

Caracterização e Exploração do sistema hidromineral sulfúreo das Caldas de Carlão

Luís Filipe Fernandes Gonçalves

Mestrado em Geologia

Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento de Território

2016

Orientador: Professor Doutor Jorge Manuel Espinha Marques

Coorientador: Professor Doutor Alcino Sousa Oliveira

Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Agradecimentos

Chegado à fase final de mais um desafio do meu percurso académico que culmina na apresentação da dissertação de mestrado, não posso deixar de manifestar o meu sincero agradecimento a todos aqueles que para ele contribuíram, direta ou indiretamente. Destaco no entanto de forma particular, os seguintes reconhecimentos:

À Faculdade de Ciência da Universidade do Porto, à Universidade Trás-os-Montes e Alto Douro, e à Universitatea Babeş-Bolyai Cluj-Napoca por me permitirem desenvolver conhecimentos e competências para suportar o raciocínio analítico e crítico, sem dúvida importantes para a realização deste trabalho e imprescindíveis para o meu percurso pessoal e profissional futuro.

Aos Senhores Professores Doutores Jorge Manuel Espinha Marques e Alcino Sousa Oliveira, pela decisão de aceitarem ser orientadores, por toda a colaboração dispensada, quer para traçarmos o foco central do presente estudo, quer na orientação teórico-metodológica, quer nas sugestões facultadas para realização do trabalho de campo, quer no incentivo permanente ao longo deste processo de investigação.

Ao Senhor Prof. Simões Cortez e ao Dr. Manuel Antunes da Silva pelas sugestões e partilha de informação sobre o tema desta investigação.

À Aguasmil, em especial a José Luís Pires Gonçalves, pelo incentivo e pelos constantes momentos de partilha sobre a minha investigação.

Às Caldas de Carlão, em especial ao Sr. João Elias pela disponibilidade, pelo apoio e facilidade de acesso ao polo das caldas, bem como pela cedência da informação técnica dos trabalhos realizados no polo hidromineral das Caldas de Carlão e dos resultados das análises físico-químicas das captações AM1, AM2 e da nascente da mina.

Aos meus colegas e amigos por todos os momentos de partilha e amizade e pelo incentivo à realização deste trabalho.

À minha namorada, ouvinte atenta de algumas dúvidas, inquietações, desânimos e sucessos, pelo apoio e confiança no meu trabalho.

Finalmente, à minha família, pais e irmãos pelo alento e pelo apoio incondicional, em todos os momentos, de desânimo ou de alento, desta investigação.

Resumo

A presente investigação de mestrado tem como objetivo central contribuir para o conhecimento da hidrogeologia da zona envolvente às Caldas de Carlão e consequentemente melhorar a gestão sustentável dos recursos hídricos da zona. As Caldas de Carlão estão inseridas na Zona Centro Ibérica do Maciço Hespérico, localizam-se em de Trás-os-Montes e Alto Douro, na região norte de Portugal.

Durante esta investigação foi adotada uma perspetiva multidisciplinar, tendo sido utilizados diversos métodos, técnicas e conceitos no domínio das Geociências, que culminaram na construção de um modelo hidrogeológico conceptual. O estudo englobou ainda trabalho de campo após o trabalho de gabinete, e aborda os trabalhos de prospeção, pesquisa e captação de água mineral sulfúrea.

A zona em estudo é constituída sobretudo por rochas graníticas e em menor quantidade, por rochas metassedimentares pertencentes à Formação da Desejosa, que nos indica que o meio de circulação hídrica predominante é o fissurado em relação ao poroso. As águas deste polo hidrotermal são fortemente condicionadas pelo seu enquadramento geológico, geomorfológico e geotectónico, especialmente no que respeita a existência de nós tectónicos definidas pelas principais fraturas presentes (duas falhas de orientação NNE-SSW com ligação entre si através de uma outra falha com orientação NW-SE).

O modelo hidrogeológico conceptual proposto para as Caldas de Carlão sugere que existem dois tipos de aquíferos: os aquíferos superficiais (com circulação de águas subterrâneas normais), e os aquíferos profundos (com circulação de águas minerais), e que a recarga do sistema hidromineral tem origem na circulação descendente de águas meteóricas. A infiltração deverá acontecer a altitudes elevadas. Neste modelo as águas minerais tem maior afinidade com o ambiente granitóide e o seu reservatório estará instalado em grande profundidade.

Palavras Chave: Hidrogeologia; Geofísica; Geoquímica; Aquíferos; Captação de água mineral; Água mineral sulfúrea; Modelo Hidrogeológico Conceptual; Termas.

Abstract

The present investigation has as main objective to contribute to the knowledge of the hydrogeology of the area surrounding the Caldas de Carlão and consequently enhance the sustainable management of the area's water resources. The Caldas de Carlão are inserted in Zone Central Iberian of the Old Massif, located in Trás-os-Montes e Alto Douro, in northern Portugal.

During this investigation was adopted a multi-disciplinary perspective, having been used various methods, techniques and concepts in the field of Geosciences, culminating in the construction of a conceptual hydrogeologic model. This study also encompassed field work after the office work, and discusses the works of prospection, research and capture of sulfurous mineral water.

The area in study is mainly composed of granitic rocks and in lesser amounts, by metasedimentary rocks belonging to the formation of Desirous, which tells us that the predominant mean of water circulation is fissured comparing to the porous. The water of this hydrothermal pole are strongly conditioned by its geological, geomorphological and geotectonic environment, especially as regards to the existence of tectonic nodes defined by the present major fractures (two orientation failures NNE-SSW connected to each other through another failure with guidance NW-SE).

The conceptual hydrogeologic model proposed for Caldas de Carlão suggests that there are two types of aquifers: superficial aquifers (with circulation of normal groundwater), and deep aquifers (with circulation of mineral waters), and that the recharge of the hydromineral system has its origins in the descending movement of meteoric water. The infiltration should occur at high altitudes. In this model, the mineral waters have more affinity with the granitoid environment and the reservoir is installed at great depth.

Keywords: Hydrogeology; Geophysics; Geochemistry; Aquifers; Mineral water abstraction; Mineral water sulphurous; Medical Spa.

Índice

AGRADECIMENTOS	III
RESUMO	V
ABSTRACT	VII
ÍNDICE	IX
Lista de figuras	XI
Lista de tabelas.....	XIV
Lista de Abreviaturas.....	XV
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objetivos.....	1
1.2. Importância dos Recursos Hidrominerais.....	2
1.3. Técnicas de estudo de sistemas hidrominerais.....	8
1.3.1 Reconhecimento.....	9
1.3.2 Geofísica.....	10
1.3.2.1 Considerações gerais	10
1.3.2.2 Dispositivos de medida	13
1.3.2.3 Aquisição e tratamento dos dados.....	14
1.3.3. Prospeção, Pesquisa e Captação	15
1.3.3.1 Considerações gerais	15
1.3.3.2 Métodos de Perfuração.....	17
1.3.3.3 Carotagem	28
1.3.3.4 Isótopos estáveis ($\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^2\text{H}$)	30
2. CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA HIDROMINERAL DAS CALDAS DE CARLÃO	33
2.1 Resumo histórico do aproveitamento do recurso nas Caldas de Carlão	33
2.2 Enquadramento geológico das Caldas de Carlão.....	37
2.2.1 Geologia Local.....	41
2.3 Enquadramento hidrogeológico das Caldas de Carlão	44
2.4 Caracterização climática da zona das Caldas de Carlão	47
2.4.1 Temperatura.....	47

2.4.2 Precipitação.....	50
2.4.3 Evapotranspiração Potencial e Real/Balanço Hídrico	53
2.4.4 Infiltração	59
3. PROSPEÇÃO, PESQUISA E CAPTAÇÃO DE ÁGUA MINERAL.....	61
3.1 Inventário de Pontos de água	61
3.2. Prospeção Geofísica	62
3.2.1. Objetivo.....	62
3.2.2. Metodologia e trabalhos efetuados	63
3.2.2. Pseudo-secção PS1	67
3.3 Execução das Captações de água subterrâneas	70
3.3.1. Enquadramento Geográfico.....	70
3.3.2. Furo de captação AM1	71
3.3.3. Ensaio de Caudal - Captação AM1	76
3.3.4. Furo de captação AM2	82
3.3.5. Ensaio de Caudal- Captação AM2	87
3.4 Hidroquímica.....	94
4. MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL	105
4.1. Modelo Hidrogeológico Conceptual das Caldas de Carlão.....	105
5. CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS	111
BIBLIOGRAFIA	117
ANEXOS- INVENTÁRIO DE PONTOS DE ÁGUA – CALDAS DE CARLÃO.	127

Lista de figuras

Figura 1. Ciclo Hidrológico (Fetter, 2001).	4
Figura 2. Localização das águas minerais no Norte e Centro de Portugal (LNEG,1999).....	6
Figura 3. Dispositivo polo-dipolo (Fetter, 2001).	13
Figura 4. Máquina de percussão mecânica; Detalhe do balanceiro (Huarte, 1977).	20
Figura 5. a) Broca normal; b) Vários tipos de limpadeiras. (Guedes, 2013; Todd & Mays, 2005).	20
Figura 6. Vários tipos de trépanos de perfuração. Da trileta ao roller-bit de botões (Todd & Mays, 2005).	21
Figura 7. Máquina de perfuração à rotação com circulação direta. (Ferreira <i>et al.</i> , 2012).	22
Figura 8. Suporte das paredes do furo (Sterret, 2007).	23
Figura 9. Perfuração por rotação com circulação inversa (Ferreira <i>et al.</i> , 2012).	25
Figura 10. Martelo de fundo-de-furo. (Huarte, 1977)	26
Figura 11. Perfuração através do método de rotopercussão. (Ferreira <i>et al.</i> , 2012).	27
Figura 12. Caixa adequada para guardar os carotes (Herbert & Gomez, 2012).	30
Figura 13. Reta das águas meteóricas mundiais, e processos que podem modificar a composição isotópica das águas meteóricas. (Sousa Oliveira, 2001).	31
Figura 14. Pala Pinta em Carlão (Santos, 1972).	33
Figura 15. Balneário termal das termas de Caldas de Carlão.	34
Figura 16. Divisão geológica do Maciço Hespérico (Pérez-Estaún <i>et al.</i> , 2004).	38
Figura 17. Enquadramento das Caldas de Carlão e localização dos furos de captação AM1 e AM2.	39
Figura 18. Enquadramento geológico, excerto da carta geológica da zona envolvente às Caldas de Carlão.	40
Figura 19. Mapa topográfico da zona envolvente às Caldas de Carlão.....	41
Figura 20. Contacto entre rochas graníticas e rochas metassedimentares (Sousa Oliveira, 2014).	42
Figura 21. a) filão pegmatítico quartzoso (PAQ) em rocha metassedimentar; b) filão quartzoso (Q) em rocha metassedimentar; e c) filão pegmatítico aflorante perto da entrada em Caldas de Carlão (Sousa Oliveira, 2014). ...	43
Figura 22. Aspetos do filão lamprófiro. a) fragmentos com alguma alteração; b) rocha muito alterada; e c) vista do filão alterado no lado esquerdo do talude (Sousa Oliveira, 2014).	44
Figura 23. Mapa de ocorrências hidrominerais que ocorrem no Norte de Portugal (LNEG, 20/01/2016).	45
Figura 24. Aspeto geral das Caldas de Carlão com indicação do edifício termal/balneário, da nascente da Mina, e dos furos de captação AM1 e AM2 (Sousa Oliveira <i>et al.</i> , 2015).	47
Figura 25. Distribuição da temperatura média mensal, na estação climatológica de Folgares/Vila Flor entre 1961-1990 (INAG)	48
Figura 26. Distribuição da temperatura média mínima, média e média máxima, e ainda a temperatura do maior valor de temperatura máxima e o menor valor de temperatura mínima, sendo que neste caso, os valores foram retirados da estação meteorológica de Vila Real, entre 1981-2010.	48
Figura 27. Distribuição do valor da média da quantidade total de precipitação, e ainda o valor da quantidade máxima diária de precipitação (valores mm), na estação meteorológica de Vila Real.	50
Figura 28. Distribuição dos valores mensais de precipitação nas estações de Vila Chã, Folgares/Vila Flor, e Fonte Longa entre 1961-1990 (Instituto da Água).	52

Figura 29. Balanço hídrico ao nível do solo para a estação de Vila Real. Período 1981-2010. Capacidade de água utilizável - 100mm.	57
Figura 30. Levantamento de pontos de água realizado na zona envolvente das Caldas de Carlão.	62
Figura 31. Localização das quatro pseudo-secções efetuadas nos trabalhos de geofísica	64
Figura 32. Pormenor na disposição do multicabo na realização da PS4 junto ao portão de acesso às Caldas de Carlão (Sousa Oliveira <i>et al.</i> , 2015).	65
Figura 33. Detalhe do equipamento de controlo (Sousa Oliveira <i>et al.</i> , 2015).....	66
Figura 34. Detalhe da ligação do dispositivo a um elétrodo de aço inoxidável.....	66
Figura 35. a) Pseudo-secção (Sousa Oliveira <i>et al.</i> , 2015); b) Interpretação da pseudo-secção.....	69
Figura 36. Caldas de Carlão. Enquadramento e localização dos furos de captação AM1 e AM2 e referência a nascentes (minerais/não minerais) envolventes.	71
Figura 37. Profundidades, parâmetros físico-químicos registados durante a perfuração a $6^{1/2}$ e variação do caudal na nascente da Mina (Sousa Oliveira <i>et al.</i> , 2015).	74
Figura 38. Furo AM1- Ensaio de caudal escalonado. Curva tempo vs rebaixamento (s) e tempo vs caudal (Q) (Sousa Oliveira <i>et al.</i> , 2015).....	78
Figura 39. Furo AM1 – Ensaio de caudal escalonado realizado. Curva característica do furo AM1	79
Figura 40. Ensaio de caudal escalonado realizado no furo AM1. Caudais registados em AM1, na nascente da mina e em AM2 – caudal de artesianismo repuxante (Sousa Oliveira <i>et al.</i> , 2015).	79
Figura 41. Ensaio de caudal escalonado realizado no furo AM1. Temperaturas registadas em AM1, na nascente da Mina e em AM2 – artesianismo repuxante (Sousa Oliveira <i>et al.</i> , 2015).	80
Figura 42. Ensaio de caudal escalonado realizado no furo AM1. Condutividades registadas no furo AM1, na nascente da Mina e em AM2 – artesianismo repuxante (Sousa Oliveira <i>et al.</i> , 2015).	80
Figura 43. Ensaio de caudal escalonado realizado no furo AM1. Apresentam-se os valores de pH registados em AM1, na nascente da Mina e em AM2 – artesianismo repuxante (Sousa Oliveira <i>et al.</i> , 2015)	81
Figura 44. Profundidades, parâmetros físico-químicos registados durante a perfuração a $6^{1/2}$ e variação do caudal na nascente da Mina, e da captação AM1 (Sousa Oliveira <i>et al.</i> , 2015).	85
Figura 45. Furo AM2- Ensaio de caudal escalonado. Curva tempo vs rebaixamento (s) e tempo vs caudal (Q) (Sousa Oliveira <i>et al.</i> , 2015).....	89
Figura 46. Furo AM2 – ensaio de caudal escalonado realizado. Curva característica do furo AM2 (Sousa Oliveira <i>et al.</i> , 2015).	90
Figura 47. Ensaio de caudal escalonado realizado no furo AM2. Caudais registados em AM2, na nascente da Mina e em AM1 – caudal de artesianismo repuxante (Sousa Oliveira <i>et al.</i> , 2015).	90
Figura 48. Ensaio de caudal escalonado realizado no furo AM2. Temperaturas registadas em AM2, na nascente da Mina e em AM1 – artesianismo repuxante (Sousa Oliveira <i>et al.</i> , 2015).	91
Figura 49. Ensaio de caudal escalonado realizado no furo AM2. Condutividades registadas em AM2, na nascente da Mina e em AM1 – artesianismo repuxante (Sousa Oliveira <i>et al.</i> , 2015).	91
Figura 50. Ensaio de caudal escalonado realizado no furo AM2. Apresentam-se os valores de pH registados em AM2, na nascente da Mina e em AM1- artesianismo repuxante (Sousa Oliveira <i>et al.</i> , 2015).....	92
Figura 51. Diagrama de Stiff - Nascente da Mina.	95
Figura 52. Diagrama de Stiff, das águas do furo de captação AM1.....	96
Figura 53. Diagrama de Stiff, relativo às águas do furo de captação AM2.	96
Figura 54. Diagrama de Stiff, de todas as amostras analisadas da Nascente da Mina, AM1 e AM2.	97
Figura 55. Diagrama de Piper, das amostras analisadas da Nascente da Mina, AM1 e AM2.....	98

Figura 56. Diagrama de Durov correspondente às amostras analisadas da Nascente da Mina, AM1 e AM2	98
Figura 57. Características físico-químicas dos vários pontos de água não mineral, medidos durante a realização do inventário hidrogeológico.	101
Figura 58. Características físico-químicas de todos os pontos de água (mineral e não mineral), medidos durante a realização do inventário hidrogeológico.	101
Figura 59. Comparação das médias das características físico-químicas das águas não minerais e das águas das captações AM1 e AM2 e da Nascente da Mina.	103
Figura 60. Enquadramento da área das Caldas de Carlão. a) vista de sul para norte;	106
Figura 61. Mapa da área das Caldas de Carlão, onde está assinalado o corte usado para fazer o modelo hidrogeológico conceptual.	109
Figura 62. Modelo hidrogeológico proposto para as Caldas de Carlão	110

