos/guiao_gota_agua">http://www.Ineg.pt/CienciaParaTodos/edicoes_online/diversos/guiao_gota_agua</a> ).....	17
Figura 6 – Distribuição da água na Terra (adaptado de IGM, 2001).....	19
Figura 7 – O Ciclo Hidrológico (adaptado de Ferreira et al., 2012). ....	21
Figura 8 – Zona saturada e zona não saturada do subsolo (adaptado de IGM, 2001). ....	22
Figura 9 – Representação esquemática da distribuição vertical da água no solo e subsolo (adaptado de Rodrigues et al., 2010).....	23
Figura 10 – Tipos de aquíferos quanto à permeabilidade. 1: aquífero fissurado/fraturado, 2: aquífero cársico, 3: aquífero poroso (adaptado de Ferreira et al., 2012).....	25
Figura 11 – Ilustração dos vários tipos de aquíferos (adaptado de Brassington, 2007).....	27
Figura 12 – Comportamento dos furos efetuados em aquíferos livres e confinados (adaptado de Ferreira et al., 2012).....	28
Figura 13 – Relação entre as águas superficiais e subterrâneas: (a) Rio efluente (situação típica de climas húmidos); (b) Rio influente com conexão hidráulica; (c) Rio influente sem conexão hidráulica (situação típica de climas áridos) (adaptado de <a href="http://geology-aguassubterraneas.wikispaces.com/nivel">http://geology-aguassubterraneas.wikispaces.com/nivel</a> ). ....	29
Figura 14 – Aquífero costeiro: (a) água doce, água salgada e cunha salina em equilíbrio hidrodinâmico (adaptado de Feitosa & Filho, 2000); (b) processo de intrusão salina num furo costeiro (adaptado de <a href="https://www.studyblue.com/notes/note/n/study-guide-exam-1/deck/5794205">https://www.studyblue.com/notes/note/n/study-guide-exam-1/deck/5794205</a> ). ....	29
Figura 15 – Representação esquemática do conceito de coeficiente de armazenamento num aquífero livre (a) e confinado (b). No caso (a) a diminuição unitária da carga hidráulica produz um volume de água equivalente à porosidade específica pela drenagem de um volume unitário de aquífero; no caso (b) o decréscimo unitário da carga hidráulica liberta um volume pequeno de água, permanecendo o aquífero totalmente saturado (adaptado de Brassington, 2007). ....	32
Figura 16 – Esquema ilustrativo da Lei de Darcy (adaptado de Feitosa & Filho, 2000).....	34
Figura 17 – Porosidade e permeabilidade de rochas não consolidadas e consolidadas (IGM, 2001). ....	35
Figura 18 – O ciclo hidrológico urbano: principais intervenientes (adaptado de Marsalek et al. 2008 in Afonso, 2011). ....	41
Figura 19 – Origens mais comuns da contaminação das águas subterrâneas (adaptado de Foster et al., 2002 in Afonso, 2011). ....	42

Figura 20 – Focos de contaminação das águas subterrâneas – Agricultura e Silvicultura: (a) Aplicação de fertilizantes e pesticidas ( <a href="http://www.coopercitrus.com.br/?pag=noticias&amp;act=detalhes&amp;noticia=1392">http://www.coopercitrus.com.br/?pag=noticias&amp;act=detalhes&amp;noticia=1392</a> ); (b) Dejetos de animais ( <a href="http://pecuaria.ruralbr.com.br/noticia/2013/04/encontro-de-confinamento-da-scot-apresenta-praticas-para-reutilizar-residuos-de-animais-nas-lavouras-4097373.html">http://pecuaria.ruralbr.com.br/noticia/2013/04/encontro-de-confinamento-da-scot-apresenta-praticas-para-reutilizar-residuos-de-animais-nas-lavouras-4097373.html</a> ).....	46
Figura 21 – Focos de contaminação das águas subterrâneas – Urbanização: (a) Lixeira ( <a href="http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/2e/Aterro_Sanitario.jpg">http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/2e/Aterro_Sanitario.jpg</a> ); (b) Sucata ( <a href="http://fatimasucatas.pai.pt/">http://fatimasucatas.pai.pt/</a> ).....	47
Figura 22 – Fontes de contaminação das águas subterrâneas – Atividades mineiras e industriais: (a) Resíduos sólidos e drenagem de águas residuais de minas ( <a href="http://www.macaub.com.mo/pt/2011/05/03/coal-india-divulgara-em-julho-empresa-que-vai-explorar-blocos-de-carvao-em-mocambique/">http://www.macaub.com.mo/pt/2011/05/03/coal-india-divulgara-em-julho-empresa-que-vai-explorar-blocos-de-carvao-em-mocambique/</a> ); (b) Derramamento de resíduos sólidos e líquidos industriais (adaptado de <a href="http://www.lneg.pt/CienciaParaTodos/edicoes_online/diversos/agua_subterranea/">http://www.lneg.pt/CienciaParaTodos/edicoes_online/diversos/agua_subterranea/</a> ).....	49
Figura 23 – Focos de contaminação das águas subterrâneas – Má gestão da água: (a) Intrusão salina ( <a href="http://www.lneg.pt/CienciaParaTodos/edicoes_online/diversos/agua_subterranea/">http://www.lneg.pt/CienciaParaTodos/edicoes_online/diversos/agua_subterranea/</a> ); (b) Poço/furo abandonado.....	50
Figura 24 – Fontes de contaminação das águas subterrâneas – Focos diversos: (a) Contaminantes atmosféricos ( <a href="http://www.keepthecityout.co.uk/2011/12/">http://www.keepthecityout.co.uk/2011/12/</a> ); (b) Cemitérios (adaptado de Hernández et al., 2013).....	51
Figura 25 – Sistema qualitativo de ordenação dos potenciais focos de contaminação das águas subterrâneas, de acordo com o seu potencial de contaminação (adaptado de Zaporozec, 2004 in Afonso, 2011).....	53
Figura 26 – Enquadramento geográfico das áreas em estudo e demarcação das sete freguesias constituintes do Concelho do Porto (adaptado de Freitas et al., 2014).....	58
Figura 27 – Principais linhas de água na cidade do Porto e delimitação das bacias hidrográficas das Ribeiras da Asprela (afluentes: 1 – Ribeira da Areosa; 2- Ribeira do Outeiro; 3 - Ribeira de Paranhos) e de Massarelos (adaptado de Freitas, <i>in prep</i> ).....	58
Figura 28 – Ocupação do solo no Concelho do Porto (adaptado de Freitas, <i>in prep</i> ).....	59
Figura 29 – Esboço geomorfológico do Concelho Porto (adaptado de Freitas, 2010, <i>in prep</i> ; Freitas et al., 2014).....	60
Figura 30 – Esboço geológico da cidade do Porto (adaptado de Chaminé et al., 2010).....	61
Figura 31 – Normais climatológicas de precipitação para o período 1981-2010 na estação climatológica do Porto - Serra do Pilar ( <a href="https://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/1981-2010/014/">https://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/1981-2010/014/</a> ).....	64
Figura 32 – Normais climatológicas de temperatura para o período 1981-2010 na estação climatológica do Porto - Serra do Pilar ( <a href="https://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/1981-2010/014/">https://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/1981-2010/014/</a> ).....	64
Figura 33 – Registos diários da precipitação mensal (mm) e precipitação total (mm) referentes ao ano de 2014 ( <a href="http://meteo.isep.ipp.pt/weather/index.html">http://meteo.isep.ipp.pt/weather/index.html</a> ).....	65
Figura 34 – Registos diários de humidade (%) referente ao ano de 2014 ( <a href="http://meteo.isep.ipp.pt/weather/index.html">http://meteo.isep.ipp.pt/weather/index.html</a> ).....	65

Figura 35 – Registos diários da temperatura média do ar (°C) referente ao ano de 2014 ( <a href="http://meteo.isep.ipp.pt/weather/index.html">http://meteo.isep.ipp.pt/weather/index.html</a> ).....	65
Figura 36 – Esboço hidrogeológico e caracterização das unidades hidrogeológicas do Concelho do Porto (adaptado de Afonso et al., 2010; Afonso, 2011).....	66
Figura 37 – Caracterização da bacia hidrográfica da Ribeira da Asprela (afluentes: 1 – Ribeira da Areosa; 2- Ribeira do Outeiro; 3 - Ribeira de Paranhos): (a) - Localização geográfica; (b) – Ocupação do solo; (c) – Geomorfologia; (d) – Unidades hidrogeológicas.....	68
Figura 38 – Caraterização da bacia hidrográfica da Ribeira de Massarelos: (a) Localização geográfica; (b) Ocupação do solo; (c) Geomorfologia; (d) Unidades hidrogeológicas.....	70
Figura 39 – Exemplos da tipologia utilizados no inventário hidrogeológico nas duas bacias hidrográficas: (a) P_03_15 (Campo Pequeno – Chafariz); (b) P_03_03 (Massarelos – Nascente); (c) P_05_04 (Bouça – Fontanário); (d) P_03_02 (Bicas de Massarelos – Lavadouro).....	72
Figura 40 – Exemplo da ficha de inventário hidrogeológico para o ponto P_04_03.....	73
Figura 41 – Localização dos 8 pontos de inventário hidrogeológico na bacia hidrográfica da Asprela (afluentes: 1 – Ribeira da Areosa; 2- Ribeira do Outeiro; 3 - Ribeira de Paranhos). ....	74
Figura 42 – Enquadramento geomorfológico dos 8 pontos de inventário hidrogeológico na bacia hidrográfica da Asprela (afluentes: 1 – Ribeira da Areosa; 2- Ribeira do Outeiro; 3 - Ribeira de Paranhos). .	77
Figura 43 – Enquadramento hidrogeológico dos 8 pontos de inventário na bacia hidrográfica da Asprela (afluentes: 1 – Ribeira da Areosa; 2- Ribeira do Outeiro; 3 - Ribeira de Paranhos). ....	78
Figura 44 – Parâmetros físico-químicos registados “in situ” dos 8 pontos de inventário hidrogeológico da bacia hidrográfica da Asprela: (a) Temperatura; (b) pH; (c) Condutividade elétrica.....	80
Figura 45 – Localização dos 21 pontos de inventário hidrogeológico na bacia hidrográfica de Massarelos. .	81
Figura 46 – Enquadramento geomorfológico dos 21 pontos de inventário hidrogeológico na bacia hidrográfica de Massarelos. ....	87
Figura 47 – Enquadramento hidrogeológico dos 21 pontos de inventário na bacia hidrográfica de Massarelos.....	88
Figura 48 – Parâmetros físico-químicos registados “in situ” dos 21 pontos de inventário hidrogeológico da bacia hidrográfica de Massarelos: (a) Temperatura; (b) pH; (c) Condutividade elétrica. ....	90
Figura 49 – Exemplos dos potenciais focos de contaminação nas duas bacias hidrográficas: (a) P_05_03 (Garagem Antero de Quental); (b) P_04_41 (Faculdade de Economia da Universidade do Porto); (c) P_03_02 (Repsol E. S. Júlio Dinis); (d) P_04_39 (Faculdade de Medicina da Universidade do Porto); (e) P_04_27 (Clínica Veterinária Vet & Pets); (f) P_04_12 (Cemitério de Paranhos). ....	92
Figura 50 – Exemplo da ficha de inventário das atividades potenciais de contaminação para o ponto P_04_04.....	93
Figura 51 – Localização das 61 atividades potenciais de contaminação da água subterrânea na bacia hidrográfica da Asprela: (a) P_04_01 a P_04_55 – Focos de contaminação pontuais; (b) P_04_56 - Rede de abastecimento de água potável; (c) P_04_57 – Rede de saneamento; (d) P_04_58 - Sistema municipal de	

drenagem de águas pluviais; (e) P_04_59 e P_04_60 – Linha de água e linha de água canalizada (f) P_04_61 – Galeria de água subterrânea.....	95
Figura 52 – Ocupação do solo na bacia hidrográfica da Asprela: (a) P_04_01 a P_04_55 – Focos de contaminação pontuais; (b) P_04_56 - Rede de abastecimento de água potável; (c) P_04_57 – Rede de saneamento; (d) P_04_58 - Sistema municipal de drenagem de águas pluviais; (e) P_04_59 e P_04_60 – Linhas de água e linhas de água canalizada (f) P_04_61 – Galerias de água subterrânea.....	99
Figura 53 – Enquadramento geomorfológico das 61 atividades de inventário na bacia hidrográfica da Asprela: (a) P_04_01 a P_04_55 – Focos de contaminação pontuais; (b) P_04_56 - Rede de abastecimento de água potável; (c) P_04_57 – Rede de saneamento; (d) P_04_58 - Sistema municipal de drenagem de águas pluviais; (e) P_04_59 e P_04_60 – Linhas de água e linhas de água canalizada (f) P_04_61 – Galerias de água subterrânea. ....	100
Figura 54 – Enquadramento hidrogeológico das 61 atividades de inventário na bacia hidrográfica da Asprela: (a) P_04_01 a P_04_55 – Focos de contaminação pontuais; (b) P_04_56 - Rede de abastecimento de água potável; (c) P_04_57 – Rede de saneamento; (d) P_04_58 - Sistema municipal de drenagem de águas pluviais; (e) P_04_59 e P_04_60 – Linhas de água e linhas de água canalizada (f) P_04_61 – Galerias de água subterrânea.....	101
Figura 55 – Atividades potenciais de contaminação da água subterrânea de caráter pontual e/ou difuso identificadas na bacia hidrográfica da Ribeira da Asprela. ....	103
Figura 56 – Localização das 78 atividades potenciais de contaminação da água subterrânea na bacia hidrográfica de Massarelos: (a) P_03_01 a P_03_16 e P_05_01 a P_05_56 – Focos de contaminação pontuais; (b) P_03_05_01 – Rede de abastecimento de água potável; (c) P_03_05_02 – Rede de Saneamento; (d) P_03_05_03 - Sistema municipal de drenagem de águas pluviais; (e) P_03_05_04 e P_03_05_05 – Linhas de água e linhas de água canalizada; (f) P_03_05_06 – Galerias de água subterrânea. ....	107
Figura 57 – Ocupação do solo na bacia hidrográfica de Massarelos: (a) P_03_01 a P_03_16 e P_05_01 a P_05_56 – Focos de contaminação pontuais; (b) P_03_05_01 – Rede de abastecimento de água potável; (c) P_03_05_02 – Rede de Saneamento; (d) P_03_05_03 - Sistema municipal de drenagem de águas pluviais; (e) P_03_05_04 e P_03_05_05 – Linhas de água e linhas de água canalizada; (f) P_03_05_06 – Galerias de água subterrânea. ....	108
Figura 58 – Enquadramento geomorfológico das 78 atividades de inventário na bacia hidrográfica de Massarelos: (a) P_03_01 a P_03_16 e P_05_01 a P_05_56 – Focos de contaminação pontuais; (b) P_03_05_01 – Rede de abastecimento de água potável; (c) P_03_05_02 – Rede de Saneamento; (d) P_03_05_03 - Sistema municipal de drenagem de águas pluviais; (e) P_03_05_04 e P_03_05_05 – Linhas de água e linhas de água canalizada; (f) P_03_05_06 – Galerias de água subterrânea.....	111
Figura 59 – Enquadramento hidrogeológico das 78 atividades de inventário na bacia hidrográfica de Massarelos: (a) P_03_01 a P_03_16 e P_05_01 a P_05_56 – Focos de contaminação pontuais; (b) P_03_05_01 – Rede de abastecimento de água potável; (c) P_03_05_02 – Rede de Saneamento; (d)	

P_03_05_03 - Sistema municipal de drenagem de águas pluviais; (e) P_03_05_04 e P_03_05_05 – Linhas de água e linhas de água canalizada; (f) P_03_05_06 – Galerias de água subterrânea. ....	112
Figura 60 – Atividades potenciais de contaminação da água subterrânea de caráter pontual e/ou difuso identificadas na bacia hidrográfica da Ribeira de Massarelos. ....	113
Figura 61 – Índice GOD-S e localização das 61 potenciais de contaminação na bacia hidrográfica da Asprela: (a) Focos pontuais (P_04_01 a P_04_55); (b) Rede de abastecimento de água potável (P_04_56); (c) Rede de saneamento (P_04_57); (d) Sistema municipal de drenagem de águas pluviais (P_04_58); (e) Linhas de água e linhas de água canalizada (P_04_59 e P_04_60); (f) Galerias de água subterrânea (P_04_61). ....	117
Figura 62 – Índice DRASTIC e localização das 61 potenciais de contaminação na bacia hidrográfica da Asprela: (a) Focos pontuais (P_04_01 a P_04_55); (b) Rede de abastecimento de água potável (P_04_56); (c) Rede de saneamento (P_04_57); (d) Sistema municipal de drenagem de águas pluviais (P_04_58); (e) Linhas de água e linhas de água canalizada (P_04_59 e P_04_60); (f) Galerias de água subterrânea (P_04_61). ..	118
Figura 63 – Índice GOD-S e localização das 78 atividades potenciais de contaminação na bacia hidrográfica de Massarelos: (a) Focos pontuais (P_03_01 a P_03_16 e P_05_01 a P_05_56); (b) Rede de abastecimento de água potável (P_03_05_01); (c) Rede de Saneamento (P_03_05_02); (d) Sistema municipal de drenagem de águas pluviais (P_03_05_03); (e) Linhas de água e linhas de água canalizada (P_03_05_04 e P_03_05_05); (f) Galerias de água subterrânea (P_03_05_06). ....	121
Figura 64 – Índice DRASTIC e localização das 78 atividades potenciais de contaminação na bacia hidrográfica de Massarelos: (a) Focos pontuais (P_03_01 a P_03_16 e P_05_01 a P_05_56); (b) Rede de abastecimento de água potável (P_03_05_01); (c) Rede de Saneamento (P_03_05_02); (d) Sistema municipal de drenagem de águas pluviais (P_03_05_03); (e) Linhas de água e linhas de água canalizada (P_03_05_04 e P_03_05_05); (f) Galerias de água subterrânea (P_03_05_06). ....	122



**Índice de quadros**

Quadro 1 – Denominação de cada Freguesia referente ao Concelho do Porto.....	12
Quadro 2 – Exemplos de utilização da água (adaptado de Brassington, 2007). .....	18
Quadro 3 – Principais reservatórios de água no planeta Terra (adaptado de IGM, 2001).....	20
Quadro 4 – Água subterrânea e comportamento das formações geológicas (adaptado de González de Vallejo & Ferrer, 2011). .....	24
Quadro 5 – Valores de porosidade (%) e porosidade efetiva (%) para diversos tipos de rochas (adaptado de Kruseman & de Ridder, 1990; Morisson & Johnson, 1967; Hamill & Bell, 1986 in Singhal & Gupta, 2010). ..	31
Quadro 6 – Classificação dos tipos de rochas em termos da permeabilidade (adaptado de Brassington, 2007).....	33
Quadro 7 – Valores de condutividade hidráulica de aquíferos, depósitos não consolidados e rochas consolidadas (Brassington, 2007).....	34
Quadro 8 – Síntese das principais propriedades organoléticas e de algumas das principais propriedades físico-químicas das águas subterrâneas e dos valores-guia estabelecidos para as águas destinadas ao consumo humano (compilado e adaptado de Domenico & Schwartz, 1998; Feitosa & Filho, 2000; Custodio & Llamas, 2001 e Mendes & Oliveira, 2004).....	37
Quadro 9 – Métodos de classificação dos focos potenciais de contaminação das águas subterrâneas (adaptado de Zaporozec, 2004 in Afonso 2011). .....	42
Quadro 10 – Sumário dos potenciais focos de contaminação das águas subterrâneas com base na sua origem (adaptado de Zaporozec, 2004 in Afonso, 2011). .....	44
Quadro 11 – Focos de contaminação das águas subterrâneas – focos naturais (adaptado de Zaporozec, 2004).....	45
Quadro 12 – Focos de contaminação das águas subterrâneas – agricultura e silvicultura (adaptado de Zaporozec, 2004).....	46
Quadro 13 – Focos de contaminação das águas subterrâneas – Urbanização (adaptado de Zaporozec, 2004). .....	48
Quadro 14 – Focos de contaminação das águas subterrâneas – Atividades industriais e mineiras (adaptado de Zaporozec, 2004). .....	49
Quadro 15 – Focos de contaminação das águas subterrâneas – Má gestão da água (adaptado de Zaporozec, 2004).....	51
Quadro 16 – Focos de contaminação das águas subterrâneas – Focos diversos (adaptado de Zaporozec, 2004).....	52
Quadro 17 – Representação das áreas de ocupação do solo do Concelho do Porto.....	59
Quadro 18 – Características físicas das bacias hidrográficas da Asprela e Massarelos. ....	67
Quadro 19 – Áreas de ocupação do solo na bacia hidrográfica da Ribeira da Asprela. ....	69
Quadro 20 – Áreas de ocupação do solo na bacia hidrográfica da Ribeira de Massarelos. ....	71
Quadro 21 – Síntese das características dos 8 pontos de inventário hidrogeológico da bacia hidrográfica da Asprela.....	75

Quadro 22 – Síntese das características dos 21 pontos de inventário hidrogeológico da bacia hidrográfica de Massarelos.....	83
Quadro 23 – Extensão (km) de cada foco linear relativamente aos tipos de ocupação do solo na bacia hidrográfica da Asprela.....	97
Quadro 24 – Extensão (km) de cada foco linear relativamente ao enquadramento hidrogeológico da bacia hidrográfica da Asprela.....	97
Quadro 25 – Potenciais focos de contaminação e descrição dos seus contaminantes relativos aos pontos constituintes do inventário das atividades potenciais de contaminação da água subterrânea referentes à bacia hidrográfica da Asprela.....	105
Quadro 26 – Extensão (km) de cada foco linear relativamente aos tipos de ocupação do solo na bacia hidrográfica de Massarelos.....	106
Quadro 27 – Extensão (km) de cada foco linear relativamente ao enquadramento hidrogeológico da bacia hidrográfica de Massarelos.....	109
Quadro 28 – Potenciais focos de contaminação e descrição dos seus contaminantes relativos aos pontos constituintes do inventário das atividades potenciais de contaminação da água subterrânea referentes à bacia hidrográfica de Massarelos.....	114
Quadro 29 – Extensão (km) de cada foco linear relativamente às classes definidas para o Índice GOD-S na bacia hidrográfica da Asprela.....	119
Quadro 30 – Extensão (km) de cada foco linear relativamente às classes definidas para o Índice DRASTIC na bacia hidrográfica da Asprela.....	119
Quadro 31 – Extensão (km) de cada foco linear relativamente às classes definidas para o Índice GOD-S na bacia hidrográfica de Massarelos.....	123
Quadro 32 – Extensão (km) de cada foco linear relativamente às classes definidas para o Índice DRASTIC na bacia hidrográfica de Massarelos.....	123

## Índice de Equações

Equação 1 – Porosidade total.....	30
Equação 2 – Porosidade efetiva.....	30
Equação 3 – Lei de Darcy.....	33
Equação 4 – Lei de Darcy simplificada.....	33
Equação 5 – Transmissividade.....	35
Equação 6 – Índice DRASTIC.....	54



---

## **1. Introdução**

---



## 1. Introdução geral

### 1.1. Enquadramento

O presente trabalho enquadra-se no âmbito da unidade curricular “Dissertação/Estágio/Projeto” que faz parte do 2º ano do curso de mestrado em Engenharia Geotécnica e Geoambiente, com duração anual, do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP) do Politécnico do Porto.

Esta tese enquadra-se no espírito do projeto *GROUNDURBAN – “Urban groundwater and environmental management in the Northwest Portugal”* (POCI/CTE-GEX/59081/2004), financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia, integrado na linha de investigação de Recursos Hídricos Subterrâneos da área metropolitana do Porto e em desenvolvimento no Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada (LABCARGA|ISEP), em parceria com o Centro GeoBioTec (Grupo de Georrecursos, Geotecnia e Geomateriais) da Universidade de Aveiro e, ainda, no quadro de apoio de reequipamento científico LABCARGA-IPP/ISEP|PAD’2007/08 através do projeto *HYDROURBAN* (“Hidrogeologia, geomecânica e geoconservação de antigas minas de água: contribuição para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos em áreas urbanas e peri-urbanas”). Esta dissertação de mestrado integra e complementa os estudos prévios de Freitas (2010), Afonso (2011) e Freitas et al. (2014), enquadrando-se, igualmente, nos trabalhos de investigação de doutoramento de L. Freitas, bem como nos desenvolvidos nesta área pelo LABCARGA|ISEP em parceria com a Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra (FCTUC).

O estudo envolveu, numa primeira fase, a recolha exaustiva de informação bibliográfica de especialidade e histórica dos dois setores estudados. Numa segunda etapa, procedeu-se à realização do trabalho de campo, no qual se procedeu a um inventário hidrogeológico de superfície e à inventariação dos potenciais focos de contaminação de água subterrânea. Nas campanhas de terreno a signatária contou com o apoio incondicional da Dra. Liliana Freitas, sob a coordenação dos Professores Maria José Afonso e Helder I. Chaminé. Numa terceira fase, em gabinete, procedeu-se à análise, processamento e interpretação dos dados para atingir os objetivos propostos. Nesta etapa foram compilados, uniformizados e analisados os dados de duas campanhas de terreno no período entre 2010 (Freitas, 2010) e 2014, tendo estado a signatária envolvida na última campanha. Numa última fase foi efetuada uma análise muito preliminar do cruzamento dos potenciais focos de contaminação com a avaliação da vulnerabilidade das águas subterrâneas à contaminação, através dos índices GOD-S e DRASTIC, delineada para a cidade do Porto no âmbito da investigação de doutoramento de L. Freitas.

## 1.2. Objetivos

A presente dissertação visa fundamentalmente a caracterização dos pontos de água e das potenciais atividades de contaminação das águas subterrâneas nas bacias hidrográficas das ribeiras da Asprela e de Massarelos.

Assim, apresentam-se como principais objetivos desta tese, os seguintes:

- O levantamento sistemático dos pontos de água existentes nas áreas das duas bacias hidrográficas;
- A inventariação das potenciais atividades de contaminação das águas subterrâneas nas áreas adstritas às duas bacias hidrográficas;
- A caracterização das duas bacias hidrográficas em termos geográficos, de ocupação do solo, geomorfológicos e hidrogeológicos;
- A avaliação preliminar da relação entre as atividades potenciais de contaminação de águas subterrâneas inventariadas com os índices de vulnerabilidade à contaminação GOD-S e DRASTIC.

Pretende-se igualmente com este estudo avaliar a importância implícita à realização de inventários sistemáticos dos pontos de água, bem como dos potenciais focos de contaminação no ciclo hidrológico urbano da cidade do Porto, em particular, e de outras áreas urbanas, em geral.

## 1.3. Estrutura da tese

Para uma melhor compreensão do decorrer do documento elaborou-se uma estruturação do mesmo. Este encontra-se dividido em 6 Capítulos:

- Capítulo 1 – Enquadramento do tema, o seu âmbito e apresentação dos principais objetivos;
- Capítulo 2 – Descrição das metodologias, técnicas, materiais, equipamentos e *software* utilizados no decorrer do estudo tanto no campo como em gabinete;
- Capítulo 3 – Suporte teórico das noções principais necessárias à melhor compreensão da temática em estudo, hidrogeologia aplicada: ciclo hidrológico; distribuição vertical da água subterrânea; formações geológicas e sua classificação; parâmetros hidrogeológicos, organoléticos e físico-químicos; contaminação das águas subterrâneas, principais focos, potencial grau de contaminação e vulnerabilidade;

- Capítulo 4 – Caso prático – descrição das duas bacias hidrográficas em estudo (Asprela e Massarelos) relativamente à sua localização geográfica, ocupação do solo, geomorfologia, geologia, hidrogeologia e hidroclimatologia; apresentação do inventário hidrogeológico e de toda a informação retirada do mesmo, assim como dos resultados obtidos da sua análise; apresentação do inventário das atividades potenciais de contaminação das águas subterrâneas e de toda a informação retirada do mesmo, apresentação dos resultados obtidos a partir da sua análise e análise da relação das atividades inventariadas com os índices de vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas GOD-S e DRASTIC;
- Capítulo 5 – Apresentação das conclusões retiradas no decurso da investigação e dos principais trabalhos a desenvolver no futuro;
- Capítulo 6 – Listagem de todas as fontes bibliográficas utilizadas ao longo do documento.



---

## ***2. Metodologias e técnicas***

---



## 2. Metodologias e técnicas

A investigação desenvolvida assentou, numa primeira fase, na recolha sistemática do maior número de elementos bibliográficos existentes (*e.g.*, artigos científicos, monografias, teses, cartografia, ...) sobre as áreas alvo do presente estudo, ou seja, as bacias hidrográficas da Asprela e Massarelos.

Em termos de cartografia hidrogeológica, recorreu-se a diversas técnicas e códigos associados à cartografia hidrogeológica em maciços cristalinos (*e.g.*, Larsson, 1984; Struckmeier et al., 1986; Struckmeier & Margat, 1995; CFCFF, 1996; Bisson & Lehr, 2004; Assaad et al., 2004; Singhal & Gupta, 2010). Seguiram-se, igualmente, as recomendações metodológicas e as técnicas utilizadas em hidrogeologia em meios urbanos por Afonso (2011) e Afonso et al. (2010, 2014), bem como as técnicas cartográficas em estudos de geociências de engenharia em áreas urbanas (Chaminé et al., 2010), hidrogeografia histórica em núcleos urbanos antigos (Freitas et al., 2014) e de hidrogeomorfologia (Teixeira, 2011; Teixeira et al., 2013, 2015). As referências e as metodologias propostas para a avaliação da contaminação das águas subterrâneas, foram igualmente tidas em conta (*e.g.*, Vrba & Zaporozec, 1994; Zaporozec, 2004; Fetter, 2008).

A partir da informação de base bibliográfica, procedeu-se, seguidamente, no terreno, à inventariação hidrogeológica relevante (*e.g.*, nascentes, furos, poços, fontanários, ...) e às principais atividades potenciais de contaminação das águas subterrâneas (*e.g.*, estações de serviço, jardins, cemitérios, ...).

Para a presente investigação recorreu-se aos equipamentos disponíveis no Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada (LABCARGA) do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP). Para a implementação de ambos os inventários, com a seleção prévia da base cartográfica, em suporte SIG, a adotar, recorreu-se a duas fichas de inventário (Figuras 1 e 2), para acompanhar, posteriormente, o trabalho de campo.

Durante os trabalhos de inventariação hidrogeológica de terreno foram avaliados, sempre que possível, de uma forma sistemática alguns parâmetros organoléticos e físico-químicos dos pontos de água inventariados, tais como turbidez, sabor, cor, cheiro, pH, condutividade elétrica e temperatura. O aparelho utilizado na medição dos parâmetros físico-químicos foi o equipamento multi-paramétrico portátil HI991300 da Hanna® Instruments. Para além destes parâmetros, foi controlado, sempre que possível, o caudal (Figura 3).

Foi conferido a cada Freguesia do Concelho do Porto um número de 1 a 7 (P\_01 a P\_07), para que fosse utilizado na denominação de cada ponto estudado, identificando-se assim logo a sua localização (Quadro 1). Seguido deste número foi utilizado outro número para se distinguir dos restantes ocorrentes na mesma Freguesia.

## Ficha de inventário hidrogeológico

<b>Nº de inventário:</b>		<b>Denominação:</b>		<b>Classificação:</b>	
<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
Planta de localização*		Mapa hidrogeológico		Fotografia	
Carta Militar de Portugal:		Escala:		Cota (m):	
Coordenadas (WGS84):		Latitude:		Longitude:	
Condições de acesso:		Fácil:	Difícil:	Condicionado:	Inacessível:
Observações:					
<b>Proprietário</b>					
Câmara Municipal:		Outro:			
Morada:					
<b>Geomorfologia (T- Topo; I- Intermédio; B- Base)</b>					
Planalto (T; B):		Encosta (T; I; B):			
Vale (T; I; B):		Observações:			
<b>Enquadramento Geológico e Hidrogeológico**</b>					
Carta geológica:		Escala:			
Litologia:					
Carta hidrogeológica:		Escala:			
Unidade hidrogeológica local (ver mapa em anexo):					
Armadilha hidrogeológica suposta (e.g. falha, contacto geológico, filão):					
<b>Condições de ocorrência</b>					
Nascente:		Mina de água:		Tubo (diâmetro, cm):	
Área alagada/charca:		Solo (S) / Rocha (R):		Outro:	
<b>Hidroclimatologia***/Hidrogeologia</b>					
Data:		Hora:		Temperatura do ar (°C):	
Humidade relativa (%):					
Turbidez:		Sabor:		Cheiro:	
Cor:					
Caudal (L/s):		Medido com:		Temperatura da água (°C):	
pH:		Cond. eléctrica (µS/cm):		Observações:	
Recolha para análise laboratorial:		Sim/Não:		Referência:	
Tipo de análise [química (Q), isotópica (I)]:					
<b>Utilização</b>					
Consumo humano:		Uso industrial:			
Uso agrícola:		Observações:			
<hr/>					
Preenchido por:		Verificado por:			
Data:		Data:			

\* CMP - Câmara Municipal do Porto (2005)

\*\* Carrington da Costa & Teixeira (1957); Pedrosa (1998, 1999); COBA (2003); Afonso (2011)

\*\*\* Estação meteorológica do ISEP (<http://meteo.isep.ipp.pt/>)

Figura 1 – Modelo de ficha de inventário hidrogeológico, em meios urbanos, utilizado no trabalho de campo (modelo LABCARGA | ISEP).





Figura 3 – Diversos aspetos do trabalho de campo.

Quadro 1 – Denominação de cada Freguesia referente ao Concelho do Porto.

Freguesias do Concelho do Porto	ID_Freguesia
União das Freguesias de Aldoar, Foz do Douro e Nevogilde	P_01
Freguesia de Ramalde	P_02
União das Freguesias de Lordelo do Douro e Massarelos	P_03
Freguesia de Paranhos	P_04
União das Freguesias de Ceedoifeita, Sto. Ildefonso, Sé, Miragaia, S. Nicolau e Vitória	P_05
Freguesia de Bonfim	P_06
Freguesia de Campanhã	P_07

Foram reconhecidos e localizados 29 pontos de água no terreno, que conduziram à realização de uma campanha de terreno em 2014.

No que diz respeito aos potenciais focos de contaminação, foram reconhecidos e localizados 139 atividades no terreno, que conduziram à realização de uma campanha de terreno em 2014.

Em todos os pontos foram confirmadas as coordenadas geográficas, recorrendo ao equipamento GPS de alta precisão, GPS Trimble GeoExplorer GeoXH2005 (Figura 4).



Figura 4 – Exemplo da utilização do GPS de alta precisão Trimble® GeoExplorer GeoXH2005 na georreferenciação dos pontos de água e dos potenciais focos de contaminação.

Com base nos trabalhos de investigação de doutoramento de L. Freitas relativos à análise da vulnerabilidade das águas subterrâneas à contaminação para a cidade do Porto, procedeu-se ao cruzamento do inventário dos potenciais focos de contaminação com aquela análise.

O tratamento de todos os dados de campo foi realizado, posteriormente, em gabinete, tendo-se recorrido aos Sistemas de Informação Geográfica (SIG). A este respeito foram aplicadas diversas ferramentas recorrendo ao programa da ESRI® ArcGIS 9.3, para a digitalização, georreferenciação e vetorização de toda a documentação cartográfica, bem como para o tratamento, a integração e a síntese de toda a informação. Além disso, como complemento a este programa, recorreu-se ainda ao OCAD® for Cartography, version 11.

Foi criada uma base de dados “BD GIS|HidroUrban”, parte integrante dos trabalhos de investigação de doutoramento de L. Freitas, recorrendo ao *Microsoft Office Access*, sistema de gestão de base de dados da Microsoft®, incluído no pacote do *Microsoft Office Professional*, que combina a *Microsoft Jet Database Engine* com uma interface gráfica do utilizador. Este *software* permite o desenvolvimento rápido de aplicações que envolvem tanto a modelação e estrutura de dados, como também a interface a ser utilizada pelos utilizadores.



---

### ***3. Hidrogeologia aplicada***

---



### 3. Hidrogeologia aplicada

#### 3.1. Generalidades

O estudo da água é de extrema importância para a humanidade, uma vez que esta é um recurso essencial à vida. Trata-se de um componente indispensável à sobrevivência de toda a biosfera, logo do Homem e de todas as espécies de seres vivos existentes. Desta forma, ao longo dos tempos, muitos povos se instalaram nas margens dos rios e dos oceanos, devido à importância que a água tinha nas civilizações. A água é utilizada para múltiplos fins e os volumes para os diversos usos são distintos (Figura 5, Quadro 2).



Figura 5 – Usos da água (adaptado de [http://www.Ineg.pt/CienciaParaTodos/edicoes\\_online/diversos/guiao\\_gota\\_agua](http://www.Ineg.pt/CienciaParaTodos/edicoes_online/diversos/guiao_gota_agua)).

Quadro 2 – Exemplos de utilização da água (adaptado de Brassington, 2007).

<b>Tipo de uso</b>	<b>Quantidade de água necessária (L)</b>
<b>Uso doméstico (por pessoa/por dia):</b>	
Beber e cozinhar	4
Lavagem e banhos	45
Autoclismo	50
Limpezas e lavagem de louça	14
Valor médio diário necessário por pessoa	135
<b>Uso por animais (necessidades diárias):</b>	
Vacas (produção de leite e uso de laticínios)	150
Gado bovino	25 - 45
Bezerros	15 - 25
Cavalos	50
Porcos	15 - 20
Porcas em lactação	15 - 30
Leitões desmamados	5
Ovelhas (beber)	2,5 - 5
Desinfecção de ovelhas (por desinfecção)	2,5
Aves de capoeira (por 100 aves)	20 - 30
Engorda de aves (por 100 aves)	13
Engorda de perús (por 100 perús)	55 - 75
<b>Atividades industriais</b>	
Papel (tonelada)	2270 - 35000
Tijolo (tonelada)	15000 - 30000
Aço (tonelada)	2800 - 62000
Cosméticos (tonelada)	4180
Automóvel (cada)	2600 - 8000
Veículo comercial (cada)	12000 - 16000

A hidrologia define-se como o estudo da quantidade, distribuição e propriedades das águas nas terras emersas, e das suas relações com o ambiente (*e.g.*, Custodio & Llamas, 2001; Lencastre & Franco, 2006).

A hidrogeologia é um domínio da hidrologia que estuda o armazenamento, circulação e distribuição das águas terrestres na zona saturada das formações geológicas, tendo em conta as suas características físico-químicas e as suas interações com o meio físico, biológico e resposta à ação do Homem (*e.g.*, Custodio & Llamas, 2001; Fetter, 2001; Younger, 2007).

A hidrogeologia pode-se dividir em dois ramos: a hidrodinâmica (estudo da componente dinâmica das águas subterrâneas) e a hidrogeoquímica (estudo da inter-relação química entre as águas subterrâneas e as formações geológicas).

A água é um ótimo solvente e por essa razão pode conter nela diversas substâncias dissolvidas. Ao longo do seu percurso, as águas subterrâneas vão interagindo com as formações geológicas e, ao

mesmo tempo, vão dissolvendo e incorporando substâncias, tornando-se assim mais mineralizadas (*e.g.*, Custodio & Llamas, 2001; Fitts, 2013).

O uso e gestão dos recursos hídricos disponíveis é globalmente um problema quantitativo e qualitativo. A água enquanto composto conhecido dotada de características físico-químicas próprias que afetam e condicionam o seu uso, não aparece na Natureza no seu estado puro (*e.g.*, Mendes & Oliveira, 2004).

A água ocorre na Natureza associada a diversas substâncias existentes em solução e/ou suspensão. Estas substâncias vão afetar as capacidades potenciais de aplicação que condicionam os possíveis usos da água. Assim é necessário associar-se à quantificação da água a indicação da sua qualidade. A sua qualidade é definida como sendo aquilo que a caracteriza, ou seja, a sua adaptabilidade para os vários fins que pode ter (*e.g.*, Mendes & Oliveira, 2004).

Uma água contaminada trata-se de uma água que contenha qualquer substância a mais do que uma água dita normal (*e.g.*, microrganismos e substâncias químicas), para que esta seja imprópria para o fim a que se destina. Os principais focos de contaminação são, entre outros, as atividades agrícolas, as atividades urbanas e industriais, e as atividades mineiras.

A água com características próprias para o consumo é muito escassa, devido ao facto da totalidade da água existente no planeta, 97% ser salgada e encontrar-se nos oceanos (Figura 6, Quadro 3). Dos restantes 3%, 77% situa-se nas calotes polares e glaciares, 22% constituem a água subterrânea e 1% ocorre nos rios, lagos, solos e atmosfera. Assim, a água doce utilizável representa 8 500 000 km<sup>3</sup>, isto é, 0,6% de toda a água existente no planeta Terra (*e.g.*, Feitosa & Filho, 2000; Custodio & Llamas, 2001; Press et al., 2004).

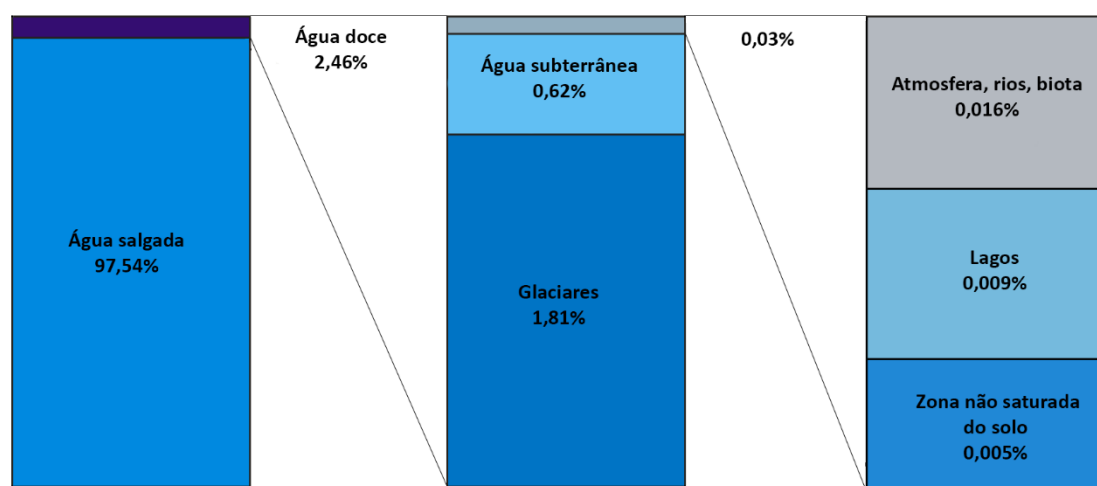


Figura 6 – Distribuição da água na Terra (adaptado de IGM, 2001).

Quadro 3 – Principais reservatórios de água no planeta Terra (adaptado de IGM, 2001).

Reservatórios	Volume aproximado de água (km <sup>3</sup> )	% aproximada de água total
Oceanos	1 320 000 000	96,1
Glaciares	29 000 000	2,13
Água subterrânea	8 300 000	0,61
Lagos	125 000	0,009
Mares interiores	105 000	0,008
Humidade do solo	67 000	0,005
Atmosfera	13 000	0,001
Rios	1 250	0,0001
<b>Volume total de água</b>	<b>1 360 000 000</b>	<b>100</b>

### 3.2. O Ciclo Hidrológico

A água que ocorre no planeta Terra não constitui uma realidade estática. Esta integra-se em complexos biogeoquímicos, que a vão mantendo numa circulação permanente, entre os vários compartimentos constituintes do ciclo planetário (*e.g.*, Mendes & Oliveira, 2004).

A única substância que ocorre na Natureza, em circunstâncias normais, em todos os estados da matéria (sólido, líquido e gasoso) é a água. A coexistência dos três estados referidos implica que ocorram transferências de águas contínuas de um estado para outro (*e.g.*, Custodio & Llamas, 2001; Press et al., 2004).

Estabelece-se assim um sistema fechado, no qual a quantidade da água existente que se distribui pelos oceanos, continentes e atmosfera se vai mantendo constante, sendo que é neste próprio sistema que a água é mantida em constante circulação, através da energia calorífica do sol e da atração da gravidade terrestre. Este ciclo é designado como ciclo da água ou ciclo hidrológico (Figura 7) (*e.g.*, Custodio & Llamas, 2001; Mendes & Oliveira, 2004).

A água que resulta da evaporação dos oceanos, lagos, rios e a água proveniente dos solos e da transpiração dos seres vivos (animais e plantas) eleva-se em conjunto, dando origem ao fenómeno da evapotranspiração. O vapor resultante deste fenómeno ascende e depois arrefece ao atingir temperaturas reduzidas nos níveis mais altos da atmosfera, condensa-se e origina as nuvens, neblinas e nevoeiros (*e.g.*, Fetter, 2001; Brassington, 2007).

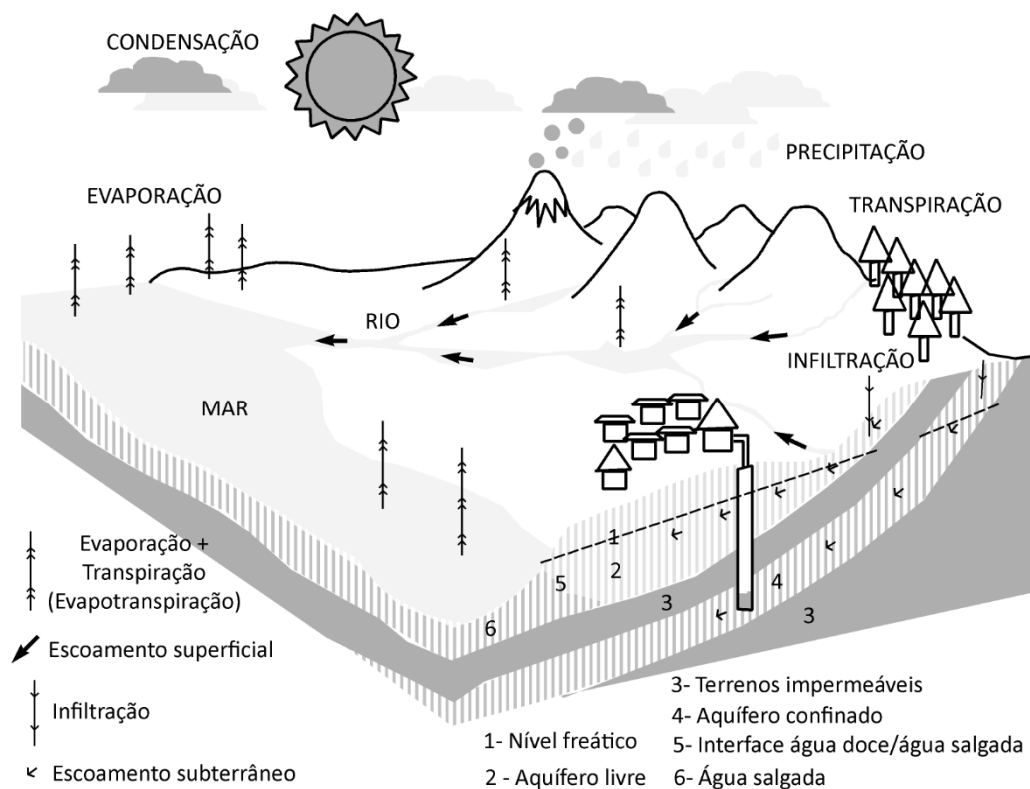


Figura 7 – O Ciclo Hidrológico (adaptado de Ferreira et al., 2012).

Através das correntes de ar é promovido o movimento das nuvens em redor da Terra, o que faz com que as gotículas de água se aglutinem tornando-se mais pesadas e originando a precipitação, a qual pode ocorrer sob a forma líquida (chuva e orvalho) ou sólida (neve, granizo e geada) (e.g., Fetter, 2001; Fitts, 2002).

A água que cai sobre os continentes pode ainda gerar um escoamento superficial dando origem à formação de cursos de água. A água restante infiltra-se no solo e é sujeita a evaporação direta para a atmosfera e retida pela vegetação, que através da transpiração a devolve novamente à atmosfera, ocorrendo assim a evapotranspiração. Este processo ocorre na parte superior da zona não saturada. A água que continua a infiltrar-se irá atingir a zona saturada (aquífero) (e.g., Feitosa & Filho, 2000; Weight, 2000; Fetter, 2001) (Figura 8).

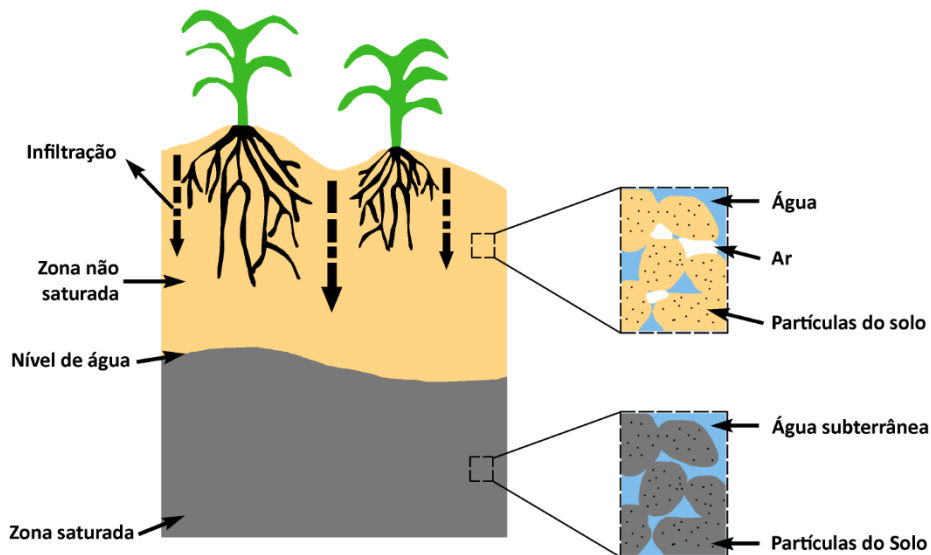


Figura 8 – Zona saturada e zona não saturada do subsolo (adaptado de IGM, 2001).

O escoamento subterrâneo origina a recarga dos aquíferos podendo ressurgir à superfície através de nascentes, ou ir diretamente para as massas de água superficiais como rios, lagos, mares e oceanos. A circulação desta água é mais lenta que a da água do escoamento de superfície. Quer a qualidade quer a velocidade da água que circula nas várias fases do ciclo hidrológico dependem de diferentes fatores, tais como a cobertura vegetal, a altitude, a topografia, a temperatura, o tipo de solo e a geologia (e.g., Feitosa & Filho, 2000; Weight, 2000; Fetter, 2001).