Lista de tabelas

Tabela 1. Resistividades de alguns materiais geológicos (Telford et al., (1990), McGinis & Jensen (1971), Reynolds (1987, 1997), Reynolds & Paren (1980, 1984) e Yungul (1996)).....	12
Tabela 2. Performance dos métodos de percussão e rotação em diversas formações geológicas (Todd & Mays, 2005).....	19
Tabela 3. Distribuição das várias temperaturas registadas na estação meteorológica de Vila Real, entre 1981-2010	49
Tabela 4. Distribuição do valor médio da quantidade total de precipitação, e valor de quantidade máxima diária de precipitação, na estação meteorológica de Vila Real.	51
Tabela 5. Fator de ajuste (D) ao nº de dias do mês e ao número de horas de luz solar, conforme a latitude e meses do ano (Fontana, 1990).....	54
Tabela 6. Distribuição do valor de temperatura média e precipitação relativos à estação meteorológica de Vila Real, entre 1981-2010. E ainda, os valores de evapotranspiração potencial depois de calculados.....	55
Tabela 7. Balanço Hídrico (ao nível do solo). Estação de Vila Real. Período 1981-2010. Capacidade de água utilizável - 100 mm.	57
Tabela 8. Coordenadas das bocas das captações AM1 e AM2 (Sousa Oliveira et al., 2015).	70
Tabela 9. Sondagem/Furo AM1 – elementos relativos a diâmetros de perfuração e profundidades alcançadas (Sousa Oliveira et al., 2015).....	72
Tabela 10. Sondagem/Furo AM1 – intersecção de níveis produtivos de águas sulfúreas (Sousa Oliveira et al., 2015).	72
Tabela 11. Furo AM1- Parâmetros registados na fase de perfuração (Sousa Oliveira et al., 2015).	73
Tabela 12. Furo AM1, elementos relativos ao entubamento e cimentação dos espaços anulares (Sousa Oliveira, et al., 2015).	76
Tabela 13. Síntese de parâmetros relativos ao ensaio de bombagem realizado (Sousa Oliveira et al., 2015).	77
Tabela 14. Sondagem/Furo AM2 – elementos relativos a diâmetros de perfuração e profundidades alcançadas (Sousa Oliveira et al., 2015).....	82
Tabela 15. Sondagem/Furo AM2 – intersecção de níveis produtivos de águas sulfúreas (Sousa Oliveira et al., 2015).	83
Tabela 16. Parâmetros registados durante a fase de perfuração (Sousa Oliveira et al., 2015).	84
Tabela 17. Furo AM2 – elementos relativos ao entubamento e cimentação dos espaços anulares (Sousa Oliveira et al., 2015).	87
Tabela 18. Síntese de parâmetros relativos ao ensaio de bombagem realizado (Sousa Oliveira et al., 2015).	88
Tabela 19. Parâmetros físico químicos e hidráulicos (e respetiva evolução) no âmbito dos trabalhos realizados com a execução das captações, furos AM1 e AM2 (Sousa Oliveira et al., 2015).	93
Tabela 20. Composição química maioritária das amostras analisadas laboratorialmente da Nascente da Mina, AM1 e AM2	95
Tabela 21. Características físico-químicas dos vários pontos de água medidos durante a realização do inventário hidrogeológico.	100
Tabela 22. Características físico-químicas média das águas não minerais, e das águas atualmente exploradas (AM1, AM2, e Nascente da Mina).	102

Lista de Abreviaturas

APA	Associação Portuguesa do Ambiente
APIAM	Associação Portuguesa dos Industriais de Águas Minerais Naturais e de Nascente.
DGEG	Direção Geral de Energia e Geologia
ETP	Evapotranspiração Potencial
ETR	Evapotranspiração Real
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
IAEA	Internacional Atomic Energy Agency
IGME	Instituto Geológico y Minero de España
LNEG	Laboratório Nacional de Energia e Geologia
PALOP	Países de Língua Original Portuguesa
SMOW	<i>Standart Mean Ocean Water</i>
VSMOW	<i>Vienna Standart Mean Ocean Water</i>

1. Introdução

1.1. Objetivos

O presente estudo teve como objetivo central contribuir para o conhecimento da hidrogeologia da região inerente às Caldas de Carlão. As águas minerais das Caldas de Carlão são utilizadas desde os tempos primordiais com fins terapêuticos, e recentemente foram alvo de trabalhos de captação de água subterrânea, que foram desenvolvidos de modo a não alterar as características da água.

Complementarmente, o estudo pretendeu contribuir para uma otimização de metodologias de construção de infraestruturas hidráulicas subterrâneas que permitam a captação de recursos hídricos subterrâneos, nomeadamente quando o recurso a captar são águas sulfúreas, bicarbonatadas, sódicas, fluoretadas com artesianismo, em zonas onde o granito é a rocha dominante. Para a concretização destes objetivos, estabelecemos os seguintes objetivos específicos:

- Enquadrar o sistema hidromineral sulfúreo de Caldas de Carlão no contexto dos recursos hidrominerais da região;
- Caracterizar do ponto de vista hidrogeológico a região de acordo com a informação recolhida na bibliografia disponível com os dados obtidos no campo, nomeadamente em relação aos parâmetros geomorfológicos, geológicos e geofísicos, e com os dados adquiridos nos vários pontos de água do território em análise;
- Desenvolver conhecimentos no que diz respeito ao processo de pesquisa mecânica, nomeadamente os vários tipos de métodos de pesquisa, as suas características e limitações, e todos os processos posteriores que são necessários para a construção e execução de uma captação;
- Fazer uma análise crítica aos processos de pesquisa mecânica e exploração para o caso do sistema hidromineral sulfúreo das Caldas de Carlão;

- Caracterizar a exploração do sistema hidromineral sulfúreo das Caldas de Carlão, na perspetiva da hidrogeologia física;
- Compreender e caracterizar a hidroquímica do recurso recorrendo a diagramas hidroquímicos.
- Desenvolver uma proposta de modelo hidrogeológico conceptual das Caldas de Carlão.

1.2. Importância dos Recursos Hidrominerais

“A riqueza hidromineral de Portugal é conhecida e utilizada desde o tempo dos Romanos. (...) São as águas que correm e que cruzam as entranhas da terra; o sangue que nas veias circula neste material gigante do mundo; e como do vício do sangue procedem vulgarmente as maiores enfermidades quis o autor desta obra, ... mostrar ao mundo o corpo do nosso Portugal, a pureza deste sangue, examinando os minerais destas veias.” (DGEG, 2007).

O mundo tecnológico de hoje, tal como na idade da pedra, continua dependente dos recursos que a Mãe Terra tem para nos oferecer. Contudo, estes recursos são finitos e não se distribuem homoganeamente na Natureza, e quanto mais aprofundado for o conhecimento melhor será a nossa resposta às necessidades da sociedade, ou seja, melhor será a sua gestão e mais eficaz será o seu aproveitamento (Ramos, 2003). Este é o propósito de qualquer investigação em Geologia, conhecer para melhor gerir o aproveitamento dos recursos. Nesta linha, o foco central do presente estudo passa por conhecer a hidrogeologia da região inerente às Caldas de Carlão, de modo a contribuir para uma otimização de metodologias de construção de infraestruturas hidráulicas subterrâneas que permitam a captação de recursos hídricos subterrâneos, de águas sulfúreas, bicarbonatadas, sódicas, fluoretadas com artesianismo, em zonas onde o granito é a rocha dominante.

A água tem várias funções e serve várias necessidades, subscrevendo Fitts (2002) possui um enorme valor económico, ambiental e social, sendo, além disso, fundamental à sobrevivência do Homem e dos ecossistemas no nosso planeta.

A maioria da água do planeta encontra-se nos oceanos (97,2%) e a restante encontra-se, quase na sua totalidade, congelada em glaciares e em terra (2,15%). A água restante (0,65%) corresponde à água da atmosfera, água subterrânea, lagos, zonas húmidas e rios (Fetter, 2001). De toda a água existente na Terra, só 2,5% corresponde a água doce (a maior parte no estado sólido). Desse volume, 30,8% corresponde a água subterrânea, ou expresso de outra forma, mais de 98% da água doce e líquida do nosso planeta é água subterrânea (Fetter, 2001). Os reservatórios onde se encontram a água doce subterrânea e a água doce superficial são os mais usados pelo Homem. A água doce subterrânea é cerca de 100 vezes mais abundante que a água doce superficial, mas o Homem explora mais a água superficial porque é muito mais fácil de encontrar e usar (Fitts, 2002).

A importância do presente estudo reside precisamente aqui. Permitirá suportar a captação de água mineral subterrânea, e fornecer elementos para que outras eventuais captações não alterem as características da água mineral, em terrenos graníticos e sulfúreos como o das Caldas de Carlão.

A água, e em especial a água subterrânea porque abastece mais de metade da população mundial e representa mais de 95% das reservas de água doce exploráveis no planeta (Ribeiro, 2009), é de tal forma importante para o Homem que é imprescindível desenvolver-se a compreensão destes processos para potenciar a gestão sustentável deste recurso e a prevenção da contaminação dos solos e aquíferos.

A água é um recurso natural renovável, em circulação constante, acompanhada por transições de fase, e que estabelece a ligação entre a terra, os oceanos e a atmosfera. Esta movimentação é denominada de ciclo hidrológico ou ciclo da água, tal como se representa na figura 1, ao longo do qual, a água vai passando pelos diferentes estados físicos (Peixoto, 1977).

O ciclo inicia-se pela evaporação da água, como resultado do aquecimento resultante da incidência da luz solar, durante a qual esta água ascende à atmosfera onde condensa e volta à superfície terrestre, sob a forma de chuva, neve ou granizo. Essa água, proveniente da precipitação, tem vários destinos: uma parte é imediatamente evaporada, outra chega até às massas de água superficial e outra parte infiltra-se no solo até chegar aos aquíferos (Fitts, 2002).

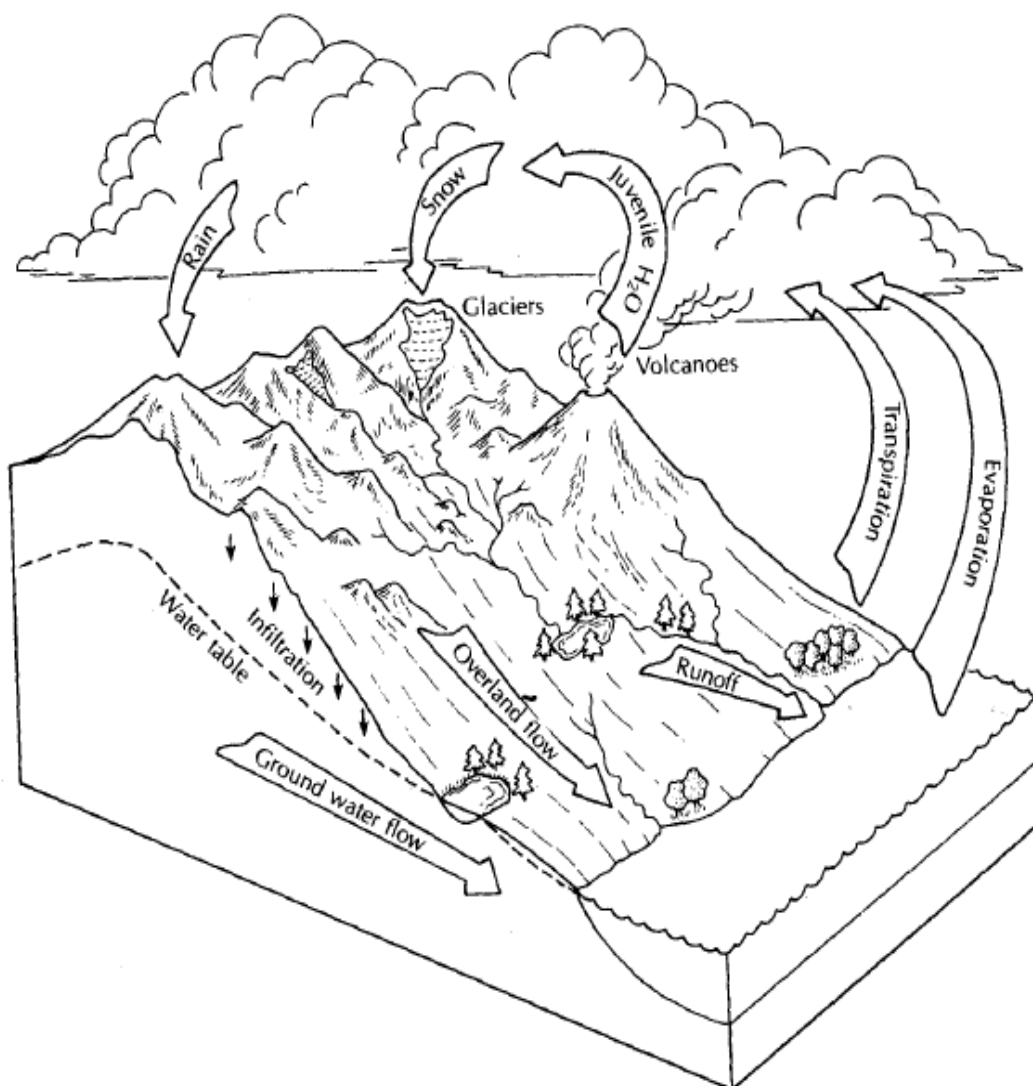


Figura 1. Ciclo Hidrológico (Fetter, 2001).

No que respeita às águas minerais fazem parte do subciclo hidrológico subterrâneo e correspondem a uma ínfima parte das águas subterrâneas. Ocorrem em sítios discretos onde as condições geológico-estruturais, geomorfológicas, entre outras, se conjugam, gerando condições favoráveis para tal.

No contexto da legislação portuguesa, segundo o Decreto-Lei n.º 86/90, de 16 de Março, entende-se por água mineral natural “a água considerada bacteriologicamente própria, com características físico-químicas estáveis, de que podem resultar efeitos favoráveis à saúde, e que se distingue da água de beber comum pela sua pureza original e pela sua natureza, caracterizada pelo teor de substâncias minerais, oligoelementos ou outros constituintes”.

Águas minerais naturais são, para o especialista das águas subterrâneas, as que, por qualquer especificidade físico-química, se distinguem das águas “normais” de uma dada região. São em geral, mas não necessariamente, águas de circulação profunda e/ou de circuito hidrogeológico longo. As características distintivas mais frequentes são a mineralização e/ou a temperatura elevada (Carvalho, 2006).

O seu arrefecimento deve-se à mistura com águas frias ou à perda de calor por condução térmica associada a fenómenos de convecção.

Quanto às nascentes, estão frequentemente relacionadas com sistemas hidrogeológicos condicionados pelas condições tectónicas e morfoestruturais. A presença de estruturas tectónicas (especialmente falhas afetando zonas profundas da crosta) origina zonas de escoamento preferenciais, tais como fissuras, diaclases ou falhas (Ingebritsen & Sanford, 1998; Ingebritsen & Manning, 1999; Bitzer *et al.*, 2001).

A região Norte de Portugal é a mais rica em ocorrências hidrominerais, quer pela sua quantidade, quer pela diversificação do seu quimismo.

Em Portugal continental a grande maioria das águas hidrominerais (com temperaturas de emergência entre os 20 °C e os 76 °C) encontram-se localizadas na região Norte e Centro do País (Lopes, 1982; Marques *et al.*, 2007), bem visível na figura 2.

Na região Norte estão qualificadas 31 águas minerais naturais e 8 águas de nascente (Figura 2). Das 31 águas minerais naturais, 22 estão em exploração. Destas, 18 têm estabelecimentos termais (quatro das quais têm oficinas de engarrafamento) e 4 somente oficinas de engarrafamento.

A classificação da água mineral natural pode ter por base a análise de diferentes propriedades do recurso. Simões (1993), com base na composição química da água, propõe as seguintes classes para as águas minerais Portuguesas: (i) águas hipossalinas, cuja mineralização total é inferior a 200 mg/L; (ii) águas sulfúreas, as que contêm formas reduzidas de enxofre; (iii) águas gasocarbónicas, caracterizadas por terem mais de 500 mg/L de CO² livre; e, (iv) águas cloretadas, cujo ião dominante é o cloreto; (v) águas sulfatadas, cujo ião dominante é o sulfato.

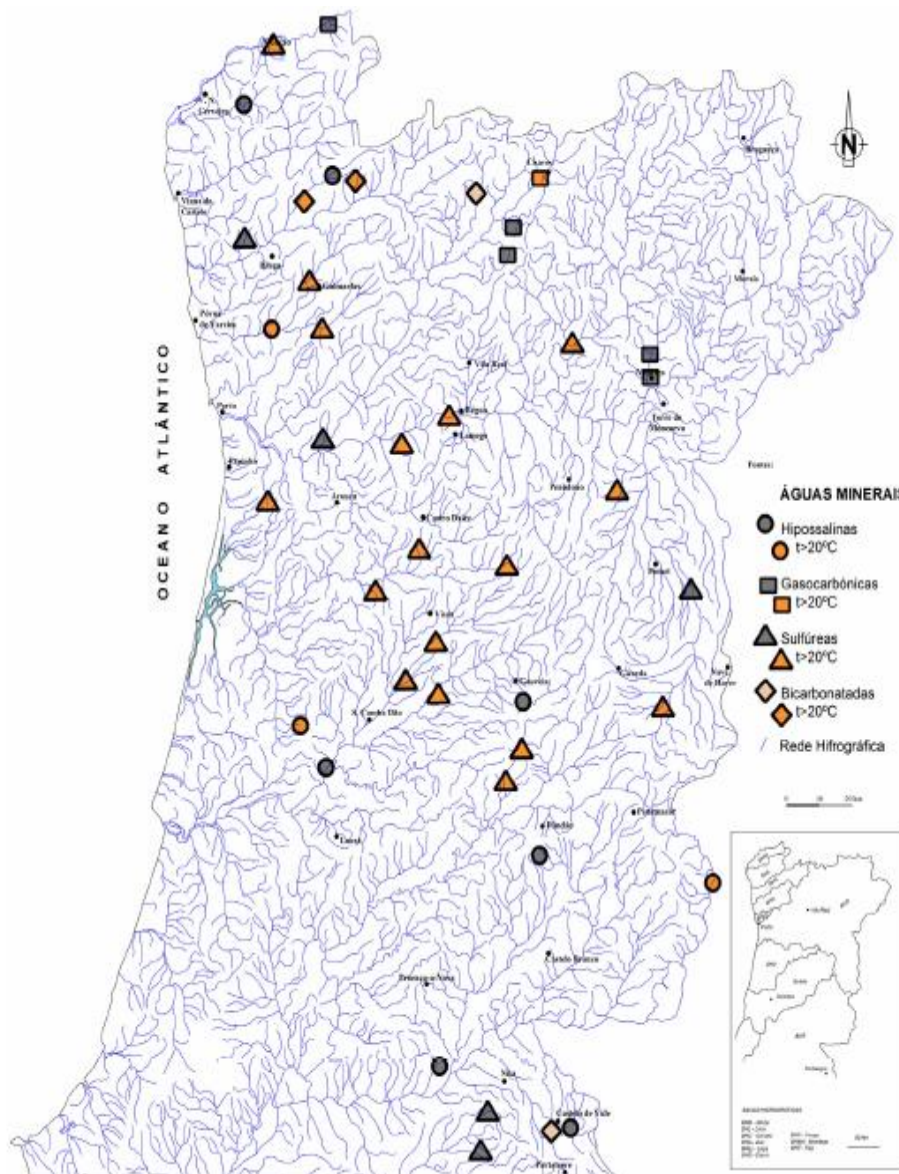


Figura 2. Localização das águas minerais no Norte e Centro de Portugal (LNEG,1999)

Calado (1995) considera que há em Portugal nove tipos hidrogeoquímicos bem definidos: Sulfúrea sódica; Gasocarbónica; Bicarbonatada sódica; Bicarbonatada cálcica e/ou magnesiana; Cloretada sódica; Cloretada sódica em ambiente metalífero; Sulfatada cálcica em ambiente evaporítico; Sulfatada cálcica em ambiente metalífero e Oxidrilada.

No contexto da legislação portuguesa, segundo a a) do artº 2 do Decreto-Lei n.º 54/2015, a água de nascente define-se como “águas naturais de circulação

subterrânea, bacteriologicamente próprias, que não apresentem as características necessárias à qualificação como águas minerais naturais, desde que na origem se conservem próprias para beber”. Por conseguinte, a água subterrânea considerada bacteriologicamente própria possui características físico-químicas que a tornam adequada para consumo humano no seu estado natural.

As águas de nascente, à semelhança das águas minerais naturais não são submetidas a quaisquer tratamentos químicos que possam alterar as suas características químicas e bacteriológicas originais. São, necessariamente, águas subterrâneas de origem conhecida, mas com tempos de circulação no subsolo, relativamente curtos. As águas de nascente podem apresentar uma certa variabilidade sazonal no seu quimismo (Medeiros, 2012).

Com efeito, as águas minerais naturais e as águas de nascente são as únicas águas totalmente naturais, cujo tratamento é manifestamente proibido, chegando ao consumidor sem químicos ou aditivos (APIAM, 20/03/2016). Por conseguinte este tipo de águas, desde tempos remotos, têm vindo a ser utilizadas para diversos fins, entre os quais, medicinais. Portugal é um dos países da Europa mais ricos nestas ocorrências (Lepierre, 1930).

As ruínas de balneários romanos existentes em Portugal são valiosos testemunhos históricos da importância que as águas minerais assumiram no passado e encontram-se nos mesmos sítios onde, ainda hoje, se encontram algumas estâncias termais importantes, nomeadamente Caldas de Chaves, Caldas do Gerês, Termas de S. Vicente, Termas de S. Pedro do Sul, Caldas das Taipas, Caldas de Vizela, etc. (Torres *et al.*, 1930; Acciaiuoli, 1952).

Em Portugal o termalismo vive atualmente uma fase de crescimento, evolução e inovação, materializada no aperfeiçoamento das estruturas e condições de utilização, que assumem hoje, formatos muito distanciados dos modos clássicos de utilização do termalismo. Esta inovação tem contribuído decisivamente para atrair novos públicos, nomeadamente para a utilização do termalismo de bem-estar. Para além disso, são já muitas as estâncias termais que começam a deparar-se com a necessidade de uma maior procura de água termal, dado que a proveniente das atuais nascentes e captações não é suficiente para fazer face ao crescimento do número de termalistas utilizadores.

Estas práticas de termalismo estão associadas um desenvolvimento socioeconómico muito grande do território circundante, sendo que, algumas das povoações atuais desenvolveram-se em torno desta atividade. A exploração de águas minerais no âmbito do termalismo reveste-se de uma considerável importância socioeconómica, porquanto as estâncias termais constituem polos de animação económica local, graças aos fluxos turísticos que originam (Calado, 1995).

Porém, nem só de termalismo “vivem” as águas minerais, sendo outra das suas valências o engarrafamento. Por exemplo, a indústria do engarrafamento em Portugal apresentou em 2009 uma produção de 599 576 333 Litros, a que corresponde um valor de 211 539 000 Euros (DGEG, 2010).

Em Portugal as vendas de águas minerais naturais e de águas de nascente cresceram de forma significativa, o que indica que a produção portuguesa continua a crescer e que este ramo da atividade económica continua a induzir solicitações significativas no domínio da prospeção, pesquisa e captação (Carvalho, 2006). ~

Em face do exposto, e subscrevendo Marques *et al.*, (2007) é fundamental conhecermos com o máximo rigor as necessidades e os recursos para garantirmos a exploração e a gestão sustentada dos mesmos.

1.3. Técnicas de estudo de sistemas hidrominerais

O desenvolvimento de recursos hídricos, segundo Hamill & Bell (1986) e Fetter (2001) e Carvalho (2006), compreende:

- prospeção, que integra, sobretudo, estudos e reconhecimentos de superfície, podendo incluir sondagens no caso dos objetivos estarem mal definidos à superfície, ou se localizarem a grande profundidade;
- pesquisa, destinada a caracterizar o recurso, o que pressupõe a realização de sondagens e ensaios para avaliação das produtividades e da qualidade da água;
- captação, que inclui a construção da obra (generalizadamente furos, hoje em dia) para a extração dos caudais pretendidos, compatíveis com as disponibilidades estimadas na fase de pesquisa;
- exploração incluindo a extração, a monitorização, a proteção e a gestão.

Esta hierarquização de tarefas faz todo o sentido e tem sido usada em campanhas de desenvolvimento de recursos hídricos subterrâneos para grandes abastecimentos. É praticada, habitualmente, em programas de prospeção e pesquisa de águas minerais naturais e recursos geotérmico (Carvalho, 2006).

1.3.1 Reconhecimento

Qualquer estudo de investigação hidrogeológica tem como primeiro passo um estudo prévio no qual devem ser inventariados e analisados todos os dados de natureza topográfica, hidrológica, geomorfológica e hidrogeológica que revelem alguma importância para o tema (Brassington, 1998). Esta técnica é designada na literatura como reconhecimento hidrogeológico. Cruz (2002) define esta técnica como “conjunto de atividades a desenvolver antes de se avançar para os trabalhos de prospeção e pesquisa”, isto é, toda a prospeção que não inclua meios mecânicos. Neste sentido, é possível ter um maior conhecimento hidrogeológico, a fim de garantir com sucesso os trabalhos de prospeção e pesquisa que se lhes seguem.

Os trabalhos de reconhecimento deverão ser iniciados por um estudo da geologia regional da área escolhida, devendo seguir-se um estudo cada vez mais refinado, ou seja, passar-se para um estudo local (Cruz, 2002).

O estudo geomorfológico da região é uma outra ferramenta essencial, pois para além de nos poder fornecer informações geológico-estruturais importantes, o conhecimento da rede hidrográfica também nos dá uma importante visão regional e local. O estudo hidrológico da região é um outro mecanismo importante do reconhecimento, pois os dados da precipitação, da evapotranspiração, da escorrência e da infiltração dá informação muito importante para o estudo das águas subterrâneas de uma determinada região (Cruz, 2002).

O levantamento dos pontos de água da região onde se pretende fazer o reconhecimento é um outro modo de fazer o estudo das águas subterrâneas de uma determinada área. Dever-se-á fazer uma caracterização mais pormenorizada possível das características físico-químicas dessas águas (Cruz, 2002).

Este estudo hidrogeológico subscrevendo o mesmo autor deverá avançar para a elaboração de um modelo conceptual de funcionamento do sistema aquífero (Cruz, 2002).

A fase de reconhecimento deverá terminar por perspetivar a execução de trabalhos de prospeção e pesquisa.

1.3.2 Geofísica

1.3.2.1 Considerações gerais

Os métodos geofísicos são mais uma ferramenta da qual podemos obter informação relativamente ao subsolo, e permitem caracterizar o subsolo a partir de dados recolhidos à superfície. Estes métodos possibilitam avaliar e detetar com alguma precisão estruturas geológicas (como falhas, filões, etc.), através da identificação de contrastes nas propriedades físicas dos materiais (condutividade/resistividade elétrica) resultantes de diferenças litológicas ou outras heterogeneidades naturais (variações no teor em água ou presença de cavidades) ou artificiais (estruturas enterradas). Assim, podemos identificar zonas para explorar com maior potencial para o abastecimento de água, ou determinar alguns parâmetros hidráulicos dos aquíferos, reduzindo a incerteza na pesquisa e os custos associados às sondagens improdutivas (Rocha *et al.*, 2000). Contudo, é sempre necessário confrontar os modelos geofísicos com informação geológica de modo a validar os resultados obtidos.

Os métodos geofísicos dividem-se em dois grandes grupos:

- **Métodos Passivos** – consistem na medição de campos ou propriedades naturais da terra (ex: gravíticos, magnéticos, radiométricos);e,
- **Métodos Ativos** – consistem na medição da resposta da terra, a um sinal que lhe é introduzido artificialmente (exemplo: elétricos, sísmicos).

Nos métodos geofísicos elétricos ou sísmicos, é possível a adaptação de múltiplos elétrodos. As ligações são normalmente controladas por computador, e fazem uso de cabos multifilamentados que permitem converter os diferentes elétrodos em elétrodos de corrente ou de potencial, com os mais variados espaçamentos (Griffiths *et al.*, 1990), bem como a seleção do tipo de dispositivo a aplicar, mediante o controlo efetuado por software específico (Overmeeren & Ritsema, 1988), à medida que se efetuam e registam as medições de forma automática.

O método da resistividade elétrica é frequentemente usado no estudo de discontinuidades tanto verticais como horizontais, na caracterização das propriedades elétricas nos terrenos investigados e na deteção de estruturas tridimensionais cujas propriedades elétricas contrastem com as dos materiais encaixantes. Tem como base da sua aplicação a propriedade física que é conhecida (resistividade elétrica) e como princípio, a injeção de corrente elétrica no solo (Lowrie, 2007).

Este método utiliza uma fonte de corrente contínua, que é injetada no terreno através de dois elétrodos, elétrodos de corrente, com o objetivo de medir a diferença de potencial entre outros dois elétrodos, elétrodos de leitura ou potencial, o que permite calcular a resistividade aparente, para um determinado volume de solo atravessado pelo campo elétrico (W.Urish, 1983).

Quanto maior for a distância entre os elétrodos maiores profundidades poderão ser investigadas, embora com menor detalhe (Koefoed, 1979; Bhattacharya & Patra, 1968; Zohdy *et al.*, 1974). Por este motivo a escolha do dispositivo a utilizar é um critério importante para a realização de uma campanha de prospeção geoeletrica que resulte para os objetivos previamente traçados.

Os valores obtidos numa campanha de prospeção geoeletrica são valores, não da resistividade real mas sim da resistividade aparente, dado que os terrenos são meios não homogéneos, que influenciam de modo heterogéneo o campo elétrico gerado pela circulação da corrente elétrica (Reynolds, 1997).

A resistividade aparente encontra-se dependente das características das várias unidades geológicas (tipo de material e geometria), bem como da posição dos elétrodos relativamente às mesmas (Ernstson & Kirsch, 2009).

Veja-se a tabela 1 sobre a resistividade elétrica de alguns materiais geológicos.

Tabela 1. Resistividades de alguns materiais geológicos (Telford *et al.*, (1990), McGinis & Jensen (1971), Reynolds (1987, 1997), Reynolds & Paren (1980, 1984) e Yungul (1996))

Materiais	Resistividade (Ωm)	
	Intervalo de Variação	
Antimonite	1×10^5	1×10^{12}
Arsenopirite	2×10^{-5}	15
Bauxite	2×10^2	6×10^3
Biotite	2×10^2	1×10^6
Bismutinite	18	$5,7 \times 10^2$
Bornite	$2,5 \times 10^{-5}$	0,5
Calcopirite	$1,2 \times 10^{-5}$	0,3
Cassiterite	4×10^{-4}	1×10^4
Cobaltite	$3,5 \times 10^{-4}$	0,1
Covellite	3×10^{-7}	8×10^{-5}
Cromite	1	1×10^6
Cuprite	1×10^{-3}	3×10^2
Diamante	10	1×10^{14}
Dolomite	$3,5 \times 10^2$	5×10^3
Esfalerite	1,5	1×10^7
Galena	3×10^{-5}	3×10^2
Halite	30	1×10^{13}
Hematite	$3,5 \times 10^{-3}$	1×10^7
Hornblenda	2×10^2	1×10^6
Ilmenite	1×10^{-3}	50
Limonite	1×10^3	1×10^7
Magnetite	5×10^{-5}	$5,7 \times 10^3$
Mica	9×10^2	1×10^{14}
Molibdenite	1×10^{-3}	1×10^6
Diabase	20	5×10^7
Diorito	1×10^4	1×10^5
Gabro	1×10^3	1×10^6
Gelo glacial (polar)	5×10^4	3×10^5
Gelo glacial (temperado)	2×10^6	$1,2 \times 10^8$
Granito	3×10^2	1×10^6
Granito alterado	30	5×10^2
Laterite	8×10^2	$1,5 \times 10^3$
Lava	1×10^2	5×10^4
Lenhite	9	2×10^2
Margas	3	70
Mármore	1×10^2	$2,5 \times 10^8$
Moreias	10	5×10^3
Peridotito	3×10^3	$6,5 \times 10^3$
Permafrost	1×10^3	1×10^4
Quartzito	10	2×10^8
Sienito	1×10^2	1×10^6
Solo arenoso seco	80	$1,1 \times 10^3$
Solo laterítico	$1,2 \times 10^2$	$7,5 \times 10^2$
Xisto argiloso	20	2×10^3
Xisto	10	1×10^4
Águas meteóricas	30	1×10^3
Águas ácidas (minas)	20	
Águas ácidas (turfa)	1×10^2	

Após a aquisição, os dados são processados e interpretados com o objetivo de desvendar a resistividade “real” das camadas e a respetiva espessura. A resistividade dos materiais geológicos varia entre $1,6 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$ (prata nativa) e $106 \Omega\text{m}$ (enxofre puro). Entre as várias tipologias de rochas, as ígneas são as que apresentam valores de resistividade mais altos e as sedimentares os valores mais elevados de condutividade (baixa resistividade) pelo facto de serem mais porosas e, por consequência, maior teor em fluidos (Reynolds, 1997).

A sua aplicabilidade em estudos hidrogeológicos, aliado ao seu baixo custo, comparativamente com os métodos invasivos (escavações, perfurações), e o facto de não alterar as características dos locais a investigar, ao contrário dos métodos invasivos (Urish, 1983), são fatores com muito peso aquando da escolha do método a utilizar, e por isso a sua utilização é muito frequente.

1.3.2.2 Dispositivos de medida

Apesar de existirem muitos dispositivos que podem usar-se na prospeção geoeletrica de resistividade (Whitely, 1973), do ponto de vista prático, os dispositivos mais utilizados podem ser de três, quatro ou cinco elétrodos, sendo generalizado o uso de dispositivos de quatro elétrodos.

Os dispositivos de três elétrodos são de facto constituídos por quatro elétrodos, dois de potencial e dois de corrente, com um destes colocado a uma distancia infinita dos restantes. São exemplos os dispositivos polo-dipolo representados na Figura 3.

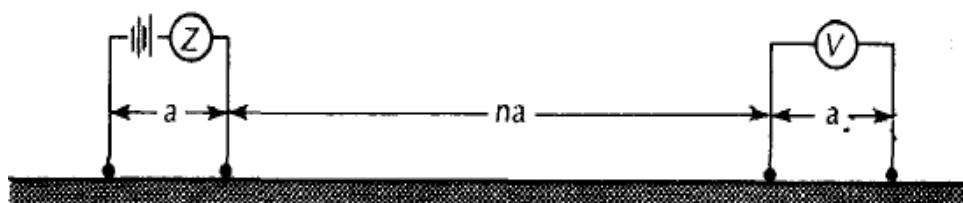


Figura 3. Dispositivo polo-dipolo (Fetter, 2001).

Como o elétrodo *C2* se encontra muito afastado, não necessita de ser posicionado em linha com os restantes, o que permite estudar as variações laterais da resistividade, segundo linhas dispostas radialmente em relação a *C1*, movimentando um ou os dois elétrodos de potencial (Telford *et al.*, 1990).

Este dispositivo apresenta uma cobertura lateral relativamente boa e possui um sinal mais potente do que o do dispositivo dipolo-dipolo normal, embora menos intenso que o dos dispositivos Wenner e Wenner-Schlumberger. No entanto, tratando-se de um dispositivo assimétrico, ao usar-se sobre estruturas simétricas produz pseudo-secções cujas anomalias da resistividade aparente são assimétricas. Uma forma de eliminar este efeito consiste na repetição das medições dispondo os elétrodos com orientação inversa da inicial.

Neste caso de estudo, foi usado o dispositivo polo-dipolo com um elétrodo de corrente colocado a uma distância superior a dez vezes (quinhentos metros) o maior espaçamento entre elétrodos de potencial (cinquenta metros). Para anular o efeito de assimetria do dispositivo, realizaram-se medições duplas em sentido direto e inverso.

1.3.2.3 Aquisição e tratamento dos dados

Neste trabalho foi aplicada a técnica de pseudo-secções por se achar a mais adequada ao estudo das variações da resistividade tanto lateral como verticalmente.

A técnica das pseudo-secções, também conhecida por secções de resistividade elétrica ou tomografia, permite caracterizar tanto as variações laterais ao longo da secção, como as variações verticais da resistividade. Em contrapartida assume que a resistividade não varia na direção perpendicular à pseudo-secção (Loke & Lane, 2004).

A execução prática desta técnica, através de sistemas convencionais, é muito trabalhosa e demorada (Griffiths & Baker, 1993). Estes sistemas usam um grande número de elétrodos, geralmente vinte e cinco ou mais, ligados a um cabo com múltiplos condutores, controlados por um computador e uma caixa eletrónica que procedem à seleção automática dos elétrodos usados em cada uma das medições. As medições são feitas de forma automática e permanecem registadas no computador. Nestas técnicas a maior parte do trabalho de campo está relacionado com a disposição dos elétrodos e dos cabos.

Quanto maior for a distância entre os elétrodos maiores profundidades poderão ser investigadas, embora com menor detalhe (Koefoed, 1979; Bhattacharya & Patra, 1968; Zodhdy *et al.*, 1974) Por este motivo a escolha do dispositivo a utilizar é um critério importante para a realização de uma campanha de prospeção geolétrica que resulte para os objetivos previamente traçados.

A extensão horizontal da área a estudar pode aumentar por aplicação da técnica *roll-along*. Com esta técnica procede-se ao deslocamento do dispositivo após se ter completado uma sequência de medições. Este deslocamento será igual a um múltiplo do espaçamento entre elétrodos e na nova sequência de medições apenas se fazem as que não tinham sido tomadas na sequência anterior.

Atualmente a aplicação desta técnica constitui o melhor método para obtenção de dados com qualidade a custos económicos (Dahlin, 1996).

1.3.3. Prospeção, Pesquisa e Captação

1.3.3.1 Considerações gerais

Existe, geralmente, alguma confusão em relação aos termos prospeção, pesquisa e captação de águas subterrâneas, havendo mesmo algum desfazamento entre a terminologia usada em Portugal e no Brasil e porventura noutros Países de Língua Oficial Portuguesa (PALOP). Em Portugal, prospeção e pesquisa são conceitos muito idênticos, que remetem para um mesmo significado – investigação.