### 3.3. Distribuição vertical da água subterrânea

A água que ocorre abaixo da superfície do terreno, contida no solo e nas formações geológicas, divide-se ao longo da vertical por duas zonas, de acordo com a proporção relativa do espaço poroso que a água ocupa, a zona saturada e a zona não saturada (e.g., Feitosa & Filho, 2000; Fetter, 2001) (Figura 9). A zona saturada situa-se abaixo da superfície freática, lugar geométrico dos pontos em que a água se encontra à pressão atmosférica, e contém os seus vazios totalmente preenchidos por água. A zona não saturada ou zona vadosa fica situada entre a superfície freática e a superfície do terreno e contém os seus vazios parcialmente preenchidos por água e gases (ar e vapor de água). De baixo para cima, esta zona pode dividir-se em três subzonas:

- Zona capilar, situa-se desde a superfície freática até ao limite de ascensão capilar da água. Os fatores dos quais depende a sua espessura são a distribuição da dimensão dos poros e a homogeneidade do terreno. Devido ao facto da humidade diminuir de baixo para cima, na parte interior, próximo da superfície freática, os seus vazios encontram-se quase

totalmente saturados. Nas partes mais superiores apenas se encontram preenchidos os poros de menor dimensão, o que faz com que o limite superior dessa zona tenha geralmente forma irregular. Aqui pode ser incluído o conceito de franja capilar, que se trata de um limite abaixo do qual o solo é considerado quase completamente saturado (aproximadamente 75%);

- Zona intermédia, situa-se entre o limite de ascensão capilar da água e o limite de alcance por parte das raízes das plantas. A água capilar isolada, fora do alcance das raízes e a água de retenção por forças não capilares é o que dá origem à humidade existente nessa zona;
- Zona de evapotranspiração, encontra-se entre os extremos radiculares da vegetação e a superfície do terreno. A sua espessura pode variar desde poucos centímetros (na ausência de cobertura vegetal) até vários metros (em regiões com vegetação abundante). As plantas utilizam assim a água capilar isolada ou suspensa, para as suas funções de transpiração e nutrição.

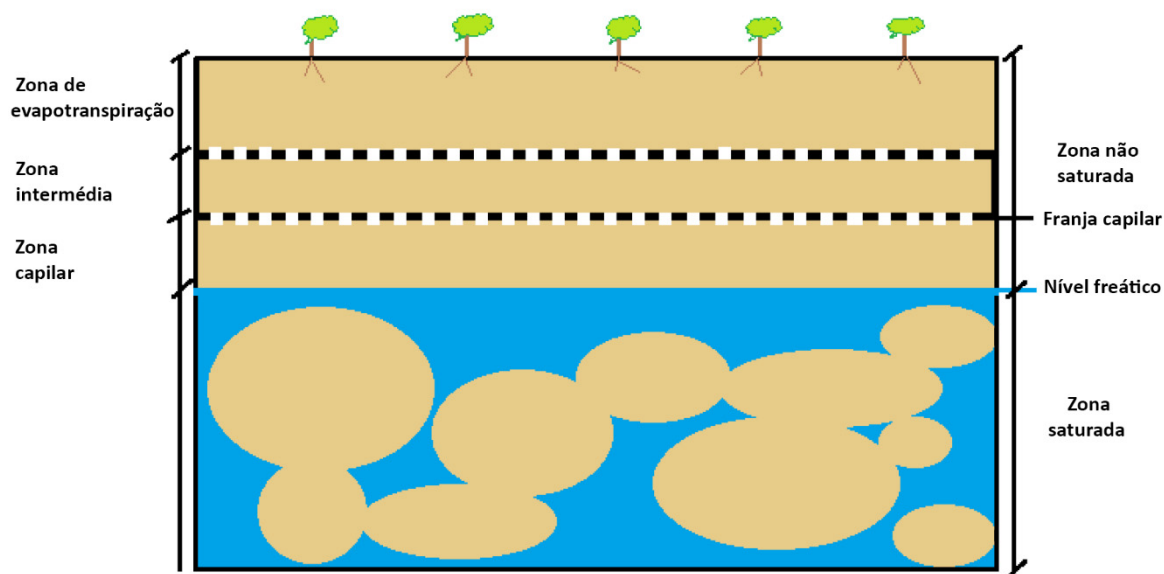


Figura 9 – Representação esquemática da distribuição vertical da água no solo e subsolo (adaptado de Rodrigues et al., 2010).

### 3.4. Formações geológicas: noções e tipos

As formações geológicas apresentam uma grande variedade de litologias, de texturas e de estruturas, as quais influenciam as suas características hidrogeológicas. Em termos hidrogeológicos estas formações podem ser divididas em quatro grupos (*e.g.*, Custodio & Llamas, 2001; Fetter, 2001; Cleary, 2007; González de Vallejo & Ferrer, 2011; Rodrigues et al., 2010) (Quadro 4):

- **Aquíferos** - Formações geológicas saturadas que armazenam e transmitem água subterrânea em quantidades significativas, de forma económica e sem impactos ambientais negativos, possibilitando o aproveitamento da mesma pelo Homem (*e.g.*, areias, cascalhos, aluviões, granitos ou outras rochas compactas com fraturação importante). São formações com uma elevada capacidade de drenagem, onde através de furos e poços podem ser perfuradas para satisfazer as necessidades humanas;
- **Aquitardos** - Formações geológicas saturadas que retardam a circulação da água subterrânea. Estão normalmente associadas a rochas de baixa permeabilidade, podendo desempenhar um papel fundamental no fluxo subterrâneo regional (*e.g.*, areias argilosas, xistos argilosos, rochas compactas com fraturação/alteração moderadas);
- **Aquicludos** - Podem armazenar grandes quantidades de água, mas não a transmitem, e a sua drenagem é realizada com grande dificuldade. A água que ocupa os poros da formação (argilas, argilas plásticas e argilas siltosas) não pode ser captada. Na classificação hidrogeológica estas formações são classificadas como impermeáveis;
- **Aquíferos** - Formações que não armazenam nem transmitem água. Entre elas ocorrem materiais de rocha dura, como granitos, gnaisse e calcários não carsificados bem compactados. Estes materiais são impermeáveis, a menos que contenham fraturas e descontinuidades que permitam o fluxo da água.

Modernamente, a designação de camada confinante engloba os antigos conceitos de aquícludo, de aquífugo e, por vezes, de aquífugo, entretanto caídos em desuso na literatura técnica (Rodrigues et al., 2010).

Quadro 4 – Água subterrânea e comportamento das formações geológicas (adaptado de González de Vallejo & Ferrer, 2011).

Tipos	Capacidade de armazenamento	de Capacidade de drenagem	de Capacidade de transmitir	Formações Geológicas (Exemplos)
Aquíferos	Alta	Alta	Alta	Cascalhos, areias e calcários
Aquitardos	Alta	Média a baixa	Baixa	Siltos, areias siltosas e argilosas
Aquícludos	Alta	Muito baixa	Nula	Argilas
Aquíferos	Nula	Nula	Nula	Granitos, gnaisse e mármore

### 3.4.1. Classificação dos aquíferos quanto ao tipo de permeabilidade

A classificação dos aquíferos pode ser feita relativamente ao tipo de permeabilidade, a saber (*e.g.*, Carvalho & Amador, 2001; González de Vallejo & Ferrer, 2011; Rodrigues et al., 2010), (Figura 10):

- **Aquíferos porosos** - Neste tipo de aquíferos a permeabilidade é devida à porosidade intergranular, onde a água que é armazenada circula através de poros conectados. Exemplos de formações geológicas com estas características são as formações detríticas (areias, conglomerados, cascalhos) e vulcânicas (piroclastos). Se o material for muito fino (constituído por siltes ou argilas), as condições para o armazenamento e circulação da água diminuem. Pelo contrário, se o meio for constituído, por exemplo, por areias e cascalhos de depósitos aluvionares, estas formações serão bastante permeáveis e com boas condições para o armazenamento e circulação da água entre os seus grãos;
- **Aquíferos fissurados/fraturados** - Neste caso, a permeabilidade das formações geológicas deve-se à existência de descontinuidades geológicas de origem mecânica (fissuras, fraturas, diaclases e falhas). Neste tipo de aquíferos a água circula pelas fissuras/fraturas, sendo influenciada pelo número e abertura das mesmas. Como exemplos deste tipo de aquíferos destacam-se as rochas cristalinas, em particular, os granitos, gabros, xistos, gnaisses e quartzitos;
- **Aquíferos cársicos** - Neste tipo de aquíferos, a circulação da água realiza-se através das cavidades resultantes da dissolução química em formações geológicas carbonatadas, em particular calcários e dolomitos.

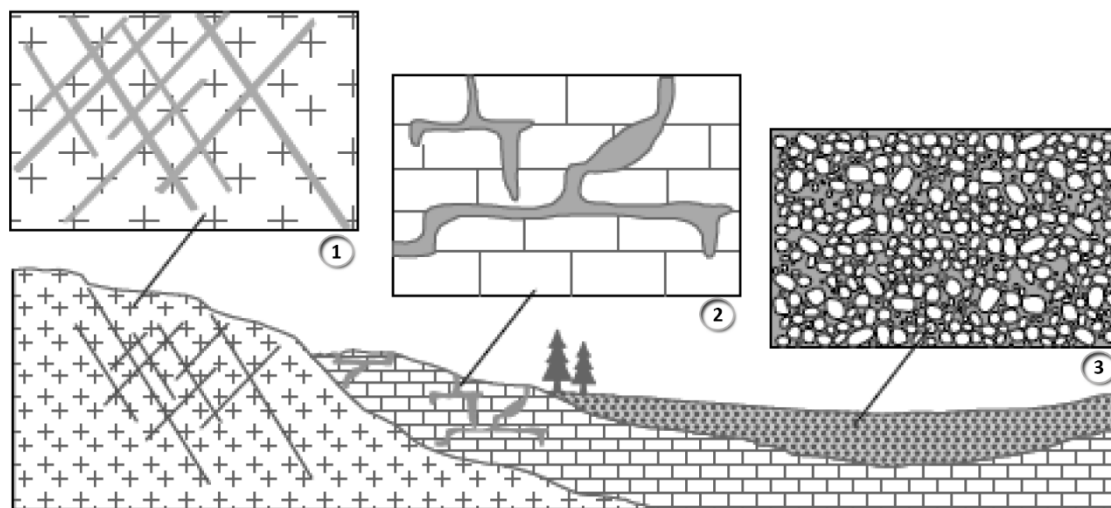


Figura 10 – Tipos de aquíferos quanto à permeabilidade. 1: aquífero fissurado/fraturado, 2: aquífero cársico, 3: aquífero poroso (adaptado de Ferreira et al., 2012).

Podem ocorrer mais do que um tipo de sistema aquífero em simultâneo, nomeadamente:

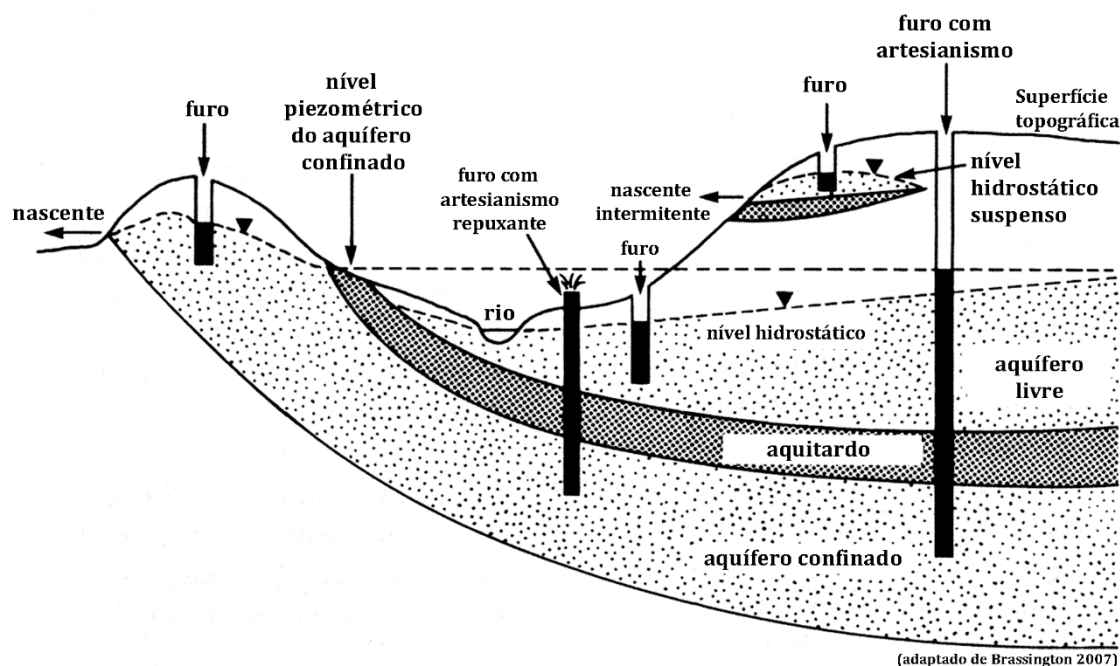
- Regiões vulcânicas – alternância de escoadas fissuradas e piroclastos, contendo ou não tubos de lava;

- Granitos – podem ser constituídos por uma zona superior muito alterada, onde se realiza a circulação da água através dos poros e por uma zona inferior de rocha não alterada (rocha sã), onde a água circula através de fraturas;
- Calcários – podem ser tanto fissurados como cársicos, circulando a água através de fissuras da própria rocha, e de condutas ou rios subterrâneos.

### 3.4.2. Classificação dos aquíferos quanto às características estruturais e hidráulicas

A posição relativa entre aquíferos e camadas confinantes permite classificar os aquíferos em três tipos, a saber (*e.g.*, Fetter, 2001; Cleary, 2007; González de Vallejo & Ferrer, 2011), ([Figura 11](#)):

- **Aquífero livre, freático ou não confinado** - Formação geológica permeável, parcialmente saturada de água, em que a sua base é limitada por uma camada confinante e o seu nível superior é o nível freático. Como a superfície livre da água está em contacto com o ar, o nível da água, neste tipo de aquíferos, encontra-se à pressão atmosférica. Um facto que facilita a exploração deste tipo de aquíferos e a sua contaminação, é a sua localização, uma vez que estes são superficiais ou sub-superficiais;
- **Aquífero suspenso** - Trata-se de um aquífero livre que ocorre acima do nível de saturação regional, causado pela existência, na base, de uma camada impermeável. Existe uma zona não saturada sob a camada confinante;
- **Aquífero confinado ou cativo** - Formação geológica permeável, onde a água ocupa a totalidade dos poros da formação, tornando-a completamente saturada de água. É limitada na base e no topo por formações impermeáveis. A pressão da água neste tipo de aquíferos é superior à pressão atmosférica;
- **Aquífero semi-confinado** - Formação geológica semelhante à do aquífero confinado, mas limitado por um aquífero superior bem alimentado, uma camada semipermeável ou aquitardo, e um aquífero inferior semi-confinado, permitindo assim a passagem gradual de água. A diferença entre os níveis superior e inferior fomenta a transferência de água na vertical, que alimenta o aquífero inferior.



(adaptado de Brassington 2007)

Figura 11 – Ilustração dos vários tipos de aquíferos (adaptado de Brassington, 2007).

Na realização de furos em aquíferos livres e confinados, o comportamento destes não é o mesmo (Figuras 11 e 12). Se um furo é realizado num aquífero livre, o nível da água não se eleva e corresponde ao nível da água (nível freático) no aquífero. Este facto ocorre porque a água se encontra à pressão atmosférica. Se, por outro lado, um furo for realizado num aquífero confinado, o nível da água (nível piezométrico) vai subir acima do teto do aquífero devido à pressão exercida pelo peso das camadas confinadas sobrejacentes. Este fenómeno é denominado de artesianismo, que pode ser classificado de duas formas: artesianismo positivo (quando o nível piezométrico atinge e ultrapassa a superfície, furo repuxante), e artesianismo negativo (quando o nível piezométrico não atinge a superfície).

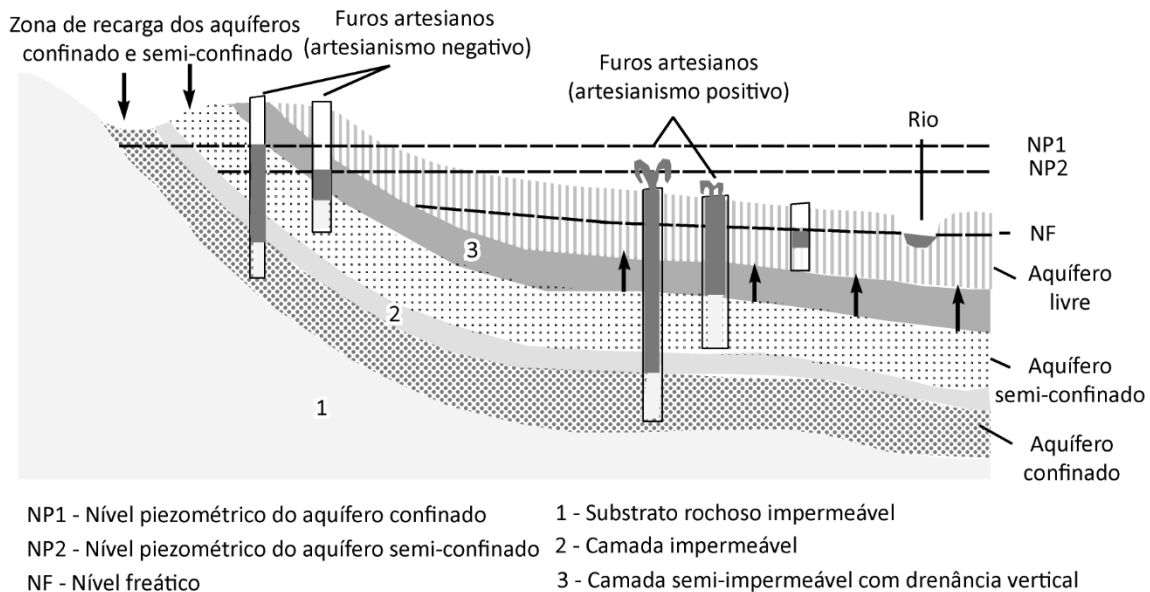


Figura 12 – Comportamento dos furos efetuados em aquíferos livres e confinados (adaptado de Ferreira et al., 2012).

O nível da água nos aquíferos, não sendo estático, varia, entre outros, com: a precipitação; a extração de água subterrânea; os efeitos de maré nos aquíferos costeiros; a variação súbita da pressão atmosférica, geralmente na estação do Inverno; as alterações do regime de escoamento de rios influentes (que recarregam os aquíferos); a evapotranspiração.

### 3.4.3. Classificação dos aquíferos quanto à localização geográfica

Quanto à sua localização geográfica, os aquíferos podem ser classificados em (*e.g.*, Feitosa & Filho, 2000; Carvalho & Amador, 2001):

- **Aquíferos interiores ou continentais** - Nos aquíferos interiores ou continentais a água subterrânea pode transformar-se em água superficial, devido à descarga de base de rios, escoamento em fontes e drenagem agrícola, isto é, um aquífero subterrâneo pode assim alimentar um rio. O contrário também pode acontecer, ou seja, um aquífero pode ser alimentado por um rio. Quando um aquífero alimenta um rio, o rio é designado como rio efluente, enquanto que quando um rio alimenta um aquífero este é denominado como rio influente ([Figura 13](#));
- **Aquíferos costeiros** – Como a água salgada é mais densa, esta forma uma cunha que penetra na parte inferior da região de água doce. Em conjunto a pressão da água doce e o contínuo escoamento para o mar, fazem com que a posição da cunha salina se mantenha

em equilíbrio (Figura 14a). Contudo, quando se realiza o bombeamento de água num aquífero, a pressão da água doce diminui, reduzindo a sua descarga para o mar. Assim, a cunha salina vai avançando podendo mesmo invadir e salinizar a totalidade do aquífero (Figura 14b).

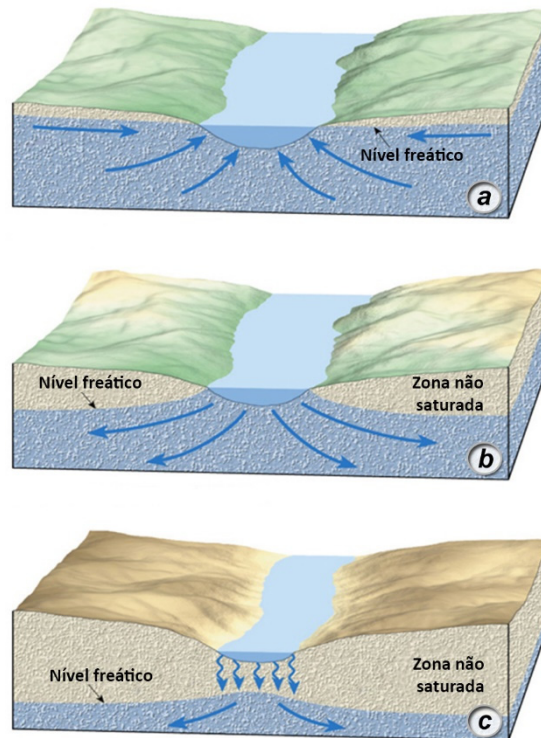


Figura 13 – Relação entre as águas superficiais e subterrâneas: (a) Rio efluente (situação típica de climas húmidos); (b) Rio influente com conexão hidráulica; (c) Rio influente sem conexão hidráulica (situação típica de climas áridos) (adaptado de <http://geology-aguassubterraneas.wikispaces.com/nivel>).

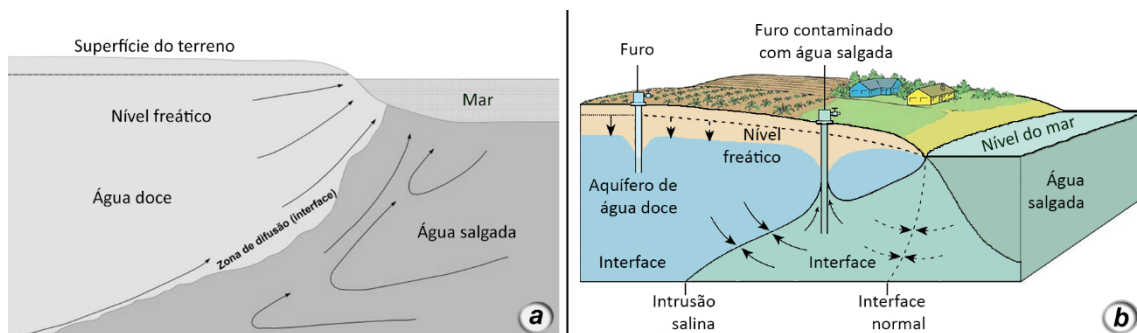


Figura 14 – Aquífero costeiro: (a) água doce, água salgada e cunha salina em equilíbrio hidrodinâmico (adaptado de Feitosa & Filho, 2000); (b) processo de intrusão salina num furo costeiro (adaptado de <https://www.studyblue.com/notes/note/n/study-guide-exam-1/deck/5794205>).

### 3.5. Parâmetros hidrogeológicos

A capacidade de armazenamento e transmissão de água de um aquífero devem ser quantificadas de modo a ser possível avaliar as formações geológicas sob o ponto de vista hidrogeológico. Assim, é necessário que se identifiquem quatro parâmetros básicos, porosidade, coeficiente de armazenamento, permeabilidade e transmissividade, de forma a se descrever como é que as formações geológicas podem conter e transmitir água, definindo assim as características do aquífero (e.g., Feitosa & Filho, 2000; Weight, 2000; Carvalho & Amador, 2001; Fetter, 2001; Cleary, 2007).

#### 3.5.1. Porosidade

A porosidade trata-se da relação entre o volume de poros e o volume total da rocha. É um parâmetro adimensional que não depende da forma geométrica, espessura da formação e características hidráulicas naturais, dependendo apenas da composição da rocha ou do solo. Dependendo do tipo de formação, os espaços vazios podem dever-se a diferentes causas. Nas formações detríticas, os poros são devidos a espaços intergranulares, já nas rochas fissuradas ou cársticas, os poros devem-se a fissuras, diaclases, fraturas e fendas. A porosidade das formações geológicas pode depender apenas da textura, porosidade total ( $n$ ) ([Equação 1](#)), ou da textura e das características do fluido que se move, porosidade efetiva ( $ne$ ) ([Equação 2](#)).

$$n = \frac{\text{Volume dos poros}}{\text{Volume total}} \quad \text{Equação 1}$$

$$ne = \frac{\text{Volume de poros interligados}}{\text{Volume total}} \quad \text{Equação 2}$$

Nas formações detríticas a porosidade total depende da forma, distribuição e empacotamento dos grãos. Devido à sua formação sedimentar natural ou à pressão litoestática, o grau de compactação dos grãos pode ser diverso. O modo de empacotamento das partículas constituintes da rocha é que vai determinar o tipo de poro e a sua porosidade total. A porosidade total varia também consoante o tamanho, forma e disposição dos grãos (formação homogénea ou heterogénea), isto é, se os grãos tiverem a forma de esferas do mesmo tamanho (formação homogénea) existe uma grande porosidade, pelo contrário se os grãos constituintes da formação tiverem vários tamanhos (formação heterogénea), os grãos mais finos vão ocupar o espaço deixado pelos grãos maiores, diminuindo assim a sua porosidade total, facto que também ocorre

quando os grãos constituintes têm formas diferentes e angulosas (*e.g.*, González de Vallejo & Ferrer, 2011).

No Quadro 5 são apresentados valores de porosidade e de porosidade efetiva para vários tipos de solos e rochas.

Quadro 5 – Valores de porosidade (%) e porosidade efetiva (%) para diversos tipos de rochas (adaptado de Kruseman & de Ridder, 1990; Morisson & Johnson, 1967; Hamill & Bell, 1986 in Singhal & Gupta, 2010).

<b>Tipos de rocha</b>	<b>n (%)</b>	<b>ne (%)</b>
Areia	25 - 50	10 - 30
Argila	40 - 70	1 - 5
Arenito	5 - 30	5 - 25
Calcário	< 20	0,5 - 10
Xisto argiloso	< 10	0,5 - 5
Basalto	5 - 50	2 - 10
Granito	< 5	< 3
Granito fraturado e/ou alterado	< 10	10 - 20

### 3.5.2. Coeficiente de armazenamento

Este parâmetro (S) representa a capacidade do aquífero para libertar água. É definido pelo volume de água e altura de um prisma de base unitária, que um aquífero é capaz de libertar quando o nível piezométrico desce uma unidade. Trata-se de um parâmetro físico, que se refere ao volume de água cedido por unidade de volume do aquífero. Tal como a porosidade, o coeficiente de armazenamento é adimensional (*e.g.*, Fetter 2001; Fitts, 2002; Brassington, 2007). Dependendo da sua situação na natureza e do estado dos seus níveis piezométricos, as formações geológicas permeáveis libertam a água de forma diferente, isto é, pode definir-se a diferença da libertação da água entre aquíferos confinados ou livres (Figura 15).

Nos aquíferos confinados, na parte superior do aquífero a pressão é mais elevada que a atmosférica, assim se uma sondagem ligar a superfície com o aquífero, o nível da água vai ascender até ao ponto de equilíbrio, onde se vai encontrar o nível piezométrico. Ao ocorrer o rebaixamento do nível piezométrico do aquífero, se este atingir a parte superior do mesmo, vai conduzir a uma variação das pressões do meio físico, que resultará numa libertação elástica da água. Quando o nível piezométrico baixa, podem ocorrer duas situações: i) à medida que a pressão da água diminui a água expande-se e ii) à medida que a pressão interna da água do aquífero diminui, o aquífero comprime-se.

Nos aquíferos livres, quando o nível piezométrico desce, ocorre o mesmo fenómeno de libertação elástica, embora a água existente nos poros seja libertada, praticamente apenas por drenagem

gravítica. A quantidade de água libertada vai ser praticamente igual ao valor da porosidade efetiva, isto é, nos aquíferos livres o coeficiente de armazenamento coincide com a porosidade efetiva.

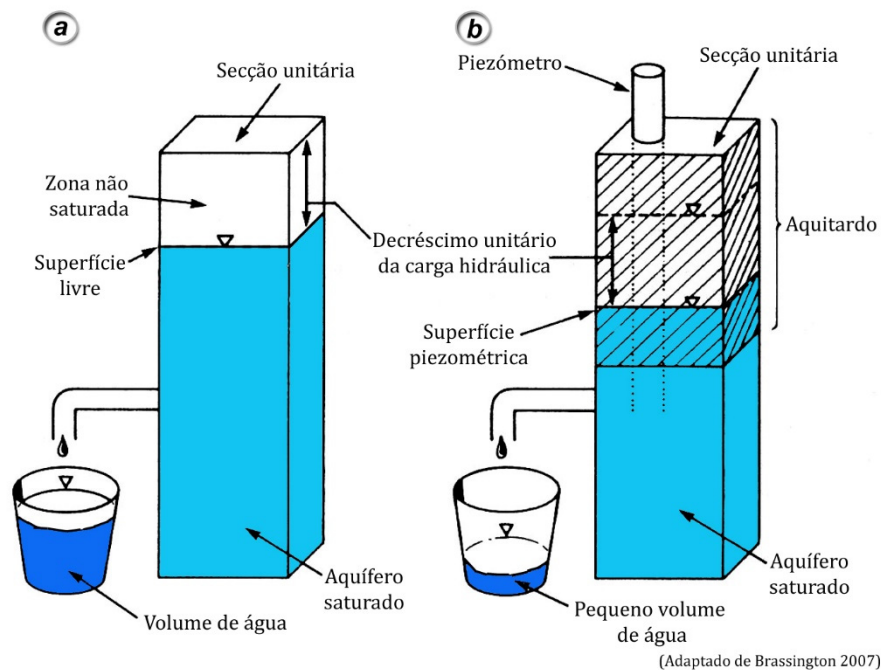


Figura 15 – Representação esquemática do conceito de coeficiente de armazenamento num aquífero livre (a) e confinado (b). No caso (a) a diminuição unitária da carga hidráulica produz um volume de água equivalente à porosidade específica pela drenagem de um volume unitário de aquífero; no caso (b) o decréscimo unitário da carga hidráulica liberta um volume pequeno de água, permanecendo o aquífero totalmente saturado (adaptado de Brassington, 2007).

### 3.5.3. Permeabilidade

A permeabilidade trata-se de um parâmetro que permite avaliar a capacidade de transmissão de água de uma formação geológica, em função da sua textura (e.g., Fetter 2001, Brassington, 2007, Singhal & Gupta, 2010). Este parâmetro pode ser dividido em dois:

- Permeabilidade efetiva ou condutividade hidráulica: relacionada com as características texturais do meio físico e do fluido que transmite. É representada pelo coeficiente de permeabilidade  $K$ .
- Permeabilidade intrínseca: depende apenas das características internas do meio permeável.

Assim, pode dizer-se que o caudal que é capaz de atravessar uma secção unitária de um aquífero com fluxo normal é a permeabilidade efetiva. Esta depende tanto das características do aquífero como das características da água. Tanto a permeabilidade efetiva como a intrínseca relacionam-se através dos parâmetros capazes de definir as características do meio.

No Quadro 6 apresentam-se os vários tipos de rochas em função da sua permeabilidade.

Quadro 6 – Classificação dos tipos de rochas em termos da permeabilidade (adaptado de Brassington, 2007).

Tipo de permeabilidade	Rochas sedimentares		Rochas ígneas e metamórficas	Rochas vulcânicas	
	Não consolidadas	Consolidadas		Não consolidadas	Consolidadas
Intergranular	Areias cascalhentas, areias argilosas, argilas arenosas		Granitos e gnaisses alterados	Basaltos alterados	Bombas e cinzas vulcânicas
Intergranular e secundária		Brechas, conglomerados, arenitos, calcários oolíticos, britas calcárias		Tufos vulcânicos, brechas vulcânicas, pedra-pomes	
Secundária		Calcário, dolomito, calcário dolomítico	Granitos, gnaisses, gabros, xistos, micaxistos, quartzitos e dioritos	Basaltos, andesitos, riolitos	

A Lei de Darcy (Equação 3), é a lei que determina o caudal, e estabelece que o volume e a velocidade da água subterrânea, que circula entre dois pontos, seja diferente de aquífero para aquífero: para o mesmo material geológico o caudal que flui (Q) é diretamente proporcional à área da secção de escoamento (A) e ao gradiente hidráulico ( $\Delta h/L$ ), razão entre a diferença do nível de água entre dois pontos e a distância entre eles (Figura 16).

$$Q = K \cdot A \frac{\Delta h}{\Delta l} = K \cdot A \cdot i \quad \text{Equação 3}$$

Onde,

Q – Caudal ( $L^3T^{-1}$ )

K – Condutividade hidráulica ( $LT^{-1}$ )

A – Área de secção transversal ( $L^2$ )

$\Delta h$  – Diferença de cota piezométrica

$\Delta l$  – Distância (L)

i – Gradiente hidráulico

A Equação 3 pode ser simplificada, resultando na Equação 4:

$$v = K \cdot i \quad \text{Equação 4}$$

Onde,

V – Velocidade de Darcy ou velocidade aparente ( $LT^{-1}$ )

K – Condutividade hidráulica ( $LT^{-1}$ )

i - Gradiente hidráulico

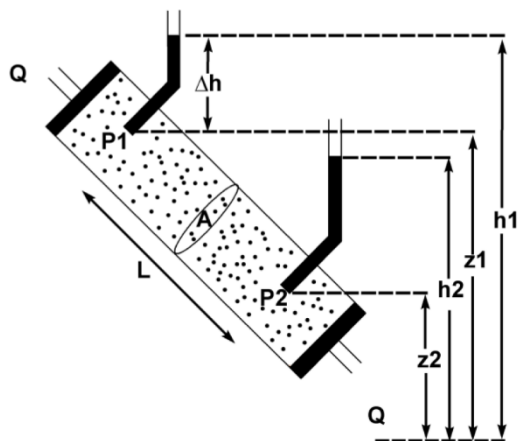


Figura 16 – Esquema ilustrativo da Lei de Darcy (adaptado de Feitosa & Filho, 2000).

No Quadro 7 apresenta-se os valores de condutividade hidráulica mais comuns para diversos tipos de rochas.

Quadro 7 – Valores de condutividade hidráulica de aquíferos, depósitos não consolidados e rochas consolidadas (Brassington, 2007).

Condutividade hidráulica (m/d)	Classificação	Rochas não consolidadas	Rochas consolidadas
0,00001 a 0,001	Muito baixa	Argila maciça	Rochas ígneas e metamórficas maciças
0,001 a 0,1	Baixa	Silte, argila e misturas de areia, silte e argila	Arenito laminado, xisto argiloso e argilito
0,1 a 10	Moderada	Areia fina	Arenito, rochas ígneas e metamórficas fraturadas
10 a 100	Alta	Areia limpa, areia e cascalho	Basalto escoriáceo e vesicular, calcário carsificado e dolomito
100 a 10 000	Muito alta	Cascalho limpo	

**3.5.4. Porosidade vs Permeabilidade**

A conexão hidráulica entre os vazios é fundamental para que a uma elevada porosidade possa corresponder uma elevada permeabilidade (Figura 17). Uma rocha porosa pode ter uma

condutividade hidráulica elevada se os seus poros forem grandes e bem interconetados (*e.g.*, areias e cascalheiras), ou ter uma condutividade hidráulica quase nula se os seus poros forem muito pequenos, retendo a água (*e.g.*, argilas e cinzas vulcânicas).

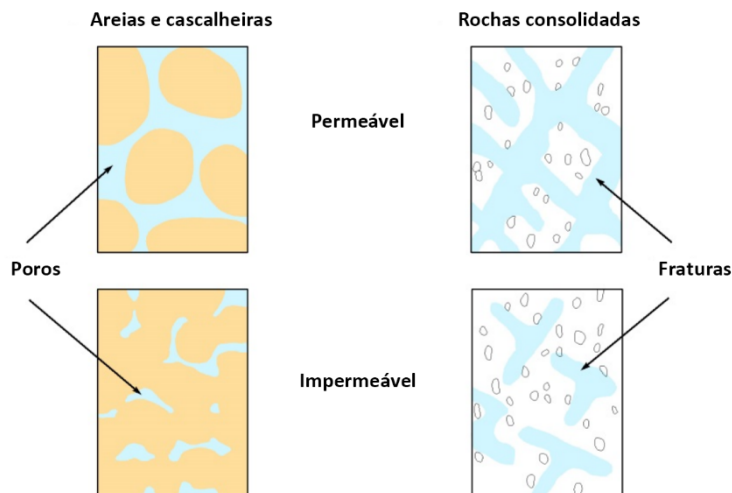


Figura 17 – Porosidade e permeabilidade de rochas não consolidadas e consolidadas (IGM, 2001).

### 3.5.5. Transmissividade

A transmissividade corresponde à capacidade de um aquífero para transmitir água em toda a sua espessura saturada, isto é, é o parâmetro definido para avaliar a capacidade de condução da água dos aquíferos (Equação 5):

$$T = K \cdot e \quad \text{Equação 5}$$

Onde,

T – Transmissividade ( $L^2T^{-1}$ )

K – Condutividade hidráulica ( $LT^{-1}$ )

e – Espessura saturada do aquífero (L)

Ainda que os aquíferos sejam bastante permeáveis e com ótimas características texturais, se estes tiverem uma pequena espessura podem não ser capazes de realizar uma transmissão eficaz, apresentando assim uma baixa transmissividade (*e.g.*, González de Vallejo & Ferrer, 2011). A transmissividade é o parâmetro que mais condiciona o fluxo da água subterrânea, sendo por isso o parâmetro hidrodinâmico mais usado na avaliação de recursos hídricos subterrâneos. Deve determinar-se, preferencialmente, *in situ* através de ensaios de caudal em furos de captação.

### 3.6. Características físico-químicas e outras propriedades da água

O conhecimento das características organoléticas e físico-químicas, bem como de outras propriedades da água subterrânea, permite avaliar a sua adequabilidade para o consumo humano, a irrigação e outros fins. Estas características ajudam, igualmente, a compreender os diversos sistemas aquíferos, nomeadamente a sua tipologia geológica, a relação entre os diferentes sistemas, os mecanismos de recarga/descarga, bem como a interação entre as águas superficiais e subterrâneas.

No Quadro 8 encontram-se sintetizados e descritos, respetivamente, alguns dos principais parâmetros organoléticos e físico-químicos das águas subterrâneas, tendo-se seguido os trabalhos de, nomeadamente, Domenico & Schwartz (1998), Feitosa & Filho (2000), Custodio & Llamas (2001) e Mendes & Oliveira (2004). Quer para os parâmetros físico-químicos, quer para os organoléticos foram ainda acrescentados os valores-guia, valor máximo admissível (VMA), valor máximo recomendável (VMR) e valor paramétrico (VP) estabelecidos para as águas destinadas ao consumo humano pela legislação portuguesa em vigor, Decreto-Lei nº 236/98 de 1 de Agosto e Decreto-Lei nº 306/2007 de 27 de Agosto.

Quadro 8 – Síntese das principais propriedades organoléticas e de algumas das principais propriedades físico-químicas das águas subterrâneas e dos valores-guia estabelecidos para as águas destinadas ao consumo humano (compilado e adaptado de Domenico & Schwartz, 1998; Feitosa & Filho, 2000; Custodio & Llamas, 2001 e Mendes & Oliveira, 2004).

Parâmetros Organoléticos																																																				
Cor (mg/L Pt-Co)	Odor (diluições sucessivas, com uma água inodora a 25°C, até que o aroma deixe de ser identificado)	Sabor (método de diluições sucessivas, baseado na determinação do limiar de detecção do desaparecimento do sabor, após diluições cada vez maiores da água em análise)	Turbidez (UNT)																																																	
Propriedade devida a substâncias (orgânicas ou inorgânicas) que as águas contêm em solução ou em suspensão. Cor aparente (causada por substâncias presentes em solução ou suspensão). Cor real (causada pelas substâncias solúveis presentes). A água para consumo não deverá ter sólidos em suspensão, daí que para o estudo da mesma apenas se considera a cor real. No quadro seguinte apresentam-se algumas cores resultantes das substâncias presentes na água (adaptado de Feitosa & Filho, 2000).	As substâncias contidas na água podem ser de origem biológica (atividade metabólica dos organismos) e humana (contaminação por efluentes agrícolas ou industriais). Nas águas subterrâneas podem sentir-se vários odores dependendo dos compostos constituintes das águas, como sulfuretos (odor a "ovos podres") e enxofre (odor a peixe). Outros odores podem ser originados devido à presença de produtos químicos, matéria orgânica em decomposição e metabolismo de determinados organismos.	O sabor depende do teor, tipos de sais e substâncias em solução ou suspensão na água. A água natural apresenta sabores de origem biológica e geológica, já na água tratada o sabor poderá derivar do cloro que é utilizado no seu tratamento. O sabor não é um indicador de qualidade, porque uma água de sabor agradável pode não ser de boa qualidade. No quadro seguinte apresentam-se alguns dos sabores resultantes da presença de sais e gases na água (adaptado de Mendes & Oliveira, 2004).	Trata-se da dificuldade da água para transmitir a luz, provocada pelos sólidos em suspensão (argilas, siltes, grãos de areia, colóides, plâncton, matéria orgânica), que turvam a água, dificultando a passagem da luz. A turbidez será tanto menor quanto mais eficiente for o tratamento implicado à água.																																																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Substâncias presentes em suspensão e em solução</th> <th>Cor</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ferro</td> <td>Avermelhada</td> </tr> <tr> <td>Magnésio</td> <td>Diversas, escuras</td> </tr> <tr> <td>Cobre</td> <td>Azul</td> </tr> <tr> <td>Substâncias húmicas e produtos da decomposição da matéria orgânica</td> <td>Castanha</td> </tr> </tbody> </table>	Substâncias presentes em suspensão e em solução	Cor	Ferro	Avermelhada	Magnésio	Diversas, escuras	Cobre	Azul	Substâncias húmicas e produtos da decomposição da matéria orgânica	Castanha		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Sais e gases</th> <th>Sabor</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cloreto de sódio</td> <td>Salgado</td> </tr> <tr> <td>Sulfato de sódio</td> <td>Ligeiramente salgado</td> </tr> <tr> <td>Bicarbonato de sódio</td> <td>Ligeiramente salgado a doce</td> </tr> <tr> <td>Carbonato de sódio</td> <td>Amargo e salgado</td> </tr> <tr> <td>Cloreto de cálcio</td> <td>Fortemente amargo</td> </tr> <tr> <td>Sulfato de cálcio</td> <td>Ligeiramente amargo</td> </tr> <tr> <td>Sulfato de magnésio</td> <td>Ligeiramente amargo em saturação</td> </tr> <tr> <td>Cloreto de magnésio</td> <td>Amargo e doce</td> </tr> <tr> <td>Gás carbónico</td> <td>Picante</td> </tr> </tbody> </table>	Sais e gases	Sabor	Cloreto de sódio	Salgado	Sulfato de sódio	Ligeiramente salgado	Bicarbonato de sódio	Ligeiramente salgado a doce	Carbonato de sódio	Amargo e salgado	Cloreto de cálcio	Fortemente amargo	Sulfato de cálcio	Ligeiramente amargo	Sulfato de magnésio	Ligeiramente amargo em saturação	Cloreto de magnésio	Amargo e doce	Gás carbónico	Picante																				
Substâncias presentes em suspensão e em solução	Cor																																																			
Ferro	Avermelhada																																																			
Magnésio	Diversas, escuras																																																			
Cobre	Azul																																																			
Substâncias húmicas e produtos da decomposição da matéria orgânica	Castanha																																																			
Sais e gases	Sabor																																																			
Cloreto de sódio	Salgado																																																			
Sulfato de sódio	Ligeiramente salgado																																																			
Bicarbonato de sódio	Ligeiramente salgado a doce																																																			
Carbonato de sódio	Amargo e salgado																																																			
Cloreto de cálcio	Fortemente amargo																																																			
Sulfato de cálcio	Ligeiramente amargo																																																			
Sulfato de magnésio	Ligeiramente amargo em saturação																																																			
Cloreto de magnésio	Amargo e doce																																																			
Gás carbónico	Picante																																																			
Valor paramétrico (VP), valor máximo recomendável (VMR) e valor máximo admissível (VMA) para águas de consumo humano, segundo os Decretos-Lei 236/98 e 306/2007																																																				
VP - 20 mg/L Pt-Co	VP - 3 (25°C) Fator de diluição	VP - 3 (25°C) Fator de diluição	VP - 4 UNT																																																	
Parâmetros Físico-químicos																																																				
Temperatura (°C)	Condutividade elétrica (µS/cm)		pH (Escala de Sorensen)																																																	
As águas subterrâneas têm temperaturas sensivelmente constantes (12°C a 15°C), sendo a amplitude térmica anual baixa (1°C a 2°C) e independente da temperatura atmosférica, excetuando-se nos aquíferos livres pouco profundos, onde a temperatura é pouco superior à superfície. Em profundidade depende do grau geotérmico (média 1°C/33 m), podendo haver um aumento superior da temperatura causado, por exemplo, por vulcanismo e radioatividade. A classificação das águas de acordo com o critério de Schöeller (1962) apresenta-se no quadro seguinte.	Permite avaliar o grau de mineralização de uma água, uma vez que os sais dissolvidos e ionizados presentes na água transformam-na num eletrólito capaz de conduzir a corrente elétrica. Assim, existe uma relação de proporcionalidade entre o teor de sais dissolvidos e a resistência que ela oferece à passagem da corrente elétrica. A origem destes sais é muito vasta, podendo resultar de processos de lixiviação dos solos ou provir de efluentes e resíduos agrícolas e/ou industriais, que contaminam as águas. A classificação da mineralização e da qualidade das águas com base na condutividade elétrica encontra-se sintetizada no quadro seguinte (adaptado de Mendes & Oliveira, 2004).		Representa uma medida da acidez (ou alcalinidade) da água traduzida pela concentração de hidrogeniões e influenciada pelo caráter tampão que lhe confere, isto é, exprime a atividade do ião hidrogénio. É influenciado pela sua origem e pela natureza dos terrenos atravessados. Solução ácida - pH < 7, solução alcalina - pH > 7 e solução neutra pH = 7. O pH das águas subterrâneas varia geralmente entre 5,5 e 8,5. O quadro seguinte apresenta alguns tipos de água e usos para diversos valores de pH (adaptado de Mendes & Oliveira, 2004).																																																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Classificação das águas naturais termais</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Hipotermiais</td> <td>Se emergem a T &lt; 25°C</td> </tr> <tr> <td>Mesotermiais</td> <td>Se emergem a T &gt; 25°C e ≤ 35°C</td> </tr> <tr> <td>Termais</td> <td>Se emergem a T &gt; 35°C e ≤ 40°C</td> </tr> <tr> <td>Hipertermiais</td> <td>Se emergem a T &gt; 40°C</td> </tr> </tbody> </table>	Classificação das águas naturais termais		Hipotermiais	Se emergem a T < 25°C	Mesotermiais	Se emergem a T > 25°C e ≤ 35°C	Termais	Se emergem a T > 35°C e ≤ 40°C	Hipertermiais	Se emergem a T > 40°C	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Condutividade elétrica (µS/cm)</th> <th>Mineralização</th> <th>Qualidade da água</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>&lt; 100</td> <td>Muito fraca</td> <td>Excelente</td> </tr> <tr> <td>100 - 200</td> <td>Fraca</td> <td>Excelente</td> </tr> <tr> <td>200 - 400</td> <td>Pouco acentuada</td> <td>Excelente</td> </tr> <tr> <td>400 - 600</td> <td>Média</td> <td>Boa</td> </tr> <tr> <td>600 - 1000</td> <td>Importante</td> <td>Utilizável</td> </tr> <tr> <td>1000 - 1500</td> <td>Excessiva</td> <td>Difícilmente utilizável</td> </tr> <tr> <td>&gt; 1500</td> <td>Excessiva</td> <td>Não utilizável na rega</td> </tr> </tbody> </table>	Condutividade elétrica (µS/cm)	Mineralização	Qualidade da água	< 100	Muito fraca	Excelente	100 - 200	Fraca	Excelente	200 - 400	Pouco acentuada	Excelente	400 - 600	Média	Boa	600 - 1000	Importante	Utilizável	1000 - 1500	Excessiva	Difícilmente utilizável	> 1500	Excessiva	Não utilizável na rega	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tipos de água/usos</th> <th>Variações do pH</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Águas naturais</td> <td>7,2 a 7,6</td> </tr> <tr> <td>Águas calcárias</td> <td>&gt; 7</td> </tr> <tr> <td>Águas siliciosas</td> <td>6 a 7</td> </tr> <tr> <td>Água bruta ou para recreio</td> <td>5 a 9</td> </tr> <tr> <td>Água para peixes ou vida aquática</td> <td>6 a 9</td> </tr> <tr> <td>Água para gado e animais selvagens</td> <td>5 a 9</td> </tr> <tr> <td>Água para rega e produção hidroelétrica</td> <td>5 a 9</td> </tr> </tbody> </table>	Tipos de água/usos	Variações do pH	Águas naturais	7,2 a 7,6	Águas calcárias	> 7	Águas siliciosas	6 a 7	Água bruta ou para recreio	5 a 9	Água para peixes ou vida aquática	6 a 9	Água para gado e animais selvagens	5 a 9	Água para rega e produção hidroelétrica	5 a 9
Classificação das águas naturais termais																																																				
Hipotermiais	Se emergem a T < 25°C																																																			
Mesotermiais	Se emergem a T > 25°C e ≤ 35°C																																																			
Termais	Se emergem a T > 35°C e ≤ 40°C																																																			
Hipertermiais	Se emergem a T > 40°C																																																			
Condutividade elétrica (µS/cm)	Mineralização	Qualidade da água																																																		
< 100	Muito fraca	Excelente																																																		
100 - 200	Fraca	Excelente																																																		
200 - 400	Pouco acentuada	Excelente																																																		
400 - 600	Média	Boa																																																		
600 - 1000	Importante	Utilizável																																																		
1000 - 1500	Excessiva	Difícilmente utilizável																																																		
> 1500	Excessiva	Não utilizável na rega																																																		
Tipos de água/usos	Variações do pH																																																			
Águas naturais	7,2 a 7,6																																																			
Águas calcárias	> 7																																																			
Águas siliciosas	6 a 7																																																			
Água bruta ou para recreio	5 a 9																																																			
Água para peixes ou vida aquática	6 a 9																																																			
Água para gado e animais selvagens	5 a 9																																																			
Água para rega e produção hidroelétrica	5 a 9																																																			
Valor paramétrico (VP), valor máximo recomendável (VMR) e valor máximo admissível (VMA) para águas de consumo humano, segundo os Decretos-Lei 236/98 e 306/2007																																																				
VMR - 12°C; VMA - 25°C	VP - 2500 µS/cm		VP - 6,5 a 9																																																	

Quadro 8 – (cont.).