A Lei nº 54/2015, de 22 de junho, refere como recursos geológicos os bens naturais denominados por: “a) *Depósitos minerais*; b) *Águas minerais naturais*; c) *Águas minero industriais*; d) *Recursos geotérmicos*; e) *Massas minerais*; f) *Águas de nascente*”.

Em Hidrogeologia, pode ser definida como o conjunto de operações ou estudos que permitem a localização e caracterização de aquíferos, dos quais podemos obter água em quantidade e qualidade adequadas ao fim pretendido (Feitosa e Filho, 2000).

A lei 54/2015 de 16 de Março (DGGM, 1990) que se destina a disciplinar o regime jurídico de revelação e aproveitamento de recursos geológicos (depósitos minerais, recursos hidrominerais, recursos geotérmicos e massas minerais e águas de nascente) estabelece no nº 1, Artigo 9, no Capítulo II, o articulado seguinte: (...)

“Quanto aos recursos que se integram no Domínio Público podem ser constituídos os seguintes direitos:

- a) De prospeção e pesquisa, permitindo a prática de operações visando a descoberta dos recursos e a determinação das suas características, até à revelação da existência de valor económico;*
- b) De exploração, permitindo o exercício da atividade posterior à prospeção e pesquisa, ou seja, o aproveitamento económico dos recursos.”*

Quando o nosso objeto de estudo são águas superficiais, a pesquisa é mais rápida, mais barata e mais precisa, mas no caso das águas subterrâneas não é bem assim. Os aquíferos, pela sua Natureza própria, não nos permitem saber quais as suas características tão rapidamente, o conhecimento evolui lentamente, a cada poço perfurado e testado, novo nível ou descarga medida, nova análise de dados efetuada ou novos relatórios. Como tal, é fundamental uma boa compreensão do comportamento do aquífero e a monitorização permanente do seu desempenho.

A preocupação com a prospeção, pesquisa e captação continua a fazer sentido pois o mercado da pesquisa e captação para abastecimentos particulares mantém-se em alta, embora a procura para abastecimentos públicos tenda a diminuir (Carvalho *et al.*, 2004). No futuro continuará a haver consumos importantes de águas subterrâneas apesar do enorme esforço empreendido nos últimos anos na tentativa da extensão das grandes redes de distribuição em alta, baseadas em origens superficiais para abastecimento público a todo o território nacional. E assistir-se-á ao reordenamento de centenas de sistemas de captação. Deste ponto de vista destaque-se que existem milhares de captações subterrâneas no Maciço Hespérico que continuam em funcionamento (Travassos, 2003).

A prospeção e pesquisa de águas subterrâneas assenta em dois princípios que o responsável pela operação deve ter sempre em mente, a dialética oferta-procura, e a necessidade da conceptualização sistemática do modelo hidrogeológico ocorrente (Carvalho, 2006).

A partir de 1973, o universo das águas subterrâneas em Portugal foi abalado pelo surgimento do primeiro equipamento de perfuração com martelo de fundo de furo (Carvalho, 2000). A utilização destes equipamentos democratizou e tornou solução universal a pesquisa e captação por furo e praticamente liquidou o emprego das soluções tradicionais por poço e galeria. E foi assim em todo o Mundo onde ocorrem rochas duras.

Não é fácil enumerar as metodologias e técnicas que podem ser postas ao dispor de campanhas de prospeção e pesquisa de águas subterrâneas, pois os progressos tecnológicos particularmente no domínio da deteção remota, da prospeção geofísica e das técnicas de processamento têm sido enormes (Carvalho, 2006).

Um furo de captação de água subterrânea corretamente projetado/dimensionado deverá assegurar, subscrevendo Feitosa & Filho (2000):

- Água com qualidade adequada ao fim a que se destina;
- A proteção do aquífero de fontes locais de contaminação;
- Um custo total de construção e de exploração razoável a curto e médio prazo;
- Um período de vida útil médio de 25 anos.

A prospeção e pesquisa visa captar nas melhores condições possíveis o recurso água subterrânea, quer seja mineral ou não mineral. Ainda assim, tendo em conta o conhecimento do modelo do circuito hidromineral e/ou geotérmico, poder-se-á captar o melhor recurso a maior ou menor profundidade, com os correspondentes ganhos de temperatura, com isolamentos de proteção contra contaminações mais ou menos perfeitos, ou com recurso a perfurações inclinadas ou dirigidas, quando se pretende captar estruturas sub-verticais, entre outras técnicas que podem ser ou não necessárias (Guedes, 2013).

Outro aspeto fundamental é a qualidade da captação, que deve ser previamente considerada, de acordo com as características físico-químicas da água e a manutenção da sua qualidade, a maior ou menor redução dos custos de exploração e manutenção da captação, ou uma maior ou menor longevidade da mesma. Estes fatores, vão obviamente, aumentar o valor do investimento e por isso têm que ser equacionados no seu conjunto (Guedes, 2013).

1.3.3.2 Métodos de Perfuração

O método de perfuração a utilizar, depende fundamentalmente dos terrenos atravessados, dos diâmetros de perfuração e das profundidades a atingir. Os diâmetros de perfuração devem permitir as tubagens de revestimento definitivo projetadas, e ainda a aplicação de um filtro adequado (seixo calibrado) e dos isolamentos que se tornem necessários para garantir uma eficaz proteção da captação contra contaminações (Guedes, 2013).

A escolha do melhor método depende da finalidade, da profundidade que se pretende atingir, das formações geológicas a perfurar e de fatores económicos.

Os principais métodos de perfuração são os seguintes:

Percussão (atualmente em desuso);

Rotação com circulação direta e rotação com circulação inversa;

Rotopercussão (Percussão pneumática com “ martelo de fundo de furo”).

Os furos de captações de águas subterrâneas maiores, mais profundos e mais capacitados, são construídos através de métodos de perfuração.

Os métodos de perfuração normalmente utilizados na execução de sondagens são classificados pelo modo como a formação geológica é desagregada. Assim, esses métodos dividem-se em dois grandes grupos: método de percussão, quando a rocha é desagregada à custa da percussão (batimento ou pancada) sistemática da ferramenta de corte sobre a formação, e de rotação, quando a rocha é desagregada à custa do atrito devido à rotação da ferramenta de corte sobre a formação (Carvalho, 2006).

Cada método tem as suas vantagens, e por isso, as empresas têm de fazer um esforço para ter o equipamento necessário para os diferentes métodos, dependendo do local, do seu contexto e da abordagem que é feita (Todd & Mays, 2005).

O processo de construção de uma captação de águas subterrâneas bem-sucedida depende das condições locais, e por isso cada trabalho deve ser tratado como um projeto individual. (Todd & Mays, 2005). Na tabela 2, é feita uma síntese sobre a performance dos métodos de percussão e rotação em diversas formações geológicas.

Tabela 2. Performance dos métodos de percussão e rotação em diversas formações geológicas (Todd & Mays, 2005).

Tipo de formação	Métodos de Perfuração	
	Percussão Mecânica	Rotativo
Duna de areia	Difícil	Rápido NR
Areia solta e cascalho	Difícil	Rápido NR
Areia movediça	Difícil	Rápido NR
Pedregulhos soltos em leques aluviais	Difícil, lento mas geralmente pode ser possível com tubos condutores.	Difícil, frequentemente impossível NR
Argila e silte	Lento	Rápido NR
Xisto compacto	Rápido	Rápido NR
Xisto pegajoso	Lento	Rápido NR
Xisto frágil	Rápido	Rápido NR
Arenito, mal cimentado	Lento	Lento NR
Nódulos de sílica	Rápido	Lento NR
Calcário	Rápido	Rápido Muito rápido
Calcário com nódulos de sílex	Rápido	Lento Muito rápido
Calcário com pequenas fraturas	Rápido	Lento Muito rápido
Calcário cavernoso	Rápido	Lento a impossível Difícil
Dolomite	Rápido	Rápido Muito rápido
Basaltos, finas camadas de rochas sedimentares	Rápido	Lento Muito rápido
Basaltos, camadas espessas	Lento	Lento Rápido
Rochas metamórficas	Lento	Lento Rápido
Granito	Lento	Lento Rápido

NR – Não recomendado

Perfuração por percussão mecânica

Neste método a formação geológica é percutida mecanicamente, com uma broca ou trépano (ferramenta de corte), de um modo ritmado devido ao balanceiro, causando assim a desagregação da formação (Guedes, 2013).

Esta técnica é capaz de perfurar com diâmetros entre 8 a 60 centímetros quando usada em rocha consolidada e atingir profundidades de 600 metros (Todd & Mays, 2005).

A máquina de perfuração (Figura 4), que é fundamental em qualquer dos métodos, além da broca ou trépano, existem também as varas de perfuração/contrapeso cujo número depende da força necessária para provocar a desagregação da rocha, uma lançadeira para amortecer as pancadas no equipamento e tonel para a ligação do cabo (Guedes, 2013). A ferramenta mais importante do conjunto de ferramentas é o bit, porque é a parte que realmente perfura. Em formações não consolidadas, ou pouco consolidadas, a perfuração dá-se em simultâneo com a remoção dos detritos utilizando apenas as limpadeiras que, com batimentos ritmados, vai desagregando a formação e enchendo a limpadeira com os detritos a remover

(Guedes, 2013). Para o suporte das paredes do furo em formações não consolidadas, utilizam-se revestimentos provisórios que descem em simultâneo com a perfuração. Existem vários tipos de brocas, simples ou cruzeta, e com ângulos de corte mais ou menos abertos, conforme a resistência da formação a desagregar.

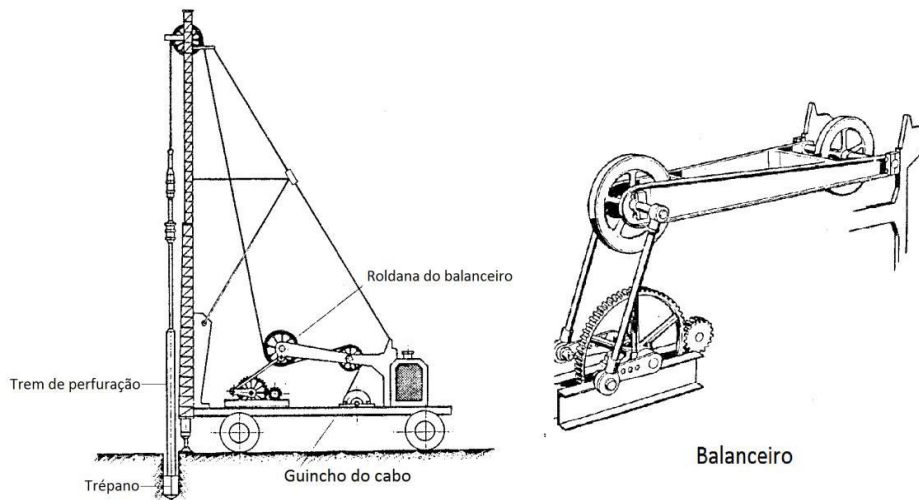


Figura 4. Máquina de percussão mecânica; Detalhe do balanceiro (Huarte, 1977).

As limpadeiras (Figura 5) utilizam-se com o objetivo de remover os detritos de perfuração, são tubos com uma válvula de pé na base, acionados por um guincho suplementar. Mas para utilizar esta ferramenta é necessária a existência de água, de forma que caso a formação não esteja a produzir, é necessário adicionar água ao furo (Guedes, 2013). Existem vários tipos de limpadeiras, adequadas para rochas consolidadas ou não consolidadas, cabe ao chefe da obra escolher a mais adequada à situação.

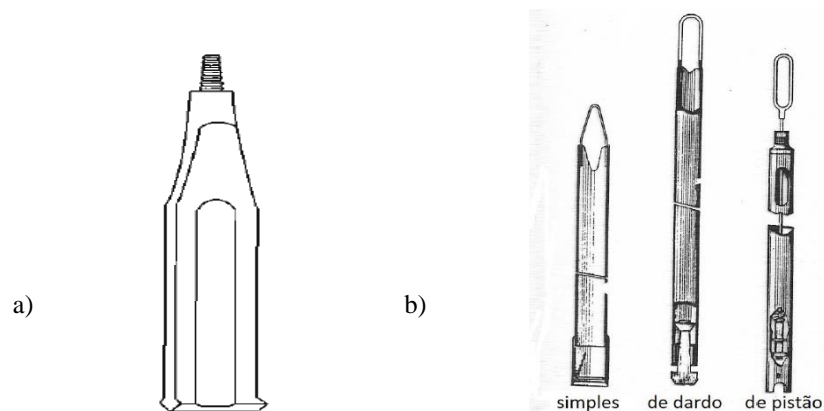


Figura 5. a) Broca normal; b) Vários tipos de limpadeiras. (Guedes, 2013; Todd & Mays, 2005).

Para finalizar, este equipamento apresenta alguma versatilidade na sua capacidade de perfurar satisfatoriamente vários tipos de formações geológicas (Todd & Mays, 2005).

As suas principais desvantagens são a baixa velocidade de avanço da perfuração, a sua limitação em relação à profundidade, o facto de a sondagem ter de ser obrigatoriamente vertical, e o diâmetro do furo que vai ser alterado devido à profundidade. Para além disso apresenta custos adicionais resultantes do tempo despendido em manobras de subida e descida. (Ferreira *et al.*, 2012).

Perfuração por rotação

Este método de perfuração consiste em triturar e desgastar as formações geológicas, reduzindo-as a pequenas partículas através da utilização de um trépano giratório. O movimento rotativo da broca é acompanhado pela circulação de um fluido, usualmente chamado de “lamas”, constituídas por misturas mais ou menos estáveis, densas e viscosas à base de bentonite e de outras substâncias com água, cuja função é remover e trazer os detritos da perfuração até à superfície, evitar o desmoronamento das paredes da perfuração e lubrificar e arrefecer as ferramentas cortantes (Duarte, 2013).

Existem vários tipos de trépanos (bits) de perfuração para esta técnica (Fig.6), mas normalmente estes costumam ser cónicos com dentes para moer e desagregar a rocha. Este tipo de perfuração foi inicialmente usada para a captação de petróleo, mas a sua aplicação às captações de água subterrânea é cada vez maior (Todd & Mays, 2005). A perfuração por rotação pode ser realizada com circulação direta ou com circulação inversa.

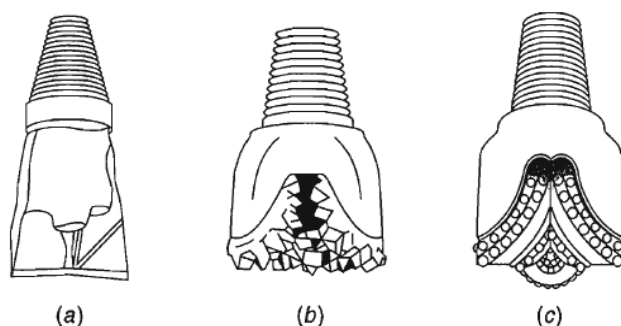


Figura 6. Vários tipos de trépanos de perfuração. Da trileta ao roller-bit de botões (Todd & Mays, 2005).

Perfuração por rotação com circulação direta

Este sistema é adequado para formações não muito duras, normalmente formações sedimentares consolidadas a pouco consolidadas ou formações cristalinas alteradas a decompostas, a desagregação das formações faz-se pelo atrito, durante a rotação, das ferramentas de corte com os terrenos (Guedes, 2013).

Neste caso, as “lamas” são injetadas pelo interior da cabeça de sonda, por ação de uma bomba de alta pressão, saindo no fundo do furo por orifícios do trépano. De seguida as “lamas” ascendem pelo espaço entre a parede exterior das varas de perfuração e as paredes da sondagem, arrastando consigo os detritos da formação perfurada até á superfície. Estas lamas entram numa fossa onde os detritos decantam, enquanto a lama segue para outra fossa para voltar a ser injetada, havendo assim uma circulação contínua (Duarte, 2013).

Veja-se na figura 7 a máquina de perfuração à rotação com circulação direta.

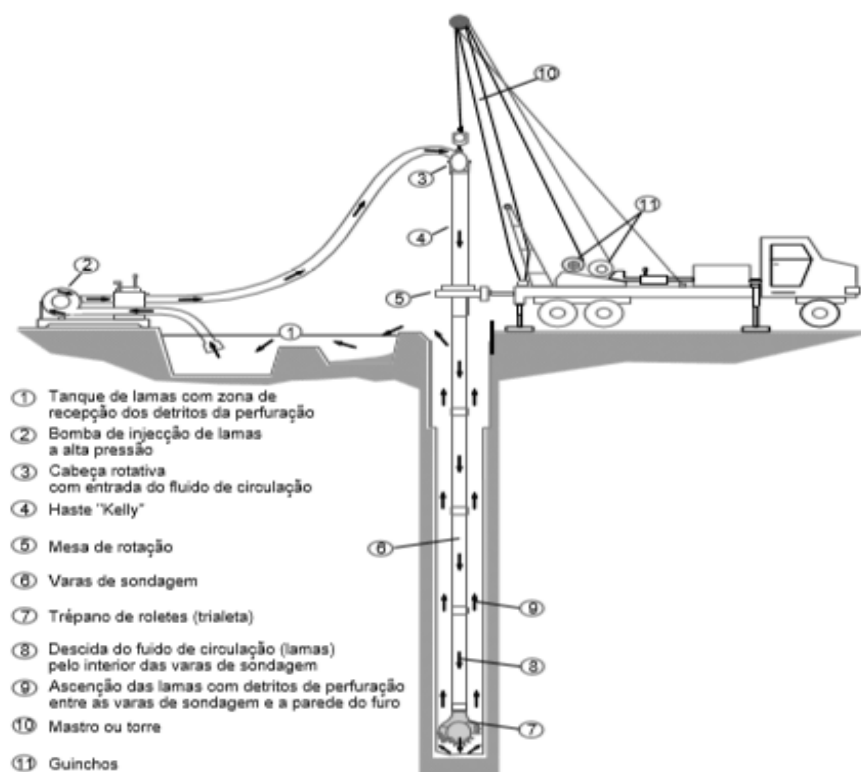


Figura 7. Máquina de perfuração à rotação com circulação direta. (Ferreira *et al.*, 2012).

A remoção dos resíduos dá-se à custa do fluido de circulação, à base de bentonite e/ou outro produto de propriedades semelhantes. Para além da remoção dos detritos, originada pelas propriedades de viscosidade e resistência do gel, do fluido de circulação, este tem ainda como funções: refrigerar o trépano, impedir a entrada do fluxo de água ou outros fluidos das formações, manter as paredes do furo, propriedades lubrificantes (Guedes, 2013).

O suporte das paredes do furo é assegurado pela propriedade do fluido (Figura 8) formar uma crosta de filtrado (“cake”), no caso de fluido à base de bentonite ou outras argilas apropriadas, ou formar um fino filme de polímeros nas paredes do furo e partículas coloidais fixarem-se às paredes da formação (Guedes, 2013).

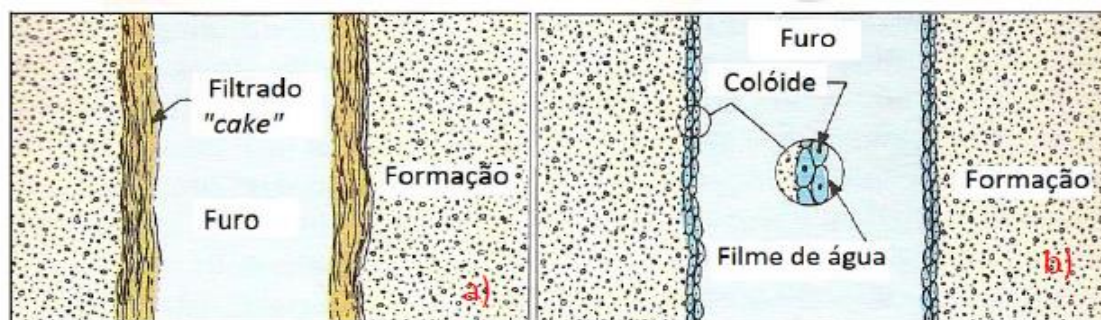


Figura 8. Suporte das paredes do furo (Sterret, 2007).

O fluido de circulação tem de ser permanentemente controlado de modo a manter as suas propriedades, pois, qualquer descuido pode originar o abatimento das paredes do furo, e muitas vezes é irremediável.

O sistema chama-se de circulação direta pelo facto do fluido de circulação ser injetado pela cabeça de injeção giratória e ascender ao longo do furo, entre a tubagem e as paredes do daquele (Guedes, 2013).

As principais vantagens deste método são a sua eficácia em formações geológicas não consolidadas acompanhadas de um pequeno risco de colapso do furo, a maior facilidade de controlo das propriedades das lamas, perdas de fluido de circulação controláveis e ainda permite avanços relativamente rápidos (Ferreira *et al.*, 2012).

As suas desvantagens são o equipamento dispendioso, os custos adicionais resultantes de manobras de descida e subida, a caracterização da amostragem de formações geológicas dificultada, alguma dificuldade em manter constante a direção

de perfuração sendo que é necessária uma boa técnica de execução e para além disso pode levar à impermeabilização e contaminação das formações produtivas (Ferreira *et al.*, 2012).

Perfuração por rotação com circulação inversa

Este método tornou-se progressivamente mais popular para perfurar como meio para a perfuração de grandes diâmetros de acordo com (Todd & Mays, 2005), nomeadamente formações geológicas não consolidadas, como aluviões por exemplo, em que existe mais dificuldade em segurar as paredes do furo (Guedes, 2013).

O processo é muito semelhante ao da circulação direta, com a exceção do modo como o fluido circula (Todd & Mays, 2005).

O fluido de circulação constituído por “lamas”, desce diretamente por gravidade do respetivo tanque de “lamas” até ao fundo do furo, através do espaço compreendido entre a parede exterior das varas de perfuração e as paredes da sondagem, sendo depois bombeadas para a superfície pelo interior das varas de parede dupla (Duarte, 2013).

A subida das “lamas” e dos detritos efetua-se pelo interior das varas de parede dupla que constituem a coluna de perfuração, com ajuda de ar comprimido pelo sistemas de *air-lift*, e/ou de bombas de grandes caudais promovendo assim a remoção dos detritos, aumentando assim a velocidade de avanço do furo (Guedes, 2013).

Durante a perfuração, esta ascensão da mistura de lamas, ar e detritos das formações perfuradas é mantida em equilíbrio com o volume de lamas do tanque (Duarte, 2013), como se pode observar na figura 9.

Neste caso, se utilizássemos a circulação direta, teríamos que mobilizar grandes volumes e caudais de circulação do fluido, de modo a garantir velocidades ascensionais suficientes para a remoção dos detritos. Mas com o método de circulação inversa, como as velocidades ao longo do furo são menores, tem menos efeito na destruição do “cake” de proteção às paredes do furo (Guedes, 2013).

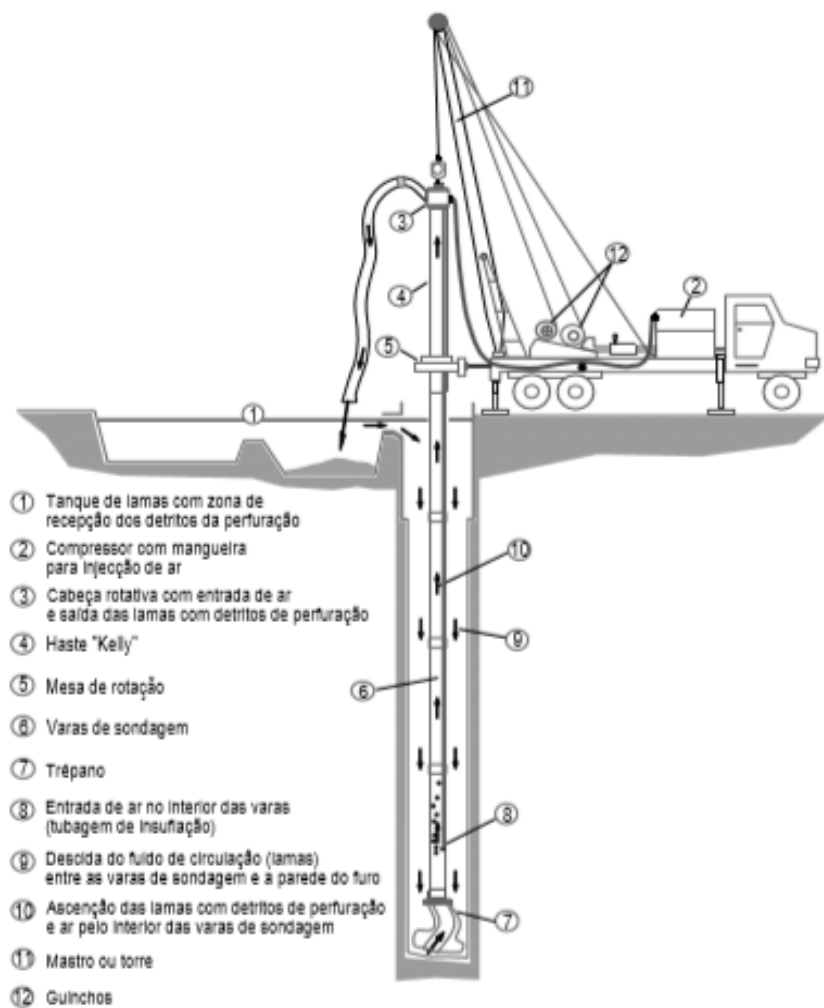


Figura 9. Perfuração por rotação com circulação inversa (Ferreira *et al.*, 2012).

Geralmente as captações de água subterrânea construídas a partir desta técnica são mais produtivas e tem uma boa qualidade na amostragem, mas exige equipamento e estaleiro de maiores dimensões e um número maior de operadores. Necessita de um tanque de lamas maior e um consumo de água mais exigente face ao elevado débito de injeção, e em certas formações pode apresentar perdas elevadas de fluido de circulação que pode perturbar ou deteriorar as zonas produtivas da captação, para além disso, o risco de entupimento das varas por detritos de grande diâmetro aumenta (Ferreira *et al.*, 2012).

Perfuração por rotopercussão

Este método de perfuração, conhecido vulgarmente como de “rotopercussão”, utiliza a força dos martelos pneumáticos para fazer a desagregação da rocha. Na realidade, e dado que a desagregação da formação se deve, não à rotação do equipamento de corte (broca) que serve para que a broca não percute a formação sempre na mesma posição mas sim à sua percussão, daí tratar-se de um método de percussão (Huarte, 1977).

È o método mais indicado e mais rápido em rochas duras como granitos, xistos, quartzitos ou calcários cristalinos (Guedes, 2013), mas quando são encontradas “cavernas” ou elevada quantidade de água, geralmente é necessário uma mudança para o sistema de perfuração convencional com lamas (Todd & Mays, 2005), veja-se a figura 11.

Neste método, são utilizados martelos de fundo de furo e não martelos de superfície porque a energia do martelo perdia-se ao longo das varas de sondagem tornando-se insuficiente para desagregar a rocha e iria danificar as varas (Guedes, 2013).

A ação de esmagamento e corte é provocada por uma ferramenta acionada por ar comprimido que combina o movimento de rotação do “bit” (broca) com um movimento de percussão de elevada frequência dado por um martelo de fundo de furo, que proporciona entre 10 a 15 impactos por segundo (Duarte, 2013). Veja-se a figura 10.

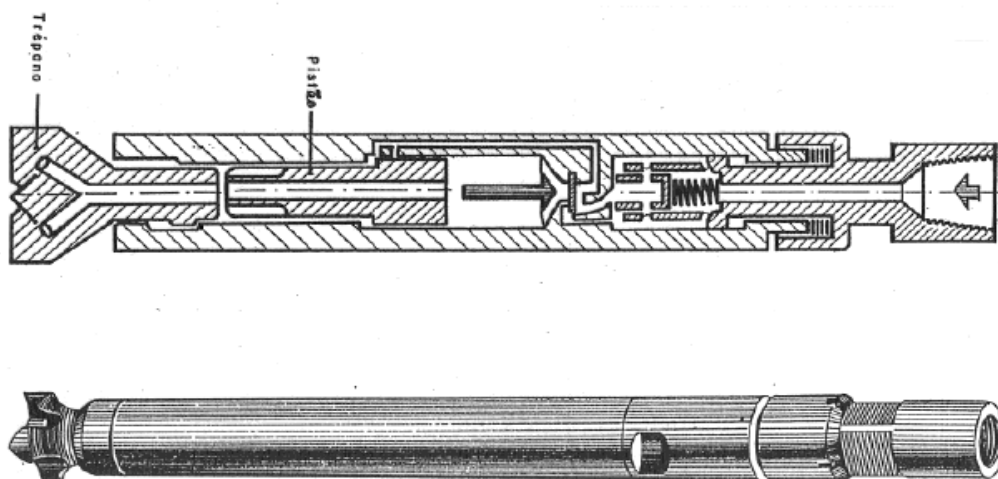


Figura 10. Martelo de fundo-de-furo. (Huarte, 1977)

O fluido de circulação é ar comprimido que pode ou não ter o auxílio de alguma água. Esse ar, que é produzido a partir de um compressor ou mais, quando a velocidade ascensional do ar é insuficiente, é transmitido pelo interior da coluna de

perfuração, passando pelo martelo e “bit”, atuando também na remoção dos detritos (Guedes, 2013).

Quando os terrenos não se seguram, torna-se necessário utilizar tubagens de revestimentos provisório, o que obriga a diminuir os diâmetros de perfuração.

Vejamos de seguida, o método de rotopercussão na figura 11.

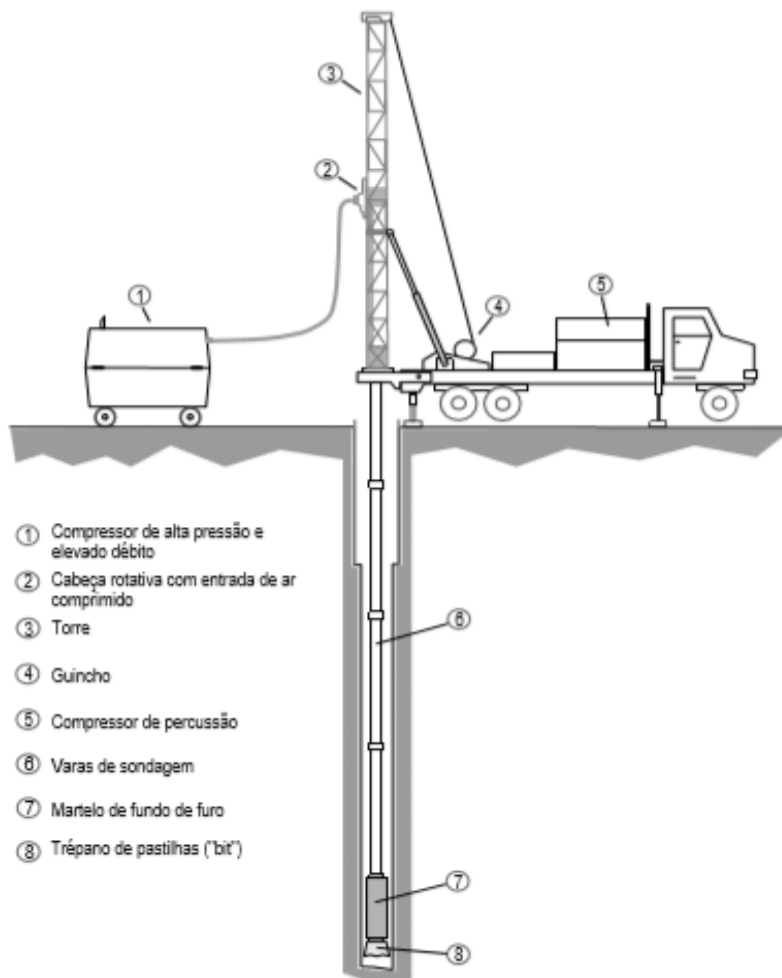


Figura 11. Perfuração através do método de rotopercussão. (Ferreira *et al.*, 2012).

A rotopercussão é uma técnica que só é eficaz em formações consolidadas, mas que apresenta rapidez de perfuração e remoção dos detritos. Permite estimar a produtividade das formações aquíferas durante a perfuração. Destrói a amostragem e esta tem um atraso relativamente ao avanço da perfuração, mas normalmente os custos são mais reduzidos devido à rapidez de perfuração referida anteriormente e não provoca a impermeabilização das zonas produtivas (Ferreira *et al.*, 2012).

1.3.3.3 Carotagem

Durante o processo de perfuração são trazidas para a superfície pequenos fragmentos de rocha perfurada juntamente com o fluido de sondagem, e constituem a base de uma avaliação primária das formações rochosas que foram perfuradas. Por se tratar de pequenos fragmentos, esta avaliação muitas vezes não oferece o grau de certeza desejado para um projeto (Pernes, 2014).

Para a obtenção de amostras mais representativas, e nas melhores condições possíveis é utilizada uma técnica designada por carotagem, esta consiste na extração de um testemunho de rocha do fundo do furo durante a perfuração ou nas paredes do furo após a furação (Gatlin, 1960). Este método de obtenção de testemunhos para posterior análise é muito útil para vários sectores, nomeadamente na indústria mineira ou petrolífera ou em obras de geotécnicas.

Geralmente, esta técnica é necessária durante as fases de investigação e caracterização regional. Permite fazer descrições mais pormenorizadas das estruturas rochosas perfuradas e podem ser feitos testes laboratoriais aos testemunhos, nomeadamente á geoquímica e à capacidade hidráulica.

A evolução das técnicas que extraem os testemunhos para a superfície pode ser feita através do método convencional, com o uso de amostradores com duplo tubo acoplado à coluna de perfuração, ou o testemunho pode ser trazido para a superfície através de um cabo, este método é designado por *wire line* (IGME, 1967).

Na primeira técnica, é instalado um amostrador diretamente na broca de perfuração. São necessários dois tubos para este método, a broca exterior, e tubo de amostragem permitindo que o material que se encontra no seu interior fique estático durante a rotação da broca exterior, para além disso também protege as amostras recolhidas, servindo de habitação para as amostras das formações rochosas perfuradas. Naturalmente, o tubo onde ficam guardados os testemunhos deve ser retirado sempre que o amostrador tenha penetrado todo o seu comprimento na formação (IGME, 1967).

Na perfuração com o método de *wire line*, a tubagem interior é independente do tubo exterior e pode ser removido através de um cabo. Neste caso, não é necessário remover todas as ferramentas quando o amostrador tiver completo. As suas dimensões são geralmente muito reduzidas, o que permite que passe no interior do tubo de perfuração. No mercado existem dois sistemas principais para a

concretização deste método, o sistema da série Q, apropriada para formações mais macias, perfuradas com lamas, e o sistema métrico padrão geralmente usado quando se quer perfurar rochas cristalinas duras (IGME, 1967).

Uma vez extraído o tubo que transporta as amostras da rocha perfurada, retira-se o material rochoso do seu interior com cuidado, e coloca-se num tubo pré-definido para este fim. Assim que os carotes estejam todos dispostos nesse tubo, deve proceder-se à inspeção visual e medir o carote de forma precisa, anotando se “falta” ou “sobra” material ou carotes, especificando a sua causa (Herbert & Gómez, 2012).

Depois, os carotes devem ser colocados numa caixa adequada para guardar os carotes, (veja-se a figura 12), geralmente são em madeira ou cartão parafinado, conservando a posição, e orientação original e ainda indicando a profundidade. Para que esta operação se faça corretamente, a sequência tem de ser a mesma em que foram obtidos os carotes, e devem ser utilizados separadores para assinalar as diferentes manobras realizadas indicando as suas cotas. No caso de se perder algum carote, deve assinalar-se o acontecido na caixa adequada para guardar os carotes, exemplificada na figura 12. Esta operação deve ser realizada “*in situ*” de forma simultânea a perfuração ou imediatamente depois desta (Herbert & Gómez, 2012).

Em alguns projetos de exploração de minerais em rochas cristalinas duras, foi possível obter carotes a grande profundidade, atingindo os 3000 metros. No entanto, muito raramente a profundidade de investigação ultrapassa os 1500 metros.



Figura 12. Caixa adequada para guardar os carotes (Herbert & Gomez, 2012).

1.3.3.4 Isótopos estáveis ($\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^2\text{H}$)

Os isótopos ambientais têm demonstrado ser excelentes traçadores de sistemas hidrogeológicos, essencialmente na resposta a problemas relacionados com a origem das águas, na sua circulação e na caracterização das reações responsáveis pelos fenómenos de interação água-rocha, devido ao facto de serem constituintes essenciais da molécula da água e não se encontram dissolvidos na água como a maioria dos traçadores químicos geralmente utilizados (Kendall & McDonnel, 1998).

No caso particular dos sistemas hidrominerais, as águas “ guardam em memória” as características isotópicas relacionadas com o ambiente hidrogeológico em que se enquadram, particularmente a sua composição isotópica original (Sousa Oliveira, 2001). A sua composição original pode ser retida durante longos períodos, da ordem dos 10000 anos, desde que essas águas não tenham sido expostas a temperaturas superiores a 60^o-80^oC (IAEA, 1981), ou intervenientes em processos bioquímicos em que intervenham microorganismos com interferência nos ciclos do carbono. Nas águas minerais, observa-se frequentemente um enriquecimento em ^{18}O , devido à interação entre a água e a rocha do aquífero. Normalmente, não existe enriquecimento em ^2H , uma vez que a grande maioria das rochas dos reservatórios dos sistemas hidrominerais são pobres em hidrogénio (Guerra, 2015).