Parâmetros Físico-químicos			
Potencial redox (mV)	Dureza (mg/L)	Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) (mg/L)	Alcalinidade (mg/L)
<p>As reações de redução-oxidação são as reações de transferência de elétrons, que se realizam entre um conjunto de espécies químicas, um oxidante e um redutor (uma forma reduzida e uma forma oxidada, respetivamente). Para que exista uma reação redox, no sistema deve haver uma espécie que ceda elétrons e outra espécie que os aceite: o oxidante (espécie química que tende a ceder elétrons ao meio, ficando com uma carga positiva maior que a que tinha); o redutor (espécie que tende a captar esses elétrons, ficando com carga positiva menor que a que tinha). Quando uma espécie química redutora cede elétrons ao meio converte-se numa espécie oxidada. Analogamente, diz-se que quando uma espécie capta elétrons do meio converte-se numa espécie reduzida e a relação que guarda com o seu precursor define-se como par redox.</p>	<p>A dureza (grau hidrométrico), reflete a presença de sais de metais alcalino-terrosos (cálcio, magnésio e estrôncio) e de sais de metais pesados (ferro, alumínio e manganésio), dos quais resultam inconvenientes para o consumidor dessa água. Uma água diz-se dura quando o seu uso obriga ao consumo de mais sabão no decurso das lavagens, devido à formação de sais insolúveis daqueles metais com os ácidos gordos dos sabões. Pelo contrário, uma água que apresenta teores reduzidos daqueles sais, diz-se doce ou macia. As águas subterrâneas, através do prolongado contacto com as formações geológicas, são, em geral, mais duras que as superficiais. A classificação da água de acordo com a sua dureza encontra-se no quadro seguinte (adaptado de Mendes &amp; Oliveira, 2004).</p>	<p>Trata-se do peso total dos constituintes minerais presentes na água, por unidade de volume, representando assim a concentração de todo o material dissolvido na água. A medida dos SDT é aproximadamente igual ao resíduo seco (RS) mais 1/2 de bicarbonato (<math>\text{HCO}_3^-</math> (mg/L)). Os SDT podem ser estimados a partir da condutividade elétrica da água.</p>	<p>Trata-se de uma medida de capacidade de neutralização de ácidos. Representa na água a presença de sais de ácidos fracos, bases fortes e bases fracas, destacando-se os bicarbonatos, os carbonatos e os hidróxidos.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Dióxido de Carbono (o <math>\text{CO}_2</math> quando está em contacto com a água tende a dissolver-se formando <math>\text{H}_2\text{CO}_3</math>, o qual reage lentamente com o cálcio e com o magnésio da crosta terrestre, formando carbonatos. Quanto mais dióxido de carbono se dissolve na água, mais ácida esta será, bem como a sua capacidade de dissolução);</li> <li>- Bicarbonatos (o bicarbonato não se oxida nem se reduz em águas naturais, porém pode precipitar com muita facilidade como bicarbonato de cálcio).</li> </ul> <p>A alcalinidade de uma água é definida por dois títulos: o Título Alcalimétrico (TA) e o Título Alcalimétrico Completo (TAC), que são elementos cruciais para o estudo da agressividade da água em questão, visto que são dependentes do equilíbrio calco-carbónico nela estabelecido.</p> <p><math>\text{TA} = \text{OH}^- + \text{CO}_3^{2-}</math>  <math>\text{TAC} = \text{OH}^- + \text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-</math></p>
<b>Valor paramétrico (VP), valor máximo recomendável (VMR) e valor máximo admissível (VMA) para águas de consumo humano, segundo os Decretos-Lei 236/98 e 306/2007</b>			
Não abrangido pela legislação.	VMA - 500 mg/L	Não abrangido pela legislação.	VMA - 30 mg/L $\text{HCO}_3^-$

Quadro 8 – (cont.).

Parâmetros Físico-químicos					
Catiões					
Cálcio (Ca <sup>2+</sup> ) (mg/L)	Magnésio (Mg <sup>2+</sup> ) (mg/L)	Sódio (Na <sup>+</sup> ) (mg/L)	Potássio (K <sup>+</sup> ) (mg/L)	Ferro (Fe <sup>2+</sup> ) (mg/L)	Amônio (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) (mg/L)
O teor de cálcio nas águas subterrâneas varia, em geral, de 10 a 100 mg/L. As principais fontes são as plagioclases cálcicas, calcite, dolomite, apatite, entre outros. O carbonato de cálcio é muito pouco solúvel em água pura. O cálcio ocorre nas águas na forma de bicarbonato e a sua solubilidade obtém-se em função da quantidade de gás carbônico dissolvido, que depende da temperatura e da pressão.	Idêntico ao do cálcio, embora forme sais mais solúveis. As principais fontes são a biotite, anfíbolitos e piroxenas, minerais que são mais resistentes à erosão química comparativamente aos minerais fornecedores de cálcio, daí que o seu teor nas águas subterrâneas seja inferior ao do cálcio. Em regiões de rochas carbonatadas, a dolomite trata-se de um importante fornecedor de magnésio. Nas águas subterrâneas o magnésio ocorre com teores entre 1 e 40 mg/L, e depois do cálcio, é também responsável pela dureza das águas.	Elemento alcalino muito abundante nas águas subterrâneas. A sua concentração varia entre 0,1 e 100 mg/L nas águas subterrâneas, e entre 1 e 150 mg/L nas águas naturais doces. As suas principais fontes são as plagioclases, micas, anfíbolos e piroxenas. Em aquíferos litorais, a presença de sódio na água poderá estar relacionada com a intrusão da água do mar.	Elemento químico abundante na crosta terrestre, que ocorre em pequena quantidade nas águas subterrâneas, pois é facilmente fixado pelas argilas e intensivamente consumido pelos vegetais. As suas principais fontes são o feldspato potássico e as micas (moscovite e biotite), que são pouco resistentes à erosão física e química. Em águas doces, tem concentrações variáveis entre 0,1 e 10 mg/L	O ferro aparece na natureza principalmente nos minérios de magnetite (Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> ), hematite (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), pirite (FeS <sub>2</sub> ), pirrotite (FeS), marcassite (FeS <sub>6</sub> ) e siderite (FeCO <sub>3</sub> ). Este solubiliza e precipita facilmente. As águas naturais contêm normalmente poucas quantidades de ferro. A sua presença pode ser resultante de lixiviações do solo ou da poluição industrial.	Trata-se da forma iônica do azoto amoniacal. Provém de processos degradativos de materiais residuais de origem vegetal e animal. O seu teor na água geralmente é inferior a 0,2 mg/L.
<b>Valor paramétrico (VP), valor máximo recomendável (VMR) e valor máximo admissível (VMA) para águas de consumo humano, segundo os Decretos-Lei 236/98 e 306/2007</b>					
VMR - 100 mg/L	VMR - 30 mg/L; VMA - 50 mg/L	VP - 200 mg/L	VMR - 10 mg/L; VMA - 12 mg/L	VP - 200 µg/L	VP - 0,50 mg/L
Aniões					
Cloretos (Cl <sup>-</sup> ) (mg/L)	Fluoretos (F <sup>-</sup> ) (mg/L)	Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) (mg/L)	Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) (mg/L)	Bicarbonato (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) (mg/L)	
É um dos sais mais abundantes na natureza. As principais fontes são as rochas ígneas, metamórficas e sedimentares, onde nestas últimas se encontram em maior concentração devido às rochas evaporíticas. Os efluentes domésticos e industriais e as águas utilizadas em irrigação tratam-se de fontes antropogénicas.	Encontram-se em pequenas concentrações nas águas subterrâneas. A principal fonte é a dissolução de minerais como a fluorite e a apatite, em rochas ígneas. É um elemento muito reativo quimicamente e encontra-se, por essa razão, combinado na forma de fluoretos de cálcio, de sódio ou de outros metais. Em regiões áridas, os fluoretos podem aparecer em quantidades elevadas. A presença do cálcio limita a concentração do flúor.	Trata-se de um elemento não metálico, presente na natureza sobre a forma gasosa. No meio aquático encontra-se sob diversas formas, como amónia (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ), nitrito (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ) ou nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ). O nitrato representa a fase final da oxidação da matéria orgânica, e teores acima de 50 mg/L podem ser indicativos de contaminação da água subterrânea por atividade humana.	Têm a sua origem ligada à lixiviação de terrenos formados em ambientes com índices de aridez elevados, à oxidação de enxofre presente nas rochas ígneas e metamórficas e às atividades urbanas, industriais e agrícolas. A concentração em sulfatos das águas naturais varia entre 30 e 300 mg/L, devido a razões geológicas ou outras.	O bicarbonato resulta da dissolução do dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) atmosférico ou do solo, da hidrólise dos silicatos e da dissolução dos calcários. Não se oxida nem se reduz em águas naturais, embora possa precipitar com muita facilidade em bicarbonato de cálcio (CaCO <sub>3</sub> ). Nas águas doces varia entre 50 e 350 mg/L.	
<b>Valor paramétrico (VP), valor máximo recomendável (VMR) e valor máximo admissível (VMA) para águas de consumo humano, segundo os Decretos-Lei 236/98 e 306/2007</b>					
VP - 250 mg/L	VP - 1,5 mg/L	VP - 50 mg/L	VP - 250 mg/L	Não abrangido pela legislação.	



### 3.7. Contaminação das águas subterrâneas

O desenvolvimento urbano tem um profundo impacto nos sistemas hidrológicos e hidrogeológicos, quer na qualidade, quer na quantidade, bem como no regime climático. Segundo Marsalek et al. (2008), a gestão dos recursos hídricos em ambientes urbanos não pode ser regida pelo modelo clássico do ciclo da água, uma vez que este ciclo é fortemente modificado pelos impactos da urbanização no ambiente e pela necessidade de providenciar a população de, nomeadamente, sistemas de água potável, de drenagem e de recolha de águas residuais. Assim, face à complexidade dos processos intervenientes, Marsalek et al. (2008) propõem que estes sistemas de água subterrânea sejam vistos à luz do designado “Ciclo Hidrológico Urbano” (Figura 18).

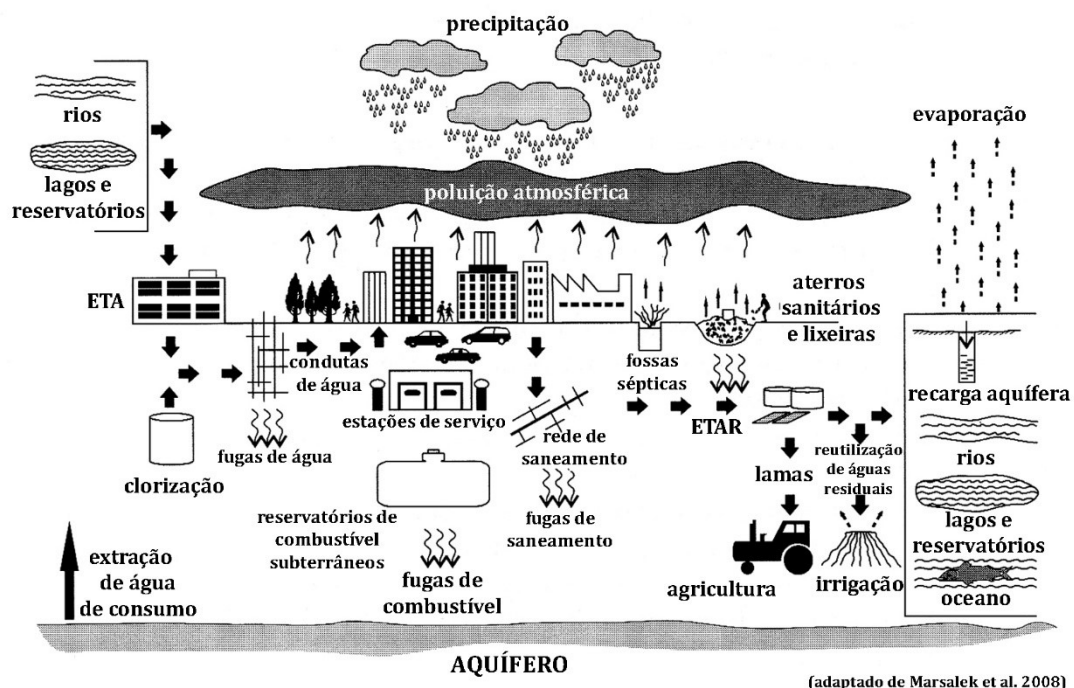


Figura 18 – O ciclo hidrológico urbano: principais intervenientes (adaptado de Marsalek et al. 2008 in Afonso, 2011).

A qualidade das águas subterrâneas está dependente das suas características físicas, químicas e biológicas, bem como do fim a que estas águas se destinam. A qualidade da água subterrânea é ameaçada, principalmente, pela atividade do Homem (*e.g.*, Zaporozec, 2004). De acordo com a Organização Mundial de Saúde (UNESCO, 1992), o termo contaminação corresponde: à introdução na água de qualquer substância indesejável, que aquela normalmente não contém (*e.g.*, microrganismos, substâncias químicas, etc.), a qual torna a água imprópria para o fim a que se destina. Caso os contaminantes ultrapassem certos limites, científica e legalmente definidos,

poder-se-á falar em poluição da água com direto prejuízo para as populações e ecossistemas (Chapman, 2007).

Desta forma, toda a água poluída é contaminada, mas nem toda a água contaminada se encontra poluída (*e.g.*, Feitosa & Filho, 2000).

### 3.7.1. Potenciais focos de contaminação

A seguinte abordagem seguiu de perto os trabalhos de Vrba & Zaporozec (1994), Zaporozec, (2004) e Fetter (2008).

A degradação da qualidade das águas subterrâneas pode ter origem em várias atividades de contaminação, tal como se pode ilustrar na [Figura 19](#).

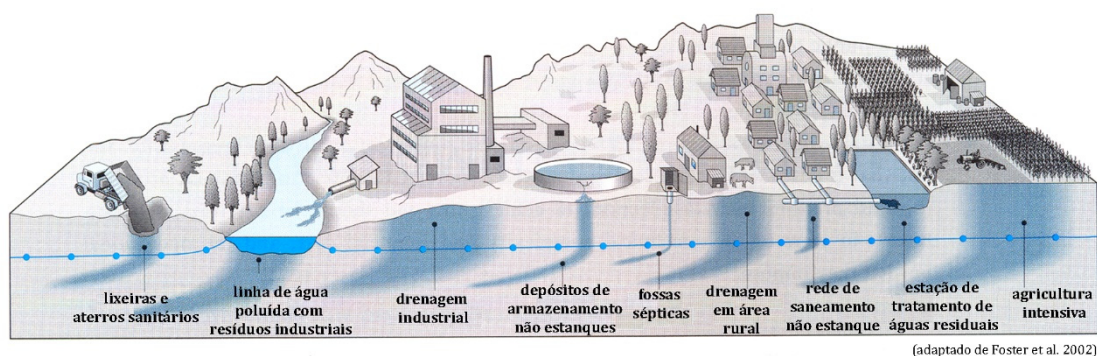


Figura 19 – Origens mais comuns da contaminação das águas subterrâneas (adaptado de Foster et al., 2002 in Afonso, 2011).

No [Quadro 9](#) são apresentados diversos métodos de classificação dos focos de contaminação das águas subterrâneas.

Quadro 9 – Métodos de classificação dos focos potenciais de contaminação das águas subterrâneas (adaptado de Zaporozec, 2004 in Afonso 2011).

Classificação	Exemplos
Pela forma de libertação	Focos de descarga e focos de transporte
Pela origem	Focos domésticos e focos agrícolas
Pelas características químicas	Metais pesados, hidrocarbonetos e pesticidas
Pela localização	À superfície e no subsolo
Pela tipologia	Focos pontuais, difusos ou lineares

A descrição dos focos de contaminação, quanto à tipologia, é a seguinte (*e.g.*, Feitosa & Filho, 2000; Zaporozec, 2004):

- Pontual – quando o foco é concentrado numa área pequena. Normalmente originam concentrações elevadas, que são localizadas em plumas que podem mesmo ser estratificadas no aquífero (*e.g.*, derrames e poços de injeção);

- Difusa – quando o foco se estende, com baixa concentração ou não, numa grande área. Tendem a originar estratificação regionalizada (*e.g.*, agricultura);
- Linear – quando o foco se distribui linearmente (*e.g.*, linha de água, estrada).

O inventário dos focos de contaminação das águas subterrâneas é um processo que envolve o agrupamento, avaliação e classificação de todos os potenciais focos de contaminação que possam ameaçar a qualidade das águas subterrâneas. Este inventário passa pelos seguintes estádios (Zaporozec, 2004):

- Elaboração de um inventário preliminar com indicação do tipo de contaminantes, tendo em conta a área e o objetivo do estudo, obrigando a um trabalho prévio de gabinete com pesquisa exaustiva da informação necessária;
- Seleção da base cartográfica da área de estudo;
- Elaboração de uma lista provisória de potenciais focos de contaminação;
- Identificação das fontes de informação com posterior confirmação no local;
- Escolha dos métodos de identificação dos focos de contaminação;
- Elaboração de uma ficha de inventário própria (concebida por exemplo através do Microsoft Office Access);
- Reunião dos equipamentos necessários tais como o GPS e a máquina fotográfica;
- Escolha do sistema de processamento e registo de dados;
- Organização da apresentação de resultados;
- Reconhecimento no terreno de toda a informação recolhida, completando-a, caso seja necessário, através de uma observação direta dos potenciais focos;
- Verificação de toda a informação recolhida e elaboração da primeira classificação com as respetivas ponderações das influências de cada um dos focos inventariados;
- Apresentação dos resultados com elaboração de uma cartografia.

O Quadro 10 apresenta um resumo dos principais focos de contaminação das águas subterrâneas, através do método de classificação pela origem referido no Quadro 9.

Quadro 10 – Sumário dos potenciais focos de contaminação das águas subterrâneas com base na sua origem (adaptado de Zaporozec, 2004 in Afonso, 2011).

<b>Categoria</b>	<b>Tipo de foco</b>	<b>Tipologia</b>	<b>Localização</b>
<b>Naturais</b>	Substâncias inorgânicas	Não aplicável	Não aplicável
	Metais vestigiários		
	Radionuclídeos		
	Compostos orgânicos		
	Microorganismos		
<b>Agricultura e Silvicultura</b>	Fertilizantes	Difusa	Superfície
	Pesticidas	Difusa/pontual	Superfície/zona não saturada
	Dejetos de animais		
	Rações para animais	Pontual	
	Irrigação	Difusa	Superfície
Pilhas de armazenamento	Pontual		
<b>Urbanização</b>	Lixeiras	Pontual	Superfície/zona não saturada
	Fossas sépticas		
	Águas residuais, efluentes	Pontual e linear	
	Entulheiras	Pontual	Zona não saturada
	Reservatórios subterrâneos não estanques	Linear e Pontual	Superfície
<b>Atividades industriais e mineiras</b>	Escoamento urbano, fugas, derramamentos	Pontual	Superfície/zona não saturada
	Resíduos mineiros/Escórias/Escombrelras		
	Água de mina	Pontual e linear	Diversas
	Resíduos sólidos	Pontual	Superfície/zona não saturada
	Águas residuais, efluentes	Pontual e linear	
<b>Má gestão da água</b>	Poços de injeção	Pontual	Abaixo do nível hidrostático
	Derramamentos, fugas		
	Intrusão salina	Linear	
	Construção defeituosa de poços/furos	Pontual	Abaixo do nível hidrostático
<b>Fontes diversas</b>	Poços/furos abandonados	Difusa	Superfície
	Práticas de irrigação		
	Substâncias transportadas pelo ar	Difusa	Superfície
	Águas superficiais	Linear	Abaixo do nível hidrostático
	Transportes	Pontual e linear	Superfície/zona não saturada
<b>Fontes diversas</b>	Desastres naturais	Pontual	Zona não saturada
	Cemitérios		

### 3.7.1.1. Focos naturais

Os contaminantes naturais são, geralmente, incorporados nas águas subterrâneas através da combinação de processos que ocorrem no ciclo hidrológico, tais como, as trocas iônicas, as reações de ácido-base, a precipitação, e outros processos químicos que têm influência na quantidade de substâncias que se encontram dissolvidas nas águas subterrâneas, podendo estas aumentar ou reduzir a contaminação das mesmas. Por outro lado, na zona não saturada existem interações na infiltração das águas subterrâneas por restos de plantas, turfa e húmus. Além disso, os processos de síntese celular, decomposição orgânica e o crescimento microbiológico podem conduzir à toxicidade das águas subterrâneas.

No Quadro 11 é apresentada uma descrição sumária dos vários tipos de focos naturais que podem contaminar as águas subterrâneas.

Quadro 11 – Focos de contaminação das águas subterrâneas – focos naturais (adaptado de Zaporozec, 2004).

---

**Focos Naturais**

---

**Substâncias inorgânicas**

---

Os principais iões inorgânicos presentes nas águas subterrâneas são o sódio, potássio, cálcio, magnésio, sílica, bicarbonato, sulfato e cloreto. A distribuição desses componentes depende principalmente do tipo de formações geológicas por onde a água circula. A maioria deles não são prejudiciais à saúde, embora alguns possam causar problemas físicos quando ingeridos em elevadas concentrações. *E.g.*, elevadas concentrações de cálcio e de magnésio podem aumentar a dureza da água.

**Metais vestigiários**

---

As concentrações de metais vestigiários tais como o alumínio, cádmio, crómio, cobalto, cobre, chumbo, níquel, prata e zinco nas águas subterrâneas são geralmente muito pequenas. Estão normalmente associados a rochas ígneas e metamórficas e, em particular, a jazigos minerais, os quais podem originar através de processos de oxidação e lixiviação quantidades elevadas destes metais nas águas subterrâneas. Outra origem possível destes metais é através de atividades humanas.

**Elementos radioativos**

---

A ocorrência natural de substâncias radioativas não é pouco comum. O radão, rádio e urânio podem ser encontrados em muitos solos e rochas como elementos traço, os quais se formaram principalmente pelo decaimento radioativo de isótopos de urânio e tório.

Contudo, a contaminação das águas subterrâneas por elementos radioativos está geralmente associada a atividades humanas, tais como a produção de energia nuclear, a eliminação de resíduos nucleares e a atividades médicas.

**Compostos orgânicos**

---

Surgem nas águas subterrâneas através de atividades humanas e de processos naturais. Esses processos ocorrem perto da superfície onde o solo contém húmus, mas podem também ocorrer em níveis mais profundos, onde a turfa, lenhite, carvão ou jazidas de petróleo estão presentes e em contacto com as águas subterrâneas. Este tipo de contaminantes surge em quantidades reduzidas.

**Microrganismos**

---

Os microrganismos que ocorrem naturalmente nas águas subterrâneas diminuem rapidamente com o aumento da profundidade. As águas subterrâneas podem conter bactérias que desempenham um papel muito importante nos processos de oxidação-redução, *e.g.*, a redução do sulfato a gás sulfídrico e a oxidação do ferro e manganês a óxidos e hidróxidos de ferro e manganês, os quais tornam a água menos própria para beber e são responsáveis pela colmatação dos tubos-ralo e dos equipamentos de bombagem.

### 3.7.1.2. Agricultura e Silvicultura

A agricultura é uma das atividades humanas mais comuns que podem afetar as águas subterrâneas, podendo a silvicultura também ter alguns efeitos adversos sobre este recurso. As práticas incluem o cultivo de culturas, gado e avicultura, piscicultura, extração de madeira, etc. O uso de fertilizantes e pesticidas, o armazenamento e o despejo de dejetos de animais e várias outras atividades, aumentam o risco de contaminação das águas subterrâneas. Embora as atividades sejam realizadas na superfície do solo, as águas da chuva e da irrigação infiltram-se podendo transportar contaminantes para os aquíferos. Em particular, o caráter difuso da aplicação dos fertilizantes, pesticidas e estrume pode contribuir para a contaminação acentuada de grande parte do sistema aquífero. A Figura 20 ilustra as atividades de agricultura e pecuária e o

Quadro 12 apresenta uma descrição sucinta de vários processos de contaminação integrados nas atividades agrícolas e de silvicultura.



Figura 20 – Focos de contaminação das águas subterrâneas – Agricultura e Silvicultura: (a) Aplicação de fertilizantes e pesticidas (<http://www.coopercitrus.com.br/?pag=noticias&act=detalhes&noticia=1392>); (b) Dejetos de animais (<http://pecuaria.ruralbr.com.br/noticia/2013/04/encontro-de-confinamento-da-scot-apresenta-praticas-para-reutilizar-residuos-de-animais-nas-lavouras-4097373.html>).

Quadro 12 – Focos de contaminação das águas subterrâneas – agricultura e silvicultura (adaptado de Zaporozec, 2004).

---

#### Agricultura e Silvicultura

---

##### Aplicação e armazenamento de fertilizantes

Os adubos podem ser orgânicos (ureia) ou inorgânicos (amônia, sulfato de amônio, nitrato de amônio e carbonato de amônio, potássio, azoto e fósforo), os quais são responsáveis pelo aumento de nitrato, nitrito e amônio nas águas subterrâneas. Os compostos de potássio e azoto são muito solúveis e podem atingir o nível freático, quando aplicados em elevadas quantidades. Os compostos de fósforo são insolúveis e permanecem fixos à estrutura do solo ou são transportados pelas águas superficiais.

---

##### Aplicação e armazenamento de pesticidas

Geralmente incluem herbicidas, inseticidas, fungicidas e outros compostos químicos. São, fundamentalmente, compostos orgânicos e podem ser divididos em iônicos e não iônicos. Os pesticidas iônicos são muito mais solúveis do que os pesticidas não iônicos. Os pesticidas podem ser eliminados por degradação química ou por biodegradação sob a influência de microrganismos. Dos pesticidas e produtos fitossanitários, os pesticidas organoclorados, como por exemplo os DDT, são os mais perigosos devido à sua grande persistência e toxicidade.

---

##### Dejetos de animais

São depositados em terrenos agrícolas e utilizados como adubo ou armazenados e desintegrados em ambiente natural. São compostos por potássio, azoto e compostos de fósforo, elementos vestigiais e matéria orgânica. Muitas vezes existem elevados grupos de animais em pequenas áreas, o que poderá levar a uma elevada concentração de resíduos de animais no mesmo local. Esta elevada concentração poderá ser considerada como uma fonte de contaminação de caráter pontual das águas subterrâneas.

---

##### Fluxo de retorno de irrigação

O retorno de fluxo da irrigação é responsável pela deterioração da qualidade da água num grande número de países, em particular em regiões semi-áridas e áridas. Quando uma cultura é irrigada, cerca de metade a dois terços da água de irrigação aplicada é absorvida pelo solo e pelas plantas ou perdida por evaporação. Os sais dissolvidos na água permanecem e tendem a acumular-se no solo. O excesso de água que se infiltra na água subterrânea e o fluxo de retorno aumentam a concentração de sais na mesma. Gradualmente, através da repetição deste processo, o teor de sólidos dissolvidos na água subterrânea irá aumentar. Além dos sais, o fluxo de retorno também transporta fertilizantes, pesticidas e resíduos de animais.

---

##### Desflorestação e desmatamento

Ambas as atividades podem alterar de forma significativa o sistema de recarga das águas subterrâneas, perturbando assim o seu balanço hídrico. Um balanço hídrico modificado causa mudanças na hidroquímica e composição das águas subterrâneas, o que pode afetar a qualidade destas. A substituição de áreas de floresta por terras agrícolas, com a utilização de fertilizantes e pesticidas, pode aumentar o risco de contaminação das águas subterrâneas.

---

### 3.7.1.3. Urbanização

Durante as últimas décadas, a urbanização tem aumentado exponencialmente, especialmente nos países em vias de desenvolvimento. Contudo, as infraestruturas para a eliminação de resíduos, águas residuais, entre outros, não têm acompanhado, muitas vezes, essa evolução.

A Figura 21 representa lixeiras a céu aberto (deposição incorreta de resíduos domésticos) e sucatas que são o reflexo do aumento da urbanização referido.



Figura 21 – Focos de contaminação das águas subterrâneas – Urbanização: (a) Lixeira (http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/2e/Aterro\_Sanitario.jpg); (b) Sucata (http://fatimasucatas.pai.pt/).

No Quadro 13 sintetizam-se alguns dos focos de contaminação associados à urbanização.

Quadro 13 – Focos de contaminação das águas subterrâneas – Urbanização (adaptado de Zaporozec, 2004).

---

**Urbanização**

---

**Deposição de resíduos sólidos domésticos e municipais**

---

Os resíduos sólidos gerados pelas casas, empresas, indústrias e edifícios públicos podem ser eliminados nas imediações destes espaços, ou então recolhidos e depositados em locais apropriados (aterros sanitários). Nos casos em que não são tomadas as medidas sanitárias adequadas, ou então devido ao facto do subsolo, no qual estes resíduos são colocados, ser permeável, estes podem infiltrar-se e podem atingir as formações aquíferas. Os lixiviados formados nos aterros podem conter concentrações muito elevadas de compostos inorgânicos e orgânicos, que podem infiltrar-se através da percolação das águas pluviais e aumentar o risco de contaminação das águas subterrâneas.

**Eliminação de águas residuais domésticas e efluentes**

---

As fossas sépticas contribuem mais para a contaminação das águas subterrâneas em áreas onde: existe uma alta densidade de habitações com fossas sépticas; a camada de solo sobre a rocha permeável é fina; o solo é extremamente permeável; e o nível freático se encontra a poucos metros de profundidade. As fossas sépticas mal seladas enterradas no solo podem transbordar e descarregar líquidos ricos em azoto para a zona não saturada. O bom funcionamento das fossas sépticas e as áreas de drenagem associadas, quando presentes em solos altamente drenados, e quando densamente distribuídas, tendem a libertar cargas pesadas de nitrato para o nível freático. Na maioria dos grandes centros urbanos, os resíduos líquidos são parcial ou completamente recolhidos e transportados através dos sistemas de esgotos. Na saída do sistema, a água residual pode ser descarregada sem tratamento, tratada parcial ou completamente. As águas residuais não tratadas ou parcialmente tratadas contêm uma grande variedade de contaminantes inorgânicos, orgânicos e biológicos. Mesmo as águas residuais tratadas, podem conter concentrações elevadas de vários compostos químicos (cloretos, nitratos, hidrocarbonetos e metais).

**Sucatas**

---

Nas sucatas, procede-se à reciclagem de carros, eletrodomésticos, etc. Nos estaleiros onde estes materiais são reciclados podem ocorrer vários materiais perigosos, tais como gorduras, óleos, solventes e ácidos das baterias de suporte de chumbo, que podem afetar as águas subterrâneas, especialmente em áreas com formações não consolidadas de textura mais grosseira ou em rochas fraturadas.

**Outros focos urbanos**

---

Sistemas de esgotos urbanos com perdas, escoamento urbano, pesticidas utilizados nos jardins, relva e parques, derrames em tanques de combustível, derramamento de óleo em garagens, etc. O escoamento urbano, que transporta sólidos e resíduos líquidos dos jardins, estradas e parques para os cursos de água, pode infiltrar-se no solo, e conseqüentemente, nas águas subterrâneas. Os derrames associados a tanques de combustível, podem expor o subsolo a hidrocarbonetos, o que poderá constituir uma grande ameaça para as águas subterrâneas.

---

#### 3.7.1.4. Atividades industriais e mineiras

As atividades industriais e mineiras são um risco potencial de contaminação das águas subterrâneas. O manuseamento inadequado e a eliminação de resíduos sólidos e líquidos, os acidentes e os derrames das minas e fábricas, podem dar origem a focos de contaminação. Estes focos podem encontrar-se à superfície e na zona não saturada. São maioritariamente focos pontuais que podem resultar em plumas contaminantes bem definidas nos sistemas de água subterrânea.

A [Figura 22](#) representa dois aspetos associados às atividades mineiras e industriais. No [Quadro 14](#) encontram-se sintetizadas as principais origens de contaminação ligadas a estes tipos de atividades.



Figura 22 – Fontes de contaminação das águas subterrâneas – Atividades mineiras e industriais: (a) Resíduos sólidos e drenagem de águas residuais de minas (<http://www.macaub.com.mo/pt/2011/05/03/coal-india-divulgara-em-julho-empresa-que-vai-explorar-blocos-de-carvao-em-mocambique/>); (b) Derramamento de resíduos sólidos e líquidos industriais (adaptado de [http://www.lneg.pt/CienciaParaTodos/edicoes\\_online/diversos/agua\\_subterranea/](http://www.lneg.pt/CienciaParaTodos/edicoes_online/diversos/agua_subterranea/)).

Quadro 14 – Focos de contaminação das águas subterrâneas – Atividades industriais e mineiras (adaptado de Zaporozec, 2004).

---

#### Atividades Industriais e Mineiras

---

##### Resíduos sólidos e drenagem de águas residuais das minas

---

As atividades mineiras implicam a deposição de resíduos sólidos, tais como metais, minerais radioativos, sal, carvão, fosfato. A formação de lixiviados em aterros por infiltração de água da chuva ou água de outras fontes é comum, sendo a sua composição muito diversificada devido ao tipo de minérios constituintes da mina, da composição das rochas e das técnicas de mineração e processamento. A água utilizada para a redução do pó das minas, para o arrefecimento dos equipamentos, para a lavagem e processamento e os lixiviados podem dissolver substâncias indesejáveis, que poderão infiltrar-se no solo e contaminar as águas subterrâneas.

##### Resíduos sólidos e líquidos industriais

---

As atividades industriais podem produzir resíduos sólidos ou líquidos. Esses resíduos podem ser vertidos à superfície ou em escavações. Os resíduos podem também ser transportados para aterros especiais ou incineradoras. Os lixiviados acumulados originados pelos resíduos industriais podem formar focos pontuais de contaminação das águas subterrâneas. Tal como nas atividades mineiras, as indústrias podem também produzir resíduos líquidos e águas residuais que poderão contaminar de igual forma as águas subterrâneas.

##### Poços de injeção

---

Os poços de injeção são normalmente associados à eliminação de resíduos perigosos em formações geológicas profundas que supostamente não têm contacto com as águas subterrâneas, utilizando de certa forma o solo como armazém de resíduos. Muitas vezes estes poços são mal construídos, mal projetados e mal utilizados, o que poderá levar à contaminação das águas subterrâneas.

##### Derrames e perdas

---

Os líquidos tóxicos dos derrames e perdas podem contaminar as águas subterrâneas com compostos orgânicos e inorgânicos. Se o contaminante se dissolve na água este vai fluir em conjunto com a água do solo. Como exemplo, o petróleo como é menos denso que a água, fica a flutuar nela, já os líquidos mais densos podem "depositar-se" até à base dos aquíferos. Este tipo de contaminação poderá ser muito problemático, uma vez que a remediação deste tipo de ocorrências pode ser muito morosa e economicamente dispendiosa, podendo mesmo não ser sempre bem sucedida.

---

## 3.7.1.5. Má gestão da água

A conceção e construção inadequadas de infraestruturas ligadas à água podem conduzir a uma contaminação das águas subterrâneas. Estas obras podem ser barragens e reservatórios, diques, comportas, infraestruturas de irrigação e drenagem, galerias de infiltração, ou poços/furos de captação de água. Neste domínio, um dos aspetos mais importantes a realçar são os possíveis efeitos que podem ocorrer nos poços/furos de captação de água. A má gestão destas estruturas pode não criar novos focos de contaminação das águas subterrâneas, mas pode agravar os efeitos dos focos de contaminação existentes.

Na [Figura 23](#) podem ver-se dois tipos de fontes referentes à má gestão da água. No que diz respeito ao subtema em questão, no [Quadro 15](#) estão representados e descritos os tipos de fontes de contaminação das águas subterrâneas mais importantes.

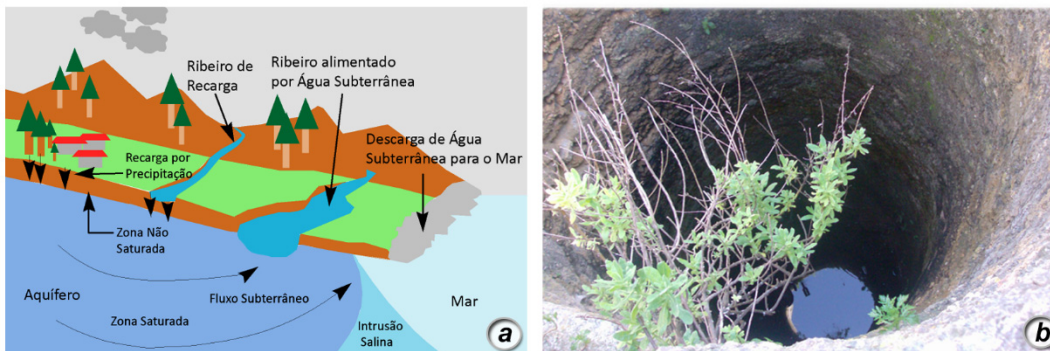


Figura 23 – Focos de contaminação das águas subterrâneas – Má gestão da água: (a) Intrusão salina ([http://www.Ineg.pt/CienciaParaTodos/edicoes\\_online/diversos/agua\\_subterranea/](http://www.Ineg.pt/CienciaParaTodos/edicoes_online/diversos/agua_subterranea/)); (b) Poço/furo abandonado.

Quadro 15 – Focos de contaminação das águas subterrâneas – Má gestão da água (adaptado de Zaporozec, 2004).

### Má Gestão da Água

#### Planeamento impróprio de grupos de furos de captação

Os grupos de furos de captação alteram o fluxo local das águas subterrâneas e as condições químicas e biológicas das mesmas. A direção do fluxo das águas subterrâneas pode ser alterada ou mesmo invertida, e pode alterar a hidroquímica do aquífero ou o seu potencial redox, e consequentemente alterar a qualidade das águas subterrâneas.

#### Upconing de água salobra

A água salobra pode estar presente em áreas interiores, perto dos mares ou oceanos atuais e pode estar contida nas camadas mais profundas do sistema das águas subterrâneas, onde ficou aprisionada nos sedimentos de um ambiente previamente marinho (água fóssil). O "upconing" pode ocorrer devido à posição inadequada dos tubos-ralo ou devido à elevada taxa de bombeamento. Uma vez ocorrido o "upconing" e os aquíferos serem afetados pela salinidade, a reversão deste processo é muito demorada, facto que leva, muitas vezes, ao abandono do furo de captação.

#### Intrusão salina

Nas zonas costeiras, devido à localização imprópria de furos de captação de água, ou então devido ao bombeamento excessivo, pode ocorrer intrusão salina na água doce subterrânea. A ameaça da cunha salina é iminente, em particular, quando os níveis de bombeamento dos furos/poços estão muito abaixo do nível do mar.

#### Furos mal construídos e abandonados

O espaço anelar entre o tubo de revestimento e a formação geológica pode não estar cimentado ou bem isolado, o que pode originar que os contaminantes da superfície se infiltrem nas águas subterrâneas ao longo da tubagem. A ausência de isolamento do espaço anelar pode causar a mistura de águas subterrâneas nos aquíferos adjacentes. Por outro lado, uma tubagem em aço pode não ter sido devidamente soldada ou ficar sujeita a possíveis corrosões, resultando no desenvolvimento de roturas na coluna de revestimento, permitindo a entrada de água contaminada. Os furos abandonados podem atuar como condutas verticais para o transporte de substâncias indesejáveis, podem ser utilizados para o despejo de resíduos ou, ainda, como latrinas públicas. Podem deteriorar-se pela corrosão e permitir o fluxo de água de um aquífero para outro.

### 3.7.1.6. Focos diversos

Existem diversos outros focos potenciais de contaminação das águas subterrâneas que não se enquadram em nenhuma das categorias já descritas, tais como os contaminantes atmosféricos, as águas superficiais, os transportes, os desastres naturais e os cemitérios.

Na Figura 24 apresentam-se aspetos de dois tipos de focos diversos e no Quadro 16 apresenta-se de forma sumária alguns dos focos de contaminação inseridos nesta categoria.

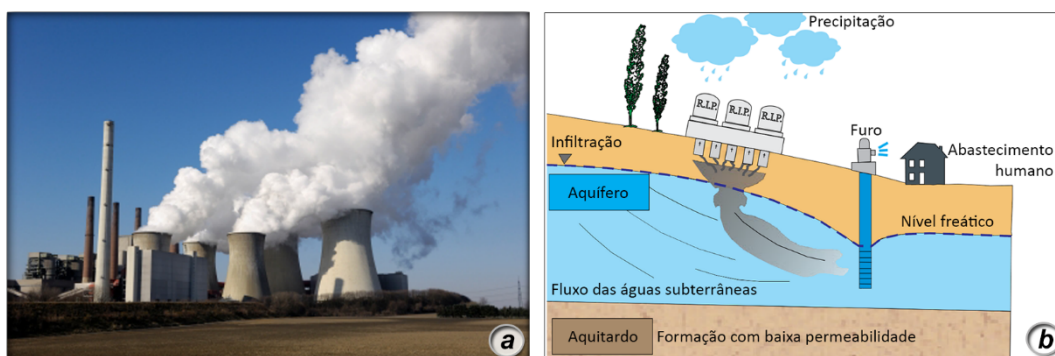


Figura 24 – Fontes de contaminação das águas subterrâneas – Focos diversos: (a) Contaminantes atmosféricos (<http://www.keepthecityout.co.uk/2011/12/>); (b) Cemitérios (adaptado de Hernández et al., 2013).

Quadro 16 – Focos de contaminação das águas subterrâneas – Focos diversos (adaptado de Zaporozec, 2004).

---

**Focos Diversos**

---

**Contaminantes atmosféricos**

---

As áreas com atividades industriais e mineiras, as áreas urbanas e os sistemas rodoviários podem produzir substâncias perigosas (nitratos, sulfatos e metais vestigiais) que podem ser transportadas pelo ar a longas distâncias. Os contaminantes atmosféricos são dissolvidos na água da chuva, ou como partículas sólidas, atingem a superfície terrestre, podendo infiltrar-se e atingir o nível freático, o que poderá provocar a contaminação das águas subterrâneas.

---

**Águas superficiais**

---

As águas superficiais podem atuar como um foco secundário de contaminação das águas subterrâneas. Os contaminantes agrícolas, os resíduos líquidos urbanos e industriais, as águas residuais e os lixiviados podem penetrar nos cursos de água. Desta forma, as linhas de água contaminadas por substâncias perigosas e resistentes constituem focos potenciais de contaminação linear para os sistemas de água subterrânea hidraulicamente conectados com estas águas superficiais.

---

**Transportes**

---

Os derrames e perdas associados ao setor dos transportes, como por exemplo, o transporte de resíduos perigosos líquidos, podem ocorrer a partir de camiões-cisterna, de comboios, de oleodutos, e de tanques em postos de gasolina ao longo das estradas e aeroportos.

---

**Desastres naturais**

---

Os desastres naturais (terramotos, deslizamentos de terra, tempestades), podem danificar instalações de tratamento de resíduos líquidos ou tanques de armazenamento de substâncias e materiais tóxicos. Para além disso, os terramotos e os deslizamentos de terra podem danificar tubos enterrados, poços de petróleo e de água, e galerias de infiltração. Estes incidentes podem causar a libertação de contaminantes que podem afetar o sistema de águas subterrâneo.

---

**Cemitérios**

---

Nos cemitérios, os corpos são enterrados e permanecem na zona não saturada por muitos anos. Os lixiviados das sepulturas podem causar a contaminação das águas subterrâneas.

---

Para usufruir de forma plena da informação recolhida no inventário dos potenciais focos de contaminação é importante classificá-los e/ou ordená-los (Zaporozec, 2004). A classificação apresentada, anteriormente, no [Quadro 11](#), não permite, por si só, identificar o potencial risco de cada um dos focos. Contudo, sabe-se que diferentes tipos de focos de contaminação poderão ameaçar de forma mais ou menos severa a qualidade das águas subterrâneas. Desta forma, Zaporozec (2004) propôs, para cada uma das categorias apresentadas no [Quadro 10](#), uma ordenação qualitativa dos focos, em termos do seu potencial de contaminação, em três níveis: E – elevado; M – moderado e B – baixo ([Figura 25](#)).

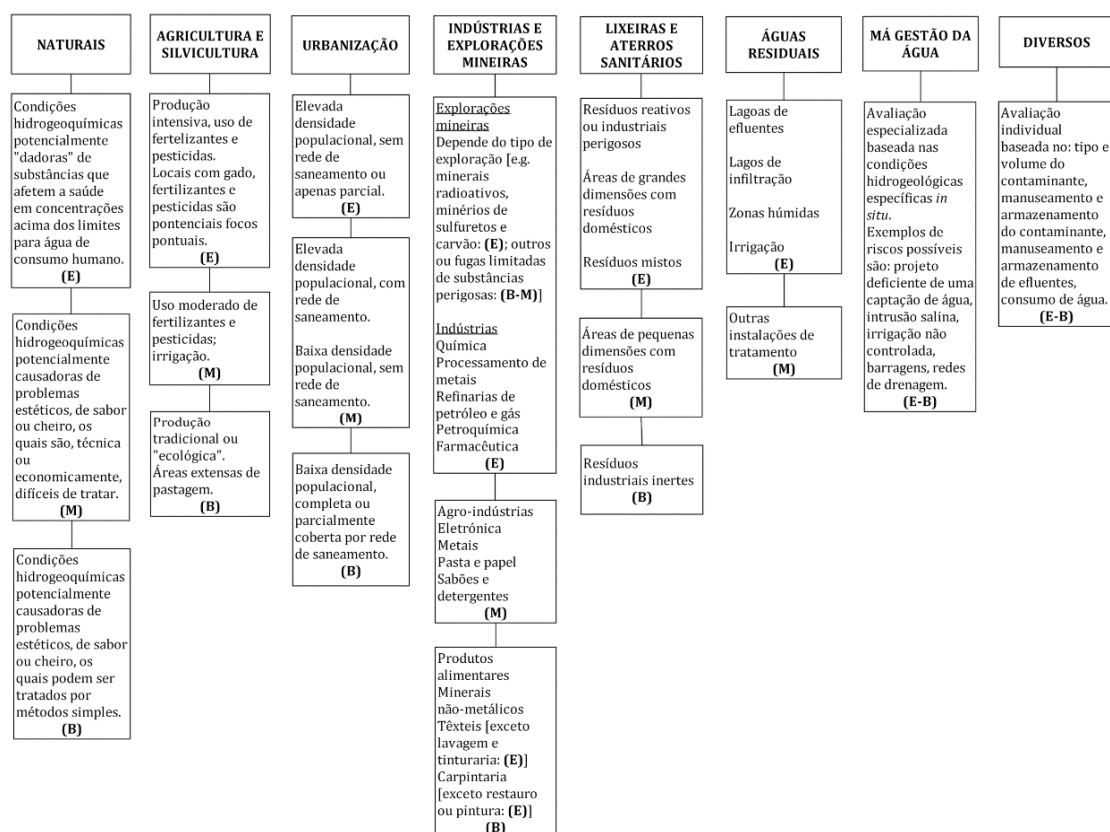


Figura 25 – Sistema qualitativo de ordenação dos potenciais focos de contaminação das águas subterrâneas, de acordo com o seu potencial de contaminação (adaptado de Zaporozec, 2004 in Afonso, 2011).

### 3.7.2. Vulnerabilidade das águas subterrâneas à contaminação: índices GOD-S e DRASTIC

A vulnerabilidade é um conceito que se baseia no princípio de que algumas áreas são mais vulneráveis que outras à contaminação das águas subterrâneas (Vrba & Zaporozec, 1994). Esta foi defendida por Foster et al. (2002) como sendo representante da sensibilidade de um aquífero a uma influência desfavorável, ou seja, à carga contaminante.

Relativamente às técnicas mais utilizadas na avaliação da vulnerabilidade, estas podem ser agrupadas em: ambientes hidrogeológicos, modelos analógicos e sistemas paramétricos (Vrba & Zaporozec, 1994; Foster et al., 2002; Zaporozec, 2004), sendo que os mais utilizados se tratam dos sistemas paramétricos. Estes baseiam-se em parâmetros elegidos como indicadores de vulnerabilidade quantificando-a relativa ou absolutamente.

De entre os métodos mais utilizados para a avaliação da vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas, destacam-se aqui o GOD-S e o DRASTIC:

- Índice **GOD-S** (e.g., Foster et al., 2002) – Método utilizado para a classificação da avaliação da vulnerabilidade intrínseca, adaptado do método GOD, sendo considerados quatro parâmetros [G, *Groundwater confinement* (confinamento da água subterrânea); O, *Overlying strata* (estratos de cobertura); D, *Depth to groundwater* (profundidade da água subterrânea); e S, *Soil cover type* (tipo de solo de cobertura)]. Este método considera cinco classes de vulnerabilidade: Insignificante (< 0,15); Baixa (0,1 – 0,3); Moderada (0,3 – 0,5); Alta (0,5 – 0,7); e Extrema (0,7 – 1);
- Índice **DRASTIC** (Aller et al., 1987) – Método utilizado para a avaliação da vulnerabilidade intrínseca que quantifica a vulnerabilidade relativa. Trata-se de um método baseado em sete parâmetros [D, *Depth to groundwater* (profundidade da água subterrânea); R, *Recharge/infiltration* (recarga/infiltração do aquífero); A, *Aquifer characteristics* (características do aquífero); S, *Soil type* (tipo de solo); T, *Topography/slope* (topografia/declive); I, *Impact of the unsaturated zone* (impacto da zona não-saturada); e C, *hydraulic Conductivity* (condutividade hidráulica)] e é expressa pela Equação 6, onde o índice r traduz o intervalo e o índice w o peso:

$$Dr.Dw + Rr.Rw + Ar.Aw + Sr.Sw + Tr.Tw + Ir.Iw + Cr.Cw \quad \text{Equação 6}$$

Este método considera oito classes de vulnerabilidade: < 80; 80 – 100; 100 – 120; 120 – 140; 140 – 160; 160 – 180; 180 – 200; > 200.

A contaminação das águas subterrâneas não se trata de um problema irreversível. Existem formas naturais como por exemplo a diluição, a dispersão, a filtragem mecânica, a volatilização, a atividade biológica, a troca iônica e adsorção, as reações químicas e o decaimento radioativo, que atuam como mecanismos de atenuação da contaminação das águas (Fetter, 2001).

---

**4. As bacias hidrográficas da  
Asprela e de Massarelos  
(Porto)**

---



#### **4. As bacias hidrográficas da Asprela e de Massarelos (Porto): caracterização preliminar hidrogeológica e dos focos de contaminação numa área urbana**

##### **4.1. Trabalhos prévios**

A área em estudo foi alvo de uma série de estudos científicos prévios, cujas informações ajudaram a compreender os constrangimentos geotectónicos e hidrogeológicos e a refinar o modelo hidrogeológico concetual da área. De índole local e/ou regional, salientam-se os estudos monográficos de Reis (2002), Fernandes (2009), Vieira (2009), Freitas (2010) e Afonso (2011). É de realçar ainda a existência de monografias científicas, atualmente com cariz histórico, publicadas entre finais do século XVII e inícios do século XX, as quais não sendo de índole hidrogeológica, no sentido estrito, versam a temática da hidrologia subterrânea, numa perspetiva química e microbiológica, associada quer aos numerosos mananciais (nascentes) da cidade, quer aos fontanários e chafarizes associados a estas nascentes, quer ainda aos poços existentes. Destacam-se aqui alguns dos mais importantes (ver pormenores sobre as questões hidrohíóricas da cidade do Porto em Afonso, 2011; Freitas et al., 2014; Chaminé et al., 2014): Balthazar Guedes (1669), Sousa Reis (1867), Bourbon e Noronha (1885), Ferreira da Silva (1889), D'Andrade Junior (1895), Carteador Mena (1908), Fontes (1908) e Bahia Junior (1909).

##### **4.2. Enquadramento geográfico e socioeconómico**

As áreas em estudo localizam-se na cidade do Porto, a qual se encontra delimitada a Norte pelos municípios de Matosinhos e da Maia, a Este pelo município de Gondomar, a Sul pelo Rio Douro, que estabelece o limite com o município de Vila Nova de Gaia, e a Oeste pelo Oceano Atlântico. A cidade do Porto é, desde 2013, de acordo com a “Reorganização Administrativa do Território das Freguesias” (Lei n.º 11-A/2013, de 28 de Janeiro), constituída por sete freguesias, a saber ([Figura 26](#)): 1- União das Freguesias de Aldoar, Foz do Douro e Nevogilde; 2- Freguesia de Ramalde; 3- União das Freguesias de Lordelo do Douro e Massarelos; 4- Freguesia de Paranhos; 5- União das Freguesias de Cedofeita, Santo Ildefonso, Sé, Miragaia, São Nicolau e Vitória; 6- Freguesia de Bonfim; 7- Freguesia de Campanhã.

A região em apreço pertence à Grande Área Metropolitana do Porto, a qual corresponde à segunda maior área urbana de Portugal. A cidade do Porto é a capital desta região densamente povoada, abrangendo uma área de cerca de 41 km<sup>2</sup> e totalizando uma população de 237.559 habitantes (INE, 2011).

As bacias hidrográficas alvo deste estudo localizam-se, fundamentalmente, na Freguesia de Paranhos (Ribeira da Asprela) e na União das Freguesias de Lordelo do Douro e Massarelos e das Freguesias de Cedofeita, Santo Ildefonso, Sé, Miragaia, São Nicolau e Vitória (Ribeira de Massarelos (Figura 27)).

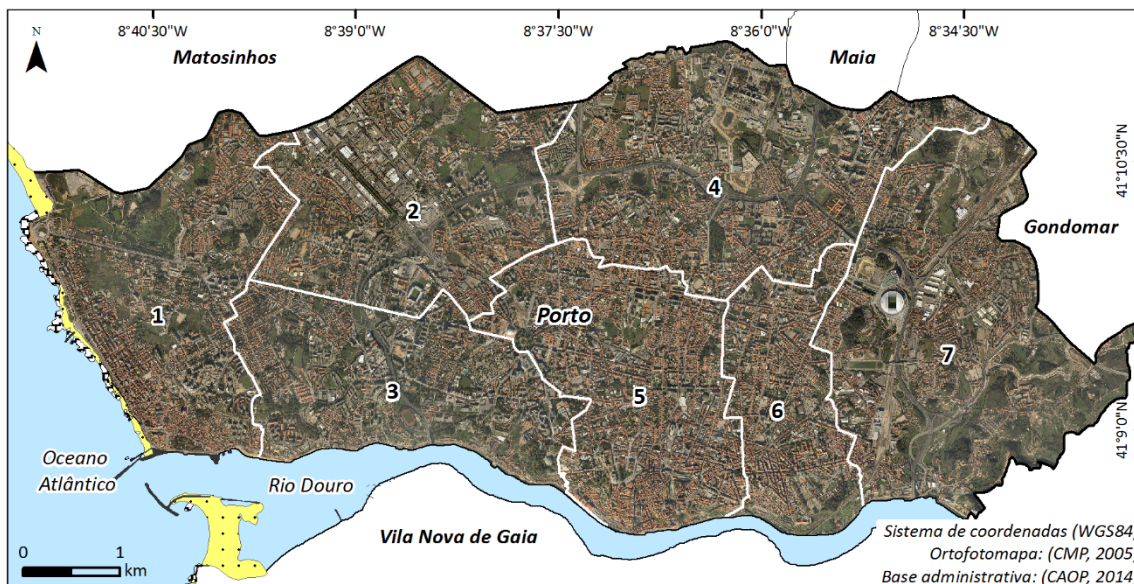


Figura 26 – Enquadramento geográfico das áreas em estudo e demarcação das sete freguesias constituintes do Concelho do Porto (adaptado de Freitas et al., 2014).

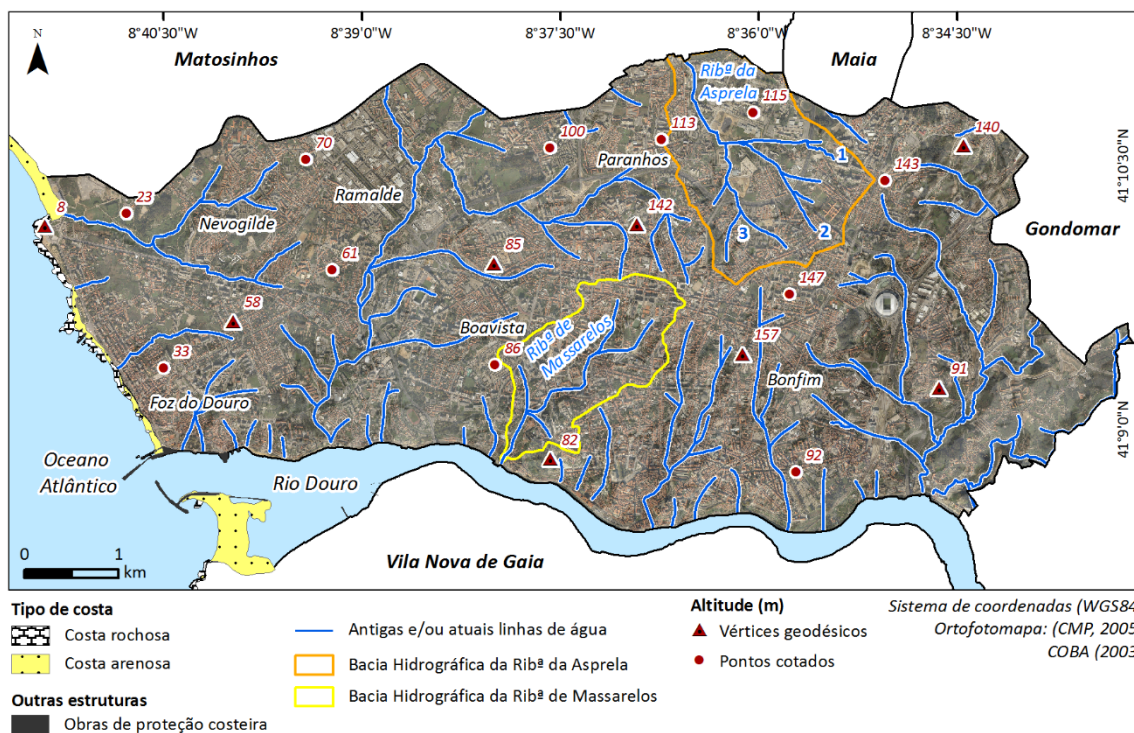


Figura 27 – Principais linhas de água na cidade do Porto e delimitação das bacias hidrográficas das Ribeiras da Asprela (afluentes: 1 – Ribeira da Areosa; 2- Ribeira do Outeiro; 3 - Ribeira de Paranhos) e de Massarelos (adaptado de Freitas, *in prep*).

### 4.3. Ocupação do solo

De acordo com as cartas de uso e ocupação do solo de Portugal Continental CORINE Land Cover 2006 (CLC2006, Caetano et al., 2009) e COS2007 (IGP, 2010), a maior parte (63,17%) da cidade do Porto é ocupada por áreas urbanizadas, às quais se seguem as áreas industriais, de comércio e transportes (16,64%), estas últimas em particular nas zonas Norte e Este da cidade. As “Áreas verdes urbanas” em conjunto com as “Florestas e áreas naturais e seminaturais” perfazem uma área significativa (16,51%), (Quadro 17, Figura 28).

Quadro 17 – Representação das áreas de ocupação do solo do Concelho do Porto.

Uso do solo	Área final (km <sup>2</sup> )	%
Tecido urbano	25,13	63,17
Indústria, comércio e transportes	6,62	16,64
Áreas verdes urbanas	3,78	9,50
Florestas e áreas naturais e semi-naturais	2,79	7,01
Áreas agrícolas	1,43	3,59
Corpos de água	0,03	0,08
<b>Total</b>	<b>39,78</b>	<b>100</b>

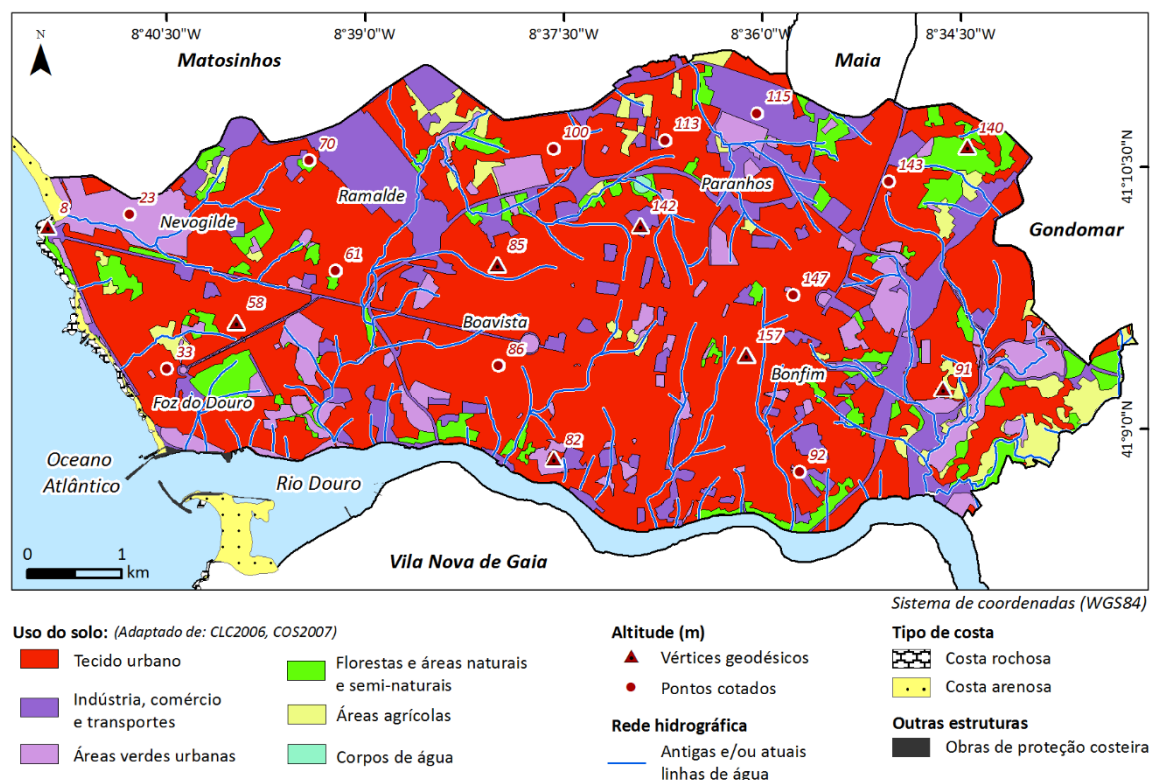


Figura 28 – Ocupação do solo no Concelho do Porto (adaptado de Freitas, *in prep*).

#### 4.4. Enquadramento geomorfológico e geológico

Em termos geomorfológicos regionais, a cidade do Porto encontra-se enquadrada no Maciço Ibérico (Ribeiro et al., 1990, 2007; Araújo et al., 2003; Afonso, 2003, 2011), onde se verifica uma faixa aplanada (Plataforma Litoral) que se desenvolve a partir das altitudes dos 125 m e que vai subindo até aos 150 m para Sul do Porto (Araújo et al., 2003). Quanto à geomorfologia local na cidade do Porto (Figura 29), é evidenciada uma alternância entre áreas aplanadas (maioritariamente entre os 80 e os 125 m de altitude) e vales de linhas de água pequenas. As áreas aplanadas vão aumentando a sua altitude de Oeste para Este e de Sul para Norte. A área onde se encontram as áreas aplanadas mais elevadas é a área Nordeste da cidade, com cotas que variam entre os 130 e os 160 m, e a área onde estas são menos elevadas corresponde à zona Oeste, com altitudes inferiores a 25 m (Freitas, 2010, *in prep*; Freitas et al., 2014).

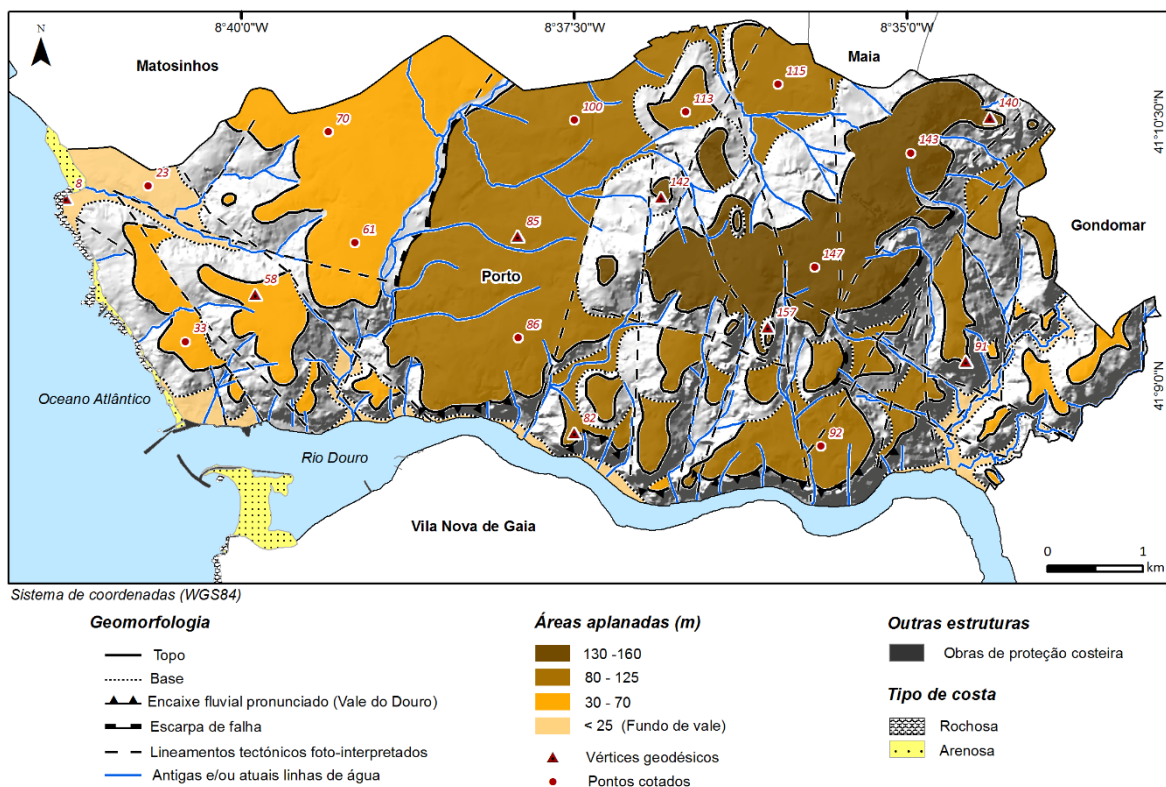
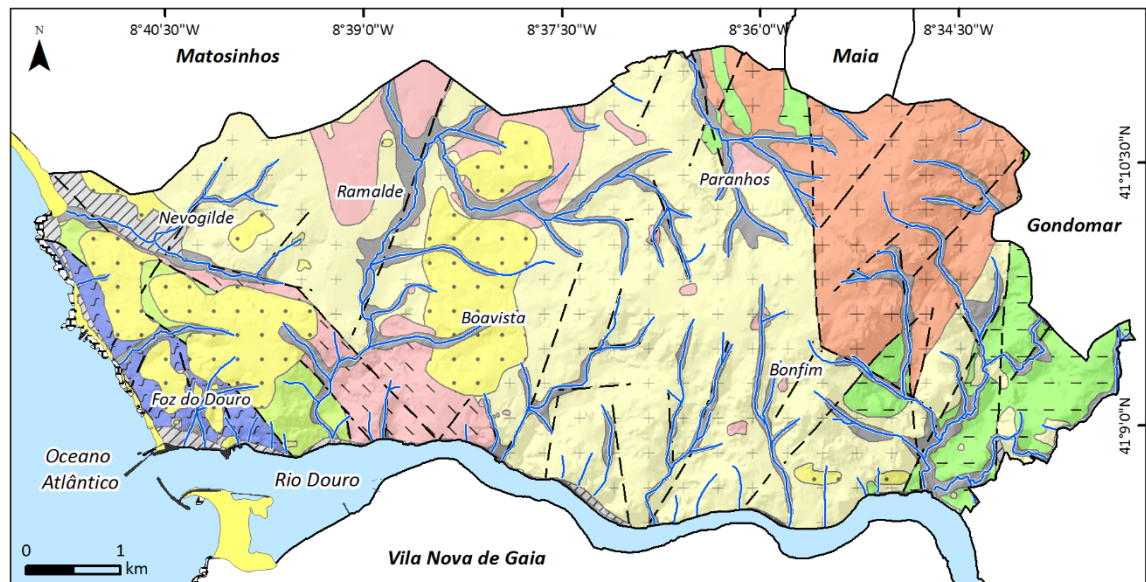


Figura 29 – Esboço geomorfológico do Concelho Porto (adaptado de Freitas, 2010, *in prep*; Freitas et al., 2014).

Em termos geológicos, a cidade do Porto é caracterizada pela dominância de rochas graníticas (e.g., Carrington da Costa & Teixeira, 1957; Pereira et al., 1989; Almeida, 2001; COBA, 2003; Chaminé et al., 2003, 2010), sendo estas distribuídas, maioritariamente, por quatro grupos de granitóides (Figura 30):

- fácies granítica do Porto: de duas micas, de grão médio e textura granular;
- fácies granítica de Contumil: de duas micas, de grão médio a grosseiro com megacristais de feldspato potássico;
- fácies granítica da Arrábida e da Afurada: predominantemente biotítico, de grão fino e deformado;
- fácies granítica do Castelo do Queijo e da Cantareira: biotítico, porfiróide, de grão médio a grosseiro.



Sistema de coordenadas (WGS84)

Revisto e atualizado de Carrington da Costa & Teixeira, 1957; Pereira et al., 1989; Coba, 2003; Chaminé et al., 2003

**Unidades geológicas:**

**Depósitos de cobertura**

- Aluviões; indiferenciado (ind)
- Areias e cascalhos

**Rochas metassedimentares**

- Xistos e grauvaques
- Micaxistos (com distena e granada)
- Ortognaisses e milonitos

**Rochas graníticas**

- Granito, de grão médio a fino, de duas micas, por vezes caulizado [caul] (Granito do Porto)
- Granito, de grão médio a grosseiro, de duas micas com megacristais de feldspato potássico (Granito de Contumil)
- Granito, de grão fino, predominantemente biotítico, deformado (Granito da Arrábida e Afurada)

**Altitude (m)**

- Vértices geodésicos
- Pontos cotados
- Antigas e/ou atuais linhas de água
- Lineamentos tectónicos foto-interpretados

**Tipo de costa**

- Costa rochosa
- Costa arenosa

**Outras estruturas**

- Obras de proteção costeira

Figura 30 – Esboço geológico da cidade do Porto (adaptado de Chaminé et al., 2010).

O primeiro grupo corresponde à fácies mais representativa na cidade. A fácies de Contumil encontra-se bem representada na zona Nordeste da cidade, nomeadamente em Contumil e na Areosa. O Granito da Arrábida e da Afurada prolonga-se, na margem esquerda do rio Douro, no designado Granito da Afurada. A fácies do Castelo do Queijo e da Cantareira encontra-se apenas representada no afloramento, vulgarmente, designado por Castelo do Queijo, bem como em exíguos afloramentos que ocorrem na zona da Cantareira e na praia da Luz.

Ocorrem igualmente na cidade rochas de alto grau metamórfico (*e.g.*, Carrington da Costa & Teixeira, 1957; Bravo & Abrunhosa, 1978; Borges et al., 1985; Pereira et al., 1989; Chaminé et al., 2003) na zona Oeste junto à orla litoral entrsores e a foz do rio Douro e o Castelo do Queijo, constituindo o designado Complexo Gnáissico da Foz do Douro ou Complexo Metamórfico da Foz do Douro e, na zona Este, rochas metassedimentares, nomeadamente xistos, micaxistos e metagrauvaques (Figura 30).

Relativamente aos depósitos de cobertura estes incluem-se, essencialmente, em dois grupos (*e.g.*, Carrington da Costa & Teixeira, 1957; Soares de Carvalho, 1992; Araújo et al., 2003; COBA, 2003) (Figura 30):

- depósitos de areias e cascalhos que ocorrem na base dos relevos mais elevados, de origem marinha, localizados na faixa litoral existente na Foz do Douro e Nevogilde, correspondentes a terraços marinhos, e depósitos considerados de origem fluvial; incluem-se aqui os depósitos do Prado do Repouso e da Quinta de Nova Sintra, bem como nas zonas da Pasteleira, Ramalde, cemitério de Aldoar e Prelada;
- formações aluvionares, que correspondem a depósitos fluviais que ocupam os vales de pequenos rios e ribeiros, de natureza, essencialmente, silto-arenosa. Estas formações concentram-se especialmente na zona Este da cidade, nomeadamente nos vales dos rios Tinto e Torto. Nesta unidade foram incluídos os depósitos de aterros, cujas manchas mais desenvolvidas se concentram na parte Oeste da cidade, junto ao Parque da Cidade e na marginal entre a Circunvalação e a foz do rio Douro.

Em termos de fraturação regional, as orientações dominantes são de NW-SE, NE-SW a NNE-SSW e E-W. Os sistemas principais de descontinuidades (diaclasses e falhas), medidos nos diversos afloramentos graníticos da cidade revelam como mais marcada a orientação NE-SW, seguida da WNW-ESE a NW-SE, predominando em termos de inclinação as descontinuidades subverticais a verticais (*e.g.*, COBA, 2003; Chaminé et al., 2003, 2010).

#### 4.5. Rede de drenagem

A organização geral da rede de drenagem na região em estudo reflete, em grande parte, a tectónica da área, especialmente, os sistemas de fraturação regional (NW-SE a NNW-SSE, NE-SW a NNE-SSW e W-E). A rede de drenagem na região em estudo é parte integrante, fundamentalmente da bacia hidrográfica do rio Douro, tal como as Ribeiras de Massarelos e da Granja. No entanto, existem linhas de água que drenam diretamente para o Oceano Atlântico, como a Ribeira de Aldoar, na zona Oeste da cidade e outras, como a Ribeira da Asprela na zona Norte, que constitui parte integrante da bacia hidrográfica do Rio Leça. A maior parte das linhas de água encontra-se soterrada ou canalizada, como consequência do desenvolvimento urbano. Exceções a estes casos são os rios Tinto e Torto, na zona Este da cidade, que fluem totalmente a céu aberto (cf. [Figura 27](#)).

#### 4.6. Hidroclimatologia

Em termos regionais, o território NW de Portugal Continental classifica-se, em termos bioclimáticos, como de tipo Atlântico, sendo muito influenciado pela orientação do relevo que corporiza o primeiro obstáculo ao fluxo de Oeste após um longo trajeto sobre o Oceano Atlântico (Alcoforado et al., 1982).

A precipitação na cidade do Porto apresenta-se irregularmente distribuída ao longo do ano, encontrando-se apenas ausente em um ou dois meses por ano ([Figura 31](#)). Quanto à delimitação temporal da estação chuvosa, pode dizer-se que esta é constituída pelos meses de Inverno e finais de Outono, sendo os meses mais secos Julho e Agosto. De acordo com as normais climatológicas para o período 1981-2010 na estação climatológica do Porto - Serra do Pilar (<https://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/1981-2010/014/>), a precipitação média anual cifra-se em 1236,8 mm, valor que se encontra no intervalo obtido por Afonso (2011), 1200-1250 mm. O regime térmico desta região é de fracas amplitudes térmicas anuais. Em Janeiro, as temperaturas mínimas oscilam entre 0-10 °C e as temperaturas máximas entre 10-15 °C. Por outro lado, as temperaturas mínimas no mês de Julho variam entre 10-15 °C e as temperaturas máximas no mesmo mês entre 20-30 °C ([Figura 32](#)). O mês que se verificou mais frio foi o mês de Janeiro, seguido do de Dezembro e os meses mais quentes foram os de Julho e Agosto seguidos dos de Junho e Setembro.

De acordo com as normais climatológicas para o período 1981-2010 na estação climatológica do Porto - Serra do Pilar (<https://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/1981-2010/014/>), a temperatura média anual cifra-se em 15,2 °C, valor que se aproxima do obtido por Afonso (2011), cerca de 14 °C.

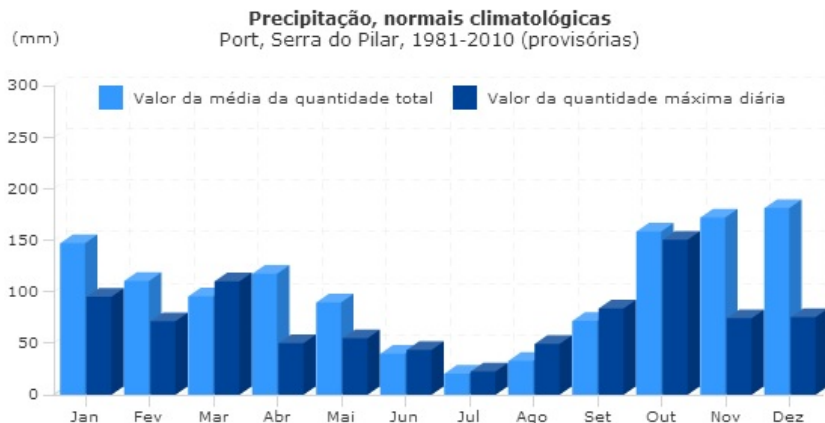


Figura 31 – Normais climatológicas de precipitação para o período 1981-2010 na estação climatológica do Porto - Serra do Pilar (<https://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/1981-2010/014/>).

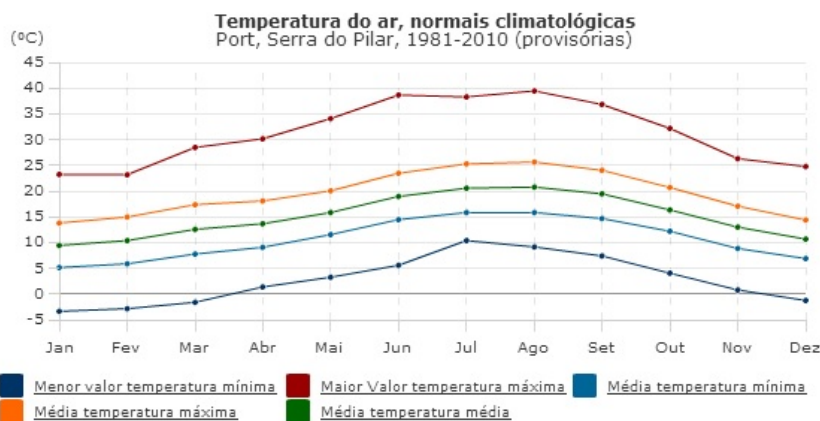


Figura 32 – Normais climatológicas de temperatura para o período 1981-2010 na estação climatológica do Porto - Serra do Pilar (<https://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/1981-2010/014/>).

Através do critério de classificação climática de Köppen (1936), a cidade do Porto apresenta um clima do tipo Csb, clima temperado com Verão seco e suave.

Uma vez que o inventário hidrogeológico foi realizado no decurso do ano de 2014, pretendeu-se obter alguns dados hidroclimatológicos para esse período. Foi possível recolher registos da precipitação (Figura 33), humidade do ar (Figura 34) e temperatura do ar (Figura 35) a partir da estação meteorológica do ISEP (<http://meteo.isep.ipp.pt/weather/index.html>).

Da análise da Figura 33 pode constatar-se que foi um ano muito pluvioso, tendo sido os meses mais chuvosos os de Janeiro e Fevereiro e os mais secos os meses de Junho e Agosto. A precipitação total registada no ano em estudo foi de 2157 mm.

Quanto à humidade do ar, verifica-se através da Figura 34 que se tratou de um ano em que esta variou entre os 30 e os 100%, sendo que os meses mais húmidos foram os de Janeiro e Fevereiro (80-100%), e os mais secos os de Junho, Julho, Agosto (37-96%).

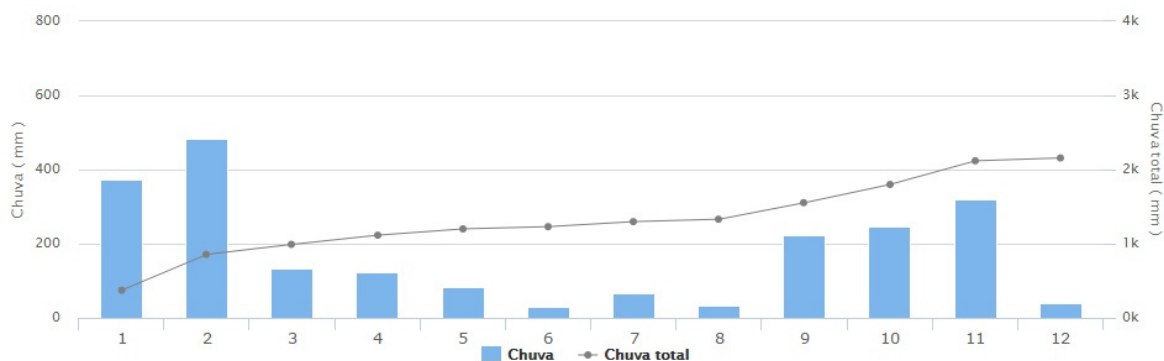


Figura 33 – Registos diários da precipitação mensal (mm) e precipitação total (mm) referentes ao ano de 2014 (<http://meteo.isep.ipp.pt/weather/index.html>).

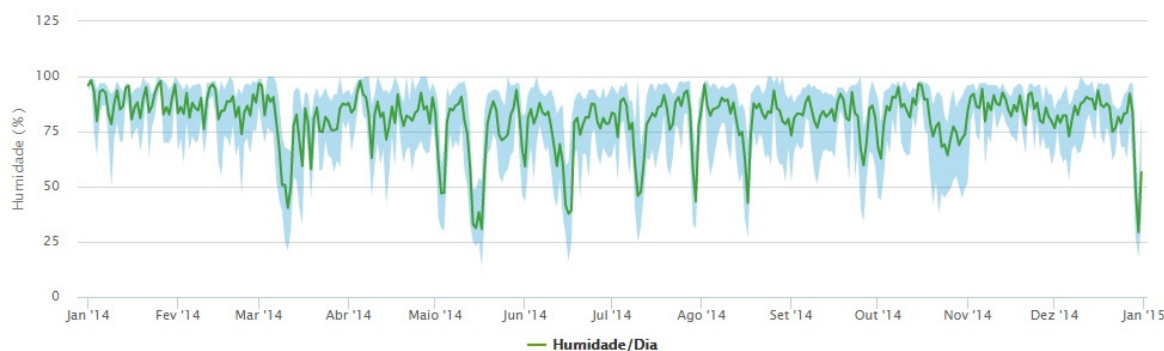


Figura 34 – Registos diários de humidade (%) referente ao ano de 2014 (<http://meteo.isep.ipp.pt/weather/index.html>).

No que diz respeito aos registos da temperatura do ar (Figura 35), conclui-se que os meses mais frios foram os de Janeiro, Fevereiro e Dezembro, com temperaturas na ordem dos 8,5-13,5 °C e que os meses mais quentes foram os de Julho, Agosto e Setembro, com valores na ordem dos 16,5-26,5 °C. A temperatura média anual rondou os 15 °C.

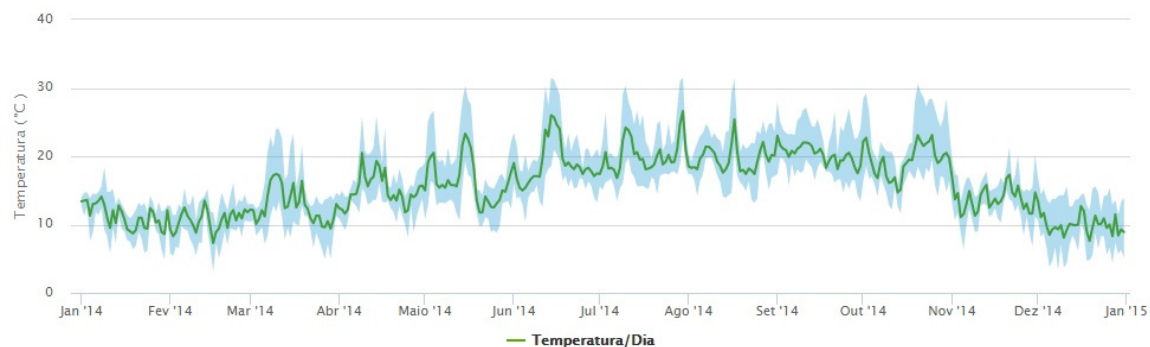


Figura 35 – Registos diários da temperatura média do ar (°C) referente ao ano de 2014 (<http://meteo.isep.ipp.pt/weather/index.html>).

4.7. Unidades hidrogeológicas

As condições geológicas, morfoestruturais, tectónicas e hidroclimatológicas da cidade do Porto condicionam do ponto de vista hidrogeológico a existência dos recursos hídricos subterrâneos (e.g., Pedrosa, 1999; Carvalho et al., 2000, 2003; Afonso et al., 2004; Carvalho 2006; Afonso, 1997, 2003, 2011).

Os grupos hidrogeológicos correspondem, grosso modo, às unidades geológicas maiores apresentadas em 4.4 e a sistematização das sete unidades hidrogeológicas (UH) foi realizada com base nas características litológicas e estruturais e numa série de outros parâmetros, tais como a ligação à rede hidrográfica, tipo de escoamento, horizonte de alteração e captações mais produtivas (Afonso et al., 2010; Afonso, 2011).

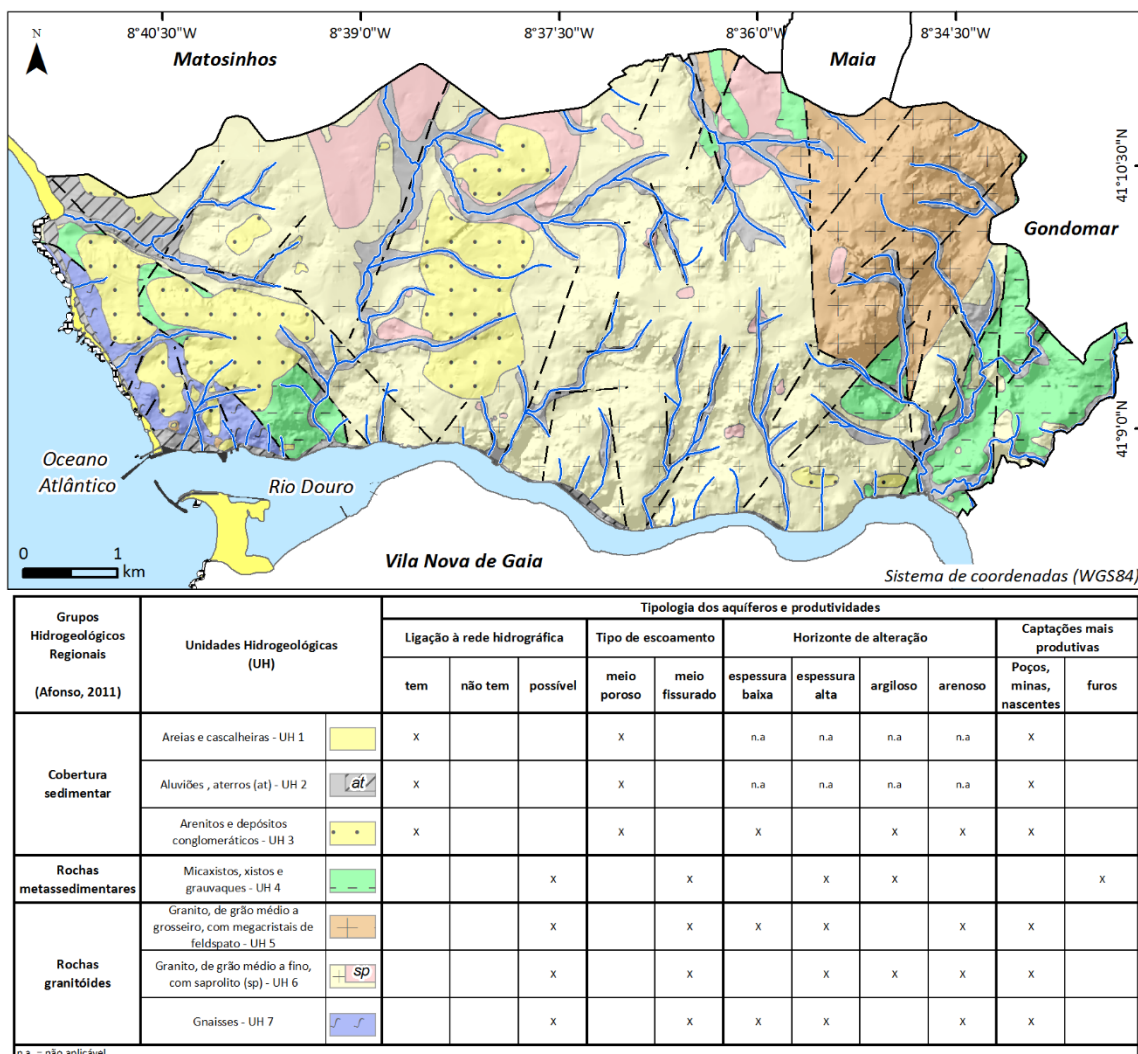


Figura 36 – Esboço hidrogeológico e caracterização das unidades hidrogeológicas do Concelho do Porto (adaptado de Afonso et al., 2010; Afonso, 2011).

#### 4.8. As bacias hidrográficas da Asprela e de Massarelos: descrição

A descrição que seguidamente se apresenta baseou-se, nomeadamente, nos trabalhos de Reis (2002), COBA (2003), Fernandes (2009), Vieira (2009) e ainda no *site* do “Projeto Ribeiras do Porto” (<http://www.ribeirasdoporto.pt/>).

Tal como se referiu anteriormente, as bacias hidrográficas da Asprela e de Massarelos desenvolvem-se, respetivamente, nas zonas Norte e Sul da cidade do Porto, constituindo a primeira uma sub-bacia do Rio Leça e a segunda do Rio Douro.

A bacia hidrográfica da Asprela apresenta uma área maior que a bacia hidrográfica de Massarelos, mas ambas se apresentam maioritariamente canalizadas como se pode verificar nos dados apresentados no Quadro 18. De referir que as extensões e a área da bacia da Asprela correspondem apenas ao seu desenvolvimento no Concelho do Porto, uma vez que esta ribeira tem continuidade para Norte, no concelho de Matosinhos.

Quadro 18 – Características físicas das bacias hidrográficas da Asprela e Massarelos.

	Bacia Hidrográfica da Asprela	Bacia Hidrográfica de Massarelos
Área da bacia hidrográfica (km <sup>2</sup> )	3,4	2,1
Extensão a céu aberto (m)	1195,1	233,7
Extensão canalizada (m)	2840	4418,4

#### **Bacia hidrográfica da Asprela**

A ribeira da Asprela é um afluente do rio Leça. Esta ribeira desenvolve-se na área Norte do concelho do Porto e há três linhas de água afluentes de Este para Oeste, as ribeiras da Areosa, do Outeiro e de Paranhos, que se desenvolvem de Sul para Norte (Figura 37a). A maior parte da bacia em estudo é delimitada por redes viárias: a Norte pela estrada da Circunvalação, a Este pela Autoestrada A3 e a Sul pela Via de Cintura Interna (VCI) e ocorre centrando-se na envolvente do Pólo II - Asprela da Universidade do Porto, entre a Faculdade de Desporto da Universidade do Porto e o Instituto de Patologia e Imunologia Molecular da Universidade do Porto, onde se encontra a Linha Amarela do Metro do Porto.

A ribeira da Areosa inicia-se a Este da Autoestrada A3 e desenvolve-se na envolvente à Escola EB 2/3 da Areosa e na parte traseira da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

O maior afluente da ribeira em estudo trata-se da ribeira do Outeiro (<http://www.ribeirasdoporto.pt/Asprela/f11.htm>) que engloba dois braços: um que nasce a Este/Sul da Faculdade de Economia da Universidade do Porto e outro a Este da Autoestrada A3, na Rua Fonte do Outeiro, e outro tem a sua origem a Sul da VCI na Rua Dr. Pires de Lima.

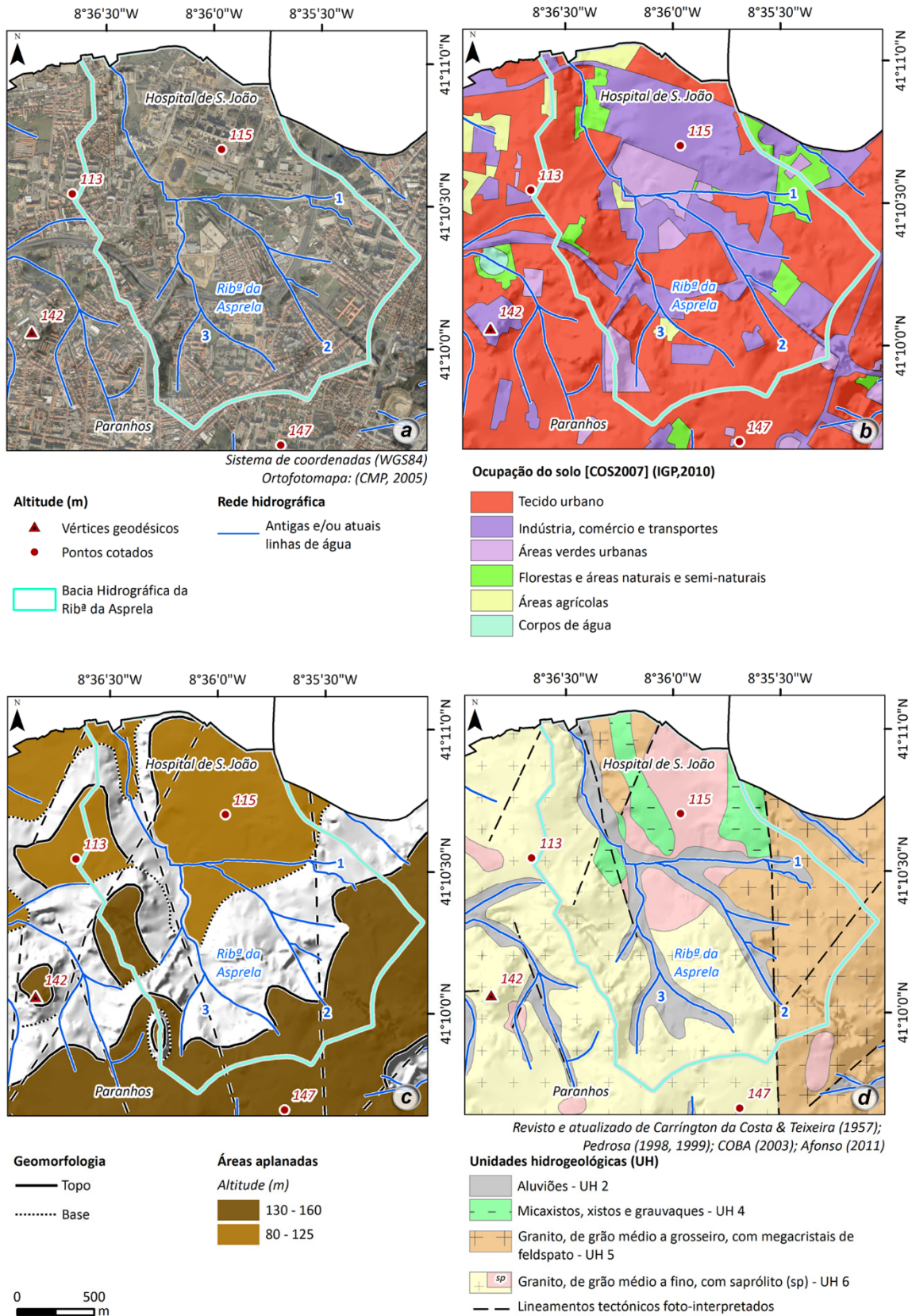


Figura 37 – Caracterização da bacia hidrográfica da Ribeira da Asprela (afluentes: 1 – Ribeira da Areosa; 2- Ribeira do Outeiro; 3 - Ribeira de Paranhos): (a) - Localização geográfica; (b) – Ocupação do solo; (c) – Geomorfologia; (d) – Unidades hidrogeológicas.

Esta ribeira a par com a ribeira da Areosa junta-se ao troço principal da ribeira em estudo na Rua Júlio Amaral de Carvalho.

A ribeira de Paranhos apresenta orientação de Sul para Norte até à confluência com a ribeira da Asprela na Rua Alfredo Allen. Esta tem origem no lavadouro público da Praceta Augusto Lessa, localizado atrás da Escola Preparatória de Paranhos<sup>1</sup>.

Relativamente à ocupação do solo (Figura 37b, Quadro 19), tal como para o Concelho em estudo, o “Tecido humano” é o que ocupa a maior área (cerca de 52%), ocupando a “Indústria, comércio e transportes”, igualmente, uma área bastante considerável (cerca de 32%).

Quadro 19 – Áreas de ocupação do solo na bacia hidrográfica da Ribeira da Asprela.

Uso do solo	Área final (km <sup>2</sup> )	%
Tecido urbano	1,77	52,21
Indústria, comércio e transportes	1,1	32,45
Áreas verdes urbanas	0,27	7,96
Florestas e áreas naturais e semi-naturais	0,17	5,01
Áreas agrícolas	0,08	2,36
Total	3,39	100

Em termos geomorfológicos (Figura 37c), nesta bacia predominam as áreas aplanadas com altitudes que variam entre 80 e 125 m, mas maioritariamente altitudes que rondam os 115 m. A ribeira da Asprela e as suas ribeiras afluentes estão inseridas em vales de fratura.

Relativamente às unidades hidrogeológicas (Figura 37d), esta bacia desenvolve-se, fundamentalmente, na unidade de granito de grão médio a fino com saprólito (UH 6).

### ***Bacia hidrográfica de Massarelos***

A ribeira de Massarelos, ao contrário da ribeira da Asprela, desenvolve-se de Norte para Sul. À medida que esta se desenvolve para Sul, passa pelo Palácio de Cristal e vai afunilando no Vale da Ribeira de Vilar e desagua no Rio Douro. De Oeste para Este pode reparar-se que existem três troços que afluem no troço principal da ribeira em estudo (Figura 38a), sendo que: o primeiro troço que aparece nasce na Rotunda da Boavista e afluí na Rua D. Pedro V, o segundo troço tem a sua origem na Rua do Gerês e o terceiro troço é gerado na Rua Damião de Góis, os dois últimos troços referidos afluem no troço principal junto à Linha do Metro do Porto na Lapa.