No caso dos ^{18}O e ^2H da água, o primeiro padrão adotado foi introduzido por Craig em 1961, e foi definido por SMOW (*Standart Mean Ocean Water*), que

correspondia à composição isotópica de uma água igual a águas oceânicas. O padrão que é usado nos dias de hoje é o VSMOW (*Vienna Standart Mean Ocean Water*), que corresponde ao padrão relativo a uma amostra de água do mar destilada e modificada com uma composição isotópica próxima da SMOW. Em 1961, Craig estabeleceu uma relação linear entre $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^2\text{H}$, designada pela “reta das águas meteóricas mundiais”, ilustrada na figura 13.

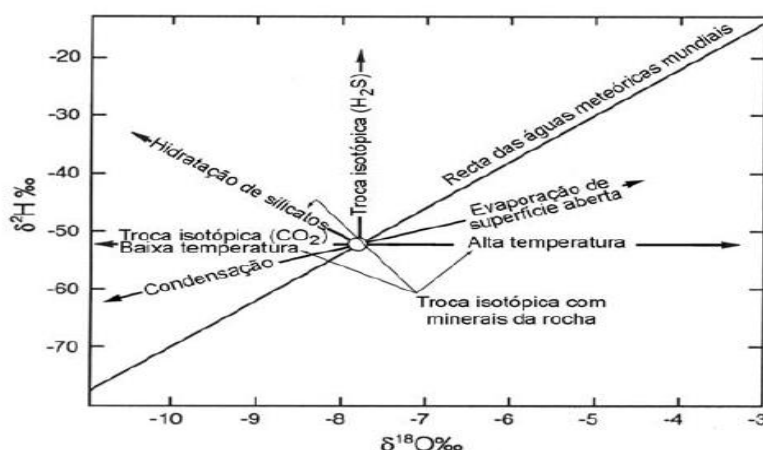


Figura 13. Reta das águas meteóricas mundiais, e processos que podem modificar a composição isotópica das águas meteóricas. (Sousa Oliveira, 2001).

A composição em isótopos estáveis de uma amostra de água é expressa em $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^2\text{H}$. Os valores positivos desta relação correspondem ao enriquecimento de ^{18}O e ^2H da amostra em relação à VSMOW e os valores negativos respetivos ao empobrecimento.

Os sistemas geotérmicos de baixa entalpia (temperaturas inferiores a 100°C) como é o caso do sistema existente em Caldas de Carlão apresenta uma composição isotópica estável, próxima da precipitação atmosférica no local de recarga do sistema. Isto porque a temperatura de interação água-rocha é insuficiente para promover um enriquecimento em ^{18}O (Gonfiantini *et al.*, 1998). Ainda assim, o estudo dos isótopos é extremamente útil para identificar as áreas de recarga do sistema.

É importante salientar que não foram feitas análises isotópicas às águas minerais de Caldas de Carlão para o presente estudo porque não foi possível reunir o capital necessário para que fossem feitas as análises, ainda assim considero que não poderia deixar de abordar este tema, porque de facto, trata-se de uma técnica de estudo de sistemas hidrominerais.

2. Caracterização do sistema hidromineral das Caldas de Carlão

2.1 Resumo histórico do aproveitamento do recurso nas Caldas de Carlão

O culto do banho iniciou-se em Creta entre aproximadamente 3000 a.C. e 1450 a.C. (Rodrigues, 2011). Este culto traz enormes benefícios a este povo e é depois transmitido à civilização romana (Rodrigues, 2011). Os Romanos são os primeiros a descobrir o prazer e bem-estar proporcionados pelos banhos, nomeadamente através da alternância entre os banhos quentes, as saunas e as águas frias (Pinto & Mangorrinha, 2009).

A presença humana na região das Caldas de Carlão está documentada desde os tempos mais recuados da pré-história, pinturas e gravuras rupestres como Pala Pinta (Figura 14) em Carlão e Botelinha em Pegarinhos) são testemunhos vivos dessa presença (Serenó, 1974).



Figura 14. Pala Pinta em Carlão (Santos, 1972)

A utilização das águas termais no território português é pois muito anterior à fundação da nacionalidade. Povoados construídos nas imediações de fontes ou de nascentes termais tomaram a designação de “caldas”, “caldelas”, “termas” ou simplesmente “banhos”, de acordo com o período histórico em que tal designação se estabeleceu (Cantista, 2010).

A utilização da água termal na cura de doenças, associada ao seu aproveitamento em espaços de lazer, acompanha o Homem durante toda a sua história, povoados construídos nas imediações de fontes ou nascentes termais tornaram a designação de a história do desenvolvimento dos estabelecimentos balneares e da utilização das águas em Portugal está pois frequentemente associada à cultura romana. Na figura 15 está representado o balneário termal das Caldas de Carlão.



Figura 15. Balneário termal das termas de Caldas de Carlão.

Era por aqui que as populações faziam trânsito de passageiros e mercadorias para o Porto, Braga e outras partes do país, aproveitando a antiga via romana (Sereno, 1974).

Os aquedutos construídos para o transporte das águas e as reminiscências de elementos arquitetónicos nos antigos balneários romanos, são testemunhos disso mesmo, e em Portugal existem diversos exemplos.

A primeira notícia histórica conhecida sobre as águas das Caldas de Carlão vem nas “Memórias Paroquiais” do Pe. Luís Cardoso (1758), onde se diz que estas águas nasciam de baixo de grandes fragas e eram usadas pelas gentes das povoações vizinhas como remédio para várias doenças, e para isso abrigavam-se em cabanas de ramagens (Serenó, 1974).

No ano de 1810, o Dr. Francisco Tavares, médico de D^a. Maria I, na sua obra “Instruções-Cautelas-Práticas” faz descrições destas águas pondo em evidência a sua sulfuração. (Tavares, 1810). Também Lopes (1892) se refere a estas águas como provavelmente sulfúreas férreas, atendendo ao sedimento deixado na sua passagem. Com efeito, à data, segundo o autor, estas águas já eram usadas no tratamento de reumatismo.

A primeira análise mais completa que serviu de base para a entrada em funcionamento do balneário das Caldas de Carlão foi feita pelo Instituto de Hidrologia de Lisboa. Em 1889, o Departamento de Minas organiza uma lista das águas mineromedicinais portuguesas para figurar na Exposição de Paris e nela se incluem as Caldas de Carlão.

Em 1938 o Prof. Pereira Salgado fez análises das águas de Carlão e vem completar o conhecimento que existia em torno das mesmas atribuindo-lhes características de águas hipossalinas, sulfúreas, sódicas, carbonatadas, alcalinas e levemente cloretadas (Salgado, 1938). O conhecimento sobre as águas de Carlão é aprofundado pelo Dr. Bulas Cruz através de um magnífico trabalho publicado em 1942 que identifica um conjunto de quatro nascentes principais: a do Banho ou a Bica de Cima, a do rio, a dos olhos e a da vinha. Paralelamente acrescenta que a nascente principal (a do Banho) tem um caudal de 36000 litros/dia, enquanto as outras fontes brotam em média 5000 litros/dia (Cruz, 1942).

Neste mesmo ano, foi concedido o primeiro alvará de concessão (n.º 2610) a Manuel José Guerra dos Santos Melo. O alvará obrigava a iniciar as “obras de captação da nascente, obrigatoriamente dirigidas por um engenheiro de minas, que teria de apresentar um relatório “sobre a geologia e tectónica do terreno e trabalhos efetuados”. Ordenava, ainda, a demolição dos “edifícios que fazem parte do conjunto balnear atual e que sejam indicados pelo diretor dos trabalhos” e, findos estes, “restabelecido o regime normal das nascentes, a análise química e físico-química e

bacteriológica”. Estas obrigações não terão sido cumpridas mas, embora ilegalmente, os doentes nunca deixaram de as frequentar, tomando banhos em banheiras ao ar livre (D.G. – III série – n.º 190 de 15/8/1942).

De facto, as Caldas de Carlão gozavam de muita fama, mesmo no estrangeiro, em 23/4/1973 o Jornal de Notícias referia que nelas tinha estado, em Agosto de 1971, para tratamento, um pastor metodista norte-americano que trabalhava em França e ali tinha vindo, aconselhado, precisamente, por um médico daquele país (Cortez, 2012).

No mesmo ano de 1973, a concessão foi averbada em nome de Margarida Martins Guerra Santos Melo, única herdeira de Manuel José Guerra Santos Melo (D.G. n.º 109 – III série – de 9/5/1973).

Ainda em 1973, o então presidente da Câmara de Murça, Joaquim Ferreira Torres, interessa-se pela exploração das Caldas e encomenda o “Estudo Hidrogeológico e Programa de Valorização” das mesmas ao Eng.º Simões Cortez, ficando o projeto de urbanização do local e das edificações a construir-se a cargo do Arq. Alfredo da Costa Brandão e o da captação da nascente do Banho a cargo daquele engenheiro.

Com a morte de Joaquim Ferreira Torres, após o 25 de Abril, as termas ficaram abandonadas mas, logo em 1976, o Diário de Notícias, na sua edição de 2/8, traz o anúncio da venda das Caldas de Carlão.

No final da década de 1970, o casal Alves Elias interessa-se pelo local e adquire a propriedade e requer a transmissão para seu nome do alvará de concessão das termas n.º 135, que lhes é concedido em 20/03/1981 (D.R.-III-n.º66). A partir daqui, as nascentes passam a ser controladas pela direção técnica, com visitas periódicas para medir as características das águas e para fazer o levantamento geológico da zona (Cortez, 2012).

Em 1989 (D.R. n.º 118 – II – 23/5), por despacho conjunto dos Ministérios da Saúde e do Comércio e Turismo, na sequência de orientação da Comissão Nacional do Termalismo, foram definidas as vocações terapêuticas de diversos estabelecimentos termais, cabendo às Caldas de Carlão as indicações terapêuticas “doenças da pele e reumáticas e músculo-esqueléticas”.

Em 1996 apresentam-se o Projeto de Beneficiação da Nascente do Banho e o Plano de Exploração, que são aprovados (Cortez, 1996).

Ao abrigo da nova legislação 1990, é celebrado o contrato de concessão de exploração de água mineral natural a que corresponde o nº HM-21 de cadastro e a denominação Caldas de Carlão, concedido a João Augusto Alves Elias (D.R.-III série-9/1/97).

Em 2005, é fixado o perímetro de proteção do aquífero (D.R. n.º 57 – I série B – de 22/3/2005 – Portaria n.º 289/2005).

Em 10/02/2006, a concessão é transmitida para a Empresa Termal de Caldas de Carlão, Lda.

Atualmente as águas sulfúreas são aproveitadas a partir de três captações, uma nascente tradicional (Nascente da Mina) e dois furos verticais, os furos AM1 e AM2. O aproveitamento é feito basicamente em termalismo terapêutico no domínio de doenças reumáticas e músculo-esqueléticas e das vias respiratórias.

2.2 Enquadramento geológico das Caldas de Carlão

A área de estudo localiza-se na Zona Centro-Ibérica do Maciço Ibérico (Ribeiro *et al.*, 1990), figura 16. (Catalán *et al.*, 2004) subdivide a ZCI em três domínios: o Domínio do Olho de Sapo; o Domínio do Complexo Xisto-Grauváquico ou Super Grupo Dúrico-Beirão; e o Domínio Meridional. Em cada domínio, ocorrem algumas particularidades que os distinguem; o primeiro corresponde essencialmente a um complexo plutonovulcânico granítico, o segundo é pautado por uma espessa sequência terrígena designada inicialmente por Complexo Xisto-Grauváquico (e.g., Carrington da Costa, 1950; Teixeira, 1955; Sousa, 1982) e o terceiro a unidades do Neoproterozóico superior/Câmbrico Inferior com estreita afinidade com as da Zona de Ossa-Morena.

O Complexo Xisto-Grauváquico (CXG), também designado por Super Grupo Dúrico Beirão (Sousa & Sequeira, 1987-1989) é uma unidade muito extensa e monótona, sendo constituído essencialmente por xistos e grauvaques, embora possam estar representadas outras litologias como conglomerados ou calcários. Esta unidade divide-se no Grupo do Douro e no Grupo das Beiras (Sousa, 1982), tendo sido posteriormente distinguido o Grupo de Arda-Marofa (Silva *et al.*, 1995).

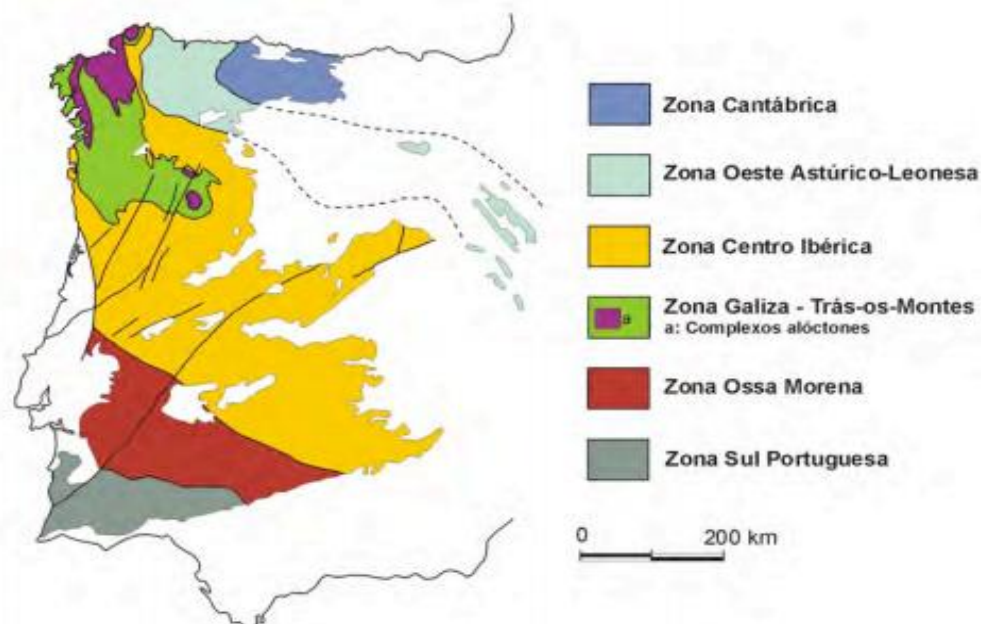


Figura 16. Divisão geológica do Maciço Hespérico (Pérez-Estaún *et al.*, 2004).

As Caldas de Carlão localizam-se na região de Trás-os-Montes e Alto Douro, pertencendo ao distrito de Vila Real (concelho de Murça). A uma altitude próxima dos 200 m, este polo hidromineral engloba diversas emergências de águas termais, que desde tempos longínquos têm sido utilizadas com fins terapêuticos.

O ambiente litológico no qual se enquadram as Caldas de Carlão é constituído por granitos hercínicos sintectónicos que intruíram os metassedimentos do Complexo Xisto-Grauváquico (Cortez, 2012). As nascentes surgem próximo da zona de contacto entre estes granitos e a formação da Desejosa, integrada no Complexo Xisto-Grauváquico (Sousa, 1982), ver figuras 17, 18 e 19 relativas ao enquadramento geológico.

Em consequência da ação das tensões inerentes à orogenia alpina (entre 200 e 12 milhões de anos antes da nossa Era) formou-se uma rede de falhas orientadas NNE-SSW, NE-SW e NW-SE, cortadas por outras, transversais, que dividiram aquele maciço em blocos perfeitamente identificáveis na Carta Hidrogeológica de Portugal, onde são visíveis as linhas tectónicas resultantes daqueles movimentos orogénicos (Cortez, 2012).

A zona de contacto é atravessada por diversos filões quartzosos e aplito-pegmatíticos. A intrusão aplito-pegmatítica desempenhará um papel fundamental constituindo a via de circulação da água mineral (Acciaiuoli, 1952). As Caldas de Carlão estão relacionadas com as linhas tectónicas do vale do Tua, duas falhas de orientação geral NNE-SSW, com ligação provável entre si por meio de outra falha de orientação NW-SE, nitidamente indicada pela morfologia do vale (Cortez, 1981). As duas falhas de orientação NNE-SSW são normais ao anticlinal de Carviçais, estrutura a que pertencem os terrenos da zona. Relativamente à outra falha de orientação NW-SE, situada a poente, será responsável pela circulação da água mineral (Cortez, 2012). Em 1973, Aires-Barros classificou a rocha xistenta como micaxisto biotítico com mica branca, lépido-granoblástico médio a grosseiro, atravessado por vénulas de quartzo granular dispostas a favor da foliação da rocha. A rocha granítica, que representa a maioria da área estudada, corresponde a um granito hercínico de duas micas, sin-tectónico relativamente a D3, de grão fino a médio. Por vezes regista a presença de turmalina, e também de massas feldspáticas de pequenas dimensões (Cortez, 2012).



Figura 17. Enquadramento das Caldas de Carlão e localização dos furos de captação AM1 e AM2.