<sup>1</sup> <http://www.ribeirasdoporto.pt/Asprela/f9.htm>

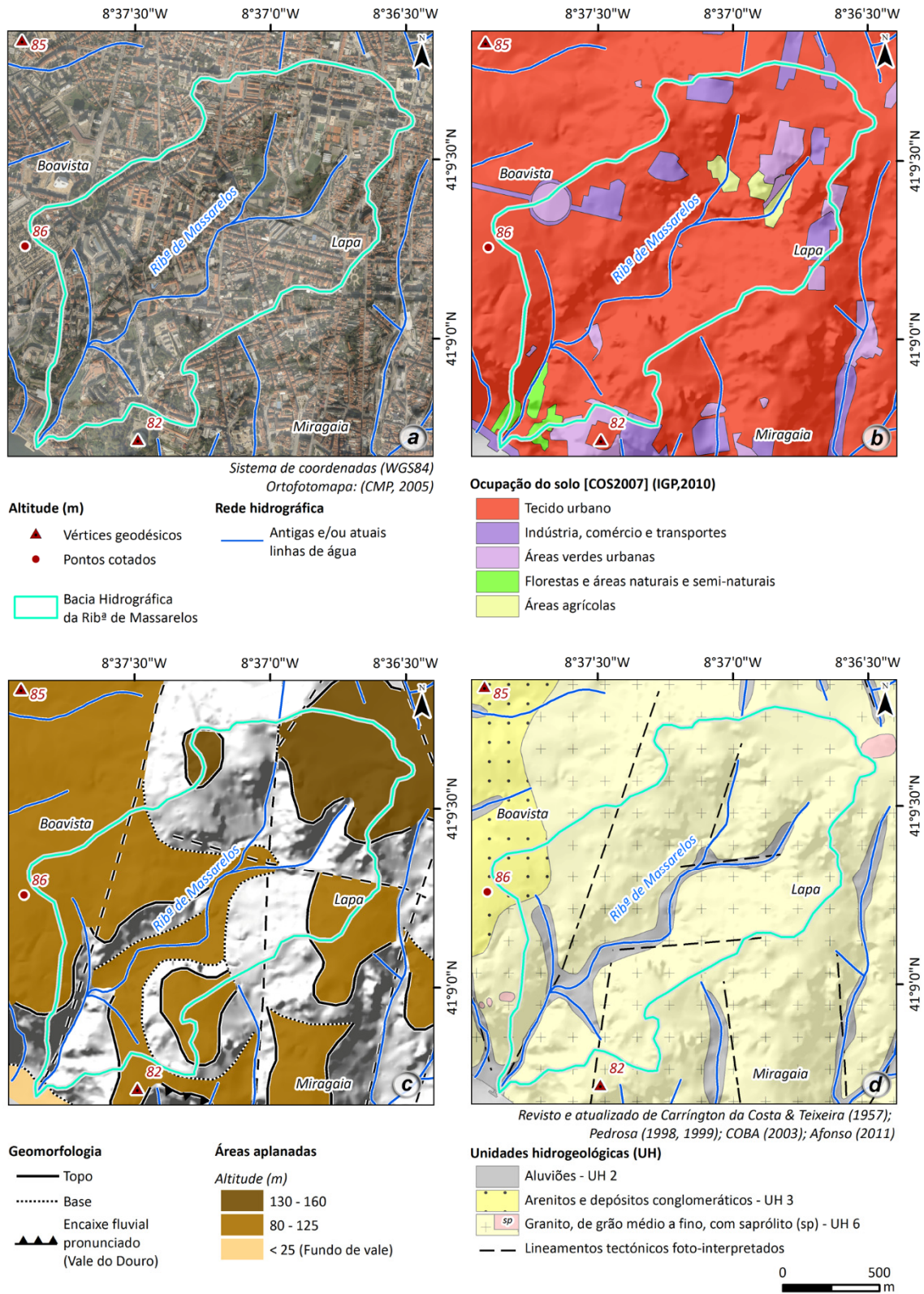


Figura 38 – Caracterização da bacia hidrográfica da Ribeira de Massarelos: (a) Localização geográfica; (b) Ocupação do solo; (c) Geomorfologia; (d) Unidades hidrogeológicas.

Relativamente à ocupação do solo ([Figura 38b](#), [Quadro 20](#)), o “Tecido urbano” representa a maioria da área da bacia (cerca de 84%).

Quadro 20 – Áreas de ocupação do solo na bacia hidrográfica da Ribeira de Massarelos.

Uso do solo	Área final (km <sup>2</sup> )	%
Tecido urbano	1,77	83,89
Indústria, comércio e transportes	0,15	7,11
Áreas verdes urbanas	0,1	4,74
Florestas e áreas naturais e semi-naturais	0,04	1,90
Áreas agrícolas	0,05	2,37
Total	2,11	100

Em termos geomorfológicos ([Figura 38c](#)), as áreas aplanadas entre os 80 e os 125 m são as mais evidenciadas, embora dentro destas predominem áreas de altitudes mais baixas na ordem dos 85 m. A Ribeira de Massarelos está inserida num vale de fratura.

Relativamente às unidades hidrogeológicas ([Figura 38d](#)), esta bacia desenvolve-se quase exclusivamente na unidade de granito de grão médio a fino com saprólito (UH 6).

#### 4.9. Inventário hidrogeológico

O inventário hidrogeológico ([Figura 39](#)) decorreu no período de Março a Setembro de 2014 e contemplou 29 pontos de água na totalidade das duas bacias hidrográficas em estudo, correspondendo a tipologia dos pontos de água a fontanários, chafarizes, lavadouros e nascentes. Ressalva-se o facto de, à data do inventário, a informação existente para a água de diversos fontanários e lavadouros era que estes seriam abastecidos por águas de nascente e/ou minas. Contudo, numa etapa posterior, foi-nos informado pela empresa “Águas do Porto” que alguns desses pontos, para o período em análise, estariam ligados à água da rede pública.

Neste inventário foram descritos alguns aspetos importantes para uma melhor caracterização física e espacial dos pontos de água, tais como: cota, enquadramento geológico e hidrogeológico, características organoléticas (*e.g.*, cheiro, cor), características físico-químicas (*e.g.*, pH, temperatura), entre outros. Para cada ponto foi preenchida uma ficha de inventário de acordo com o modelo apresentado no [Capítulo 2](#). Na [Figura 40](#) apresenta-se o exemplo da ficha de inventário para o ponto P\_04\_03, correspondente à Fonte do Outeiro.



Figura 39 – Exemplos da tipologia utilizados no inventário hidrogeológico nas duas bacias hidrográficas: (a) P\_03\_15 (Campo Pequeno – Chafariz); (b) P\_03\_03 (Massarelos – Nascente); (c) P\_05\_04 (Bouça – Fontanário); (d) P\_03\_02 (Bicas de Massarelos – Lavadouro).


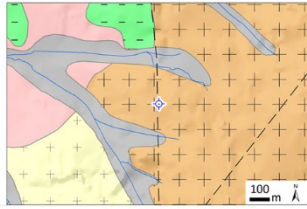

Ficha de inventário hidrogeológico			
<b>Nº de inventário:</b> P_04_03	<b>Denominação:</b> Fonte do Outeiro	<b>Classificação:</b> Fontanário	
			
Planta de localização*	Mapa hidrogeológico	Fotografia	
Carta Militar de Portugal: 122 - Porto	Escala: 1/25 000	Cota (m): 130	
Coordenadas (WGS84):	Latitude: 41° 10' 29,76" N	Longitude: 8° 35' 36,03" W	
Condições de acesso: Fácil: x	Difícil: -	Condicionado: -	Inacessível: -
Observações: -			
<b>Proprietário</b>			
Câmara Municipal: x	Outro: -		
Morada: Travessa da Fonte do Outeiro, s/n Porto			
<b>Geomorfologia (T- Topo; I- Intermédio; B- Base)</b>			
Planalto (T; B): -	Encosta (T; I; B): -		
Vale (T; I; B): T	Observações: -		
<b>Enquadramento Geológico e Hidrogeológico**</b>			
Carta geológica: 9-C Porto	Escala: 1/50 000		
Litologia: Granito, de grão médio a grosseiro, de duas micas com megacristais de feldspato potássico (Granito de Contumil)			
Carta hidrogeológica: Folha 1	Escala: 1/200 000		
Unidade hidrogeológica local (ver mapa em anexo): UH 5			
Armadilha hidrogeológica suposta (e.g. falha, contacto geológico, filão): Falha geológica			
<b>Condições de ocorrência</b>			
Nascente: -	Mina de água: -	Tubo (diâmetro, cm): -	
Área alagada/charca: -	Solo (S) / Rocha (R): -	Outro: Torneira	
<b>Hidroclimatologia***/Hidrogeologia</b>			
Data: 12-09-2014	Hora: 16:54	Temperatura do ar (°C): 24,6	Humidade relativa (%): 75
Turbidez: Límpida	Sabor: Não	Cheiro: Inodoro	Cor: Incolor
Caudal (L/s): -	Medido com: -	Temperatura da água (°C): 25,4	
pH: 7,07	Cond. eléctrica (µS/cm): 300	Observações: Água da rede pública	
Recolha para análise laboratorial: Sim/Não: Não	Referência: -	Tipo de análise [química (Q), isotópica (I)]: -	
<b>Utilização</b>			
Consumo humano: x	Uso industrial: -		
Uso agrícola: -	Observações: -		
Preenchido por: LR/LF	Verificado por: MJA/HIC		
Data: 13/09/2014	Data: 10/10/2014		
* CMP - Câmara Municipal do Porto (2005)			
**Carrington da Costa & Teixeira (1957); Pedrosa (1998, 1999); COBA (2003); Afonso (2011)			
***Estação meteorológica do ISEP ( <a href="http://meteo.isep.ipp.pt/weather/index.html">http://meteo.isep.ipp.pt/weather/index.html</a> )			

Figura 40 – Exemplo da ficha de inventário hidrogeológico para o ponto P\_04\_03.

### Bacia Hidrográfica da Asprela

No inventário relativo a esta bacia hidrográfica foram identificados 8 pontos: 7 fontanários e 1 lavadouro (Figura 41). As características de todos os pontos inventariados encontram-se sintetizadas no Quadro 21.



Figura 41 – Localização dos 8 pontos de inventário hidrogeológico na bacia hidrográfica da Asprela (afluentes: 1 – Ribeira da Areosa; 2- Ribeira do Outeiro; 3 - Ribeira de Paranhos).

Quadro 21 – Síntese das características dos 8 pontos de inventário hidrogeológico da bacia hidrográfica da Asprela.

Inventário Hidrogeológico da Bacia Hidrográfica da Asprela								
Generalidades				Coordenadas geográficas (WGS84)		Condições de acesso	Proprietário	
Nº de inventário	Denominação	Classificação	Cota (m)	Latitude	Longitude	Fácil	Câmara Municipal do Porto	Morada
P_04_01	Largo da Cruz	Fontanário	145	41° 10' 12,13" N	8° 35' 20,47" W			Largo das Cruzes, s/n Porto
P_04_02	Pires de Lima	Fontanário	146	41° 10' 1,03" N	8° 35' 49,96" W			Rua do Doutor Joaquim Pires de Lima, s/n Porto
P_04_03	Fonte do Outeiro	Fontanário	130	41° 10' 29,76" N	8° 35' 36,03" W			Travessa da Fonte do Outeiro, s/n Porto
P_04_04	Dionísio Santos Silva	Fontanário	120	41° 10' 32,48" N	8° 36' 28,00" W	x	x	Rua Dionísio Santos Silva, s/n Porto
P_04_05	Colónia Dr. Manuel Laranjeira	Fontanário	129	41° 10' 13,55" N	8° 35' 57,29" W			Colónia Dr. Manuel Laranjeira, s/n Porto
P_04_06	Augusto Lessa	Fontanário	120	41° 10' 11,91" N	8° 36' 10,73" W			Travessa Augusto Lessa, s/n Porto
P_04_07	Augusto Lessa	Lavadouro	118	41° 10' 13,02" N	8° 36' 10,15" W			Travessa Augusto Lessa, s/n Porto
P_04_08	Via Sacra	Fontanário	147	41° 10' 14,82" N	8° 36' 27,03" W			Travessa da Via Sacra, s/n Porto

Quadro 21 - (cont.).

Inventário Hidrogeológico da Bacia Hidrográfica da Asprela							
Geomorfologia (T- Topo; I- Intermédio; B- Base)					Enquadramento Geológico e Hidrogeológico		
Nº de inventário	Planalto	Vale	Encosta	Observações	Litologia	Unidade hidrogeológica local	Armadilha hidrogeológica suposta
P_04_01	T	-	-	Área aplanada (130 - 160 m)	Granito, de grão médio a grosseiro, de duas micas com megacristais de feldspato potássico (Granito de Contumil)	UH 5	-
P_04_02	T	-	-	Área aplanada (130 - 160 m)	Granito de grão médio a fino, duas micas (Granito do Porto)	UH 6	-
P_04_03	-	T	-	-	Granito, de grão médio a grosseiro, de duas micas com megacristais de feldspato potássico (Granito de Contumil)	UH 5	Falha geológica
P_04_04	-	-	I	-	Granito de grão médio a fino, duas micas (Granito do Porto)	UH 6	-
P_04_05	-	-	I	-			-
P_04_06	-	-	I	-	Aluviões	UH 2	-
P_04_07	-	-	I	-			-
P_04_08	T	-	-	Área aplanada (130 - 160 m)	Granito de grão médio a fino, duas micas (Granito do Porto)	UH 6	-

Quadro 21 – (cont.).

Inventário Hidrogeológico da Bacia Hidrográfica da Asprela																
Condições de ocorrência			Hidroclimatologia / Hidrogeologia													Utilização
Nº de inventário	Tubo (diâmetro, cm)	Outro	Data	Hora	Temperatura do ar (°C)	Humidade relativa (%)	Turbidez	Sabor	Cheiro	Cor	Caudal (L/s)	Temperatura da água (°C)	pH	Condutividade elétrica (µS/cm)	Observações	Consumo humano
P_04_01	-		16-04-2014	11:05	18,6	78	-	-	-	-	-	-	-	-	Sem água	-
P_04_02	-			15:30	18,7	76						15	7,3	230		
P_04_03	-	Torneira	12-09-2014	16:54	24,6	75						25,4	7,07	300		
P_04_04	-			11:13	21,8	83						23,6	6,95	298	Água da rede pública	
P_04_05	-		15-09-2014	11:35	22,3	77	Límpida	Não	Inodoro	Incolor		25,3	6,95	306		x
P_04_06	-			11:45	22,5	77						24,3	6,96	306		
P_04_07	2	Ribeira de Paranhos		11:48	22,5	75						24,4	6	422	Água superficial	
P_04_08	-	Torneira	26-09-2014	15:47	25,8	48						24,5	7,15	302	Água da rede pública	



Apresentam-se de seguida algumas considerações sobre as características dos pontos inventariados, as quais serão importantes para análises posteriores.

As condições de acesso a todos os pontos foram fáceis e todos eles se encontram sob a tutela de uma instituição pública, a Câmara Municipal do Porto.

As cotas às quais se encontram variam entre 118 e 147 m, localizando-se geomorfologicamente em zonas de encosta e em áreas aplanadas de planalto (Figura 42).

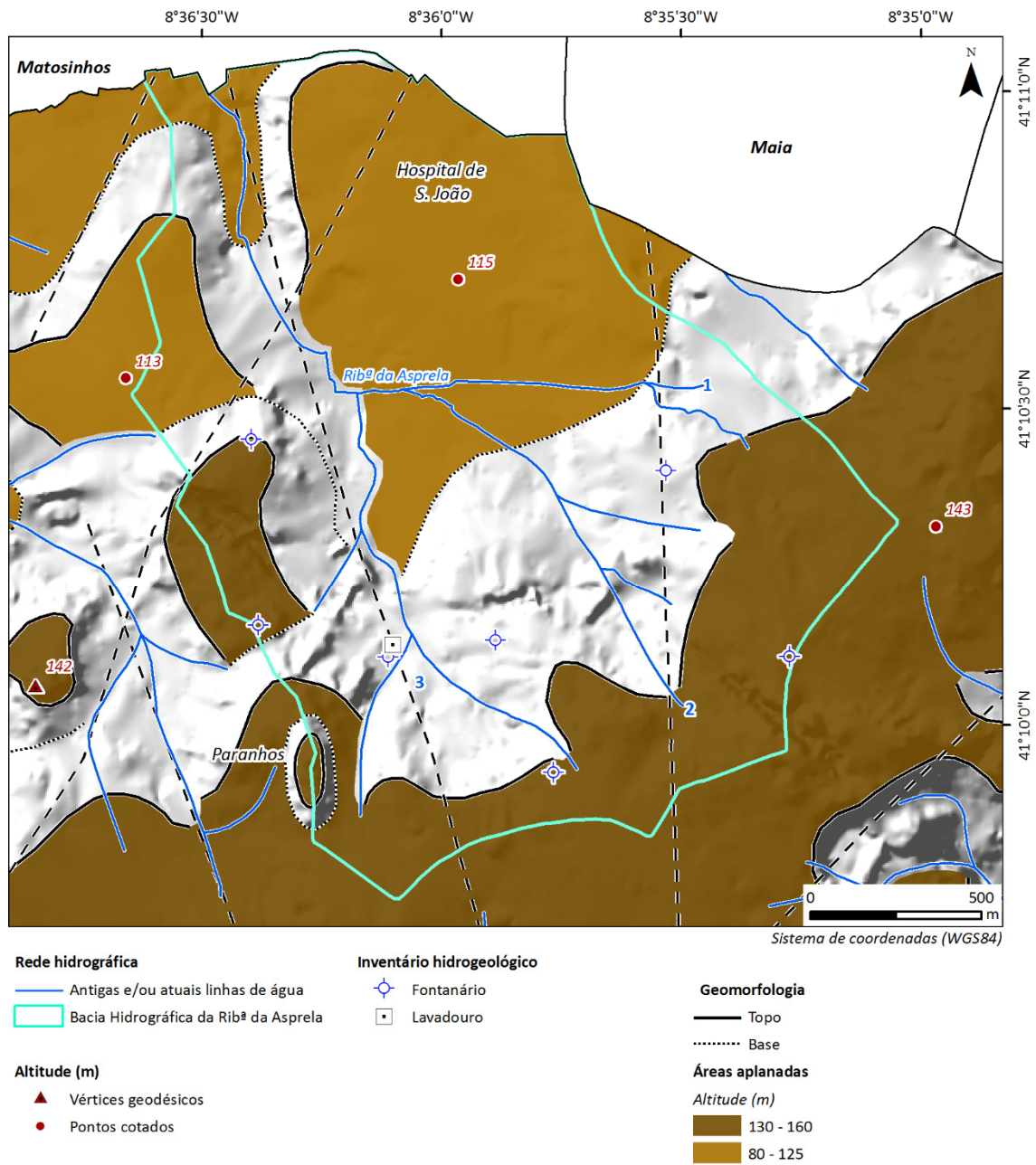


Figura 42 – Enquadramento geomorfológico dos 8 pontos de inventário hidrogeológico na bacia hidrográfica da Asprela (afluentes: 1 – Ribeira da Areosa; 2- Ribeira do Outeiro; 3 - Ribeira de Paranhos).

Em termos de enquadramento hidrogeológico (Figura 43), os pontos situam-se, maioritariamente, nas unidades graníticas, 50% na UH 6 e 25% na unidade UH 5.

Com exceção do ponto P\_04\_07 (lavadouro), cuja água é proveniente dum linha de água, a Ribeira de Paranhos, nos restantes pontos a água é proveniente da rede pública, sendo estas águas utilizadas para o consumo humano.

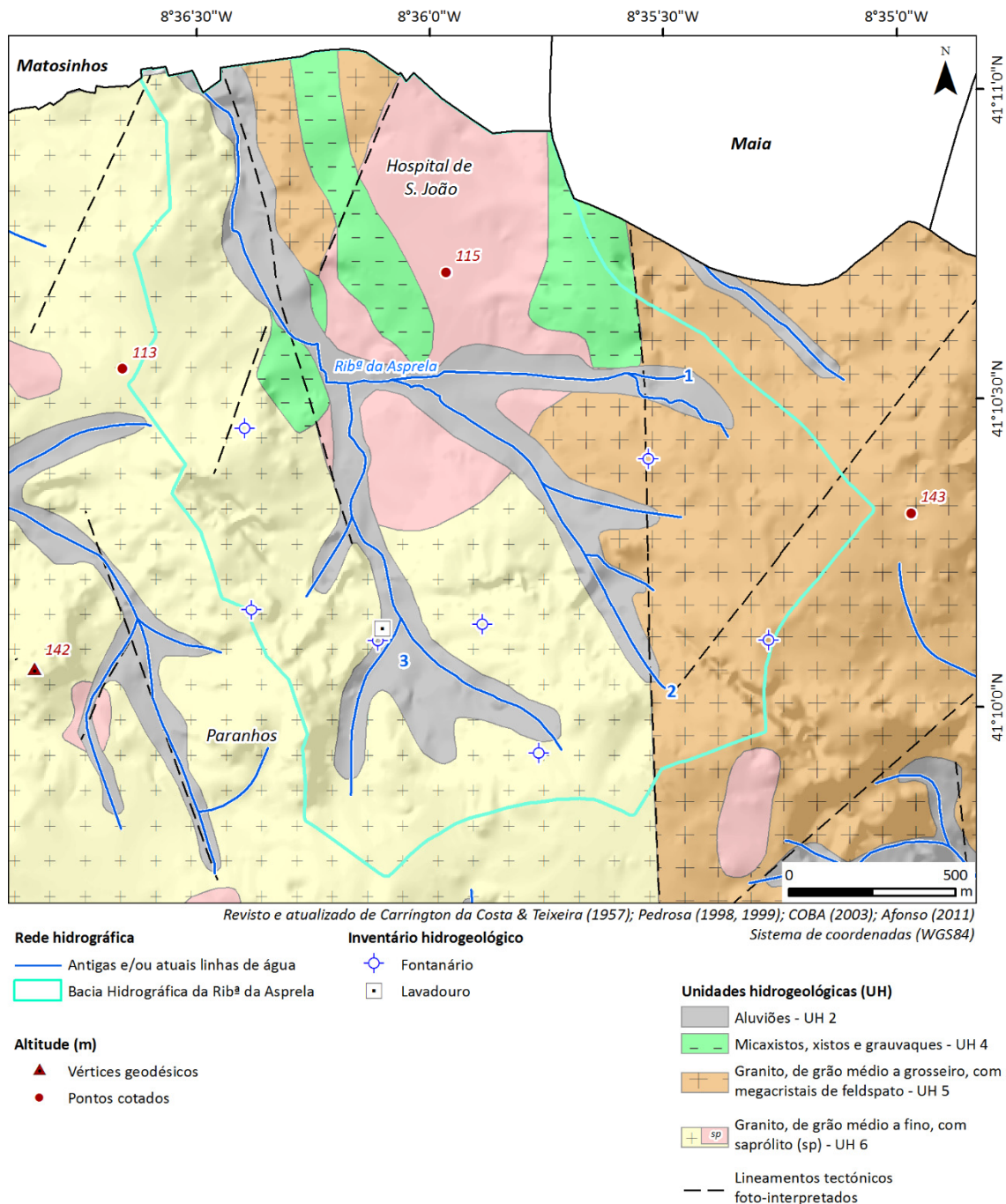


Figura 43 – Enquadramento hidrogeológico dos 8 pontos de inventário na bacia hidrográfica da Asprela (afluentas: 1 – Ribeira da Areosa; 2- Ribeira do Outeiro; 3- Ribeira de Paranhos).

Dos parâmetros avaliados “in situ”, em nenhum ponto foi possível a medição do caudal; em termos organoléticos, a água caracteriza-se em todos os pontos por ser límpida, sem sabor, sem cheiro e incolor; relativamente aos parâmetros físico-químicos:

- a temperatura média foi cerca de 23°C (Figura 44a);
- em termos de pH, a água dos fontanários é neutra, com valor médio de 7,1 e a água do lavadouro é ácida a neutra, com um valor de 6 (Figura 44b);
- quanto à condutividade elétrica, a água dos fontanários é pouco mineralizada, com um valor médio de 290  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e a água do lavadouro é medianamente mineralizada com um valor de 422  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Figura 44c).

O valor médio de pH encontra-se dentro da gama de valores (7,1 – 8,0) referenciada pela empresa “Águas do Porto” para o período em análise (<http://www.aguasdoporto.pt/qualidade-da-agua/aguas-de-consumo->); por seu turno, a condutividade elétrica está um pouco acima da gama de valores (103 – 267  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) referenciada pela mesma empresa.

De acordo com os valores-guia estabelecidos pela legislação portuguesa para as águas de consumo humano (cf. Quadro 8), todas as águas, com exceção da do lavadouro, são consideradas potáveis, o que corrobora a sua natureza para águas distribuídas pela rede pública.

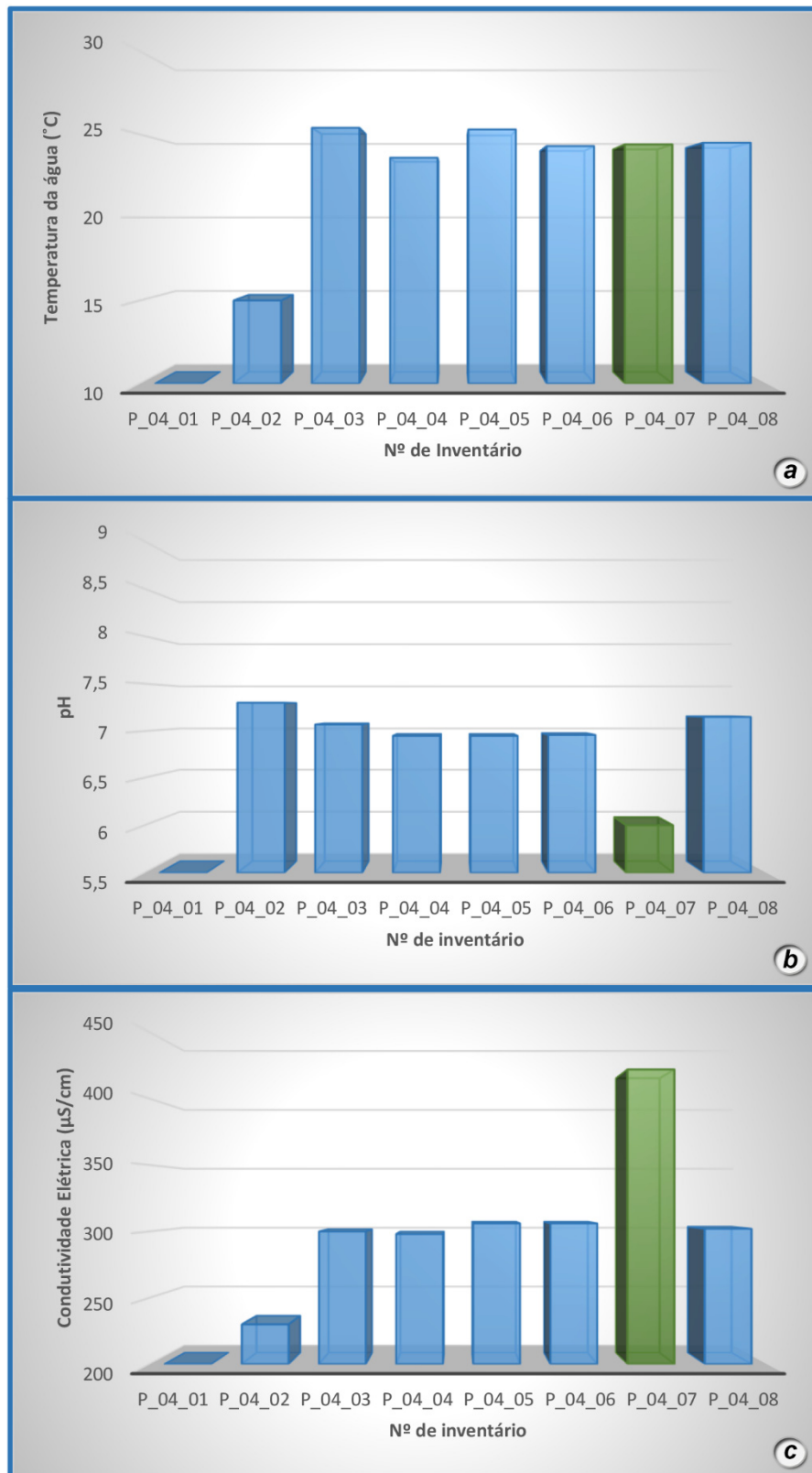


Figura 44 – Parâmetros físico-químicos registados “in situ” dos 8 pontos de inventário hidrogeológico da bacia hidrográfica da Asprela: (a) Temperatura; (b) pH; (c) Condutividade elétrica.

### Bacia Hidrográfica de Massarelos

No inventário relativo a esta bacia hidrográfica foram identificados 21 pontos: 11 fontanários, 7 nascentes, 2 lavadouros e 1 chafariz (Figura 45). As características de todos os pontos inventariados encontram-se sintetizadas no Quadro 22. À semelhança da bacia hidrográfica anterior, apresentam-se de seguida algumas considerações sobre as características dos pontos inventariados, as quais serão importantes para análises posteriores.



Figura 45 – Localização dos 21 pontos de inventário hidrogeológico na bacia hidrográfica de Massarelos.



Quadro 22 – Síntese das características dos 21 pontos de inventário hidrogeológico da bacia hidrográfica de Massarelos.

Inventário Hidrogeológico da Bacia Hidrográfica de Massarelos											
Generalidades				Coordenadas geográficas (WGS84)		Condições de acesso			Proprietário		
Nº de inventário	Denominação	Classificação	Cota (m)	Latitude	Longitude	Fácil	Condicionado	Observações	Câmara Municipal do Porto	Outro proprietário	Morada
P_03_01	Abade Faria	Fontanário	39	41° 8' 54,72" N	8° 37' 40,74" W	x	-	-	x	-	Rua do Abade de Faria, s/n Porto
P_03_02	Bicas de Massarelos	Lavadouro	55	41° 8' 53,73" N	8° 37' 50,83" W	x	-	-	x	-	Rua do Casal do Pedro, s/n Porto
P_03_03	Massarelos	Nascente	60	41° 8' 55,96" N	8° 37' 49,89" W	-	x	-	x	-	Rua dos Moinhos, s/n Porto
P_03_04	Caco	Fontanário	76	41° 9' 1,82" N	8° 37' 46,18" W	x	-	-	x	-	Rua dos Moinhos, s/n Porto
P_03_05	Caco	Lavadouro	76	41° 9' 1,82" N	8° 37' 46,18" W	x	-	-	x	-	Rua dos Moinhos, s/n Porto
P_03_06	Caco (parede)	Nascente	77	41° 9' 1,82" N	8° 37' 46,18" W	x	-	-	-	-	Rua dos Moinhos, s/n Porto
P_03_07	D. Pedro V	Fontanário	70	41° 8' 59,28" N	8° 37' 49,72" W	x	-	-	x	-	Rua de D. Pedro V, s/n Porto
P_03_08	Campo do Rou	Fontanário	23	41° 8' 49,39" N	8° 37' 50,61" W	x	-	-	x	-	Rua Campo do Rou, s/n Porto
P_03_09	Rou	Fontanário	18	41° 8' 52,14" N	8° 37' 50,61" W	x	-	-	x	-	Rua do Casal do Pedro, s/n Porto
P_03_10	Macieirinha	Nascente	40	41° 8' 51,12" N	8° 37' 48,28" W	x	-	-	x	-	Rua da Macieirinha, s/n Porto
P_03_11	Seminário 1	Nascente	75	41° 9' 1,69" N	8° 37' 45,71" W	-	x	Através do Seminário de Vilar	-	Seminário de Vilar	Localizada na margem direita da ribeira de Vilar
P_03_12	Seminário 2	Nascente	71	41° 9' 0,83" N	8° 37' 45,34" W	-	x	Através do Seminário de Vilar	-	Seminário de Vilar	Localizada na margem direita da ribeira de Vilar
P_03_13	Seminário 3	Nascente	72	41° 8' 59,91" N	8° 37' 45,83" W	-	x	Através do Seminário de Vilar	-	Seminário de Vilar	Localizada na margem direita da ribeira de Vilar
P_03_14	Seminário 4	Nascente	68	41° 8' 57,15" N	8° 37' 47,74" W	-	x	Através do Seminário de Vilar	-	Seminário de Vilar	Localizada na margem direita da ribeira de Vilar
P_03_15	Campo Pequeno	Chafariz	93	41° 9' 1,27" N	8° 37' 23,79" W	x	-	-	x	-	Largo da Maternidade Júlio Dinis, s/n Porto
P_03_16	Vilar	Fontanário	57	41° 9' 3,78" N	8° 37' 42,88" W	x	-	-	x	-	Rua Vilar, s/n Porto
P_05_01	Lapa	Fontanário	113	41° 9' 24,47" N	8° 36' 48,15" W	x	-	-	x	-	Rua de Cervantes, s/n Porto
P_05_02	Monte da Lapa	Fontanário	152	41° 9' 32,02" N	8° 36' 46,08" W	x	-	-	x	-	Rua Monte da Lapa, s/n Porto
P_05_03	Senhora da Lapa	Fontanário	124	41° 9' 27,52" N	41° 9' 32,02" N	x	-	-	x	-	Rua Senhora da Lapa, s/n Porto
P_05_04	Bouça	Fontanário	119	41° 9' 39,28" N	8° 37' 7,73" W	x	-	-	x	-	Rua da Bouça, s/n Porto
P_05_05	Chaimite	Fontanário	121	41° 9' 47,74" N	8° 37' 19,68" W	x	-	-	x	-	Rua Chaimite, s/n Porto

Quadro 22 – (cont.).

Inventário Hidrogeológico da Bacia Hidrográfica de Massarelos							
Geomorfologia (T- Topo; I- Intermédio; B- Base)					Enquadramento Geológico e Hidrogeológico		
Nº de inventário	Planalto	Vale	Encosta	Observações	Litologia	Unidade hidrogeológica local	Armadilha hidrogeológica suposta
P_03_01	-	I	-	-	Granito de grão médio a fino, duas micas (Granito do Porto)	UH 6	Falha geológica próxima
P_03_02	-	B	-	-			Contacto geológico/Falha geológica NE-SW
P_03_03	-	B	-	-			Contacto geológico/Falha geológica NE-SW
P_03_04	-	B	-	-	Aluviões/Granito do Porto	UH 2/UH 6	Contacto geológico/Falha geológica
P_03_05	-	B	-	-			Contacto geológico/Falha geológica
P_03_06	-	B	-	-			Contacto geológico/Falha geológica
P_03_07	-	I	-	-	Granito de grão médio a fino, duas micas (Granito do Porto)	UH 6	Falha geológica
P_03_08	-	I	-	-			Falha geológica próxima
P_03_09	-	B	-	Encaixe fluvial pronunciado (Vale do Douro)	Aluviões/Granito do Porto	UH 2/UH 6	Contacto geológico/Falha geológica
P_03_10	-	T	-	-	Granito de grão médio a fino, duas micas (Granito do Porto)	UH 6	-
P_03_11	-	I	-	-			Contacto geológico/Falha geológica
P_03_12	-	I	-	-	Aluviões/Granito do Porto	UH 2/UH 6	Contacto geológico/Falha geológica
P_03_13	-	I	-	-			Contacto geológico/Falha geológica
P_03_14	-	I	-	-			Contacto geológico/Falha geológica
P_03_15	T	-	-	Área aplanada (80 - 125 m)	Granito de grão médio a fino, duas micas (Granito do Porto)	UH 6	-
P_03_16	-	T	-	-	Aluviões/Granito do Porto	UH 2/UH 6	Contacto geológico/Falha geológica
P_05_01	-	-	B	-			-
P_05_02	T	-	-	Área aplanada (130 - 160 m)			-
P_05_03	-	-	I	-	Granito de grão médio a fino, duas micas (Granito do Porto)	UH 6	-
P_05_04	-	I	-	-			Falha geológica
P_05_05	T	-	-	Área aplanada (80 - 125 m)			-

Quadro 22 – (cont.).

Inventário Hidrogeológico da Bacia Hidrográfica de Massarelos																							
Condições de ocorrência						Hidroclimatologia / Hidrogeologia													Utilização				
Nº de inventário	Nascente	Mina de Água	Tubo (diâmetro, cm)	Solo (S) / Rocha (R)	Outro	Data	Hora	Temperatura do ar (°C)	Humidade relativa (%)	Turbidez	Sabor	Cheiro	Cor	Caudal (L/s)	Medido com	Temperatura da água (°C)	pH	Condutividade elétrica (µS/cm)	Observações	Consumo humano	Uso agrícola	Observações	
P_03_01	-	x	-	-	-		12:20	14,1	78	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Sem água	-	-	-	
P_03_02	-	-	2	-	-		12:01	13,6	81	-	-	-	-	-	-	16	7,51	222	Água da rede pública	-	-	Lavagem de roupa	
P_03_03	x	x	-	R	-	02-04-2014	12:00	13,6	81	-	-	-	-	-	-	10,4	5,85	495	-	-	x	-	
P_03_04	x	x	2	-	-		11:51	13,2	82	-	-	-	-	0,01	Garrafa 0,50 L	17,8	6,37	407	-	-	-	Placa indicativa -	
P_03_05	x	x	-	R	-		11:52	13,2	82	-	-	-	-	-	-	17,5	6,44	422	-	-	-	"Imprópria para consumo"	
P_03_06	x	-	-	R	-		11:53	13,4	81	Límpida	Não	Inodoro	Incolor	-	-	-	17	7,37	292	Plantas hepáticas	-	-	-
P_03_07	x	x	2	-	-		28-03-2014	11:52	10,2	85	-	-	-	-	0,08	Garrafa 0,50 L	16,2	5,8	478	-	-	-	Placa indicativa - "Imprópria para consumo"
P_03_08	-	-	-	-	Torneira		12:15	14	79	-	-	-	-	-	-	14,8	7,11	226	Água da rede pública	x	-	-	
P_03_09	-	-	-	-	Torneira	02-04-2014	12:07	13,5	80	-	-	-	-	-	-	15,5	5,37	229	-	x	-	-	
P_03_10	x	x	-	R	-		12:16	14	79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Sem água	-	-	-
P_03_11	x	-	-	R	-		14:15	13,6	78	-	-	-	-	-	-	19,7	5,05	513	-	-	x	-	
P_03_12	x	-	-	R	-		14:17	13,6	78	Límpida	Não	Inodoro	Incolor	-	-	19,3	5,15	512	-	-	x	-	
P_03_13	x	-	-	R	-		14:19	13,6	79	-	-	-	-	-	-	19,5	5,1	515	-	-	x	-	
P_03_14	x	-	-	R	-	03-04-2014	14:25	13,4	77	-	-	-	-	-	-	19,4	5,05	515	-	-	x	-	
P_03_15	-	-	1,5	-	-		11:28	12,2	88	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_03_16	-	-	1	-	-		14:10	13,8	77	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Sem água	-	-	-	
P_05_01	x	x	1,5	-	-		11:20	11,9	90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
P_05_02	-	-	-	-	Torneira		14:26	24,4	72	-	-	-	-	-	-	24,9	7,26	304	-	x	-	-	
P_05_03	-	-	-	-	Torneira		14:32	24,5	67	-	-	-	-	-	-	24,7	7,39	300	Água da rede pública	x	-	-	
P_05_04	-	-	-	-	Torneira	15-09-2014	15:49	24,6	68	Límpida	Não	Inodoro	Incolor	-	-	26,5	7,07	302	-	x	-	-	
P_05_05	-	-	-	-	Torneira		16:00	24,2	70	-	-	-	-	-	-	25,1	6,95	304	-	x	-	-	



As condições de acesso foram fáceis na maioria dos pontos, encontrando-se, igualmente, a maior parte dos pontos sob a tutela de uma instituição pública, a Câmara Municipal do Porto.

As cotas às quais se encontram variam entre 18 e 152 m, localizando-se, em termos geomorfológicos, em zonas de vale (Figura 46).

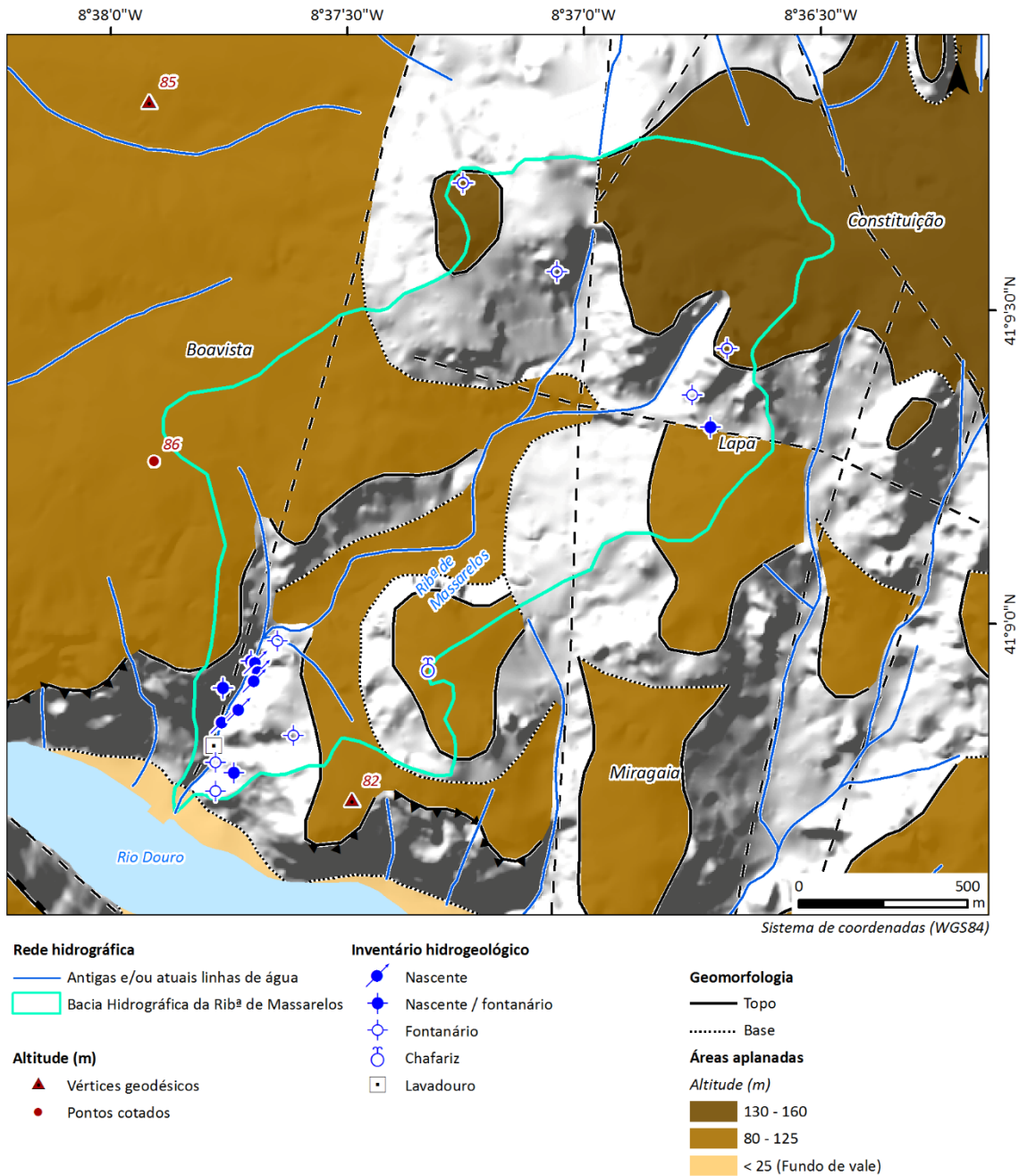


Figura 46 – Enquadramento geomorfológico dos 21 pontos de inventário hidrogeológico na bacia hidrográfica de Massarelos.

Em termos de enquadramento hidrogeológico (Figura 47), os pontos situam-se, maioritariamente, no contacto entre a unidade aluvionar UH 2, e a unidade granítica UH 6.

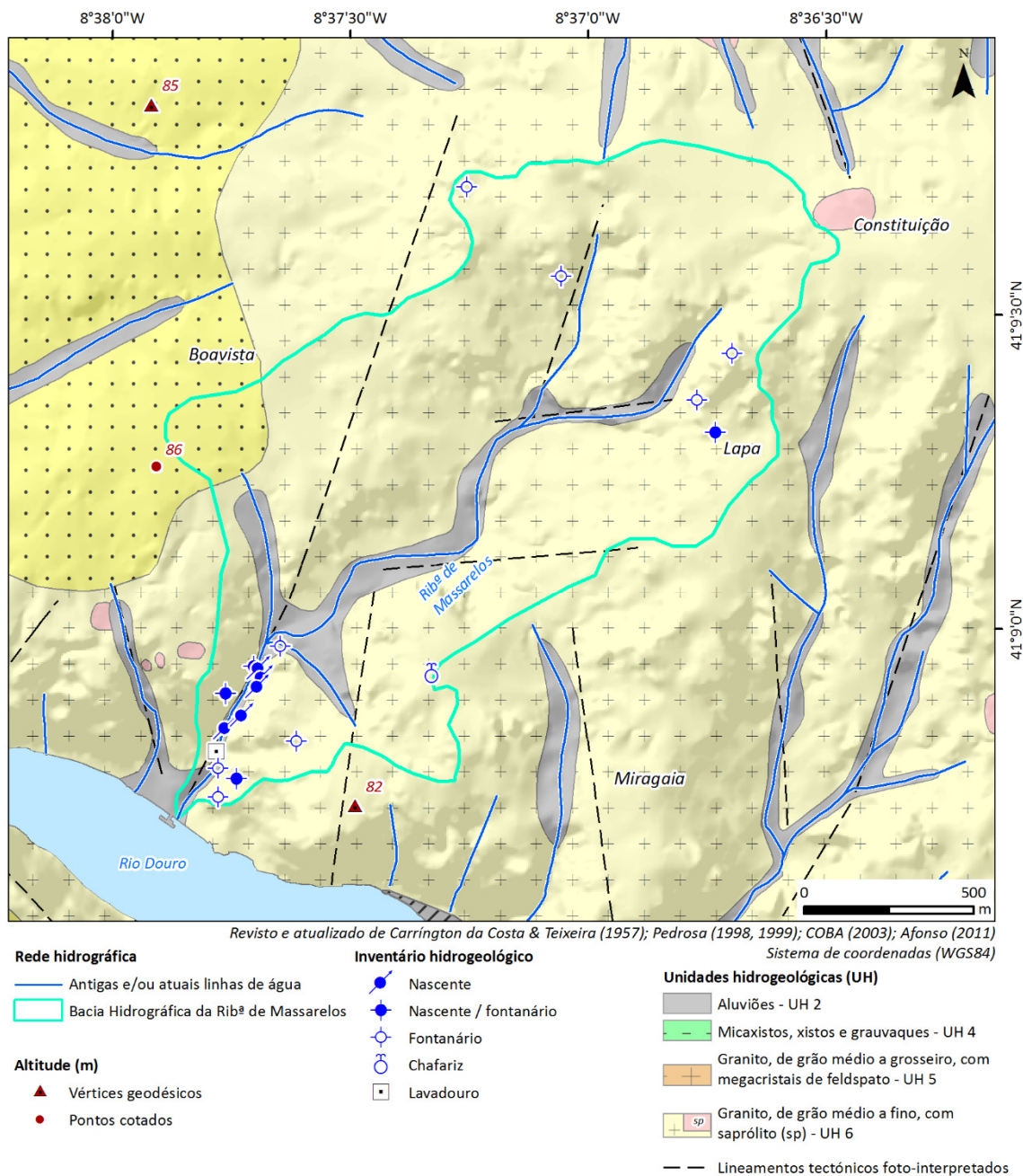


Figura 47 – Enquadramento hidrogeológico dos 21 pontos de inventário na bacia hidrográfica de Massarelos.

Dos 21 pontos de água, 5 encontravam-se sem água, em 7 a água é proveniente da rede pública e nos restantes 9 a água provém de nascentes e/ou minas. A maioria destas águas é utilizada para fins agrícolas e consumo humano.

Dos parâmetros avaliados “in situ”, foi possível a medição do caudal em dois pontos, P\_03\_04 e P\_03\_07, ambos correspondentes a nascentes. No primeiro o caudal foi de 0,01 L/s e no segundo

de 0,08 L/s. Em termos organoléticos, a água caracteriza-se em todos os pontos por ser límpida, sem sabor, sem cheiro e incolor; relativamente aos parâmetros físico-químicos:

- a temperatura média da água da rede pública foi cerca de 21 °C e dos restantes pontos de água de 17 °C ([Figura 48a](#));
- quanto ao pH, a água da rede pública é neutra, com valor médio de 7,0 e as restantes águas são ácidas, com um valor médio de 5,8 ([Figura 48b](#));
- relativamente à condutividade elétrica, a água da rede pública é pouco mineralizada, com um valor médio de 270 µS/cm e as restantes águas são medianamente mineralizadas com um valor médio de 461 µS/cm ([Figura 48c](#)).

À semelhança da bacia hidrográfica da Asprela, o valor médio de pH da água da rede pública encontra-se praticamente dentro da gama de valores referenciada pela empresa “Águas do Porto” para o período em análise e a condutividade elétrica está um pouco acima do intervalo referenciado pela mesma empresa.

De acordo com os valores-guia estabelecidos pela legislação portuguesa para as águas de consumo humano (cf. [Quadro 8](#)), todas as águas da rede pública são consideradas potáveis, o que corrobora a sua natureza. Por outro lado, 78% das restantes águas apresentam valores de pH inferiores a 6,5, o que as transforma em águas não potáveis.

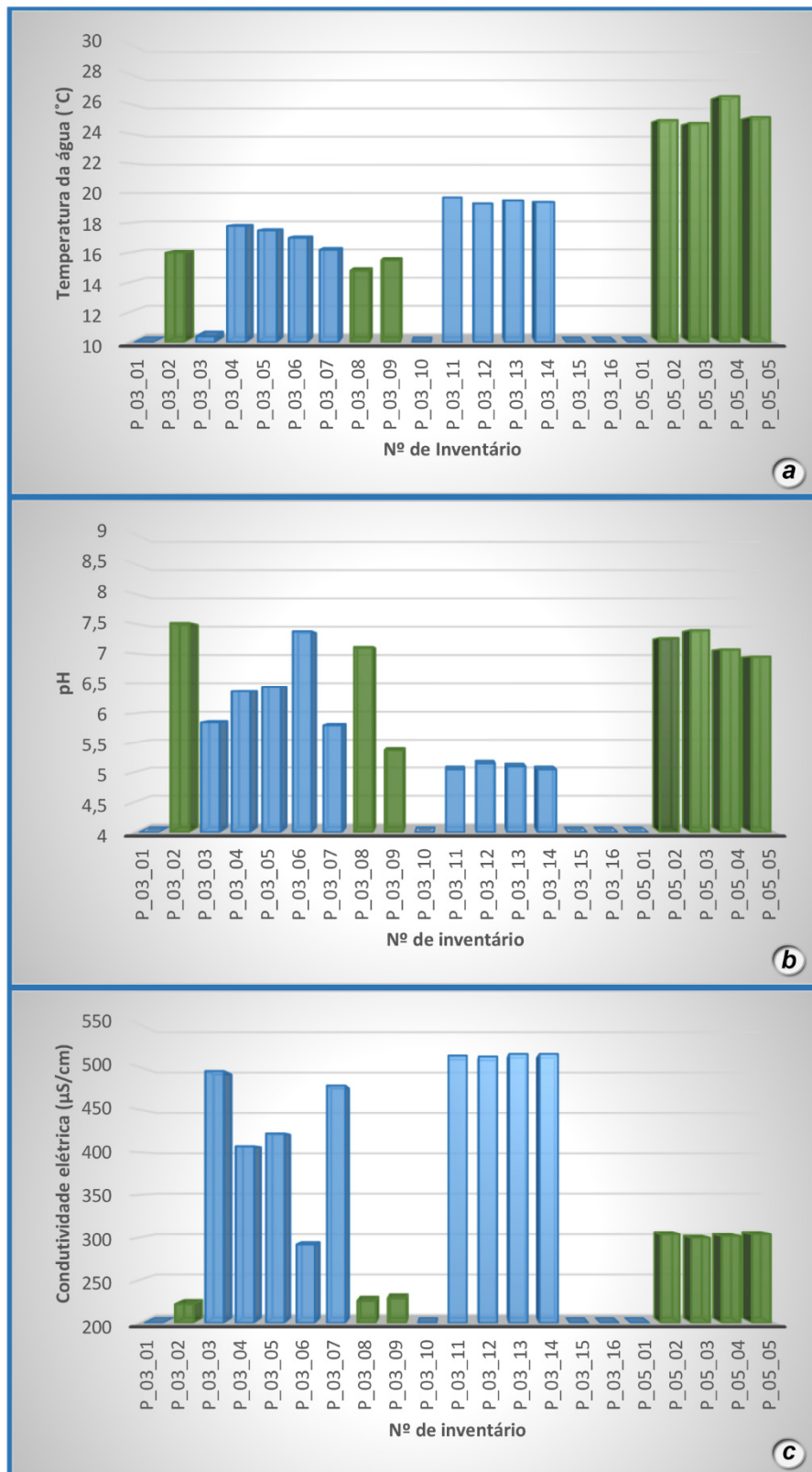


Figura 48 – Parâmetros físico-químicos registados “in situ” dos 21 pontos de inventário hidrogeológico da bacia hidrográfica de Massarelos: (a) Temperatura; (b) pH; (c) Condutividade elétrica.

#### 4.10. Inventário das atividades potenciais de contaminação da água subterrânea

O inventário das atividades potenciais de contaminação ([Figura 49](#)) decorreu no período entre Março e Setembro de 2014 e contemplou 139 focos na totalidade das duas bacias hidrográficas em estudo. Neste inventário foram descritos alguns aspetos importantes para uma melhor caracterização física e espacial dos focos, tais como: proprietário, localização, condições de acesso, enquadramento geomorfológico, geológico e hidrogeológico, descrição sucinta do foco e do tipo de contaminantes. Para cada ponto foi preenchida uma ficha de inventário de acordo com o modelo apresentado no Capítulo 2. Na [Figura 50](#) apresenta-se o exemplo da ficha de inventário para o ponto P\_04\_04, correspondente ao Instituto Superior de Engenharia do Porto.

Para uma melhor identificação dos focos de contaminação, procedeu-se ao mapeamento destacado dos focos pontuais relativamente aos lineares, tal como se pode constatar na [Figura 51](#) e nas seguintes.



Figura 49 – Exemplos dos potenciais focos de contaminação nas duas bacias hidrográficas: (a) P\_05\_03 (Garagem Antero de Quental); (b) P\_04\_41 (Faculdade de Economia da Universidade do Porto); (c) P\_03\_02 (Repsol E. S. Júlio Dinis); (d) P\_04\_39 (Faculdade de Medicina da Universidade do Porto); (e) P\_04\_27 (Clínica Veterinária Vet & Pets); (f) P\_04\_12 (Cemitério de Paranhos).

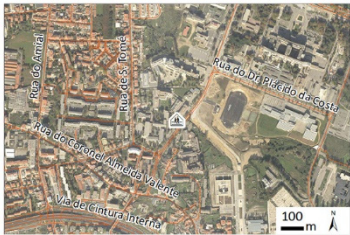
Atividades potenciais de contaminação da água subterrânea: Ficha de inventário			
ID: P_04_04	Denominação: Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP)	Classificação (Pontual, P; Difusa, D; Linear, L): P	
			
Planta de localização *	Mapa hidrogeológico	Fotografia	
Carta Militar de Portugal (1/25 000):	122 - Porto	Cota (m):	104
Coordenadas (WGS84):	Latitude: 41° 10' 41,812" N	Longitude:	8° 36' 24,894" 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 Doutor António Bernardino de Almeida, 431 Porto	
<b>Geomorfologia (T - Topo; I - Intermédio; B - Base)</b>			
Planalto (T; B): -	Vale (T; I; B): -	Encosta (T; I; B): I	
Observações:	-		
<b>Geologia e hidrogeologia **</b>			
Carta Geológica (nº/nome):	9-C Porto	Escala:	1/50 000
Carta hidrogeológica (nº):	Folha 1	Escala:	1/200 000
Litologia:	Granito, de grão médio a fino, de duas micas (Granito do Porto)/Micaxistos, xistos e grauvaques		
Unidade hidrogeológica local (ver mapa em anexo):	UH 6/UH 4		
Armadilha hidrogeológica:	Contacto geológico/Falha geológica		
<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 X	Área heterogénea sem uso de fertilizantes/pesticidas	Poço/Furo ativo
Espaço verde urbano	Estação de serviço/oficina de automóveis	<b>Indústria</b>	Poço/Furo abandonado
Fossa séptica	Posto de abastecimento		Lago artificial
Jardim com lago	Garagem	Conduta de gás/hidrocarbonetos	<b>Diversos</b>
Jardim sem lago	Sucata/ferro velho	Complexo industrial	Cemitério
Unidade de saúde	Aterro sanitário ativo	Indústria	Lixeira
Hospital	Aterro sanitário abandonado	Matadouro	Instalações militares
Rede de saneamento	Clínica veterinária/Hospital	Estação de tratamento de águas residuais (ETAR)	Linha de água contaminada
Rede de abastecimento de água potável	<b>Agricultura</b>	Estação de tratamento de águas (ETA)	Linha de água
Sistema municipal de drenagem de águas pluviais	Área cultivada com uso limitado de fertilizantes/pesticidas	Depósito à superfície	Linha de água canalizada
Mictório		Depósito enterrado	Galeria de água subterrânea
Lavadouro			Canil
			Outro:
<b>Descrição do contaminante (em termos químicos)</b>			
Tipo:	Hidrocarbonetos; Metais e não metais (e. g., nitratos e sulfatos); Metais pesados		
Tipo de descarga (sólido, líquido e/ou gasoso):	Sólido e líquido		Observações: Com coliformes fecais
Preenchido por:	LR/LF	Data:	08/04/2014
Verificado por:	MJA/HIC	Data:	30/06/2014
[Revisto e atualizado de Vrba & Zaparozec (1994), Struckmeier & Margat (1995), Zaparozec (2004), Fetter (2008), Afonso (2011)]			
* CMP (Câmara Municipal do Porto), 2005; **Carrington da Costa Teixeira, 1957; Pedrosa (1998, 1999); COBA (2003); Afonso (2011)			

Figura 50 – Exemplo da ficha de inventário das atividades potenciais de contaminação para o ponto P\_04\_04.

### ***Bacia Hidrográfica da Asprela***

No inventário relativo a esta bacia hidrográfica foram identificadas 61 atividades potenciais de contaminação ([Figura 51](#)), verificando-se uma maior ocorrência de pontos nas áreas Norte e Sul da bacia, sendo que na parte central estes são menos e mais dispersos.

As características de todos os focos inventariados encontram-se sintetizadas no [Anexo 1](#). A maioria (88,5%) dos focos de contaminação foi classificada, de acordo com Zaporozec (2004), como pontual ([Figura 51a](#)); 8,2% como linear, correspondendo aos focos P\_04\_56 a P\_04\_61, excetuando-se o ponto P\_04\_58, correspondente ao sistema municipal de drenagem de águas pluviais, onde se contabilizou a rede (de carácter linear) e as caixas de visita e as sarjetas (de carácter pontual), que foi classificado como pontual/linear ([Figuras 51b, 51c, 51d, 51e e 51f](#)), e o ponto P\_04\_55, que foi classificado como pontual/difuso ([Figura 51a](#)).

Apresentam-se, seguidamente, algumas considerações sobre as características das atividades inventariadas, as quais serão importantes para análises posteriores.

Relativamente à ocupação do solo, pode verificar-se que as atividades potenciais de contaminação pontuais ([Figura 52a](#)) se encontram principalmente (60,0%) em áreas de “Tecido urbano” existindo, contudo, uma percentagem significativa (32,7%) situada em áreas de “Indústria, comércio e transportes”. Relativamente às atividades lineares (P\_04\_56 a P\_04\_61), ([Figuras 52b, 52c, 52d, 52e e 52f](#)), apresenta-se no [Quadro 23](#) a extensão de cada uma delas, onde se pode verificar que estas ocupam maioritariamente áreas de “Tecido urbano” e de “Indústria, comércio e transportes”.

Para a maioria dos pontos (59,0%) as condições de acesso foram fáceis e para os restantes foram condicionadas, nomeadamente pelo facto de serem jardins infantis, escolas básicas e secundárias. No que diz respeito aos focos lineares, P\_04\_56 a P\_04\_61, com exceção do ponto P\_04\_59, também foram considerados de acesso condicionado, uma vez que estes requerem autorização da instituição que os tutela, a Câmara Municipal do Porto. Na sua maioria (75,4%) encontram-se sob a tutela de instituições públicas, correspondendo os restantes a estabelecimentos comerciais.

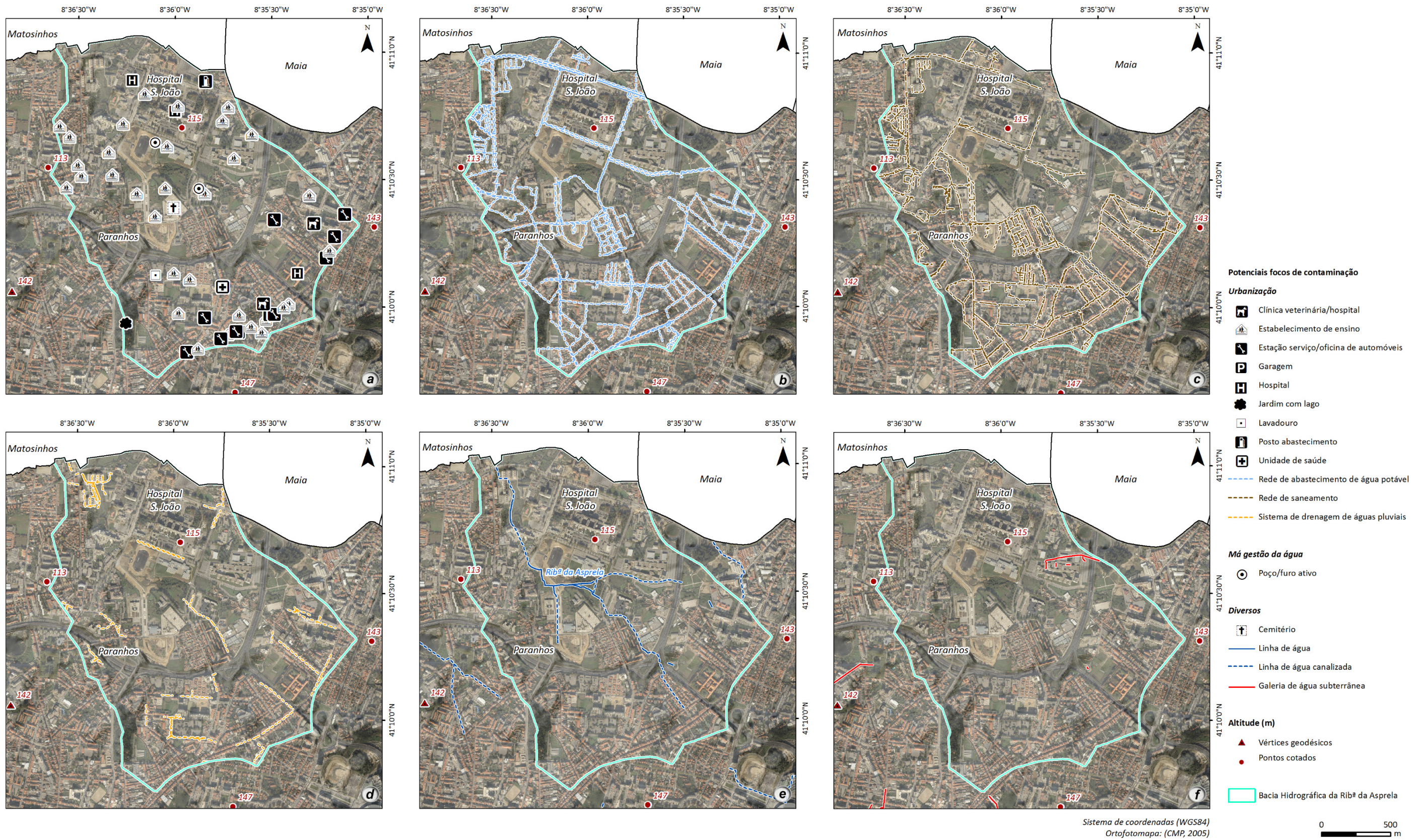


Figura 51 – Localização das 61 atividades potenciais de contaminação da água subterrânea na bacia hidrográfica da Asprela: (a) P\_04\_01 a P\_04\_55 – Focos de contaminação pontuais; (b) P\_04\_56 - Rede de abastecimento de água potável; (c) P\_04\_57 – Rede de saneamento; (d) P\_04\_58 - Sistema municipal de drenagem de águas pluviais; (e) P\_04\_59 e P\_04\_60 – Linha de água e linha de água canalizada (f) P\_04\_61 – Galeria de água subterrânea.



Quadro 23 – Extensão (km) de cada foco linear relativamente aos tipos de ocupação do solo na bacia hidrográfica da Asprela.

Bacia Hidrográfica da Asprela	Ocupação do solo					Total (km)
	Tecido urbano (km)	Indústria, comércio transportes (km)	Áreas verdes urbanas (km)	Florestas e áreas naturais e semi-naturais (km)	Áreas agrícolas (km)	
P_04_56 - Rede de abastecimento de água potável	39,32	12,31	0,94	1,22	0,21	54,00
P_04_57 - Rede de saneamento	43,82	7,93	0,33	0,54	0,22	52,84
P_04_58 - Sistema municipal de drenagem de águas pluviais	6,72	2,14	0,02	0,93	0,00	9,81
P_04_59 - Linha de água	0,00	0,22	0,71	0,21	0,05	1,19
P_04_60 - Linha de água canalizada	0,82	1,50	0,30	0,21	0,01	2,84
P_04_61 - Galeria de água subterrânea	0,00	0,50	0,00	0,03	0,00	0,53
Total	90,68	24,60	2,30	3,14	0,49	

As cotas às quais se encontram os focos pontuais variam entre 102 e 151 m, localizando-se, em termos geomorfológicos, maioritariamente (81,8%), em áreas aplanadas (80 - 125 m e 130-160 m) de planalto (Figura 53a). Relativamente às linhas de água pode dizer-se que estas se encontram encaixadas em vales, assim como as linhas de água canalizadas, que mantêm praticamente o seu traçado natural embora mais retilíneo (Figuras 53b, 53c, 53d, 53e e 53f).

Em termos de enquadramento hidrogeológico, os focos pontuais (Figura 54a) situam-se, maioritariamente, em unidades graníticas, 41,8% na unidade UH6 e 20,0% na unidade UH5, seguindo-se 9,1% na UH4 e 7,3% na UH2.

Para os focos lineares (Figuras 54b, 54c, 54d, 54e e 54f) foram compiladas no Quadro 24 extensões de cada foco relativas a cada unidade hidrogeológica. Assim, pode verificar-se que as unidades mais ocupadas são a UH6, a UH2 e a UH5, embora as duas últimas representem uma abrangência consideravelmente menor.

Dos 55 focos pontuais estudados, 27,3% encontram-se localizados em zonas de armadilha hidrogeológica, nomeadamente contactos geológicos, falhas geológicas e/ou na combinação entre ambos.

Quadro 24 – Extensão (km) de cada foco linear relativamente ao enquadramento hidrogeológico da bacia hidrográfica da Asprela.

Bacia Hidrográfica da Asprela	Unidades Hidrogeológicas				Total (km)
	UH 2 (km)	UH 4 (km)	UH 5 (km)	UH 6 (km)	
P_04_56 - Rede de abastecimento de água potável	8,20	2,50	10,10	33,20	54,00
P_04_57 - Rede de saneamento	8,60	2,04	10,10	32,10	52,84
P_04_58 - Sistema municipal de drenagem de águas pluviais	3,04	0,70	2,41	3,66	9,81
P_04_59 - Linha de água	1,10	0,06	0,03	0,00	1,19
P_04_60 - Linha de água canalizada	2,70	0,00	0,02	0,12	2,84
P_04_61 - Galeria de água subterrânea	0,00	0,39	0,10	0,04	0,53
Total	23,64	5,69	22,76	69,12	



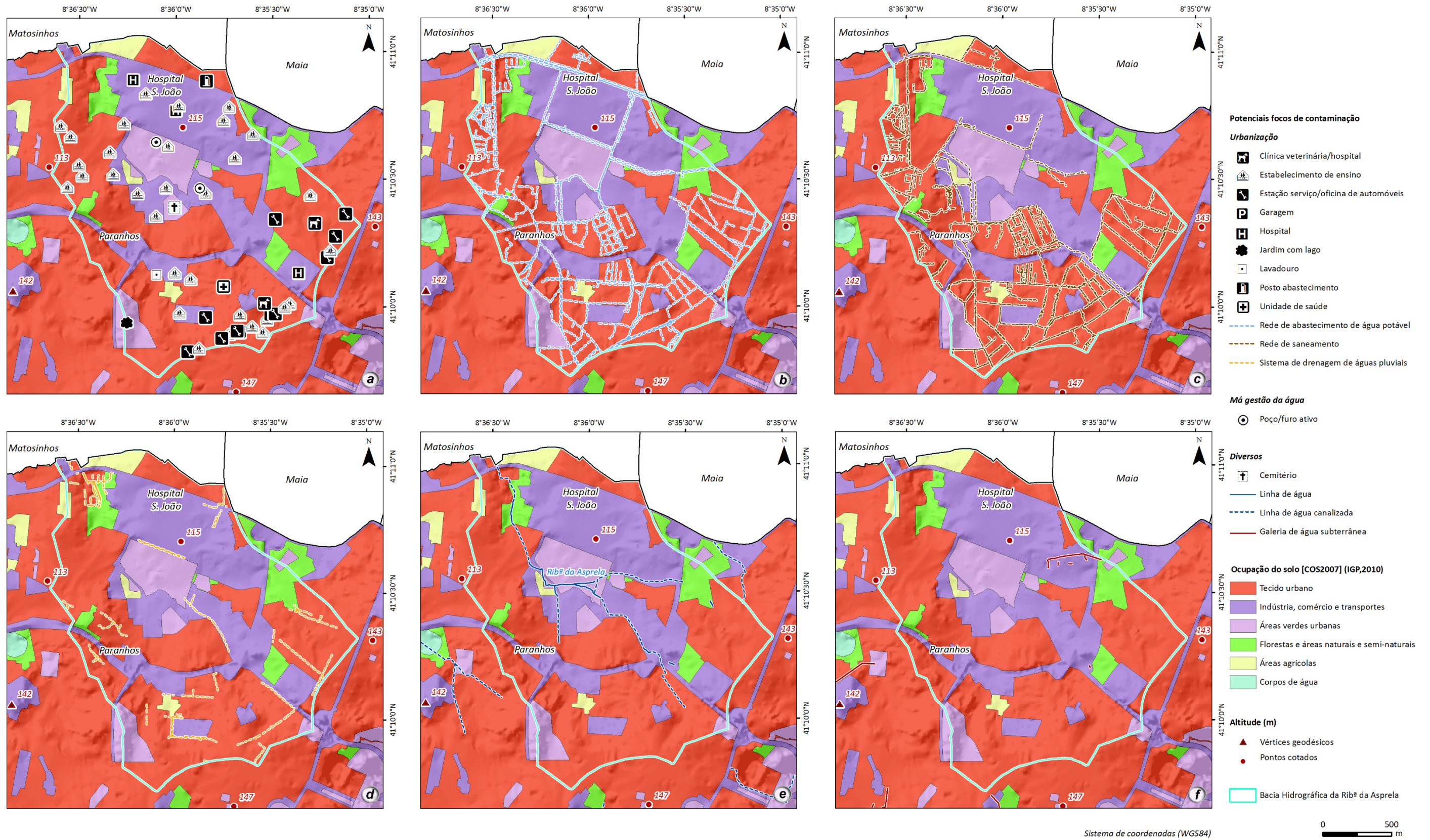


Figura 52 – Ocupação do solo na bacia hidrográfica da Asprela: (a) P\_04\_01 a P\_04\_55 – Focos de contaminação pontuais; (b) P\_04\_56 - Rede de abastecimento de água potável; (c) P\_04\_57 – Rede de saneamento; (d) P\_04\_58 - Sistema municipal de drenagem de águas pluviais; (e) P\_04\_59 e P\_04\_60 – Linhas de água e linhas de água canalizada (f) P\_04\_61 – Galerias de água subterrânea.

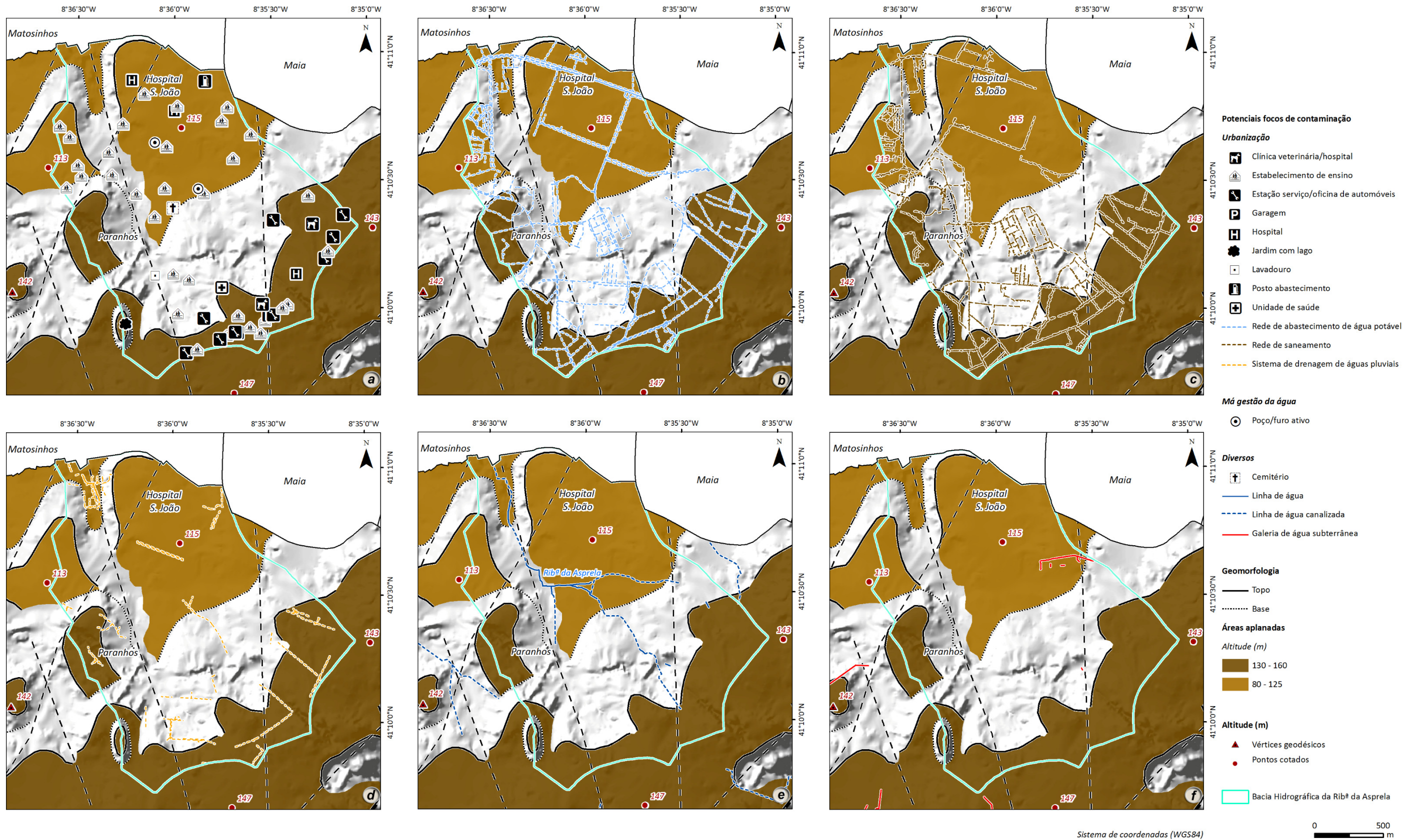


Figura 53 – Enquadramento geomorfológico das 61 atividades de inventário na bacia hidrográfica da Asprela: (a) P\_04\_01 a P\_04\_55 – Focos de contaminação pontuais; (b) P\_04\_56 - Rede de abastecimento de água potável; (c) P\_04\_57 – Rede de saneamento; (d) P\_04\_58 - Sistema municipal de drenagem de águas pluviais; (e) P\_04\_59 e P\_04\_60 – Linhas de água e linhas de água canalizada (f) P\_04\_61 – Galerias de água subterrânea.

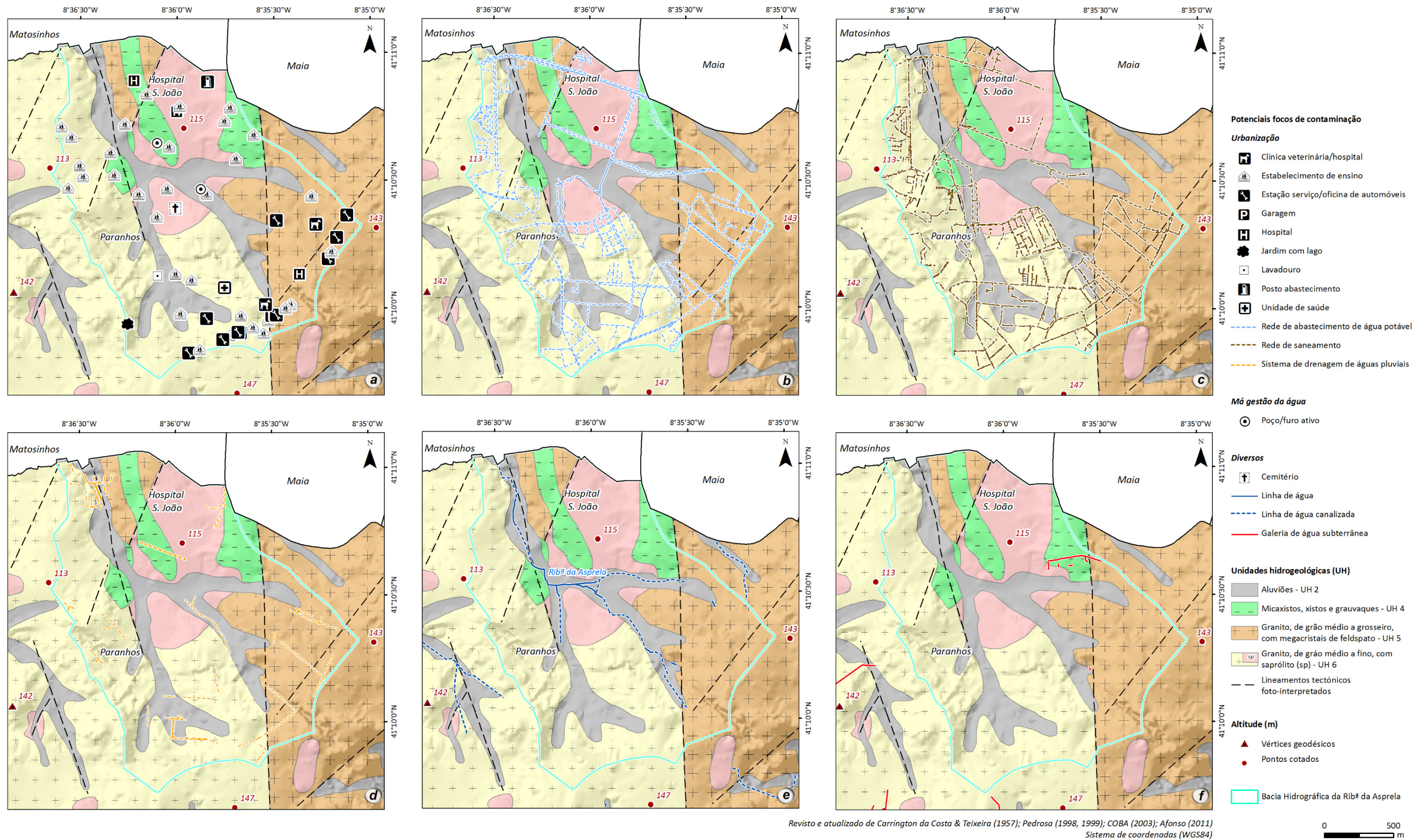


Figura 54 – Enquadramento hidrogeológico das 61 atividades de inventário na bacia hidrográfica da Asprela: (a) P\_04\_01 a P\_04\_55 – Focos de contaminação pontuais; (b) P\_04\_56 - Rede de abastecimento de água potável; (c) P\_04\_57 – Rede de saneamento; (d) P\_04\_58 - Sistema municipal de drenagem de águas pluviais; (e) P\_04\_59 e P\_04\_60 – Linhas de água e linhas de água canalizada (f) P\_04\_61 – Galerias de água subterrânea.



A classificação dos focos pontuais de contaminação pela origem permitiu concluir que são, maioritariamente (53,4%), Estabelecimentos de ensino ([Figura 55](#)), facto justificável pela localização, nesta área, do maior polo universitário da cidade do Porto. As Estações de serviço/oficinas de automóveis assumem a 2ª posição, com um valor de 15,5%.

No que concerne aos focos lineares ([Figura 51b, 51c, 51d, 51e e 51f e Quadros 23 e 24](#)) pode verificar-se que as Redes de abastecimento de água potável e de saneamento são as que apresentam maior extensão, 54,0 km e 52,8 km, respetivamente, e por isso mais representatividade na presente bacia hidrográfica. Em contrapartida, as Linhas de água e as Galerias de água subterrânea são as que representam menor representatividade, 1,2 km e 0,5 km, respetivamente.

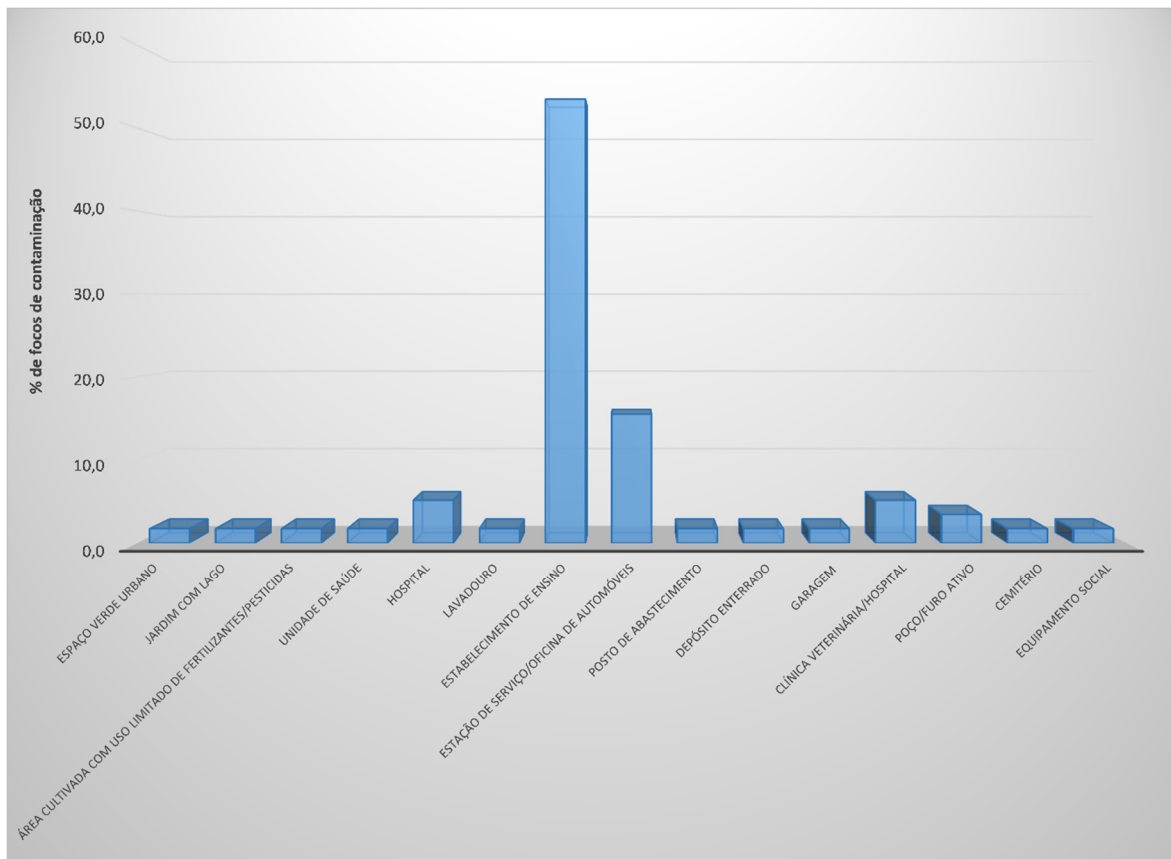


Figura 55 – Atividades potenciais de contaminação da água subterrânea de carácter pontual e/ou difuso identificadas na bacia hidrográfica da Ribeira da Asprela.

Foi estudado para cada potencial foco de contaminação a descrição do contaminante que este possivelmente poderá produzir. Dentro da descrição do contaminante foi classificado o tipo de contaminante e o tipo de descarga. Foi também anotado para os potenciais focos em que se viu essa necessidade possíveis observações sobre os mesmos ([Quadro 25](#)).

No que diz respeito ao tipo de contaminante (Quadro 25) estes foram enquadrados em, se continham Hidrocarbonetos, Metais e não metais e Metais pesados, e quando possível foram apontados exemplos de possíveis elementos constituintes desses grupos definidos.

O tipo de descarga (Quadro 25) foi classificado como sólido, líquido ou gasoso, ou em simultâneo. As observações (Quadro 25) incidiram apenas na possibilidade da existência ou não de coliformes fecais. Em síntese (Quadro 25) pode dizer-se que o tipo de contaminante melhor representado se trata do grupo dos Metais e não metais, visto ser o grupo de contaminante que surge em praticamente todos os potenciais focos de contaminação inventariados, seguido do grupo dos Metais pesados, contudo os três grupos ocorrem várias vezes em simultâneo. Relativamente ao tipo de descarga, o tipo dominante é o tipo de descarga no estado sólido e líquido em simultâneo, seguido do estado líquido e dos três estados em simultâneo (sólido, líquido e gasoso). Das observações obtidas pode dizer-se que existe uma quantidade bastante significativa de focos com a possibilidade de conterem coliformes fecais.

Quadro 25 – Potenciais focos de contaminação e descrição dos seus contaminantes relativos aos pontos constituintes do inventário das atividades potenciais de contaminação da água subterrânea referentes à bacia hidrográfica da Asprela.

Potenciais focos de contaminação (pela origem)	Descrição do contaminante		
	Tipo	Tipo de descarga	Observações
Espaço verde urbano/Jardim com lago/Área cultivada com uso limitado de fertilizantes/pesticidas	Metais e não metais (e. g., nitratos e fosfatos)	Sólido e líquido	-
Unidade de Saúde	Hidrocarbonetos; Metais e não metais (e. g., nitratos); Metais pesados (e. g., chumbo e arsénio)	Sólido e líquido	Com coliformes fecais
Hospital	Hidrocarbonetos; Metais e não metais (e. g., nitratos e sulfatos); Metais pesados (e. g., chumbo e arsénio)	Sólido e líquido	Com coliformes fecais
Rede de saneamento	Metais e não metais (e. g., nitratos e nitritos)	Líquido	-
Rede de abastecimento de água potável	Metais e não metais (e. g., nitratos e nitritos)	Líquido	-
Sistema municipal de drenagem de águas pluviais	Metais e não metais (e. g., nitratos e nitritos)	Líquido	-
Lavandouro	Metais e não metais (e. g., nitratos e fosfatos)	Líquido	-
Estabelecimento de ensino	Hidrocarbonetos; Metais e não metais (e. g., nitratos e sulfatos); Metais pesados	Sólido e líquido	Com coliformes fecais
Estação de serviço/oficina de automóveis	Hidrocarbonetos (e. g., benzeno e tolueno); Metais e não metais (e. g., nitratos e sulfatos); Metais pesados (e. g., chumbo e cobre)	Líquido e gasoso	-
Posto de abastecimento/Depósito enterrado	Hidrocarbonetos (e. g., benzeno); Metais pesados (e. g., chumbo e arsénio)	Líquido e gasoso	-
Garagem	Hidrocarbonetos (e. g., benzeno e tolueno); Metais pesados (e. g., arsénio)	Líquido e gasoso	-
Clínica veterinária/Hospital	Hidrocarbonetos; Metais e não metais (e. g., nitratos); Metais pesados (e. g., chumbo e arsénio)	Sólido e líquido	Com coliformes fecais
Poço/Furo ativo	Hidrocarbonetos; Metais e não metais	Sólido e líquido	-
Cemitério	Metais e não metais (e. g., cálcio e nitratos); Metais pesados (e. g., chumbo e zinco)	Sólido, líquido e gasoso	Com coliformes fecais
Linha de água	Impossível de analisar	Sólido, líquido e gasoso	Com coliformes fecais
Linha de água canalizada	Impossível de analisar	Sólido, líquido e gasoso	-
Galeria de água subterrânea	Hidrocarbonetos; Metais e não metais; Metais pesados	Sólido, líquido e gasoso	Com coliformes fecais
Equipamento social	Hidrocarbonetos; Metais e não metais (e. g., nitratos e sulfatos); Metais pesados	Sólido e líquido	Com coliformes fecais

### Bacia hidrográfica de Massarelos

No inventário relativo a esta bacia hidrográfica foram identificadas 78 atividades potenciais de contaminação (Figura 56), verificando-se que os pontos se localizam de forma dispersa ao longo da bacia em estudo, embora estejam mais concentrados na área central da mesma. As características de todos os focos inventariados encontram-se sintetizadas no Anexo 2.

A maioria (88,5%) dos focos de contaminação foi classificada, de acordo com Zaporozec (2004), como pontual (Figura 56a); os restantes (6,4%), P\_03\_05\_01 a P\_03\_05\_06, exceto o P\_03\_05\_03, foram classificados como lineares (Figuras 56b, 56c, 56e e 56f); como pontuais/difusos (Figura 56a), 3,9%, correspondendo aos pontos P\_03\_15, P\_05\_55 e P\_05\_56; e como pontuais/lineares (Figura 56d), 1,8%, ponto P\_03\_05\_03.

Apresentam-se, seguidamente, algumas considerações sobre as características das atividades inventariadas, as quais serão importantes para análises posteriores.

No que diz respeito à ocupação do solo (Figura 57), pode constatar-se que as atividades pontuais (Figura 57a) se encontram maioritariamente (88,9%) situadas em áreas de “Tecido urbano”, e de “Indústria, comércio e transportes” (8,3%).

Relativamente às atividades lineares (P\_03\_05\_01 a P\_03\_05\_06), (Figuras 57b, 57c, 57d, 57e e 57f), apresenta-se no Quadro 26 a extensão de cada uma delas, onde se pode verificar que estas ocupam maioritariamente áreas de “Tecido urbano” e “Indústria, comércio e transportes”.

Quadro 26 – Extensão (km) de cada foco linear relativamente aos tipos de ocupação do solo na bacia hidrográfica de Massarelos.

Bacia Hidrográfica de Massarelos	Ocupação do solo					Total (km)
	Tecido urbano (km)	Indústria, comércio transportes (km)	Áreas verdes urbanas (km)	Florestas e áreas naturais e semi-naturais (km)	Áreas agrícolas (km)	
P_03_05_01 - Rede de abastecimento de água potável	44,54	2,46	1,12	0,16	0,01	48,29
P_03_05_02 - Rede de saneamento	36,30	2,00	0,54	0,47	0,19	39,50
P_03_05_03 - Sistema municipal de drenagem de águas pluviais	6,56	0,01	0,01	0,05	0,00	6,63
P_03_05_04 - Linha de água	0,04	0,00	0,00	0,13	0,06	0,23
P_03_05_05 - Linha de água canalizada	4,09	0,09	0,02	0,09	0,15	4,44
P_03_05_06 - Galeria de água subterrânea	3,80	0,40	0,90	0,00	0,20	5,30
Total	95,33	4,96	2,59	0,90	0,61	

No que concerne às condições de acesso, para a maioria (60,3%) dos pontos estas foram fáceis e as restantes foram condicionadas (38,5%), devido ao facto de estes serem jardins infantis, escolas básicas e secundárias, e apenas 1,3% inacessíveis. No que diz respeito aos focos lineares, à semelhança do relatado para a bacia da Asprela, estes também foram considerados de acesso condicionado.

Os focos encontram-se, na sua maioria (51,3%), sob a tutela de instituições públicas, 47,4% correspondem a estabelecimentos comerciais e, os restantes 1,3% são residenciais.

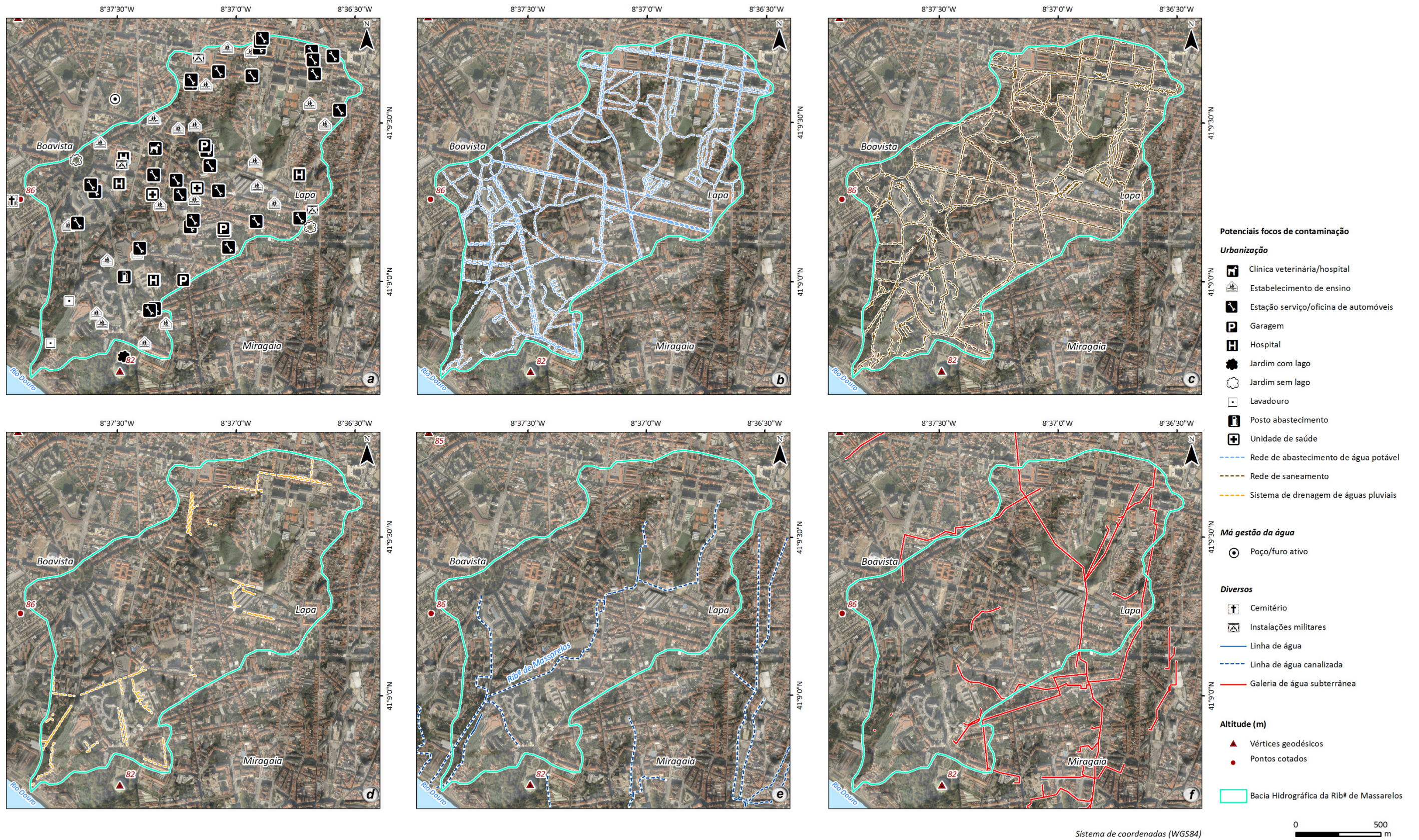


Figura 56 – Localização das 78 atividades potenciais de contaminação da água subterrânea na bacia hidrográfica de Massarelos: (a) P\_03\_01 a P\_03\_16 e P\_05\_01 a P\_05\_56 – Focos de contaminação pontuais; (b) P\_03\_05\_01 – Rede de abastecimento de água potável; (c) P\_03\_05\_02 – Rede de Saneamento; (d) P\_03\_05\_03 - Sistema municipal de drenagem de águas pluviais; (e) P\_03\_05\_04 e P\_03\_05\_05 – Linhas de água e linhas de água canalizada; (f) P\_03\_05\_06 – Galerias de água subterrânea.

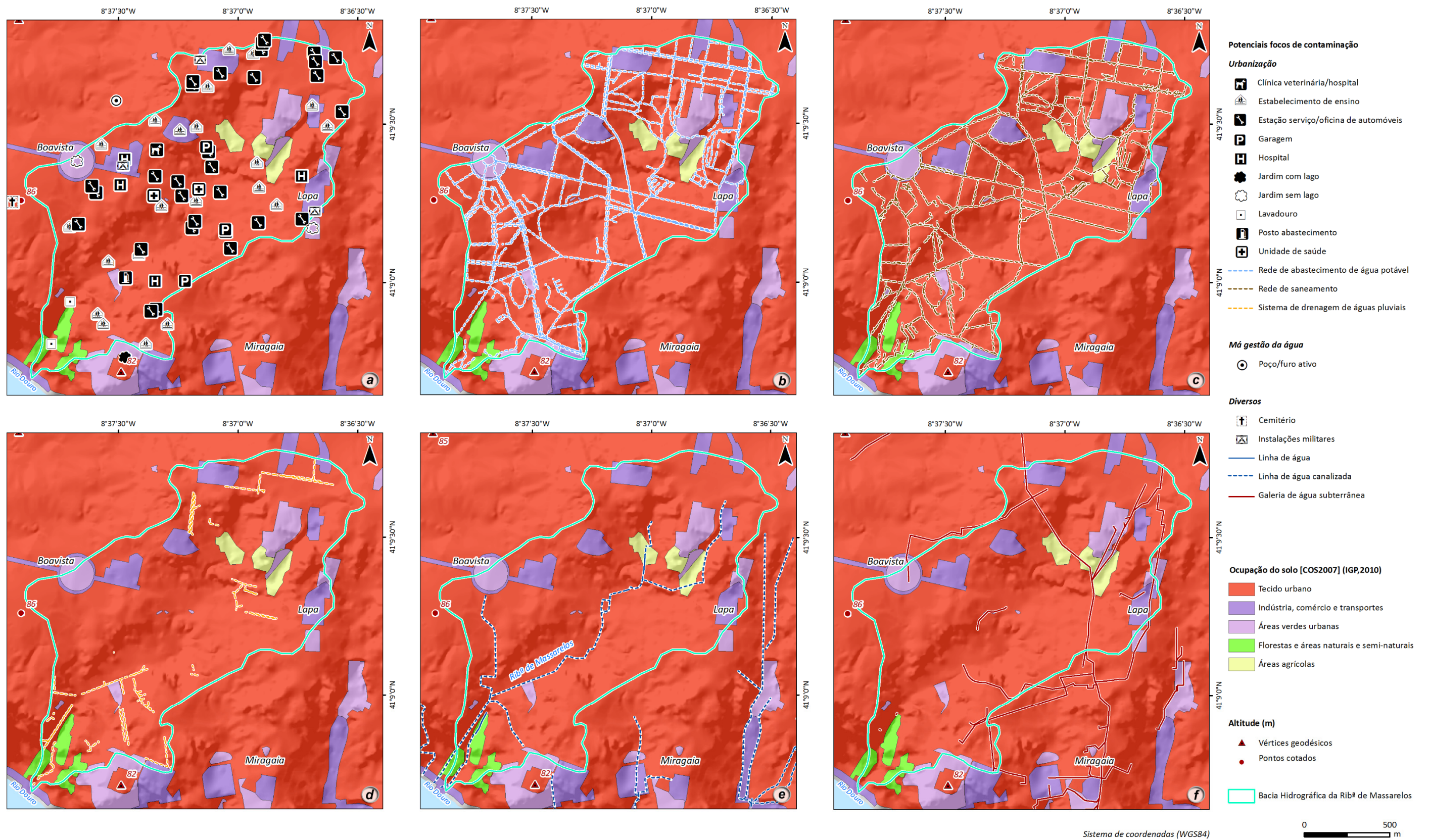


Figura 57 – Ocupação do solo na bacia hidrográfica de Massarelos: (a) P\_03\_01 a P\_03\_16 e P\_05\_01 a P\_05\_56 – Focos de contaminação pontuais; (b) P\_03\_05\_01 – Rede de abastecimento de água potável; (c) P\_03\_05\_02 – Rede de Saneamento; (d) P\_03\_05\_03 - Sistema municipal de drenagem de águas pluviais; (e) P\_03\_05\_04 e P\_03\_05\_05 – Linhas de água e linhas de água canalizada; (f) P\_03\_05\_06 – Galerias de água subterrânea.

As cotas às quais se encontram os focos pontuais variam entre 55 e 138 m, localizando-se, em termos geomorfológicos (Figura 58a), maioritariamente (68,1%), em zonas de planalto, no topo em áreas aplanadas de 80 a 125 m e de 130 a 160 m. Dos restantes pontos, 29,2%, encontram-se em zonas de encosta e apenas 2,8% se localizam em zonas de vale.

Relativamente às linhas de água pode dizer-se que estas se encontram encaixadas em vales, assim como as linhas de água canalizadas, que mantêm praticamente o seu traçado natural embora mais retilíneo (Figuras 58b, 58c, 58d, 58e e 58f).