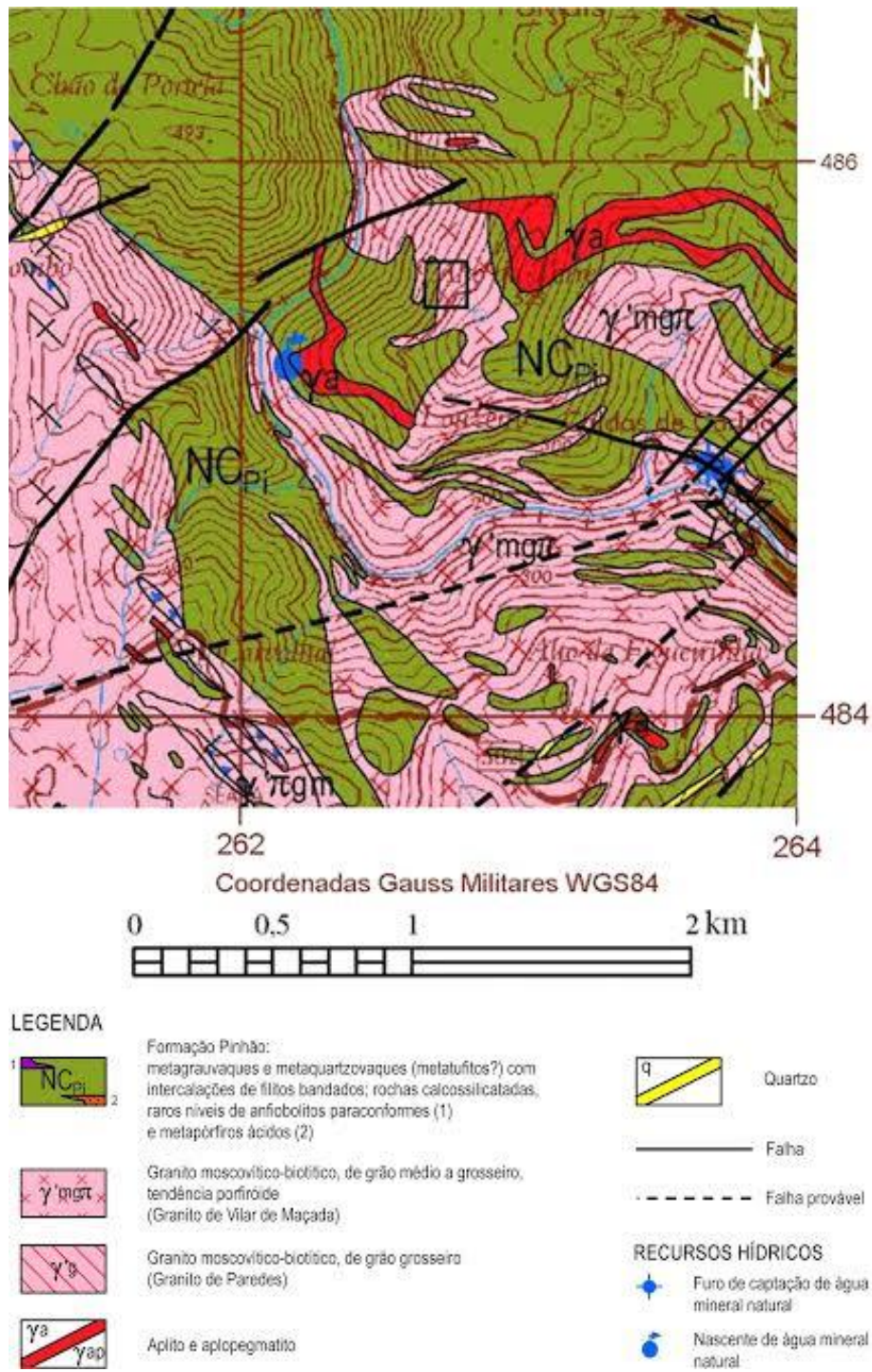


Figura 18. Enquadramento geológico, excerto da carta geológica da zona envolvente às Caldas de Carlão.

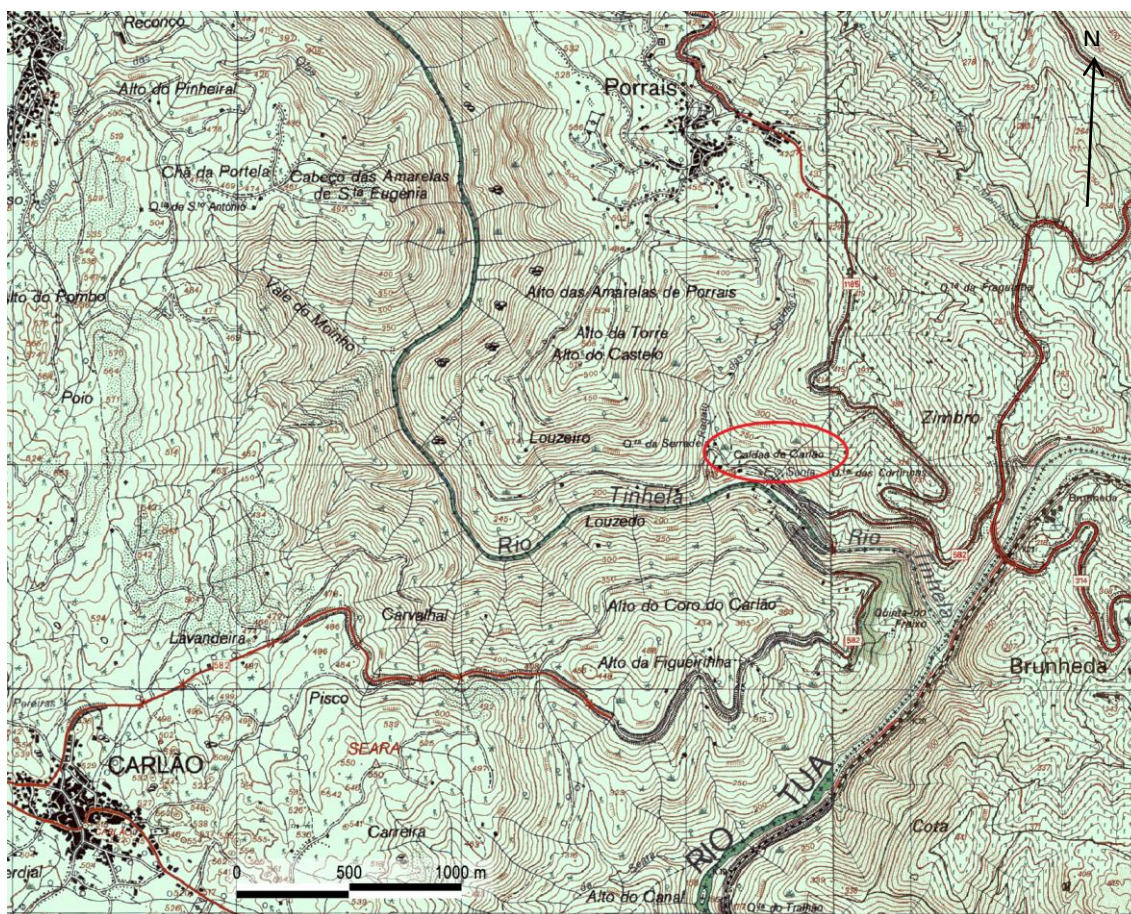


Figura 19. Mapa topográfico da zona envolvente às Caldas de Carlão.

2.2.1 Geologia Local

Do ponto de vista litológico existem dois tipos de terrenos no local, os de natureza metassedimentar associados à Formação da Desejosa, e os terrenos de natureza granitóide. É importante referir ainda, que se verifica a existência de massas e/ou filões pegmatitoaplíticos quartzosos e um filão de lamprófiro.

Afloramentos granitóides

Estes afloramentos representam grande parte da área estudada, e correspondem a um granito hercínico de duas micas, sin-tectónico relativamente a D3, geralmente de grão fino a médio, enquadrado no batólito de Borbela, Lamares, Samão e Juguelha (Pereira, 2000). Estes corpos granitóides apresentam grande heterogeneidade no que respeita a granulometria, composição mineralógica e textura. Na sua composição mineralógica acontece, por vezes, a existência de turmalina negra e de andaluzite com dimensões centimétricas. Na textura é frequente a presença de

foliação observável entre NW-SE e WNW-ESE, bem marcada nos sectores mais tectonizados (Sousa Oliveira, 2014). A situação de teto de batólito e a estruturação do encaixante fazem com que por vezes os afloramentos graníticos ocorram de forma suprajacente ao material metassedimentar.

Afloramentos Metassedimentares

Estes afloramentos ocorrem com maior frequência nos sectores relativos à parte central da zona de trabalho, e correspondem a metassedimentos da Formação da Desejosa (Sousa, 1982) e são afetados através de fenómenos de metamorfismo de contacto devido à instalação de rochas subjacentes. Estes metassedimentos de um modo geral possuem um corte litológico diversificado, mas maioritariamente integrado na fácies de metamorfismo térmico. Inicialmente eram constituídas por alternâncias de filitos finos, metagrauvaques e metaquartzograuváques. Quando existem massas granitóides manifestam-se corneanas pelíticas, micaxistos, xistos com adalusite, silimanite e às vezes turmalina. A cor destas rochas é geralmente cinza, mas pode exibir cores mais ferruginosas em zonas mais alteradas (Sousa Oliveira, 2014). Na figura 20 é possível observar o contacto entre as rochas granitóides e as rochas metassedimentares.

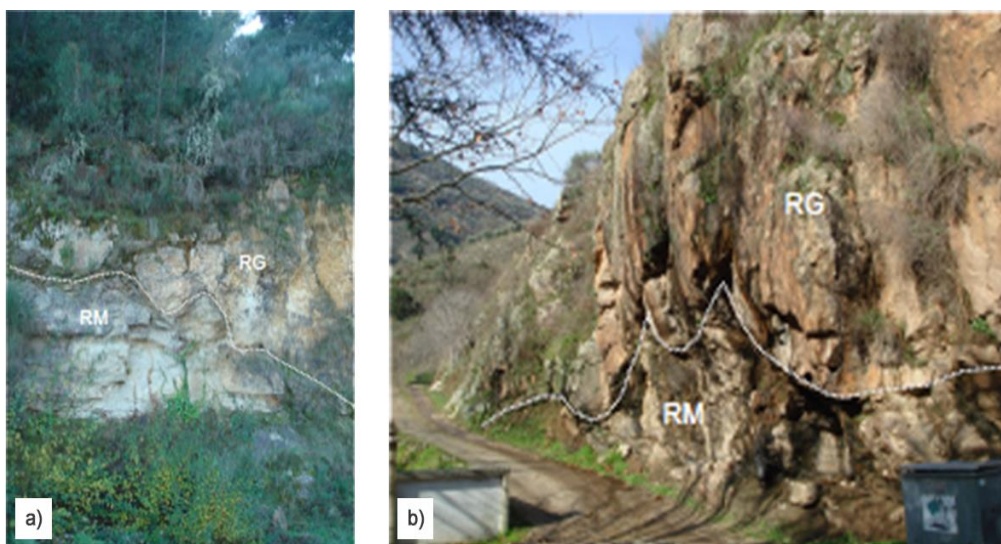


Figura 20. Contacto entre rochas graníticas e rochas metassedimentares (Sousa Oliveira, 2014).

Filões e massas pegmatitoaplíticas quartzosas

Estes litotipos atravessam tanto as rochas de natureza metassedimentar como as de natureza granitóide, e são frequentes na área de trabalho, como é possível observar na figura 20. Podem atingir possanças na ordem da dezena de metro (o

máximo registado foi 20 metros), e a extensão em continuidade é da ordem da centena de metros (o máximo registado foi 200 metros). Com uma composição geralmente pegmatítica, também existem massas com outras composições, nomeadamente com composição aplítica, ou filonetes de quartzo. Estes corpos manifestam-se principalmente segundo as direções entre WNW-ESE e NW-SE que são mais frequentes, e ainda NNE-SSW (Sousa Oliveira, 2014). Muitas vezes, estas massas podem sofrer intensa tectonização, e nas zonas com maior fracturação é frequente a presença de milonitos, material argilizado e superfícies ferruginosas. Ver figura 21.

Filões de rochas básicas – Lamprófiro

O único elemento de rochas básicas na região, é um filão de lamprófiro localizado no sector SE do local das Caldas de Carlão. Este filão tem uma possança de 4 metros, é de grande extensão e continuidade, e intersecta todos os níveis líticos da região, e tem uma direção de ENE-WSW O seu estado de conservação é muito variável, desde muito alterado ou argilizado a relativamente são. Este filão de lamprófiro serve, possivelmente, de “barreira” ao fluxo hídrico subterrâneo (Sousa Oliveira, 2014), e está representado na figura 22.



Figura 21. a) filão pegmatítico quartzoso (PAQ) em rocha metassedimentar; b) filão quartzoso (Q) em rocha metassedimentar; e c) filão pegmatítico aflorante perto da entrada em Caldas de Carlão (Sousa Oliveira, 2014).



Figura 22. Aspetos do filão lamprófiro. a) fragmentos com alguma alteração; b) rocha muito alterada; e c) vista do filão alterado no lado esquerdo do talude (Sousa Oliveira, 2014).

2.3 Enquadramento hidrogeológico das Caldas de Carlão

No setor Norte de Portugal continental, as ocorrências de polos de água subterrânea resultam da conjugação de fatores geomorfológicos, litológicos, estruturais e geotectónicos. A emergência de algumas águas minerais situa-se em domínios intrametassedimentares, contudo a sua tipologia hidroquímica está geneticamente associada a ambientes granitóides ocorrentes em profundidade (Carvalho, 2006).

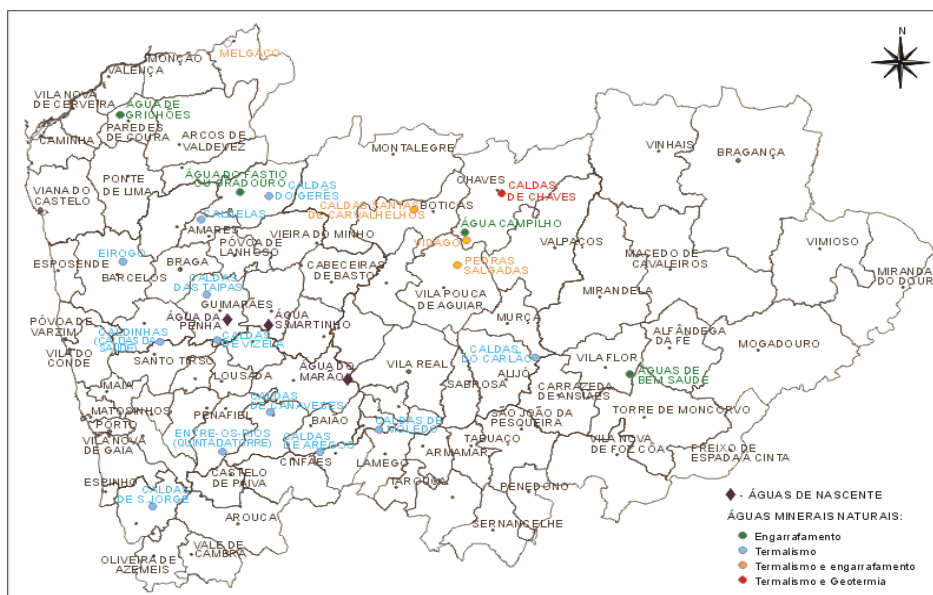


Figura 23. Mapa de ocorrências hidrominerais que ocorrem no Norte de Portugal (LNEG, 20/01/2016).

Na região de Trás-os-Montes e Alto Douro (NE de Portugal continental) existe um vasto leque de ocorrências hidrominerais com tipologia hidroquímica diversificada, cuja origem e localização são condicionadas principalmente por fatores geológicos/geomorfológicos. A variedade de aproveitamentos atualmente existente e a disponibilidade deste recurso hidromineral, quer em diversidade, quer em quantidade, aponta para um recurso geológico que, explorado de uma forma sustentada nas suas múltiplas valências, poderá contribuir e estimular o desenvolvimento socioeconómico da região (Sousa Oliveira *et al.*, 2012).

Segundo Sousa Oliveira (2014) as características físico-químicas das águas subterrâneas, como o pH, a temperatura, a mineralização total, a natureza dos componentes iónicos, entre outros, traduzidas na diversidade hidroquímica, dependem do contexto litoestrutural e tectónico enquadrante do circuito geohidráulico, da profundidade atingida, do tempo de residência, da velocidade de fluxo, dos fenómenos modificadores até à emergência e da comunidade microbiológica associada, entre outros fatores.

Atualmente na maioria destes polos não se associa qualquer tipo de aproveitamento. No entanto, é do conhecimento geral que, no passado, as águas minerais foram utilizadas pelas populações locais em práticas terapêuticas populares (Sousa Oliveira, 2014).

O polo hidromineral de Caldas de Carlão enquadra-se no grande grupo das águas bicarbonatadas, sódicas, sulfúreas fluoretadas e alcalinas típicas das regiões de Trás-os-Montes e Alto Douro e também do Minho e das Beiras.

As nascentes de Carlão emergem na base de uma encosta do vale encaixado onde corre o rio Tinhela, um afluente da margem direita do rio Tua. As nascentes situam-se entre os 200 e 500 m, sendo conhecidas algumas emergências designadas por: Banho, Bica de Cima, Nascente Grande ou Mina, que é a nascente mais importante e a única que é captada. A água brota a uma temperatura de 27,5°C e é sulfúrea; Rio ou Amieiro, onde a água emerge a uma temperatura de 27°C; Estômago, Vinha ou Tapada do Chalé, aqui a água tem uma temperatura de cerca de 20°C ; Olhos, a água emerge a 23°C, mas neste caso não é sulfúrea (Sousa Oliveira *et al.*, 2005).

Recentemente, em 2014/2015, foram desenvolvidas duas novas captações por furos que são alvo de referência neste trabalho. Na figura 24 está representado o aspecto geral das Caldas de Carlão, bem como os locais dos furos de captação AM1 e AM2 e a nascente da Mina.

Atualmente o aproveitamento do recurso mineral das Caldas de Carlão é feito a partir da nascente da Mina e dos furos AM1 e AM2, onde a água emerge devido ao seu artesianismo que fornece o caudal necessário. A água mineral é quente, de formação e circulação em profundidade, circulando de baixo para cima até emergir (Cortez, 2012).

As águas hidrominerais das Caldas de Carlão são utilizadas desde os tempos primordiais com fins terapêuticos, estas águas termais são indicadas para o tratamento de doenças dermatológicas, reumáticas, músculo-esqueléticas e digestivas através de balneoterapia e ingestão (Alencão *et al.*, 2005).

O período de funcionamento das termas das Caldas de Carlão é entre Maio a Outubro, e consomem-se anualmente cerca de 880 m³ de água para o aproveitamento de água mineral (Cortez, 2012).



Figura 24. Aspeto geral das Caldas de Carlão com indicação do edifício termal/balneário, da nascente da Mina, e dos furos de captação AM1 e AM2 (Sousa Oliveira *et al.*, 2015).

2.4 Caracterização climática da zona das Caldas de Carlão

2.4.1 Temperatura

Os valores foram retirados da estação meteorológica de Folgares/Vila Flor, por falta de dados existentes no próprio concelho de Murça. Trata-se da estação meteorológica mais próxima da área em estudo, tal como a estação de Vila Real referida abaixo.

Analisando a temperatura média mensal (figura 25) verifica-se que o valor mais elevado regista-se no mês de Agosto, com 21,2°C, enquanto que o valor mais baixo ocorre no mês de Janeiro, com 4,2°C.