Em termos de enquadramento hidrogeológico, os focos pontuais (Figura 59a) situam-se, maioritariamente (83,3%) na unidade granítica UH6.

Para os focos lineares (Figuras 59b, 59c, 59d, 59e e 59f) foram compiladas no Quadro 27 as extensões de cada foco relativas a cada unidade hidrogeológica, verificando-se que se encontram na sua maioria na unidade UH6.

Quadro 27 – Extensão (km) de cada foco linear relativamente ao enquadramento hidrogeológico da bacia hidrográfica de Massarelos.

Bacia Hidrográfica de Massarelos	Unidades Hidrogeológicas					
	UH 2 (km)	UH 3 (km)	UH 4 (km)	UH 5 (km)	UH 6 (km)	Total (km)
P_03_05_01 - Rede de abastecimento de água potável	3,70	1,20	0,00	0,00	43,39	48,29
P_03_05_02 - Rede de saneamento	3,60	1,10	0,00	0,00	34,80	39,50
P_03_05_03 - Sistema municipal de drenagem de águas pluviais	1,12	0,00	0,00	0,00	5,51	6,63
P_03_05_04 - Linha de água	0,12	0,00	0,00	0,00	0,11	0,23
P_03_05_05 - Linha de água canalizada	2,21	0,10	0,00	0,00	2,13	4,44
P_03_05_06 - Galeria de água subterrânea	0,30	0,00	0,00	0,00	5,00	5,30
Total	11,05	2,40	0,00	0,00	90,94	

Dos 72 focos pontuais estudados, 20,8% localizam-se em zonas de armadilha hidrogeológica, nomeadamente contactos geológicos, falhas geológicas e/ou na combinação entre ambos.



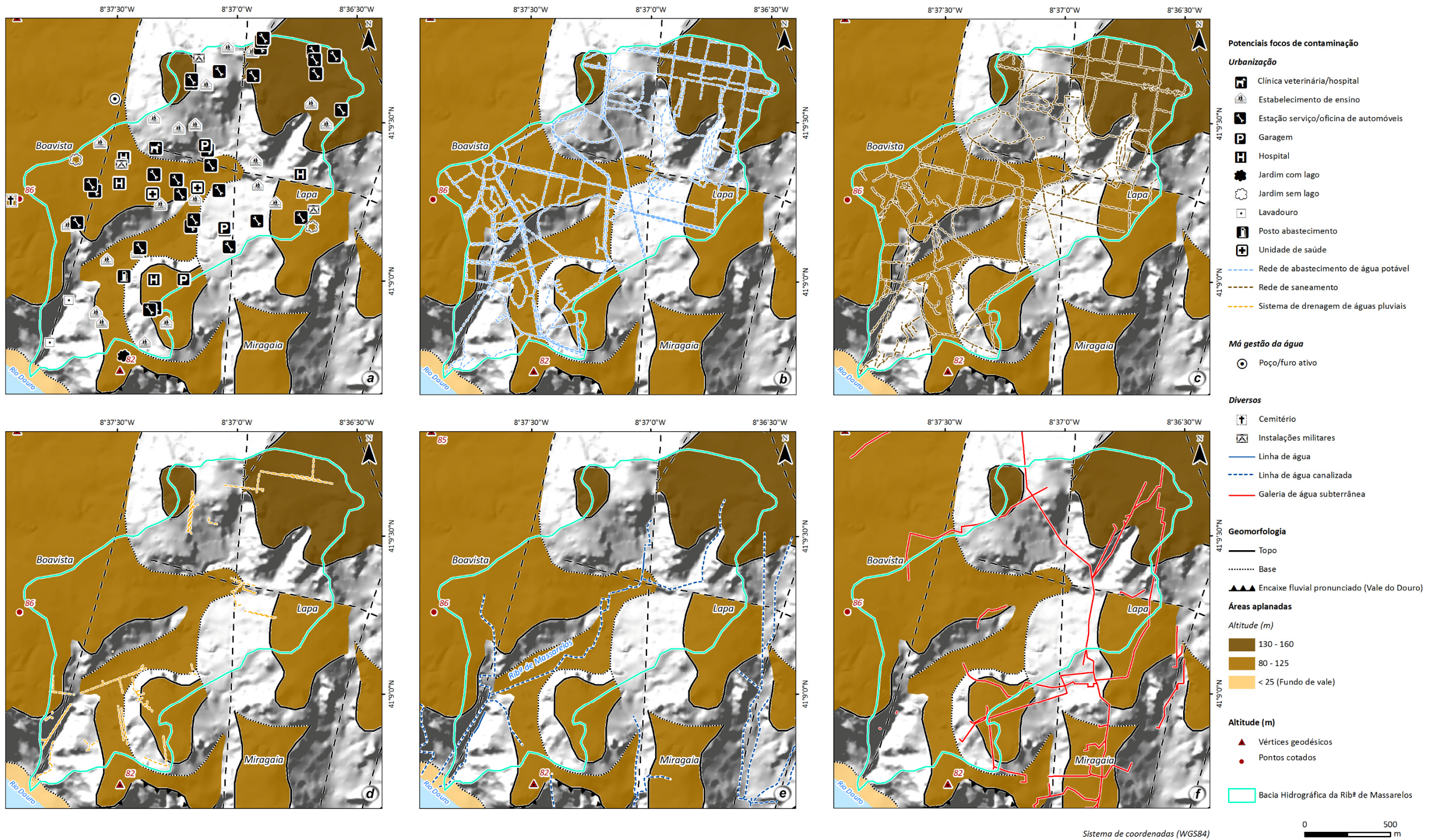


Figura 58 – Enquadramento geomorfológico das 78 atividades de inventário na bacia hidrográfica de Massarelos: (a) P\_03\_01 a P\_03\_16 e P\_05\_01 a P\_05\_56 – Focos de contaminação pontuais; (b) P\_03\_05\_01 – Rede de abastecimento de água potável; (c) P\_03\_05\_02 – Rede de Saneamento; (d) P\_03\_05\_03 - Sistema municipal de drenagem de águas pluviais; (e) P\_03\_05\_04 e P\_03\_05\_05 – Linhas de água e linhas de água canalizada; (f) P\_03\_05\_06 – Galerias de água subterrânea.

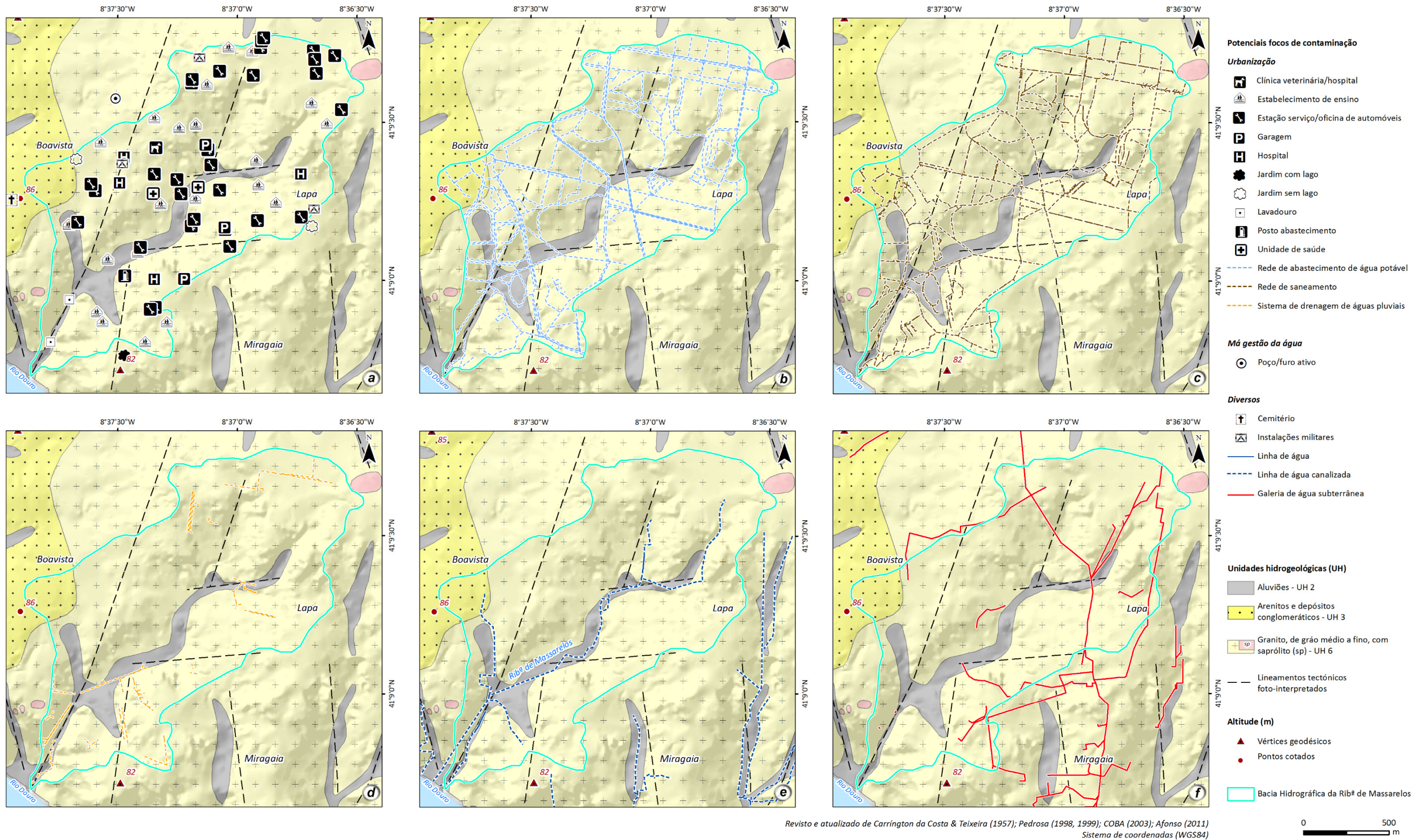


Figura 59 – Enquadramento hidrogeológico das 78 atividades de inventário na bacia hidrográfica de Massarelos: (a) P\_03\_01 a P\_03\_16 e P\_05\_01 a P\_05\_56 – Focos de contaminação pontuais; (b) P\_03\_05\_01 – Rede de abastecimento de água potável; (c) P\_03\_05\_02 – Rede de Saneamento; (d) P\_03\_05\_03 - Sistema municipal de drenagem de águas pluviais; (e) P\_03\_05\_04 e P\_03\_05\_05 – Linhas de água e linhas de água canalizada; (f) P\_03\_05\_06 – Galerias de água subterrânea.

A classificação dos focos pontuais de contaminação pela origem permitiu concluir que estes se distribuem na sua maioria entre Estações de serviço/oficinas de automóveis (38,0%) e Estabelecimentos de ensino (26,6%) (Figura 60).

Relativamente aos focos lineares (Figura 56b, 56c, 56d, 56e e 56f e Quadros 26 e 27) pode constatar-se que as Redes de abastecimento de água potável e de saneamento são as que mais se evidenciam devido à sua maior extensão, 48,3 km e 39,5 km, respetivamente. As Linhas de água canalizada e as Linhas de água são as que demonstram menor representatividade, 4,4 km e 0,6 km, respetivamente.

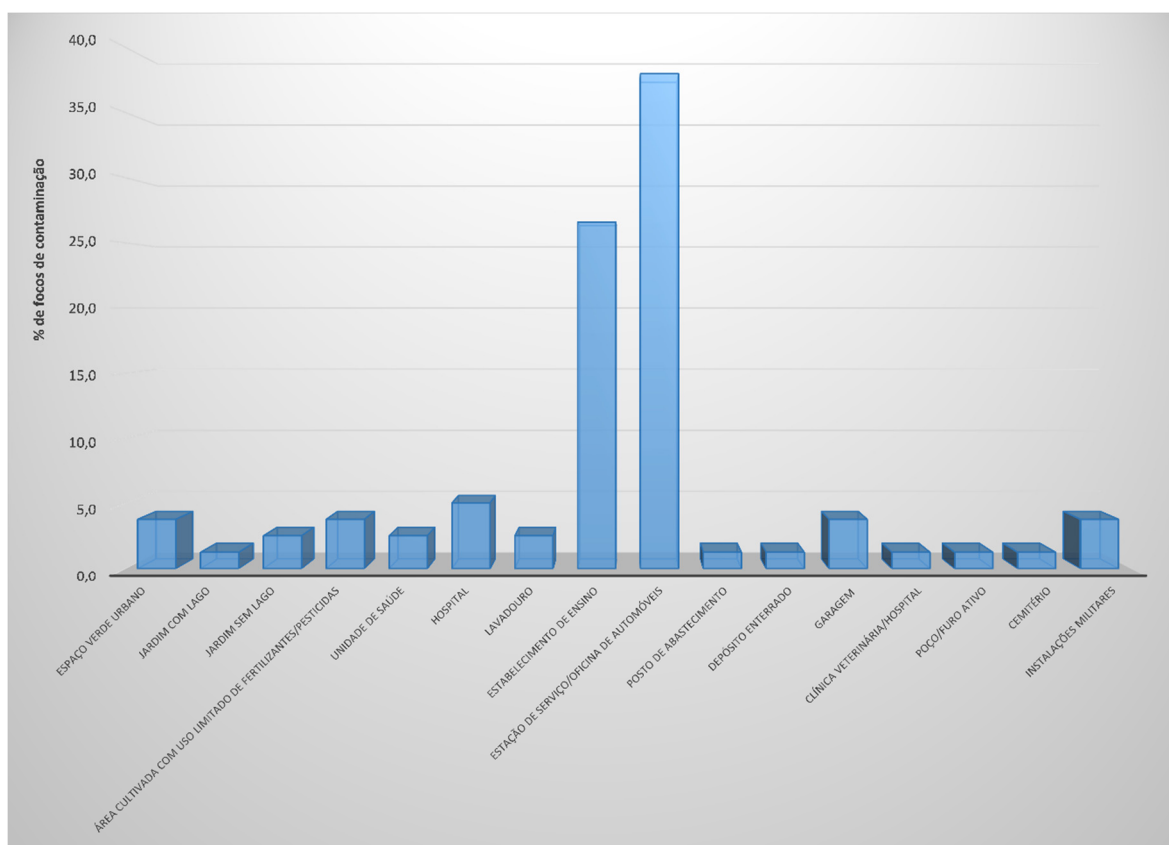


Figura 60 – Atividades potenciais de contaminação da água subterrânea de caráter pontual e/ou difuso identificadas na bacia hidrográfica da Ribeira de Massarelos.

Foi realizado um quadro síntese (Quadro 28), onde é detalhada a descrição do contaminante correspondente a cada tipo de foco de contaminação. Relativamente ao tipo de contaminante o grupo que ocorre em mais potenciais focos de contaminação é o grupo dos Metais e não metais seguido do grupo dos Hidrocarbonetos, embora os três grupos ocorram muitas vezes em simultâneo. Quanto ao tipo de descarga, os estados em que os potenciais focos mais podem contaminar as águas subterrâneas tratam-se dos estados sólido e líquido em simultâneo, seguidos do estado líquido e dos três estados em simultâneo. Existe uma

quantidade significativa de potenciais focos de contaminação que poderá contaminar as águas subterrâneas com coliformes fecais.

Quadro 28 – Potenciais focos de contaminação e descrição dos seus contaminantes relativos aos pontos constituintes do inventário das atividades potenciais de contaminação da água subterrânea referentes à bacia hidrográfica de Massarelos.

Potenciais focos de contaminação (pela origem)	Descrição do contaminante		
	Tipo	Tipo de descarga	Observações
Espaço verde urbano/Jardim com lago/Área cultivada com uso limitado de fertilizantes/pesticidas	Metais e não metais (e. g., nitratos e fosfatos)	Sólido e líquido	-
Espaço verde urbano/Jardim sem lago/Área cultivada com uso limitado de fertilizantes/pesticidas	Metais e não metais (e. g., nitratos e fosfatos)	Sólido e líquido	-
Unidade de Saúde	Hidrocarbonetos; Metais e não metais (e. g., nitratos); Metais pesados (e. g., chumbo e arsénio)	Sólido e líquido	Com coliformes fecais
Hospital	Hidrocarbonetos; Metais e não metais (e. g., nitratos e sulfatos); Metais pesados (e. g., chumbo e arsénio)	Sólido e líquido	Com coliformes fecais
Rede de saneamento	Metais e não metais (e. g., nitratos e nitritos)	Líquido	-
Rede de abastecimento de água potável	Metais e não metais (e. g., nitratos e nitritos)	Líquido	-
Sistema municipal de drenagem de águas pluviais	Metais e não metais (e. g., nitratos e nitritos)	Líquido	-
Lavandouro	Metais e não metais (e. g., nitratos e fosfatos)	Líquido	-
Estabelecimento de ensino	Hidrocarbonetos; Metais e não metais (e. g., nitratos e sulfatos); Metais pesados	Sólido e líquido	Com coliformes fecais
Estação de serviço/oficina de automóveis	Hidrocarbonetos (e. g., benzeno e tolueno); Metais e não metais (e. g., nitratos e sulfatos); Metais pesados (e. g., chumbo e cobre)	Líquido e gasoso	-
Posto de abastecimento/Depósito enterrado	Hidrocarbonetos (e. g., benzeno); Metais pesados (e. g., chumbo e arsénio)	Líquido e gasoso	-
Garagem	Hidrocarbonetos (e. g., benzeno e tolueno); Metais pesados (e. g., arsénio)	Líquido e gasoso	-
Clínica veterinária/Hospital	Hidrocarbonetos; Metais e não metais (e. g., nitratos); Metais pesados (e. g., chumbo e arsénio)	Sólido e líquido	Com coliformes fecais
Poço/Furo ativo	Hidrocarbonetos; Metais e não metais	Sólido e líquido	-
Cemitério	Metais e não metais (e. g., cálcio e nitratos); Metais pesados (e. g., chumbo e zinco)	Sólido, líquido e gasoso	Com coliformes fecais
Instalações militares	Hidrocarbonetos (e. g., benzeno e tolueno); Metais pesados (e. g., arsénio)	Sólido e líquido	Com coliformes fecais
Linha de água	Impossível de analisar	Sólido, líquido e gasoso	Com coliformes fecais
Linha de água canalizada	Impossível de analisar	Sólido, líquido e gasoso	-
Galeria de água subterrânea	Hidrocarbonetos; Metais e não metais; Metais pesados	Sólido, líquido e gasoso	Com coliformes fecais

#### 4.10.1 Atividades potenciais de contaminação *versus* vulnerabilidade intrínseca

Tal como foi previamente referido, a cartografia da vulnerabilidade à contaminação que se apresenta seguidamente para as duas bacias hidrográficas não foi realizada no âmbito desta dissertação. Esta resultou de uma análise realizada para a cidade do Porto, no âmbito da tese de doutoramento de L. Freitas (Freitas, *in prep*), tendo-se procedido apenas a um zoom daquela análise para as áreas envolventes às duas bacias hidrográficas objeto desta dissertação.

##### ***Bacia Hidrográfica da Asprela***

A análise conjunta da vulnerabilidade avaliada pelos índices GOD-S e DRASTIC, representados, respetivamente, na [Figura 61](#) e na [Figura 62](#) permite verificar que a bacia da Asprela apresenta, fundamentalmente, uma vulnerabilidade intrínseca à contaminação Moderada a Baixa, correspondente às unidades hidrogeológicas graníticas UH5, granito de grão médio a grosseiro com megacristais de feldspato, e UH6, granito de grão médio a fino, com exceção das áreas de saprólito. A unidade hidrogeológica aluvionar, UH2, é a que apresenta o maior grau de vulnerabilidade e as zonas de saprólito a vulnerabilidade mais baixa.

A implantação dos potenciais focos de contaminação neste contexto permite retirar as ilações que seguidamente se apresentam.

##### **Focos pontuais**

No índice GOD-S ([Figura 61a](#)), 9,1% dos focos encontram-se localizados em áreas de Elevada vulnerabilidade, 40,0% em áreas de Baixa – Moderada vulnerabilidade, 23,6% em áreas de Baixa vulnerabilidade e 27,3% em áreas de vulnerabilidade Insignificante.

Relativamente ao DRASTIC ([Figura 62a](#)), constatou-se que 9,1% dos focos se encontram em áreas de Elevada – Muito elevada vulnerabilidade, 61,8% em áreas de Moderada vulnerabilidade, 14,5% em áreas de Baixa – Moderada vulnerabilidade e os restantes 14,5% em áreas de Baixa vulnerabilidade.

**Focos lineares**

Para os focos de contaminação lineares (Figuras 61b, 61c, 61d, 61e, 61f, 62b, 62c, 62d, 62e e 62f) foram determinadas as extensões totais de cada um deles em cada uma das classes de vulnerabilidade definidas, quer no índice GOD-S (Quadro 29), quer no índice DRASTIC (Quadro 30).

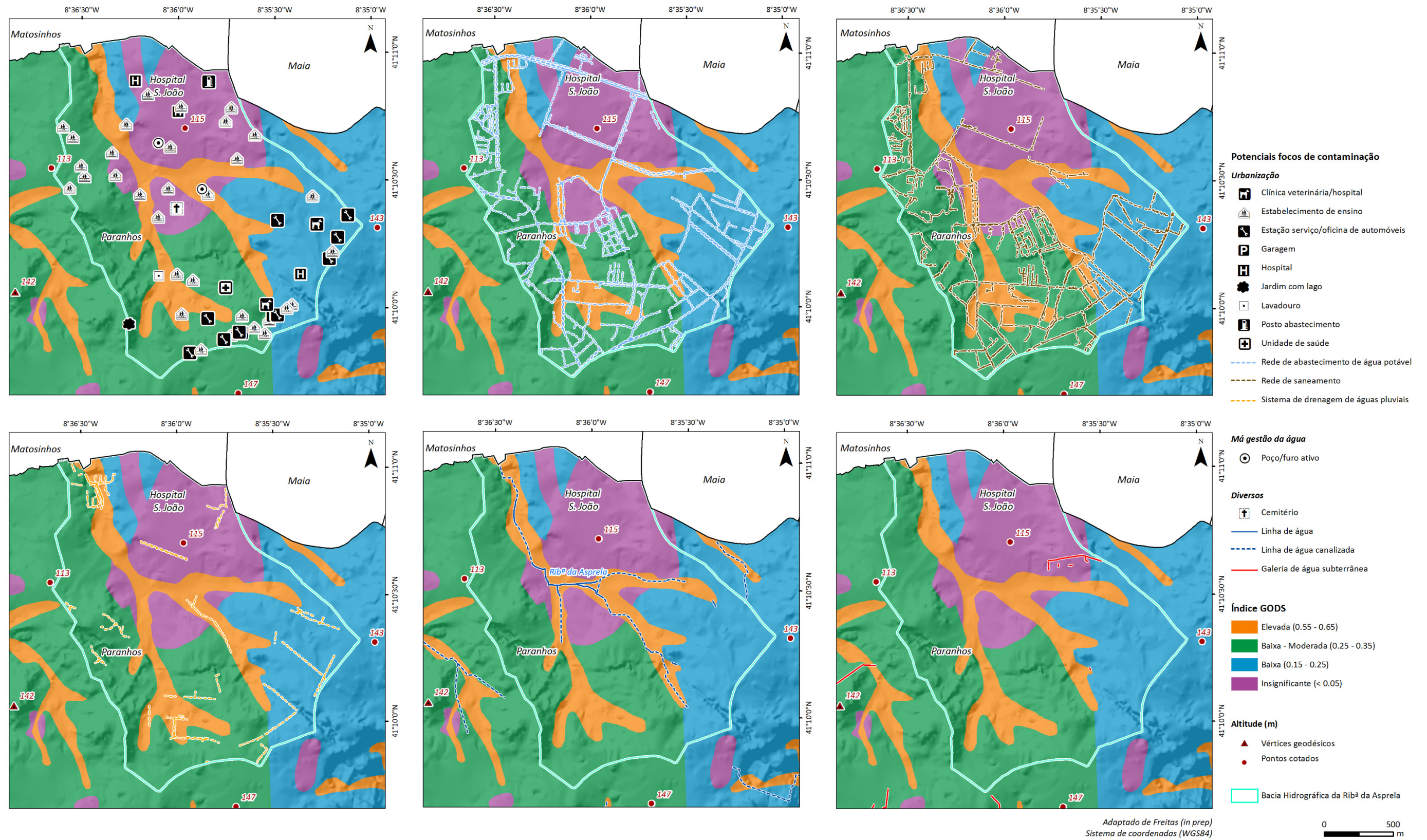


Figura 61 – Índice GOD-S e localização das 61 potenciais de contaminação na bacia hidrográfica da Asprela: (a) Focos pontuais (P\_04\_01 a P\_04\_55); (b) Rede de abastecimento de água potável (P\_04\_56); (c) Rede de saneamento (P\_04\_57); (d) Sistema municipal de drenagem de águas pluviais (P\_04\_58); (e) Linhas de água e linhas de água canalizada (P\_04\_59 e P\_04\_60); (f) Galerias de água subterrânea (P\_04\_61).

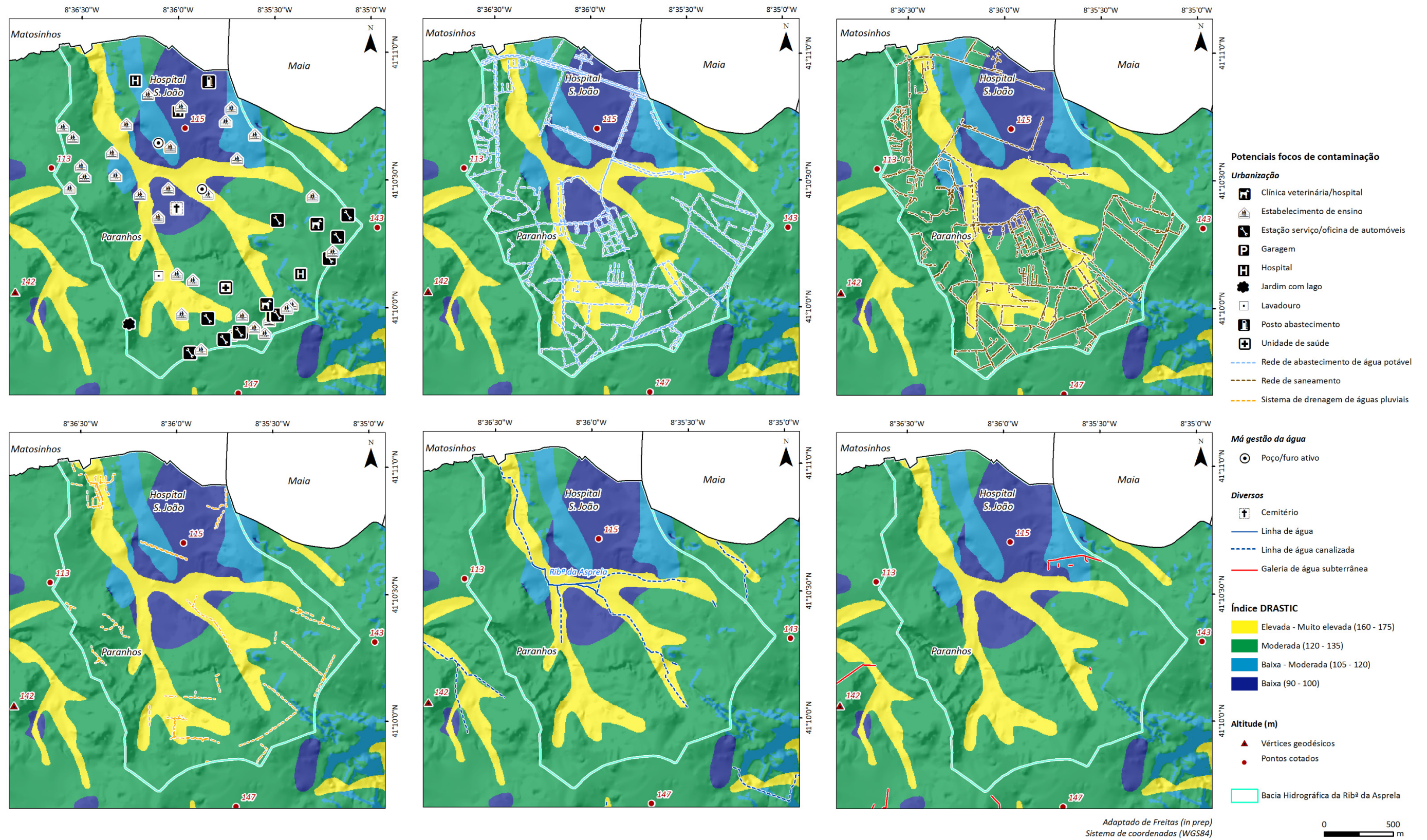


Figura 62 – Índice DRASTIC e localização das 61 potenciais de contaminação na bacia hidrográfica da Asprela: (a) Focos pontuais (P\_04\_01 a P\_04\_55); (b) Rede de abastecimento de água potável (P\_04\_56); (c) Rede de saneamento (P\_04\_57); (d) Sistema municipal de drenagem de águas pluviais (P\_04\_58); (e) Linhas de água e linhas de água canalizada (P\_04\_59 e P\_04\_60); (f) Galerias de água subterrânea (P\_04\_61).

Quadro 29 – Extensão (km) de cada foco linear relativamente às classes definidas para o Índice GOD-S na bacia hidrográfica da Asprela.

Bacia Hidrográfica da Asprela	Classe de vulnerabilidade	GOD-S				Total (km)
		Elevada (0,55 - 0,65)	Baixa - Moderada (0,25 - 0,35)	Baixa (0,15 - 0,20)	Insignificante (< 0,15)	
	P_04_56 - Rede de abastecimento de água potável	8,30	26,22	10,08	9,40	54,00
	P_04_57 - Rede de saneamento	8,54	28,34	9,35	6,31	52,54
	P_04_58 - Sistema municipal de drenagem de águas pluviais	3,07	3,10	2,41	1,23	9,81
	P_04_59 - Linha de água	1,08	0,00	0,03	0,08	1,19
	P_04_60 - Linha de água canalizada	2,67	0,08	0,02	0,07	2,84
	P_04_61 - Galeria de água subterrânea	0,01	0,00	0,10	0,42	0,53
	Total	23,67	57,74	21,99	17,51	

Quadro 30 – Extensão (km) de cada foco linear relativamente às classes definidas para o Índice DRASTIC na bacia hidrográfica da Asprela.

Bacia Hidrográfica da Asprela	Classe de vulnerabilidade	DRASTIC			Total (km)	
		Elevada - Muito elevada (160 - 175)	Moderada (120 - 135)	Baixa - Moderada (105 - 120)		Baixa (90 - 100)
	P_04_56 - Rede de abastecimento de água potável	8,28	35,75	3,16	6,81	54,00
	P_04_57 - Rede de saneamento	8,58	37,45	2,63	4,18	52,84
	P_04_58 - Sistema municipal de drenagem de águas pluviais	3,12	5,10	1,01	0,58	9,81
	P_04_59 - Linha de água	1,01	0,14	0,04	0,00	1,19
	P_04_60 - Linha de água canalizada	2,68	0,10	0,00	0,06	2,84
	P_04_61 - Galeria de água subterrânea	0,01	0,10	0,38	0,04	0,53
	Total	23,68	78,64	7,22	11,67	

Relativamente ao índice GOD-S (Quadro 29), pode verificar-se que a maior extensão destes focos se concentra em áreas de Baixa – Moderada vulnerabilidade, seguida de áreas de Elevada e mesmo de Baixa vulnerabilidade.

No que diz respeito ao índice DRASTIC (Quadro 30), a maior extensão dos focos ocorre em áreas de Moderada vulnerabilidade e em menor escala nas áreas de Elevada – Muito elevada vulnerabilidade.

Nestas duas análises, os focos que são, maioritariamente, determinantes são a Rede de abastecimento de água potável e a Rede de saneamento, os quais representam, tal como foi analisado no ponto 4.10, os focos lineares com maior representatividade na área da bacia da ribeira da Asprela.

Desta forma, tendo em conta todos os potenciais focos de contaminação (pontuais e lineares), a sua localização preponderante em áreas previamente classificadas de baixa a moderada vulnerabilidade intrínseca poderá incrementar a vulnerabilidade na região da bacia hidrográfica da Asprela.

### ***Bacia Hidrográfica de Massarelos***

À semelhança da bacia da Asprela, foi realizada uma análise conjunta da vulnerabilidade avaliada pelos índices GOD-S e DRASTIC, neste caso representados, respetivamente, na [Figura 63](#) e na [Figura 64](#), o que permite verificar que a bacia de Massarelos apresenta, fundamentalmente, uma vulnerabilidade intrínseca à contaminação Baixa a Moderada, correspondente à unidade hidrogeológica granítica UH6, granito de grão médio a fino. A unidade hidrogeológica aluvionar, UH2, é a que apresenta o maior grau de vulnerabilidade e a unidade hidrogeológica de arenitos e depósitos conglomeráticos, UH3, uma vulnerabilidade intermédia.

A implantação dos potenciais focos de contaminação neste contexto permite retirar as ilações que seguidamente se apresentam.

#### **Focos pontuais**

No índice GOD-S ([Figura 63a](#)), 11,1% dos focos encontram-se localizados em áreas de Elevada vulnerabilidade, 1,4% em áreas de vulnerabilidade Elevada - Moderada e 87,5% em áreas de Baixa – Moderada vulnerabilidade.

Relativamente ao índice DRASTIC ([Figura 64a](#)), constatou-se que 88,9% dos focos se encontram em áreas de Moderada vulnerabilidade e os restantes 11,1% em áreas de vulnerabilidade Elevada – Muito elevada.

#### **Focos lineares**

Para os focos de contaminação lineares ([Figuras 63b, 63c, 63d, 63e, 63f, 64b, 64c, 64d, 64e e 64f](#)) foram determinadas, tal como para a bacia da Asprela, as extensões totais de cada um deles em cada uma das classes de vulnerabilidade definidas, quer no índice GOD-S ([Quadro 31](#)), quer no índice DRASTIC ([Quadro 32](#)).

Relativamente ao índice GOD-S ([Quadro 31](#)), pode verificar-se que a maior extensão destes focos se concentra, na sua maioria muito expressiva, em áreas de Baixa – Moderada vulnerabilidade.

No que diz respeito ao índice DRASTIC ([Quadro 32](#)), a maior extensão dos focos ocorre, maioritariamente, em áreas de Moderada vulnerabilidade.

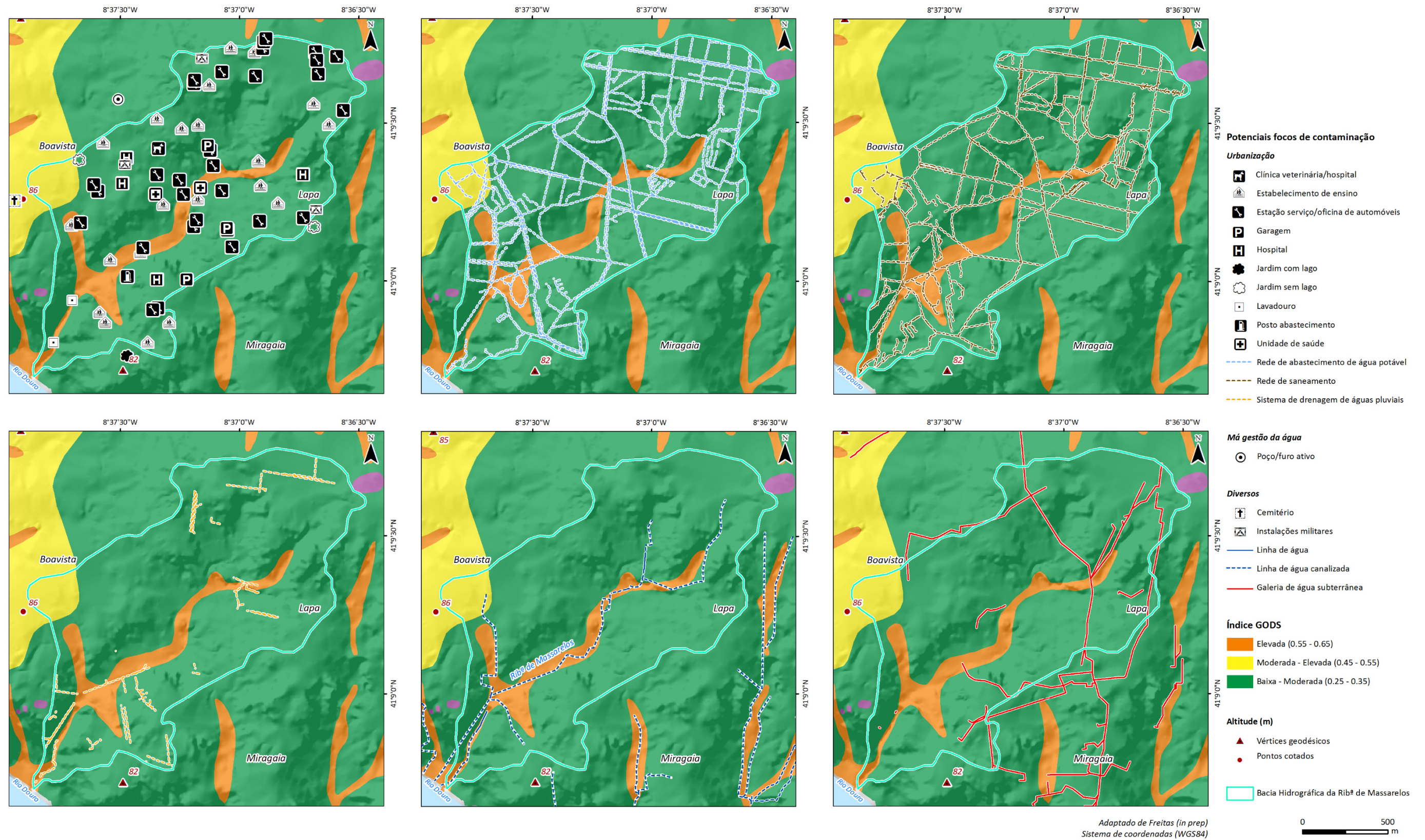


Figura 63 – Índice GOD-S e localização das 78 atividades potenciais de contaminação na bacia hidrográfica de Massarelos: (a) Focos pontuais (P\_03\_01 a P\_03\_16 e P\_05\_01 a P\_05\_56); (b) Rede de abastecimento de água potável (P\_03\_05\_01); (c) Rede de Saneamento (P\_03\_05\_02); (d) Sistema municipal de drenagem de águas pluviais (P\_03\_05\_03); (e) Linhas de água e linhas de água canalizada (P\_03\_05\_04 e P\_03\_05\_05); (f) Galerias de água subterrânea (P\_03\_05\_06).

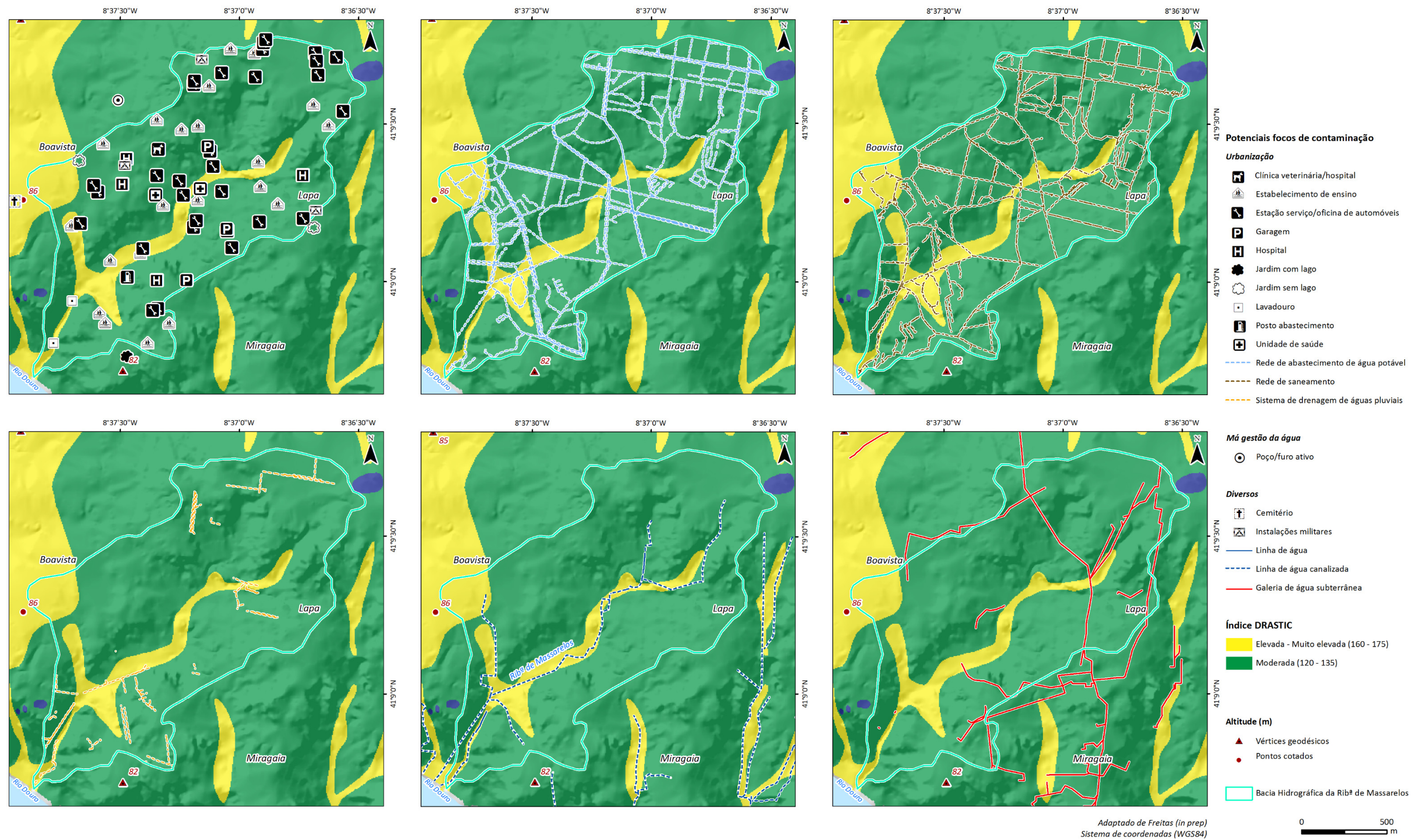


Figura 64 – Índice DRASTIC e localização das 78 atividades potenciais de contaminação na bacia hidrográfica de Massarelos: (a) Focos pontuais (P\_03\_01 a P\_03\_16 e P\_05\_01 a P\_05\_56); (b) Rede de abastecimento de água potável (P\_03\_05\_01); (c) Rede de Saneamento (P\_03\_05\_02); (d) Sistema municipal de drenagem de águas pluviais (P\_03\_05\_03); (e) Linhas de água e linhas de água canalizada (P\_03\_05\_04 e P\_03\_05\_05); (f) Galerias de água subterrânea (P\_03\_05\_06).

Quadro 31 – Extensão (km) de cada foco linear relativamente às classes definidas para o Índice GOD-S na bacia hidrográfica de Massarelos.

Bacia Hidrográfica de Massarelos	Classe de vulnerabilidade	GOD-S			Total (km)
		Elevada (0,55 - 0,65)	Moderada - Elevada (0,45 - 0,55)	Baixa - Moderada (0,25 - 0,35)	
	P_03_05_01 - Rede de abastecimento de água potável	3,74	1,19	43,36	48,29
	P_03_05_02 - Rede de saneamento	3,67	1,09	34,74	39,50
	P_03_05_03 - Sistema municipal de drenagem de águas pluviais	1,12	0,00	5,51	6,63
	P_03_05_04 - Linha de água	0,13	0,00	0,10	0,23
	P_03_05_05 - Linha de água canalizada	2,26	0,12	2,06	4,44
	P_03_05_06 - Galeria de água subterrânea	0,35	0,00	4,95	5,30
	Total	11,27	2,40	90,72	

Quadro 32 – Extensão (km) de cada foco linear relativamente às classes definidas para o Índice DRASTIC na bacia hidrográfica de Massarelos.

Bacia Hidrográfica de Massarelos	Classe de vulnerabilidade	DRASTIC		Total (km)
		Elevada - Muito elevada (160 - 175)	Moderada (120 - 135)	
	P_03_05_01 - Rede de abastecimento de água potável	4,83	43,46	48,29
	P_03_05_02 - Rede de saneamento	4,67	34,83	39,50
	P_03_05_03 - Sistema municipal de drenagem de águas pluviais	1,10	5,53	6,63
	P_03_05_04 - Linha de água	0,13	0,10	0,23
	P_03_05_05 - Linha de água canalizada	2,36	2,08	4,44
	P_03_05_06 - Galeria de água subterrânea	0,36	4,94	5,30
	Total	13,45	90,94	

Similarmente à bacia da Asprela, os focos que são especialmente determinantes nestas duas análises são a Rede de abastecimento de água potável e a Rede de saneamento, os quais constituem os focos lineares com maior representatividade na área da bacia da ribeira de Massarelos.

Assim, tendo em conta todos os potenciais focos de contaminação (pontuais e lineares), a sua localização preponderante em áreas previamente classificadas de Baixa a Moderada vulnerabilidade intrínseca poderá incrementar a vulnerabilidade na região da bacia hidrográfica de Massarelos.



---

## **5. Conclusões e perspectivas futuras**

---



## 5. Conclusões e perspetivas futuras

A dissertação que agora se conclui corresponde a uma investigação multidisciplinar, centrada na caracterização hidrogeológica e das atividades potenciais de contaminação das águas subterrâneas de duas bacias hidrográficas na área urbana do Porto, as bacias da Asprela e de Massarelos. Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) constituíram uma ferramenta de excelência para apoiar a esta abordagem multidisciplinar. De acordo com os objetivos delineados, obtiveram-se resultados práticos, como a localização e interpretação da distribuição dos pontos de água e dos potenciais focos de contaminação nas duas bacias hidrográficas.

No que respeita à metodologia aplicada, a criação de uma base de dados e a sua posterior ligação com a plataforma SIG foi de extrema importância para a obtenção dos resultados apresentados, possibilitando a concretização dos objetivos da dissertação.

Na área urbana do Porto, a existência da água subterrânea correspondeu a um fator fundamental para o desenvolvimento da cidade. O desenvolvimento urbano tem originado um profundo impacto nos sistemas hidrológicos e hidrogeológicos, quer em termos de qualidade quer de quantidade. Desta forma, a inventariação e caracterização dos pontos de água e das atividades potenciais de contaminação constituem tarefas cada vez mais importantes.

A inventariação, caracterização e mapeamento dos pontos de água e das atividades potenciais de contaminação das águas subterrâneas nas bacias hidrográficas estudadas constituirá uma ferramenta de apoio para futuros estudos hidrogeológicos ambientais, bem como para explicar e validar alguns aspetos em outros estudos específicos (Afonso, 2011; Freitas, *in prep*) relativos às águas subterrâneas da cidade do Porto.

Desta forma o presente estudo permite esboçar uma série de conclusões, a saber:

- Relativamente à ocupação do solo, ambas as bacias hidrográficas se encontram fundamentalmente em áreas ocupadas pelo “Tecido urbano”, encontrando-se a bacia de Massarelos numa região mais densamente urbanizada; salienta-se o facto de a bacia da Asprela ocupar uma área considerável da classe “Indústria, comércio e transportes”, igualmente;
- Em termos geomorfológicos, dominam em ambas as bacias as áreas aplanadas com altitudes que variam entre 80 e 125 m, sendo estas, maioritariamente, mais baixas na bacia de Massarelos (85 m) do que na bacia da Asprela (115 m); além disso, as duas bacias encontram-se encaixadas em vales de fratura;
- Em termos hidrogeológicos, as duas bacias desenvolvem-se maioritariamente na unidade hidrogeológica de granito de grão médio a fino, com saprólito (UH6);

- Em termos de propriedades organoléticas, as águas das duas bacias são límpidas, incolores e sem cheiro;
- Relativamente aos parâmetros físico-químicos avaliados, as águas subterrâneas apresentam temperaturas na ordem dos 17°C, distintas das águas da rede pública, na ordem dos 21-23°C; em termos de pH as águas subterrâneas são tendencialmente ácidas (5-6), contrastando com as águas neutras da rede pública; quanto à condutividade elétrica, as águas da rede pública são menos mineralizadas (< 300 µS/cm) que as águas subterrâneas (> 400 µS/cm);
- No que diz respeito aos caudais, os escassos valores avaliados não excedem 0,1 L/s;
- As potenciais atividades de contaminação inventariadas em ambas as bacias hidrográficas têm um carácter predominantemente pontual, dominando na bacia da Asprela os Estabelecimentos de ensino e na bacia de Massarelos as Estações de serviço/oficinas de automóveis;
- Os potenciais focos de contaminação de carácter linear, não sendo em número tão significativo como os pontuais, apresentam uma distribuição geográfica importante, em especial a rede de abastecimento de água potável e a rede de saneamento;
- Relativamente à vulnerabilidade intrínseca, avaliada pelos índices GOD-S e DRASTIC, ambas as bacias apresentam, fundamentalmente, uma vulnerabilidade à contaminação moderada a baixa, correspondente, no caso da bacia da Asprela às unidades hidrogeológicas graníticas, UH5 e UH6 e, no caso da bacia de Massarelos à unidade UH6; nas duas bacias, a unidade hidrogeológica aluvionar, UH2, é a que apresenta o maior grau de vulnerabilidade;
- A localização predominante dos potenciais focos de contaminação, pontuais e lineares, em áreas de baixa a moderada vulnerabilidade intrínseca poderá incrementar a vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas em ambas as bacias hidrográficas estudadas.

Desta forma, pode afirmar-se que este trabalho exploratório é apenas um ponto de partida para a realização de uma série de estudos complementares, bem como a retoma e o cruzamento dos presentes dados com outros elementos geológicos, hidrogeológicos e geoambientais.

Uma vez que este projeto foi executado num período algo restrito, os inventários realizados, apesar de terem sido sistemáticos e exaustivos, assumem um carácter exploratório. Assim, dever-se-á proceder no futuro a um levantamento mais exaustivo, quer dos pontos de água subterrânea, nomeadamente poços e furos de captação de água, quer das atividades potenciais de contaminação, com o intuito de se identificar as atividades humanas que possam estar na

origem de algum tipo de alteração na qualidade das águas subterrâneas tornando-as impróprias para o consumo.

Será igualmente importante proceder-se a campanhas hidroquímicas, através de recolha de amostras de água com o intuito de se realizar análises físico-químicas, microbiológicas, radiológicas, entre outras, em pontos estratégicos. Esta amostragem hidroquímica deverá incidir, em particular, nas áreas que apresentam um maior grau de vulnerabilidade, bem como deverá ser estabelecida uma malha mais apertada de pontos de água subterrânea.



---

## **6. Referências bibliográficas**

---



## 6. Referências bibliográficas

- Afonso, M. J. (1997) Hidrogeologia de rochas graníticas da região do Porto. Universidade de Lisboa. 150 pp. (Tese de Mestrado)
- Afonso, M. J. (2003) Hidrogeologia de rochas graníticas da região do Porto (NW de Portugal). Cad. Lab. Xeol. Laxe 28: 173-192
- Afonso, M. J. (2011) Hidrogeologia e hidrogeoquímica da região litoral urbana do Porto, entre Vila do Conde e Vila Nova de Gaia (NW de Portugal): aplicações geoambientais. Universidade Técnica de Lisboa - Instituto Superior Técnico. Lisboa. 370 pp. (Tese de Doutoramento)
- Afonso, M. J., Chaminé, H. I., Gomes, A., Teixeira, J., Araújo, M. A., Fonseca, P. E., Carvalho, J. M., Marques, J. M., Marques da Silva, M. A. & Rocha, F. T. (2004) Cartografia geológica e geomorfológica estrutural da área metropolitana do Porto: implicações na gestão dos recursos hídricos subterrâneos. Xeográfica, Revista de Geografia, Território e Medio Ambiente. Santiago de Compostela. 4: 101-115 pp.
- Afonso, M. J., Chaminé, H. I., Marques, J. M., Carreira, P. M., Guimarães, L., Guilhermino, L., Gomes, A., Fonseca P. E., Pires, A. & Rocha, F. (2010) Environmental issues in urban groundwater systems: a multidisciplinary study of the Paranhos and Salgueiros spring waters, Porto (NW Portugal). Environmental Earth Science. 61: 379-392.
- Afonso, M. J., Marques, J. M. & Chaminé, H. I. (2014) Hidrogeologia urbana: domínio científico vital nos estudos de ordenamento do território, engenharia e recursos hídricos.
- Alcoforado, M.J., Alegria, M. F., Pereira, A. R. & Sirgado, C. (1982) Domínios bioclimáticos em Portugal, definidos por comparação dos índices de Gausson e de Emberger. Centro de Estudos Geográficos. Lisboa. 31 pp.
- Aller, L., Bennet, T., Lehr, J.H. & Petty, R.J. (1987). DRASTIC: a standardised system for evaluating groundwater pollution potential using hydrologic settings. US EPA Report, 600/2-87/035, Robert S. Kerr Environmental Research Laboratory, Ada, OK, 641 pp.
- Almeida, A. (2001) Caracterização geoquímica e geocronológica do granito de duas micas sintectónico do Porto (NW de Portugal). In: Lago M, Arranz E & Galé C (eds.) Proceedings IIIer Congreso Ibérico de Geoquímica/VIIIº Congreso de Geoquímica de España. Instituto Tecnológico de Aragón. Zaragoza. 311-315 pp.
- Araújo, M. A., Gomes, A., Chaminé, H.I., Fonseca, P. E, Gama Pereira, L. C., Pinto de Jesus, A. (2003) Geomorfologia e geologia regional do sector de Porto-Espinho (W de Portugal): implicações morfoestruturais na cobertura sedimentar Cenozóica. Cadernos Laboratório Xeolóxico de Laxe, A Coruña, 28: 79-105.
- Assaad, F. A., La Moreaux, P. E., Hughes, T. H., Wangfang, Z. & Jordan, H. (2004) Field methods for geologists and hydrogeologists. Springer-Verlag. 420 pp.
- Bahia Junior, J. (1909) Contribuição para a hygiene do Porto: Analyse sanitaria do seu abastecimento em agua potavel. Porto: II - Mananciais do Campo Grande, Bispo e Freiras, Cavaca, Camões, Virtudes, Fontainhas, Praça do Marquês de Pombal e Bural: fontes suas derivadas de nascente privativa. Dissertação inaugural apresentada à Escola Médico-Cirúrgica do Porto. Typ. Encyclopedia Portugueza. Porto. 112 pp.
- Balthazar Guedes, P. (1669) Memória de todos os aqueductos, chafarizes e fontes da cidade. Arquivo Histórico do Porto, Livro 18 Próprias, f. 246-259.
- Bisson, R. A. & Lehr, J. H. (2004) Modern Groundwater Exploration: Discovering New Water Resources in Consolidated Rocks Using Innovative Hydrogeologic Concepts, Exploration, Drilling, Aquifer Testing, and Management Methods. John Wiley & Sons. 309 pp.
- Borges, F. S., Marques, M. & Noronha, F. (1985) Excursão geológica no complexo gnáissico da Foz do Douro. In: Livro guia das excursões geológicas a realizar em Portugal. IX Reunião sobre a Geologia do Oeste Peninsular. Porto.
- Bourbon e Noronha, T. (1885) As aguas do Porto. Dissertação inaugural apresentada à Escola Médico-Cirúrgica do Porto. Typ. Occidental, Porto. 89 pp.
- Brassington, R. (2007) Field Hydrogeology. 3rd edition John Wiley & Sons. 264 pp.
- Bravo, M. S. & Abrunhosa, M. J. (1978) Sobre a petrografia, composição e origem dos anfibolitos da Foz do Douro (Porto-Portugal). Pub. Mus. Lab. Min. Geol. Fac. Ciênc. Univ. Porto, 95 (4ª série): 1-26.
- Caetano, M., Nunes, V. & Nunes, A. (2009) CORINE Land Cover 2006 for Continental Portugal. Instituto Geográfico Português. Lisboa.
- Carrington da Costa, J. & Teixeira, C. (1957) Carta Geológica de Portugal na escala de 1/50000. Notícia explicativa da Folha 9-C (Porto). Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa. 38 pp.

- Carteado Mena, J. (1908) Contribuição para o estudo da Hygiene do Porto: analyse sanitaria do seu abastecimento em água potável. III. Estudo sobre os poços do Porto. Relatório, Laboratório de Hygiene do Porto. Typ. Encyclopedia Portugueza, Porto. 270 pp.
- Carvalho, J. M. (2006) Prospecção e pesquisa de recursos hídricos subterrâneos no Maciço Antigo Português: linhas metodológicas. Universidade de Aveiro. 292 pp. (Tese de Doutoramento)
- Carvalho, J. M. & Amador, F. (2001) Águas subterrâneas: uma abordagem metodológica. In: Teixeira et al. (coord.) Cadernos Didáticos de Ciências. Ministério da Educação. 2: 21-38.
- Carvalho, J. M., Plasencia, N., Chaminé, H.I., Rodrigues, B.C., Dias, A. G. & Silva, M. A. (2000) Recursos hídricos subterrâneos em formações cristalinas do Norte de Portugal. In: Samper J, Leitão T, Fernández L & Ribeiro L (eds.) Jornadas Hispano-Lusas sobre 'Las Aguas Subterráneas en el Noroeste de la Península Ibérica'. Textos de las Jornadas, Mesa Redonda y Comunicaciones. A Coruña. AIH-Grupo Español & APRH. ITGE, Madrid. 163-171 pp.
- Carvalho, J. M., Chaminé, H. I. & Plasencia, N. (2003) Caracterização dos recursos hídricos subterrâneos do maciço cristalino do Norte de Portugal: implicações para o desenvolvimento regional. In: Portugal Ferreira M (coord.) A Geologia de Engenharia e os Recursos Geológicos: recursos geológicos e formação. Volume de Homenagem ao Prof. Doutor Coteló Neiva. Imprensa da Universidade. Série Investigação. Coimbra. 2: 245-264.
- CFCFF – Committee of Fracture Characterization and Fluid Flow (1996) Rock fractures and fluid flow: contemporary understanding and applications. National Research Council. National Academy Press. 568 pp.
- Chaminé, H. I., Afonso M. J., Robalo, P. M., Rodrigues, P., Cortez, C., Santos, F. M., Plancha, J. P., Fonseca, P. E., Gomes, A., Devy-Vareta, N. F., Marques, J. M., Lopes, M. E., Fontes, G., Pires, A. & Rocha, F. (2010) Urban speleology applied to groundwater and geo-engineering studies: underground topographic surveying of the ancient Arca D'Água galleries catchworks (Porto, NW Portugal). *International Journal of Speleology*, 39 (1): 1-14.
- Chaminé, H.I., Afonso, M.J. & Freitas, L. (2014) From historical hydrogeological inventories, through GIS mapping to problem solving in urban groundwater systems. *European Geologist Magazine – Journal of the European Federation of Geologists*, 38:33-39.
- Chaminé, H. I., Gama Pereira, L. C., Fonseca, P. E., Noronha, F. & Lemos de Sousa, M. J. (2003) Tectonoestratigrafia da faixa de cisalhamento de Porto–Albergaria-a-Velha–Coimbra–Tomar, entre as Zonas Centro-Ibérica e de Ossa-Morena (Maciço Ibérico, W de Portugal). *Cadernos Laboratório Xeolóxico de Laxe, A Coruña*, 28: 37-78.
- Chapman, P. M. (2007) Determining when contamination is pollution: weight of evidence determinations for sediments and effluents. *Environment International*. 33: 492-501.
- Cleary, R. W. (2007) Águas subterrâneas. Princeton Groundwater. Clean Environment Brasil. 112 pp.
- COBA – Consultores de Engenharia e Ambiente, SA (2003) Notícia explicativa da Carta Geotécnica do Porto. 2ª edição, COBA/FCUP/Câmara Municipal do Porto (CMP). 230 pp.
- Custodio, E. & Llamas, M. R. (2001) Hidrología subterránea. Segunda edición corregida. Ediciones Omega, SA, Barcelona. 2350 pp.
- D'Andrade Júnior, A. (1895) Breves apontamentos sobre aguas de poços do Porto. Dissertação inaugural, Escola Médico-Cirúrgica do Porto. Typographia Gandra. Porto. 65 pp.
- Domenico, P. A. & Schwartz, F. W. (1998) Physical and chemical hydrogeology. 2nd edition. John Wiley & Sons. New York. 506 pp.
- Feitosa, F. A. C. & Filho, J. M. (2000) Hidrogeologia. Conceitos e Aplicações. 2ª edição. Serviço Geológico do Brasil. 391 pp.
- Fernandes, H. A. N. 2009. Identificação e detecção da fragilidade em troços de Ribeiras do Porto, 112 pp. (Tese de Mestrado).
- Ferreira, J. M., Brito, A., Silva, A. R., Sampaio, J. & Tavares, T. (2012) Manual de boas práticas para execução e exploração de furos de captação de águas subterrâneas. Instituto Português da Qualidade. 79 pp.
- Ferreira da Silva, A. J. (1889) Contribuições para a hygiene da cidade do Porto. Typographia António José da Silva Teixeira. Porto. 262 pp.
- Fetter, C. W. (2001) Applied hydrogeology. 3rd edition. Prentice-Hall USA. 598 pp.
- Fetter, C. W. (2008) Contaminant Hydrogeology. 2nd edition. Waveland Press. 500 pp.
- Fitts, C.R. 2013. Groundwater Science. 2nd Ed., Academic Press, Waltham, MA, USA. 692 pp.

- Fontes, A. (1908) Contribuição para a Hygiene do Porto: Analyse sanitaria do seu abastecimento em água potável. I. Estudo dos Mananciais de Paranhos e Salgueiros. Dissertação inaugural, Escola Médico-Cirúrgica do Porto. Typographia Encyclopedia Portugueza. Porto. 172 pp.
- Foster, S. S. D., Hirata, R., Gomes, D., D'Elia, M. & Paris, M. (2002) Groundwater quality protection: a guide for water utilities, municipal authorities and environment agencies. The World Bank. Washington, DC. 103 pp.
- Freitas, L. (2010) Análise hidro-histórica das águas subterrâneas do Porto, Séculos XIX a XXI: inventário, base de dados e cartografia SIG. Faculdade de Letras, Universidade do Porto. 118 pp. (Tese de Mestrado)
- Freitas, L. (in prep.) Detecção remota, SIG e hidrogeomorfologia: aplicações no estudo dos recursos hídricos em ambiente urbano. Universidade de Coimbra. (Tese de Doutoramento)
- Freitas, L., Afonso, M. J., Devy-Vareta, N., Marques, J. M., Gomes, A. & Chaminé, H. I. (2014) Coupling hydrotoponymy and GIS cartography: a case study of hydrohistorical issues in urban groundwater systems, Porto, NW Portugal. *Geographical Research*, 52 (2): 182-197.
- González de Vallejo, L. & Ferrer, M. (2011) *Geological Engineering*. CRC Press, Taylor-Francis Group. 678 pp.
- Hernández, J. M. R., Merino, L. M., Gutiérrez, J. L., Román, A. L. & Hernández, M. E. (2013) *Hidrogeología y Cementerios - Manual sobre idoneidad hidrogeológica para el emplazamiento de cementerios*. J. M<sup>a</sup> Ruiz Hernández. Madrid. 124 pp.
- IGM - Instituto Geológico e Mineiro (2001) *Água Subterrânea: Conhecer para Preservar o Futuro*. Instituto Geológico e Mineiro. Versão Online no site do LNEG: [http://www.ineg.pt/CienciaParaTodos/edicoes\\_online/diversos/agua\\_subterranea](http://www.ineg.pt/CienciaParaTodos/edicoes_online/diversos/agua_subterranea)
- IGP - Instituto Geográfico Português (2010) *Carta de uso e ocupação do solo de Portugal Continental para 2007 (COS2007): memória descritiva*. IGP, Lisboa.
- INE - Instituto Nacional de Estatística (2011) *Informação estatística sobre a população portuguesa: concelho do Porto*. <http://www.ine.pt/>. Acedido em 26 de Abril de 2015
- Köppen, W. (1936) *Das geographische System der Klimate*. In: Köppen W, Geiger R (eds) *Handbuch der Klimato - logie*. Gebrüder Borntraeger. Berlin. 1-44 pp.
- Kruseman, G. P. & Ridder, N. A. (1990) *Analysis and Evaluation of Pumping Test Data*. International Institute for Land Reclamation and Improvement. 377 pp.
- Larsson, I. (1984) *Ground Water in Hard Rocks: Project 8.6 of the International Hydrologic Programme*. UNESCO. Paris. 228 pp.
- Lencastre, A. & Franco, F. M. (2006) *Lições de Hidrologia*. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa. Monte de Caparica. 451 pp.
- Marsalek, J., Jiménez-Cisneros, B., Karamouz, M., Malmquist, P., Goldenfum, J. & Chocat, B. (2008) *Urban water cycle processes and interactions*. Urban water series. UNESCO-HP. Taylor & Francis, Netherlands. 131 pp.
- Mendes, B. & Oliveira, J. F. S. (2004) *Qualidade da Água para Consumo Humano*. Edições Lidel. Lisboa. 640 pp.
- Pereira, E., Ribeiro, A., Carvalho, G. S., Noronha, F., Ferreira, N. & Monteiro, J. H. [coords.] (1989) *Carta Geológica de Portugal, escala 1/200000*. Folha 1. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- Pedrosa, M. Y. [coord.] (1998) *Carta Hidrogeológica de Portugal, à escala 1/200000*. Folha 1. Instituto Geológico e Mineiro, Lisboa.
- Pedrosa, M. Y. (1999) *Notícia explicativa da Carta Hidrogeológica de Portugal, à escala 1/200000*. Folha 1. Instituto Geológico e Mineiro, Lisboa. 70 pp.
- Press, F., Siever, R., Grotzinger, J. & Jordan, T. H. (2004) *Understanding Earth*. 4th Edition. W. H. Freeman & Company. 567 pp.
- Reis, P. A. S. C. (2002) *Situação actual dos rios e ribeiros do Concelho do Porto*. Universidade do Minho. (Tese de Mestrado)
- Ribeiro, A., Quesada, C. & Dallmeyer, R. D. (1990) *Geodynamic evolution of the Iberian Massif*. In: Dallmeyer RD & Martínez-García E (eds.) *Pre-Mesozoic Geology of Iberia*. Springer Verlag. Berlin. 397-410 pp.
- Ribeiro, A., Munhá, J., Dias, R., Mateus, A., Pereira, E., Ribeiro, L., Fonseca, P.E., Araújo, A., Oliveira, J.T., Romão, J., Chaminé, H.I., Coke, C. & Pedro, J. (2007) *Geodynamic evolution of the SW Europe Variscides*. *Tectonics*, 26, TC6009, 24 pp.

- Rodrigues, C., Carvalho, J.M., Afonso, M.J., Teixeira, J. & Chaminé H.I. (2010) Do modelo conceptual à captação hidrogeológica: importância em estudos de recursos geológicos e de geoengenharia. *Tecnologia e Vida, Revista da Secção Regional do Norte da ANET, Porto*, 7:10-18.
- Schöeller, H. (1962) *Les eaux souterraines : hydrologie dynamique et chimique, recherche, exploitation et évaluation des ressources*. Masson et Cie, Éditeurs, Paris. 642 pp.
- Singhal, B. B. S. & Gupta, R. P. (2010) *Applied hydrogeology of fractured rocks*. Second edition. Springer. Dordrecht. 408 pp.
- Soares de Carvalho G. (1992) Depósitos quaternários e cenozóico indiferenciado. In: Pereira E (Coord.) *Carta Geológica de Portugal na escala 1/200.000. Notícia Explicativa da Folha 1*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa. 47-50 pp.
- Sousa Reis, H. D. (1867) *Mappa synoptico estatistico-historico dos mananciaes publicos d'esta antiga, mui nobre, sempre leal e invicta cidade do Porto*. 58 pp.
- Struckmeier, W. F., Engelen, G. B., Galitzin, M. S. & Shakchnova, R. K. (1986) Methods of representation of water data. In: Engelen G. B. and Jones G. P. (eds.). *Developments in the Analyses on Groundwater Flow Systems*. International Association of Hydrogeological Sciences. No. 163, 45-63.
- Struckmeier, W. F. & Margat, J. (1995) *Hydrogeological maps: a guide and standard legend*. International Association of Hydrogeologists, Hannover, 17: 1-177.
- Teixeira, J. (2011) *Hidrogeomorfologia e sustentabilidade de recursos hídricos subterrâneos*. Universidade de Aveiro. 504 pp. (Tese de Doutoramento)
- Teixeira, J., Chaminé, H. I., Carvalho, J. M., Pérez-Alberti, A. & Rocha F. (2013) Hydrogeomorphological mapping as a tool in groundwater exploration. *Journal of Maps*, 9(2): 263-273
- Teixeira, J., Chaminé, H. I., Espinha Marques, J., Carvalho, J. M., Pereira, A. J. S. C., Carvalho, M. R., Fonseca, P. E. Fonseca, Pérez-Alberti A. & Rocha F. (2015) A comprehensive analysis of groundwater resources using GIS and multicriteria tools (Caldas da Cavaca, Central Portugal): environmental issues. *Environ Earth Sci*, 73(6): 2699–2715.
- UNESCO (1992) *International glossary of hydrology, second Edition*. UNESCO. Paris. 413 pp.
- Vieira, N. M. S. M. (2009) *Qualidade química e bacteriológica das águas das ribeiras do Porto*. Universidade de Aveiro. 128 pp. (Tese de Mestrado)
- Vrba, J. & Zaporosec, A. (1994) *Guidebook on mapping groundwater vulnerability*. International Contributions to Hydrogeology. Vol. 16. Verlag Heinz Heise, Hannover. 131 pp.
- Weight, W. D. (2000) *Manual of applied Field hydrogeology*. McGraw-Hill, New York. 121 pp.
- Younger, P. L. (2007) *Groundwater in the environment: an introduction*. Blackwell Publishing. 318 pp.
- Zaporozec, A. (2004) *Groundwater contamination inventory: a methodological guide with a model legend for groundwater contamination inventory and risk maps*. UNESCO. Paris. 160 pp.

**Decretos-Lei**

*Decreto-Lei 236/1998 de 1 de Agosto*

*Decreto-Lei 306/2007 de 27 de Agosto*

*Lei n.º 11-A/2013, de 28 de Janeiro*

**Websites**

<http://dado.no.sapo.pt/aterros.htm>

<http://geology-aguassubterraneas.wikispaces.com/nivel>

<http://fatimasucatas.pai.pt/>

<http://pecuaria.ruralbr.com.br/noticia/2013/04/encontro-de-confinamento-da-scot-apresenta-praticas-para-reutilizar-residuos-de-animais-nas-lavouras-4097373.html>

<http://meteo.isep.ipp.pt/weather/index.html>

<http://www.aguadoporto.pt/qualidade-da-agua/aguas-de-consumo->

<http://www.coopercitrus.com.br/?pag=noticias&act=detalhes&noticia=1392>

<http://www.ipma.pt>

<http://www.keepthecityout.co.uk/2011/12/>

[http://www.lneg.pt/CienciaParaTodos/edicoes\\_online/diversos/agua\\_subterranea/](http://www.lneg.pt/CienciaParaTodos/edicoes_online/diversos/agua_subterranea/)

[http://www.lneg.pt/CienciaParaTodos/edicoes\\_online/diversos/guiao\\_gota\\_agua](http://www.lneg.pt/CienciaParaTodos/edicoes_online/diversos/guiao_gota_agua)

<http://www.macaub.com.mo/pt/2011/05/03/coal-india-divulgara-em-julho-empresa-que-vai-explorar-blocos-de-carvao-em-mocambique/>

<http://www.ribeirasdoporto.pt/>

<https://www.studyblue.com/notes/note/n/study-guide-exam-1/deck/5794205>



---

## **7. Anexos**

---



## 7. Anexos



**Anexo 1** – Síntese das características das atividades potenciais de contaminação da água subterrânea inventariadas na bacia hidrográfica da Asprela



**Inventário das Atividades Potenciais de Contaminação da Água Subterrânea da Bacia Hidrográfica da Asprela**

Generalidades				Coordenadas geográficas (WGS84)	
Nº de inventário	Denominação	Classificação (Pontual, P; Difusa, D; Linear, L)	Cota (m)	Latitude	Longitude
P_04_01	Universidade Católica do Porto - Asprela	P	107	41° 10' 36,533" N	8° 36' 23,800" W
P_04_02	Escola Superior de Enfermagem do Porto - HSJ	P	112	41° 10' 55,553" N	8° 36' 13,836" W
P_04_03	Universidade Portucalense Infante D. Henrique (UPIDH)	P	102	41° 10' 48,530" N	8° 36' 20,563" W
P_04_04	Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP)	P	104	41° 10' 41,812" N	8° 36' 24,894" W
P_04_05	Escola Superior de Educação (ESE)	P	118	41° 10' 49,358" N	8° 35' 49,600" W
P_04_06	Faculdade de Ciências da Nutrição da Universidade do Porto	P	125	41° 10' 46,179" N	8° 35' 40,461" W
P_04_07	IPATIMUP	P	110	41° 10' 33,417" N	8° 36' 7,281" W
P_04_08	Instituto Politécnico do Porto (IPP)	P	115	41° 10' 52,509" N	8° 35' 47,826" W
P_04_09	Alcino Martins-Reparações Auto	P	139	41° 9' 54,942" N	8° 36' 0,309" W
P_04_10	Garagem CALVAR	P	142	41° 10' 17,271" N	8° 35' 17,110" W
P_04_11	Cepsa H.S.João (N12)	P	109	41° 10' 58,610" N	8° 35' 54,871" W
P_04_12	Cemitério de Paranhos	P	109	41° 10' 28,797" N	8° 36' 4,601" W
P_04_13	IPO - Porto	P	110	41° 10' 58,804" N	8° 36' 17,761" W
P_04_14	Hospital de São João	P	115	41° 10' 51,594" N	8° 36' 4,363" W
P_04_15	Centro Hospitalar Conde de Ferreira	P	139	41° 10' 13,520" N	8° 35' 25,931" W
P_04_16	Clínica Veterinária São Francisco Assis	P	142	41° 9' 59,706" N	8° 35' 44,290" W
P_04_17	Alberto Almeida Costa	P	130	41° 10' 26,144" N	8° 35' 33,282" W
P_04_18	Jardim Infantil O Popas	P	140	41° 9' 59,088" N	8° 35' 47,576" W
P_04_19	Escola Básica Costa Cabral, Porto	P	136	41° 9' 55,687" N	8° 35' 56,829" W
P_04_20	Escola Básica da Agra, Porto	P	112	41° 10' 36,195" N	8° 36' 33,381" W
P_04_21	Escola Básica da Areosa, Porto	P	130	41° 10' 31,872" N	8° 35' 22,431" W
P_04_22	Escola Básica da Azenha, Porto	P	107	41° 10' 47,795" N	8° 36' 40,254" W
P_04_23	Clínica Médica Company & Care	P	130	41° 10' 10,303" N	8° 35' 49,309" W
P_04_24	Big Position	P	135	41° 10' 27,497" N	8° 35' 11,440" W
P_04_25	Garagem Costa Cabral	P	135	41° 10' 22,300" N	8° 35' 14,522" W
P_04_26	Os Mochinhos	P	140	41° 10' 18,877" N	8° 35' 16,083" W
P_04_27	Clínica Veterinária Vets & Pets	P	131	41° 10' 25,347" N	8° 35' 21,029" W
P_04_28	Recolhas	P	134	41° 10' 3,674" N	8° 35' 34,622" W
P_04_29	Vap Service	P	136	41° 10' 3,942" N	8° 35' 33,114" W
P_04_30	Colégio Julio Dinis - 10º,11º,12º	P	138	41° 10' 5,476" N	8° 35' 30,257" W
P_04_31	Hospital Veterinário Montenegro	P	130	41° 10' 6,363" N	8° 35' 36,505" W
P_04_32	Colégio Julio Dinis 2º e 3º	P	149	41° 10' 0,935" N	8° 35' 40,359" W
P_04_33	SAAB Service	P	140	41° 9' 59,869" N	8° 35' 45,036" W
P_04_34	Peugeot Service	P	137	41° 9' 58,084" N	8° 35' 49,721" W
P_04_35	Oficina Renault	P	130	41° 10' 3,021" N	8° 35' 54,798" W
P_04_36	Instituto Superior de Educação e Trabalho (ISET)	P	139	41° 10' 3,653" N	8° 35' 44,090" W
P_04_37	Faculdade de Psicologia e Ciências da Educação da UP	P	106	41° 10' 32,068" N	8° 36' 16,183" W
P_04_38	Faculdade de Medicina Dentária da Universidade do Porto	P	107	41° 10' 26,793" N	8° 36' 10,421" W
P_04_39	Faculdade de Medicina da Universidade do Porto	P	116	41° 10' 52,805" N	8° 36' 3,510" W
P_04_40	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto	P	118	41° 10' 40,537" N	8° 35' 45,957" W
P_04_41	Faculdade de Economia da Universidade do Porto	P	110	41° 10' 32,208" N	8° 35' 55,004" W
P_04_42	Faculdade Desporto da Universidade do Porto	P	116	41° 10' 43,246" N	8° 36' 6,792" W
P_04_43	Escola Secundária António Nobre	P	124	41° 10' 4,019" N	8° 36' 2,986" W
P_04_44	Escola Básica Eugénio de Andrade	P	123	41° 10' 11,993" N	8° 35' 59,550" W
P_04_45	Ass. Nova Aurora na Reabilitação e Reintegração Psicossocial - ANARP	P	115	41° 10' 33,492" N	8° 36' 38,067" W
P_04_46	Centro Social do Bairro do Carriçal	P	112	41° 10' 45,345" N	8° 36' 37,154" W
P_04_47	Colégio Júlio Dinis	P	140	41° 10' 2,535" N	8° 35' 35,652" W
P_04_48	Externato Ellen Key	P	151	41° 9' 59,555" N	8° 35' 37,054" W
P_04_49	Externato O Meu Lar	P	140	41° 10' 6,338" N	8° 35' 28,721" W
P_04_50	EB/23 Paranhos	P	114	41° 10' 13,402" N	8° 36' 4,521" W
P_04_51	Centro Social de Paranhos	P	112	41° 10' 38,736" N	8° 36' 34,528" W
P_04_52	FCDEF	P	110	41° 10' 44,203" N	8° 36' 10,503" W
P_04_53	FEP	P	113	41° 10' 33,410" N	8° 35' 56,780" W
P_04_54	Augusto Lessa	P	118	41° 10' 13,02" N	8° 36' 10,15" W
P_04_55	Quinta do Covelo	P/D	149	41° 10' 1,550" N	8° 36' 19,291" W
P_04_56	Rede de abastecimento de água potável	L	-	-	-
P_04_57	Rede de saneamento	L	-	-	-
P_04_58	Sistema municipal de drenagem de águas pluviais	P/L	-	-	-
P_04_59	Linha de água	L	-	-	-
P_04_60	Linha de água canalizada	L	-	-	-
P_04_61	Galeria de água subterrânea	L	-	-	-



Inventário das Atividades Potenciais de Contaminação da Água Subterrânea da Bacia Hidrográfica da Asprela

Geomorfologia (T- Topo; I- Intermédio; B- Base)				Geologia e hidrogeologia			
Nº de inventário	Planalto	Vale	Encosta	Observações	Litologia	Unidade hidrogeológica	Armadilha hidrogeológica
P_04_01	-	-	B	-	Micaxistos, xistos e grauvaques/Granito do Porto	UH 4/UH 6	Contacto geológico
P_04_02	T	-	-	Área aplanada (80 - 125 m)	Micaxistos, xistos e grauvaques	UH 4	Falha geológica
P_04_03	T	-	-	Área aplanada (80 - 125 m)	Granito, de grão médio a grosseiro, de duas micas com megacristais de feldspato potássico (Granito de Contumil)/Aluviões	UH 5/UH 2	Contacto geológico
P_04_04	-	-	I	-	Granito, de grão médio a fino, de duas micas (Granito do Porto)/Micaxistos, xistos e grauvaques	UH 6/UH 4	Contacto geológico/Falha geológica
P_04_05	B	-	-	Área aplanada (80 - 125 m)	Granito, de grão médio a fino, de duas micas (Granito do Porto)/Micaxistos, xistos e grauvaques	UH 6/UH 4	Contacto geológico
P_04_06	T	-	-	Área aplanada (80 - 125 m)	Micaxistos, xistos e grauvaques	UH 4	-
P_04_07	T	-	-	Área aplanada (80 - 125 m)	Granito, de grão médio a fino, de duas micas, caulinizado (Granito do Porto)	UH 6	-
P_04_08	B	-	-	Área aplanada (80 - 125 m)	Micaxistos, xistos e grauvaques/Granito, de grão médio a fino, de duas micas (Granito do Porto)	UH 4/UH 6	Contacto geológico
P_04_09	T	-	-	Área aplanada (130 - 160 m)	Granito, de grão médio a fino, de duas micas (Granito do Porto)	UH 6	-
P_04_10	T	-	-	Área aplanada (130 - 160 m)	Granito, de grão médio a grosseiro, de duas micas com megacristais de feldspato potássico (Granito de Contumil)	UH 5	-
P_04_11	T	-	-	Área aplanada (80 - 125 m)	Granito, de grão médio a fino, de duas micas, caulinizado (Granito do Porto)	UH 6	-
P_04_12	B	-	-	Área aplanada (80 - 125 m)	Granito, de grão médio a fino, de duas micas, caulinizado (Granito do Porto)	UH 6	-
P_04_13	T	-	-	Área aplanada (80 - 125 m)	Micaxistos, xistos e grauvaques	UH 4	-
P_04_14	T	-	-	Área aplanada (80 - 125 m)	Granito, de grão médio a fino, de duas micas, caulinizado (Granito do Porto)	UH 6	-
P_04_15	T	-	-	Área aplanada (130 - 160 m)	Granito, de grão médio a grosseiro, de duas micas com megacristais de feldspato potássico (Granito de Contumil)	UH 5	Falha geológica
P_04_16	T	-	-	Área aplanada (130 - 160 m)	Granito, de grão médio a fino, de duas micas (Granito do Porto)	UH 6	-
P_04_17	-	-	T	-	Granito, de grão médio a grosseiro, de duas micas com megacristais de feldspato potássico (Granito de Contumil)	UH 5	-
P_04_18	T	-	-	Área aplanada (130 - 160 m)	Granito, de grão médio a fino, de duas micas (Granito do Porto)	UH 6	-
P_04_19	T	-	-	Área aplanada (130 - 160 m)	Granito, de grão médio a fino, de duas micas (Granito do Porto)	UH 6	-
P_04_20	B	-	-	Área aplanada (80 - 125 m)	Granito, de grão médio a fino, de duas micas (Granito do Porto)	UH 6	-
P_04_21	T	-	-	Área aplanada (130 - 160 m)	Granito, de grão médio a grosseiro, de duas micas com megacristais de feldspato potássico (Granito de Contumil)	UH 5	-
P_04_22	T	-	-	Área aplanada (80 - 125 m)	Granito, de grão médio a fino, de duas micas (Granito do Porto)	UH 6	-
P_04_23	T	-	-	Área aplanada (130 - 160 m)	Granito, de grão médio a fino, de duas micas (Granito do Porto)	UH 6	-
P_04_24	T	-	-	Área aplanada (130 - 160 m)	Granito, de grão médio a grosseiro, de duas micas com megacristais de feldspato potássico (Granito de Contumil)	UH 5	Falha geológica
P_04_25	T	-	-	Área aplanada (130 - 160 m)	Granito, de grão médio a grosseiro, de duas micas com megacristais de feldspato potássico (Granito de Contumil)	UH 5	-
P_04_26	T	-	-	Área aplanada (130 - 160 m)	Granito, de grão médio a grosseiro, de duas micas com megacristais de feldspato potássico (Granito de Contumil)	UH 5	-
P_04_27	T	-	-	Área aplanada (130 - 160 m)	Granito, de grão médio a grosseiro, de duas micas com megacristais de feldspato potássico (Granito de Contumil)	UH 5	-
P_04_28	T	-	-	Área aplanada (130 - 160 m)	Granito, de grão médio a grosseiro, de duas micas com megacristais de feldspato potássico (Granito de Contumil)/Granito do Porto	UH 5/UH 6	Contacto geológico/Falha geológica
P_04_29	T	-	-	Área aplanada (130 - 160 m)	Granito, de grão médio a grosseiro, de duas micas com megacristais de feldspato potássico (Granito de Contumil)	UH 5	-
P_04_30	T	-	-	Área aplanada (130 - 160 m)	Granito, de grão médio a grosseiro, de duas micas com megacristais de feldspato potássico (Granito de Contumil)	UH 5	-
P_04_31	T	-	-	Área aplanada (130 - 160 m)	Granito, de grão médio a fino, de duas micas (Granito do Porto)/Granito de Contumil	UH 6/UH 5	Contacto geológico/Falha geológica
P_04_32	T	-	-	Área aplanada (130 - 160 m)	Granito, de grão médio a fino, de duas micas (Granito do Porto)	UH 6	-
P_04_33	T	-	-	Área aplanada (130 - 160 m)	Granito, de grão médio a fino, de duas micas (Granito do Porto)	UH 6	-
P_04_34	T	-	-	Área aplanada (130 - 160 m)	Granito, de grão médio a fino, de duas micas (Granito do Porto)	UH 6	-
P_04_35	-	-	T	-	Granito, de grão médio a fino, de duas micas (Granito do Porto)/Aluviões	UH 6/UH 2	Contacto geológico
P_04_36	T	-	-	Área aplanada (130 - 160 m)	Granito, de grão médio a fino, de duas micas (Granito do Porto)	UH 6	-
P_04_37	-	-	I	-	Aluviões/Granito do Porto caulinizado	UH 2/UH 6	Contacto geológico
P_04_38	T	-	-	Área aplanada (80 - 125 m)	Granito, de grão médio a fino, de duas micas, caulinizado (Granito do Porto)	UH 6	-
P_04_39	T	-	-	Área aplanada (80 - 125 m)	Granito, de grão médio a fino, de duas micas, caulinizado (Granito do Porto)	UH 6	-
P_04_40	B	-	-	Área aplanada (80 - 125 m)	Granito, de grão médio a fino, de duas micas, caulinizado (Granito do Porto)/Aluviões	UH 6/UH 2	Contacto geológico
P_04_41	B	-	-	Área aplanada (80 - 125 m)	Aluviões	UH 2	-
P_04_42	T	-	-	Área aplanada (80 - 125 m)	Micaxistos, xistos e grauvaques	UH 4	-
P_04_43	-	-	I	-	Aluviões	UH 2	-
P_04_44	-	-	I	-	Granito, de grão médio a fino, de duas micas (Granito do Porto)	UH 6	-
P_04_45	-	-	T	-	Granito, de grão médio a fino, de duas micas (Granito do Porto)	UH 6	-
P_04_46	T	-	-	Área aplanada (80 - 125 m)	Granito, de grão médio a fino, de duas micas (Granito do Porto)	UH 6	-
P_04_47	T	-	-	Área aplanada (130 - 160 m)	Granito, de grão médio a fino, de duas micas (Granito do Porto)/Granito de Contumil	UH 6/UH 5	Contacto geológico/Falha geológica
P_04_48	T	-	-	Área aplanada (130 - 160 m)	Granito, de grão médio a fino, de duas micas (Granito do Porto)	UH 6	-
P_04_49	T	-	-	Área aplanada (130 - 160 m)	Granito, de grão médio a grosseiro, de duas micas com megacristais de feldspato potássico (Granito de Contumil)	UH 5	-
P_04_50	-	-	T	-	Granito, de grão médio a fino, de duas micas (Granito do Porto)/Aluviões	UH 6/UH 2	Contacto geológico
P_04_51	T	-	-	Área aplanada (80 - 125 m)	Granito, de grão médio a fino, de duas micas (Granito do Porto)	UH 6	-
P_04_52	T	-	-	Área aplanada (80 - 125 m)	Micaxistos, xistos e grauvaques	UH 4	-
P_04_53	I	-	-	Área aplanada (80 - 125 m)	Aluviões	UH 2	-
P_04_54	-	-	I	-	Aluviões	UH 2	-
P_04_55	T	-	-	Área aplanada (130 - 160 m)	Granito, de grão médio a fino, de duas micas (Granito do Porto)	UH 6	-
P_04_56	-	-	-	-	-	-	-
P_04_57	-	-	-	-	-	-	-
P_04_58	-	-	-	-	-	-	-
P_04_59	-	-	-	-	-	-	-
P_04_60	-	-	-	-	-	-	-
P_04_61	-	-	-	-	-	-	-





**Inventário das Atividades Potenciais de Contaminação da Água Subterrânea da Bacia Hidrográfica da Asprela**

**Potenciais focos de contaminação (pela origem)**

Má gestão da água				Diversos							Outro	
Nº de inventário	Poço/Furo ativo	Poço/Furo abandonado	Lago artificial	Cemitério	Lixeira	Instalações militares	Linha de água contaminada	Linha de água de água	Linha de água canalizada	Galeria de água subterrânea		Canil
P_04_01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_04_02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_04_03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_04_04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_04_05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_04_06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_04_07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_04_08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_04_09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_04_10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_04_11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_04_12	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-
P_04_13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_04_14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_04_15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_04_16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_04_17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_04_18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_04_19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_04_20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_04_21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_04_22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_04_23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_04_24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_04_25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_04_26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_04_27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_04_28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_04_29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_04_30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_04_31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_04_32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_04_33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_04_34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_04_35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_04_36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_04_37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_04_38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_04_39	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_04_40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_04_41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_04_42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_04_43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_04_44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_04_45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_04_46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Equipamento social
P_04_47	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_04_48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_04_49	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_04_50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_04_51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_04_52	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_04_53	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_04_54	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_04_55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_04_56	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_04_57	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_04_58	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_04_59	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-
P_04_60	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-
P_04_61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-





**Anexo 2** – Síntese das características das atividades potenciais de contaminação da água subterrânea inventariadas na bacia hidrográfica de Massarelos



**Inventário das Atividades Potenciais de Contaminação da Água Subterrânea da Bacia Hidrográfica de Massarelos**

Generalidades				Coordenadas geográficas (WGS84)	
Nº de inventário	Denominação	Classificação (Pontual, P; Difusa, D; Linear, L)	Cota (m)	Latitude	Longitude
P_03_01	Garagem Santo António	P	81	41° 9' 5,841" N	8° 37' 17,440" W
P_03_02	Repsol E.S. Júlio Dinis	P	80	41° 9' 6,408" N	8° 37' 32,339" W
P_03_03	CHP - Unidade Maternidade de Júlio Dinis	P	80	41° 9' 5,783" N	8° 37' 24,892" W
P_03_04	Garagem Largo da Maternidade	P	85	41° 9' 0,418" N	8° 37' 24,603" W
P_03_05	Escola Secundária Infante D. Henrique	P	81	41° 9' 10,919" N	8° 37' 29,126" W
P_03_06	Escola Básica Gomes Teixeira	P	81	41° 9' 9,587" N	8° 37' 36,673" W
P_03_07	Jardim Infantil do Instituto Arcediogo Van-Zeller	P	59	41° 8' 59,564" N	8° 37' 39,307" W
P_03_08	Patron. Menino Jesus Torre Marca	P	80	41° 8' 53,902" N	8° 37' 27,120" W
P_03_09	Escola Básica do Bom Sucesso, Porto	P	84	41° 9' 16,088" N	8° 37' 46,549" W
P_03_10	Garagem Bom Sucesso	P	83	041° 9' 16,517" N	8° 37' 44,250" W
P_03_11	Moriauto	P	83	41° 9' 0,074" N	8° 37' 25,927" W
P_03_12	Creche Junta Freguesia de Massarelos	P	80	41° 8' 57,646" N	8° 37' 37,859" W
P_03_13	Bicas de Massarelos	P	55	41° 08' 53,750" N	8° 37' 50,888" W
P_03_14	Caco	P	76	41° 09' 01,842" N	8° 37' 46,232" W
P_03_15	Palácio de Cristal	P/D	80	41° 8' 51,278" N	8° 37' 32,275" W
P_03_16	Cemitério de Agramonte	P	86	41° 9' 20,643" N	8° 38' 0,841" W
P_05_01	Garagem Céauto	P	95	41° 9' 24,727" N	8° 37' 19,424" W
P_05_02	Garagem Carvalhosa	P	80	41° 9' 15,947" N	8° 37' 15,730" W
P_05_03	Garagem Antero de Quental	P	132	41° 9' 48,394" N	8° 36' 40,011" W
P_05_04	Hospital Militar Regional Nº1	P	94	41° 9' 28,959" N	8° 37' 32,624" W
P_05_05	HPP Hospital da Boavista	P	88	41° 9' 24,069" N	8° 37' 33,743" W
P_05_06	Hospital da Lapa	P	109	41° 9' 25,916" N	8° 36' 48,293" W
P_05_07	Centro de Genética Médica Dr. Jacinto Magalhães	P	90	41° 9' 22,032" N	8° 37' 25,382" W
P_05_08	Soares & Barros	P	130	41° 9' 49,850" N	8° 36' 58,557" W
P_05_09	Oficina Pacheco do Monte	P	131	41° 9' 51,100" N	8° 36' 58,323" W
P_05_10	Baião Serviço (Garagem)	P	130	41° 9' 51,682" N	8° 36' 57,831" W
P_05_11	Escola João de Deus	P	116	41° 9' 49,912" N	8° 37' 6,666" W
P_05_12	Go-CarMat	P	87	41° 9' 22,533" N	8° 37' 39,869" W
P_05_13	Auto Paulo Braga	P	131	41° 9' 49,269" N	8° 36' 45,322" W
P_05_14	Bosch Service	P	105	41° 9' 27,514" N	8° 37' 10,848" W
P_05_15	Garagem Ribeirinho	P	108	41° 9' 30,397" N	8° 37' 11,685" W
P_05_16	Escola Básica Irene Lisboa	P	134	41° 9' 39,400" N	8° 36' 45,766" W
P_05_17	Escola Básica e Secundária Rodrigues de Freitas	P	88	41° 9' 20,132" N	8° 37' 23,414" W
P_05_18	Escola Básica e Secundária Carolina Michaelis	P	112	41° 9' 34,550" N	8° 37' 18,925" W
P_05_19	Abrigo Infantil "Nossa Sra. das Candeias"	P	134	41° 9' 35,456" N	8° 36' 41,884" W
P_05_20	Assoc. Infância e Jardim de Infância Carolina Michaelis	P	120	41° 9' 35,244" N	8° 37' 14,762" W
P_05_21	Externato Infantil O Petiz	P	88	41° 8' 57,707" N	8° 37' 21,726" W
P_05_22	Grande Colégio Universal	P	99	41° 9' 20,465" N	8° 36' 54,543" W
P_05_23	Jardim Infantil do Centro Paroquia de Cedofeita	P	86	41° 9' 21,092" N	8° 37' 14,731" W
P_05_24	Jardim Infantil do Patronato Nª Srª Nazaré	P	115	41° 9' 42,836" N	8° 37' 12,027" W
P_05_25	Jardim Infantil O Patinhas	P	88	41° 9' 31,728" N	8° 37' 38,565" W
P_05_26	Centro Educativo de Stº António	P	100	41° 9' 28,465" N	8° 36' 59,547" W
P_05_27	Escola Básica da Constituição, Porto	P	130	41° 9' 49,179" N	8° 37' 0,636" W
P_05_28	Quartel General da Região Militar do Norte	P	115	41° 9' 19,260" N	8° 36' 44,983" W
P_05_29	Direcção dos Serviços de Transmissões	P	92	41° 9' 27,579" N	8° 37' 33,168" W
P_05_30	Quartel Do Centro De Selecção Do Porto	P	111	41° 9' 47,814" N	8° 37' 13,916" W
P_05_31	Oficina Antero de Quental	P	138	41° 9' 38,170" N	8° 36' 38,232" W
P_05_32	Garagem Lapa	P	105	41° 9' 17,750" N	8° 36' 48,125" W
P_05_33	Jardim de Infância da Lapa	P	97	41° 9' 23,795" N	8° 36' 58,971" W
P_05_34	Auto Invicta	P	93	41° 9' 17,000" N	8° 36' 59,168" W
P_05_35	Lino & Pinto Pneus	P	80	41° 9' 21,986" N	8° 37' 18,335" W
P_05_36	Skoda Service	P	81	41° 9' 17,193" N	8° 37' 14,994" W
P_05_37	Via Abate	P	82	41° 9' 11,856" N	8° 37' 28,463" W
P_05_38	Seat Service	P	86	41° 9' 12,095" N	8° 37' 6,062" W
P_05_39	Auto Cedofeita	P	86	41° 9' 15,263" N	8° 37' 7,238" W
P_05_40	Mirauto	P	83	41° 9' 22,755" N	8° 37' 8,699" W
P_05_41	Centro de Saúde Rua da Boavista	P	92	41° 9' 23,273" N	8° 37' 14,114" W
P_05_42	Ferrari Service	P	95	41° 9' 25,701" N	8° 37' 25,047" W
P_05_43	Consultório Veterinário das Oliveiras	P	101	41° 9' 30,700" N	8° 37' 24,673" W
P_05_44	Pezinhos de Lã	P	101	41° 9' 36,389" N	8° 37' 25,115" W
P_05_45	Garagem Barão	P	110	41° 9' 31,323" N	8° 37' 12,256" W
P_05_46	Tuga Pneus	P	120	41° 9' 43,069" N	8° 37' 15,821" W
P_05_47	Yamaha Service Egas Moniz	P	130	41° 9' 44,575" N	8° 37' 0,356" W
P_05_48	Oficina Egas Moniz	P	120	41° 9' 45,290" N	8° 37' 8,808" W
P_05_49	Vitória Oficina	P	134	41° 9' 45,027" N	8° 36' 44,619" W
P_05_50	Oficina Cunha Júnior	P	133	41° 9' 47,629" N	8° 36' 44,972" W
P_05_51	Bosch Serpa Pinto	P	130	41° 9' 43,720" N	8° 37' 15,711" W
P_05_52	Garagem Recolhas Cedofeita	P	84	41° 9' 15,685" N	08° 37' 7,317" W
P_05_53	Garagem Júlio Dinis	P	87	41° 9' 23,772" N	8° 37' 40,910" W
P_05_54	Palhares	P	96	41° 9' 39,981" N	8° 37' 34,945" W
P_05_55	Rotunda da Boavista	P/D	87	41° 9' 28,499" N	8° 37' 44,733" W
P_05_56	Jardim da Praça da República	P/D	113	41° 9' 16,025" N	8° 36' 45,476" W
P_03_05_01	Rede de abastecimento de água potável	L	-	-	-
P_03_05_02	Rede de saneamento	L	-	-	-
P_03_05_03	Sistema municipal de drenagem de águas pluviais	P/L	-	-	-
P_03_05_04	Linha de água	L	-	-	-
P_03_05_05	Linha de água canalizada	L	-	-	-
P_03_05_06	Galeria de água subterrânea	L	-	-	-









**Inventário das Atividades Potenciais de Contaminação da Água Subterrânea da Bacia Hidrográfica de Massarelos**

**Potenciais focos de contaminação (pela origem)**

Má gestão da água				Diversos							Outro	
Nº de inventário	Poço/Furo ativo	Poço/Furo abandonado	Lago artificial	Cemitério	Lixeira	Instalações militares	Linha de água contaminada	Linha de água de água	Linha de água canalizada	Galeria de água subterrânea		Canil
P_03_01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_03_02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_03_03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_03_04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_03_05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_03_06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_03_07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_03_08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_03_09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_03_10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_03_11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_03_12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_03_13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_03_14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_03_15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_03_16	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-
P_05_01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_05_02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_05_03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_05_04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_05_05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_05_06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_05_07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_05_08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_05_09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_05_10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_05_11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_05_12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_05_13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_05_14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_05_15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_05_16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_05_17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_05_18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_05_19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_05_20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_05_21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_05_22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_05_23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_05_24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_05_25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_05_26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_05_27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_05_28	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-
P_05_29	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-
P_05_30	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-
P_05_31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_05_32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_05_33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_05_34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_05_35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_05_36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_05_37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_05_38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_05_39	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_05_40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_05_41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_05_42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_05_43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_05_44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_05_45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_05_46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_05_47	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_05_48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_05_49	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_05_50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_05_51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_05_52	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_05_53	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_05_54	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_05_55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_05_56	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_03_05_01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_03_05_02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_03_05_03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_03_05_04	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-
P_03_05_05	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-
P_03_05_06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-