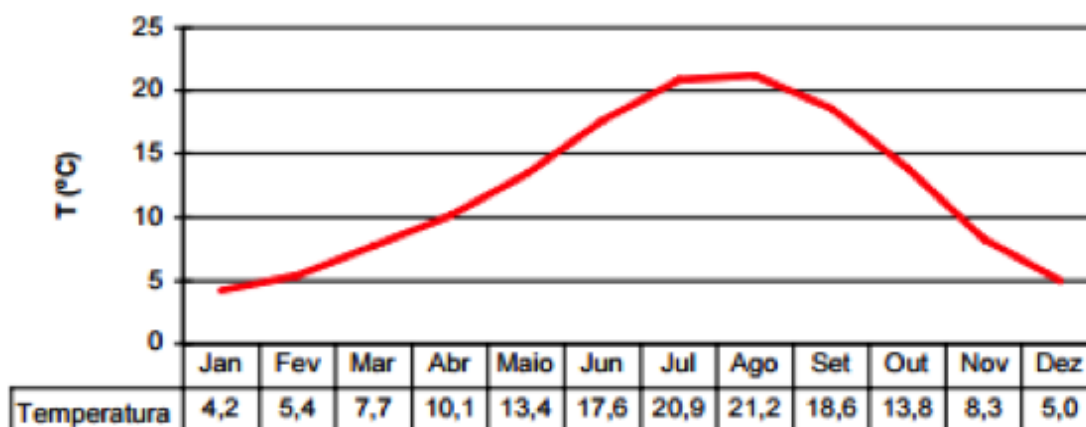


Figura 25. Distribuição da temperatura média mensal, na estação climatológica de Folgares/Vila Flor entre 1961-1990 (INAG)

Na figura 26 e na tabela 3, verificamos o comportamento das temperaturas médias mínima, média e máxima, e ainda o maior valor de temperatura máxima e o menor valor de temperatura mínima, sendo que neste caso, os valores são retirados da estação de Vila Real, por falta de dados existentes no próprio concelho de Murça.

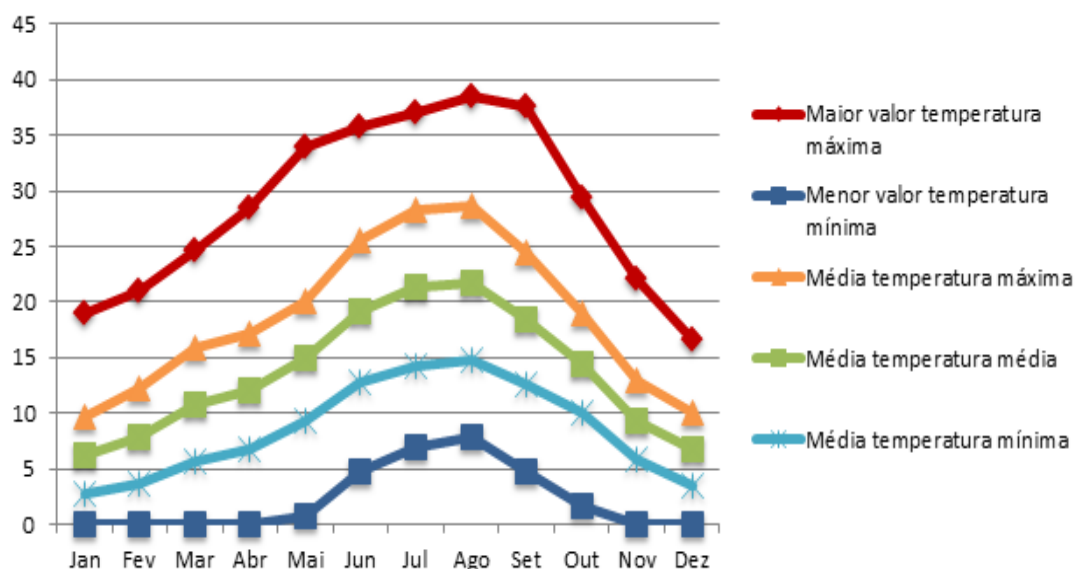


Figura 26. Distribuição da temperatura média mínima, média e média máxima, e ainda a temperatura do maior valor de temperatura máxima e o menor valor de temperatura mínima, sendo que neste caso, os valores foram retirados da estação meteorológica de Vila Real, entre 1981-2010. .

Tabela 3. Distribuição das várias temperaturas registadas na estação meteorológica de Vila Real, entre 1981-2010. .

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Maior valor temp. máx	19°	21°	24,7°	28,4°	34°	35,7°	37,1°	38,4°	37,6°	29,5°	22°	16,7°
Menor valor temp. mín	-4,9°	-3,3°	-5,7°	-1,4°	4,7°	4,7°	7°	7,8°	4,8°	1,6°	-2,1°	-3,9°
Média temp. máx	9,7°	12,2°	15,8°	17,1°	20,4°	25,5°	28,2°	28,6°	24,4°	18,9°	12,9°	10,1°
Média temp. média	6,3°	7,9°	10,8°	12°	14,9°	19,2°	21,3°	21,7°	18,5°	14,4°	9,4°	6,8°
Média temp. mín	2,8°	3,6°	5,7°	6,8°	9,4°	12,8°	14,3°	14,8°	12,6°	10°	5,8°	3,4°

O comportamento geral das diferentes temperaturas é semelhante ao comportamento da temperatura média, ou seja, tanto a temperatura média máxima, como a temperatura média mínima, registam valores superiores nos meses de Verão e menores no Inverno.

O valor de temperatura média máxima mais elevado verifica-se no mês de Agosto, com 28,6°C, seguido de perto pelo valor do mês de Agosto, com 28,2°C. O menor valor regista-se em Janeiro, com 9,7°C, ao que se segue o mês de Dezembro, com 10,1°C.

Em relação às temperaturas mínimas médias, o valor mais baixo verifica-se em Janeiro (2,8°C), enquanto que em Dezembro e Fevereiro também se registam valores bastante baixos, com 3,4°C e 3,6°C, respetivamente. Os valores mais altos observam-se em Julho e Agosto, com 14,3°C e 14,8°C.

Em relação ao maior valor de temperatura máxima, atingiu o valor mais alto em Agosto (38,4°C), e o valor mais baixo em Dezembro (16,7°). O menor valor de temperatura mínima, foi em Março, atingindo os -5,7°C, enquanto que o seu valor mais alto foi registado em Agosto, chegando aos 7,8°C.

A amplitude térmica entre os máximos e mínimos médios acentua-se nos meses estivais, atingindo o valor mais alto em Julho e Agosto (13,9°C e 13,8°C), ao passo que em Dezembro e Janeiro é de apenas 6,7°C e 6,9°C, respetivamente.

Comparando as duas estações meteorológicas, a de Vila Real e a de Folgares/Vila Flor, é possível afirmar que o comportamento da temperatura média mensal é semelhante, mas os dados de Vila Real atingem temperaturas um pouco mais altas durante todo o ano, e são dados mais recentes. Devido a estes fatores a estação meteorológica de Vila Real foi a escolhida para fazer o cálculo do balanço hídrico representado mais a frente neste trabalho.

2.4.2 Precipitação

As precipitações constituem o mais importante componente do ciclo hidrológico, formando o elo de ligação entre a água da atmosfera e a água do solo, principalmente com respeito ao escoamento superficial, engloba todas as formas de humidade transferida da atmosfera para a superfície terrestre.

A análise da precipitação é feita de acordo com os valores médios mensais (do período entre 1981 e 2010) da estação meteorológica de Vila Real. Veja-se a figura 27.

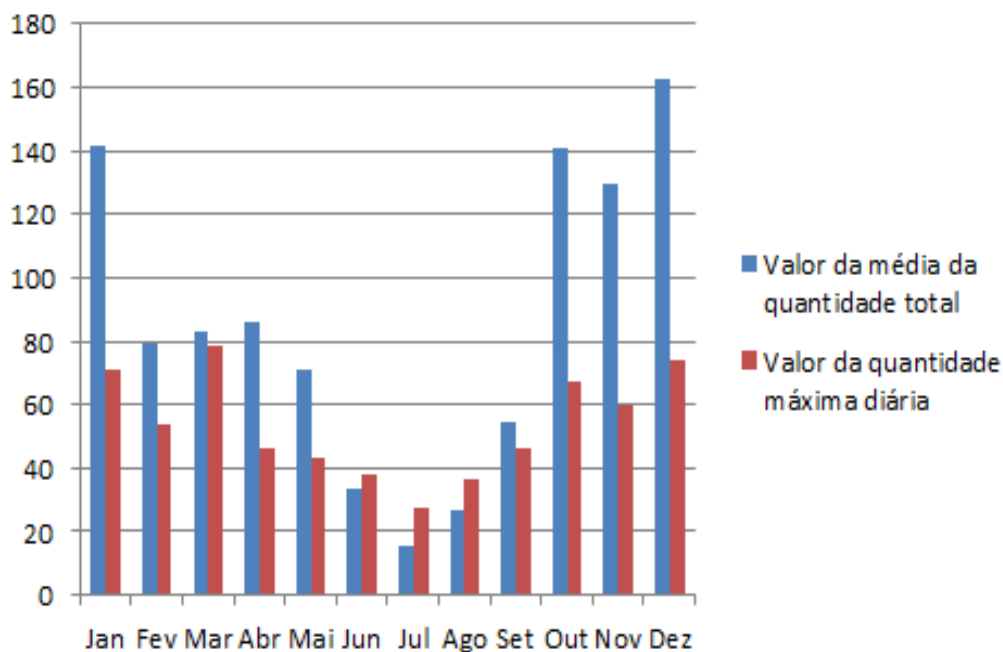


Figura 27. Distribuição do valor da média da quantidade total de precipitação, e ainda o valor da quantidade máxima diária de precipitação (valores mm), na estação meteorológica de Vila Real.

A distribuição mensal da precipitação, do valor média da quantidade total e máxima diária é apresentada na tabela 4.

Tabela 4. Distribuição do valor médio da quantidade total de precipitação, e valor de quantidade máxima diária de precipitação, na estação meteorológica de Vila Real.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Valor médio quant. total	141,9	79,2	82,9	86,2	70,7	33,7	15,1	26,5	54,8	140,5	129,4	162,3
Valor quant. máx. Diária	70,7	53,4	78,4	46,1	43,4	38,1	27,4	36,5	46,2	67,5	59,8	74,1

Desta forma, pela observação da figura 27 e da tabela 4, constata-se que os meses de Julho e Agosto são os que apresentam os quantitativos de precipitação mais baixos, atingindo os 15,1 mm e 26,7 mm respetivamente.

É notório o aumento (para o dobro ou mais) dos valores de precipitação nomeadamente nos meses de Setembro e Outubro, mas é em Dezembro e Janeiro que ocorrem os maiores valores de precipitação analisados, sendo que no último mês do ano o valor de precipitação atinge os 162,3 mm, enquanto que Janeiro tem um valor de 141,9 mm.

Como é possível observar na figura 27, podemos afirmar que em Março o valor de precipitação máxima diária chega aos 78,4 mm, atingindo assim o seu valor mais alto durante todo o ano, seguido de Dezembro que chega aos 74,1 mm. O seu valor mais baixo regista-se em Julho, com um valor a rondar os 27,4 mm.

Veja-se a figura 28 sobre os valores mensais de precipitação nos postos/estações de Folgares/Vila Flor, Fonte Longa e Vila Chã.

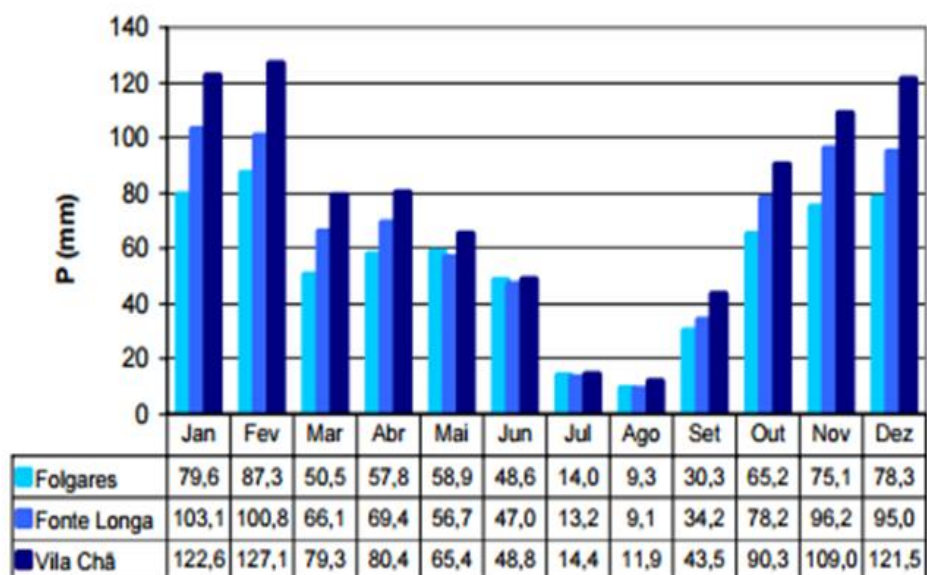


Figura 28. Distribuição dos valores mensais de precipitação nas estações de Vila Chã, Folgares/Vila Flor, e Fonte Longa entre 1961-1990 (Instituto da Água).

A análise da precipitação da figura 28 é feita de acordo com os valores médios mensais (do período entre 1961 e 1990) de três postos/estações que apresentam características mais próximas do regime de precipitação existente Carlão. Desta forma, pela sua observação constata-se que os meses de Julho e Agosto são os que apresentam os quantitativos de precipitação mais baixos, não chegando a ultrapassar os 15mm por mês em cada um dos postos/ estações.

É notório o aumento (para o dobro ou mais) dos valores de precipitação nomeadamente nos meses de Setembro e Outubro, mas é em Janeiro e Fevereiro que ocorrem os maiores valores de precipitação analisados, sendo que é em Vila Chã que ocorrem os maiores valores (superior a 120mm).

Como se pode observar na figura 28, podemos afirmar que os valores de precipitação registados na estação de Vila Chã são mais elevados do que na estação de Folgares/Vila Flor durante todo o ano, à exceção dos meses de Verão em que os valores são muito idênticos, e que é na estação de Folgares/Vila Flor que são registados os valores de precipitação mais baixos durante todo o ano.

Se compararmos as três estações/postos odométricos referidos, vemos que os valores de precipitação diferem em pouco entre si, mas o seu comportamento ao longo do ano, é muito idêntico, ou seja, quando o valor da precipitação se altera (aumenta ou

diminui) essa mudança acontece em todas as estações. Os dados de precipitação na estação meteorológica de Vila Real (figura 27), são valores mais recentes e tal como acontece com a temperatura, registaram-se valores de precipitação maiores. Embora esta estação fique situada mais longe que as outras, foi com base nos valores de precipitação aqui registados que se calculou o balanço hídrico.

2.4.3 Evapotranspiração Potencial e Real/Balanço Hídrico

A evapotranspiração (ET) é uma variável fundamental tanto para o ramo terrestre como atmosférico do ciclo hidrológico. O seu conhecimento é essencial para a gestão dos recursos hídricos nos ecossistemas naturais e agrícolas, particularmente em regadio (Allen *et al.*, 1998). São diversas as aproximações usadas para medir e estimar a ET a várias escalas, dependendo dos dados disponíveis e dos objetivos dos cálculos (Pereira *et al.*, 1999; Farahani *et al.*, 2007; Allen *et al.*, 2011; Glenn *et al.*, 2011; Liou & Kar, 2014).

Segundo Thornthwait, a evapotranspiração é “a quantidade de água necessária para a transpiração de um coberto vegetal numa zona com água suficiente”. Ela pode ser potencial (ETP) quando se dá o máximo de evaporação que se produzirá numa superfície completamente coberta de vegetação e sem limites de abastecimento hídrico, ou real (ETR) quando está condicionada pelas disponibilidades de água (quando são suficientes ETP e ETR coincidem, quando há deficit hídrico a ETR é inferior à ETP).

Assim, a ETP depende, em primeiro lugar, dos fatores climáticos como a temperatura do ar, a humidade do ar, a velocidade do vento, ou o saldo de radiação, e só depois das características do solo e das plantas. Já a ETR depende dos anteriores acrescidos da humidade contida no solo.

Quando o valor da evapotranspiração real (ETR) e potencial (ETP) são iguais, há uma situação de solo saturado. Pelo contrário, há défice de água no solo quando o valor da ETP é superior ao da ETR, ou seja, quando se verificam perdas de água superiores à que “entra”.

Thornthwait, determinou em 1948, uma fórmula empírica para o cálculo da evapotranspiração potencial, cuja expressão é a seguinte:

$$ET_p = 16 D (10 T/I)^a$$

Sendo:

ET_p = evapotranspiração potencial, em mm/mês;

D = fator de ajuste ao número de dias do mês, e ao número de horas de luz solar diária (tabela 5);

T = temperatura média mensal do ar, em °C;

I = índice de calor anual, correspondente à soma dos 12 índices mensais(i).

$$I = \sum_{1}^{12} i$$

$$i = (T/5)^{1,514}$$

a é uma função cúbica de I , determinada pela seguinte fórmula:

$$a = 0,675 \times 10^{-6} \times I^3 - 0,771 \times 10^{-4} \times I^2 + 1,792 \times 10^{-2} \times I + 0,49239$$

Tabela 5. Fator de ajuste (D) ao nº de dias do mês e ao número de horas de luz solar, conforme a latitude e meses do ano (Fontana, 1990).

Lat.Sul	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
5	1,06	0,95	1,04	1,00	1,02	0,99	1,02	1,03	1,00	1,05	1,03	1,06
10	1,08	0,97	1,05	0,99	1,01	0,96	1,00	1,01	1,00	1,06	1,05	1,10
15	1,12	0,98	1,05	0,98	0,98	0,94	0,97	1,00	1,00	1,07	1,07	1,12
20	1,14	1,00	1,05	0,97	0,96	0,91	0,95	0,99	1,00	1,08	1,09	1,15
22	1,14	1,00	1,05	0,97	0,95	0,90	0,94	0,99	1,00	1,09	1,10	1,16
23	1,15	1,00	1,05	0,97	0,95	0,89	0,94	0,98	1,00	1,09	1,10	1,17
24	1,16	1,01	1,05	0,96	0,94	0,89	0,93	0,98	1,00	1,10	1,11	1,17
25	1,17	1,01	1,05	0,96	0,94	0,88	0,92	0,98	1,00	1,10	1,11	1,18
26	1,17	1,01	1,05	0,96	0,94	0,87	0,92	0,98	1,00	1,10	1,11	1,18
27	1,18	1,02	1,05	0,96	0,93	0,87	0,92	0,97	1,00	1,11	1,12	1,19
28	1,19	1,02	1,06	0,95	0,93	0,86	0,91	0,97	1,00	1,11	1,13	1,20
29	1,19	1,03	1,06	0,95	0,92	0,86	0,90	0,96	1,00	1,12	1,13	1,20
30	1,20	1,03	1,06	0,95	0,92	0,85	0,90	0,96	1,00	1,12	1,14	1,21
31	1,20	1,03	1,06	0,95	0,91	0,84	0,89	0,96	1,00	1,12	1,14	1,22
32	1,21	1,03	1,06	0,95	0,91	0,84	0,89	0,95	1,00	1,12	1,15	1,23
33	1,22	1,04	1,06	0,94	0,90	0,83	0,88	0,95	1,00	1,13	1,16	1,23
34	1,22	1,04	1,06	0,94	0,89	0,82	0,87	0,94	1,00	1,13	1,16	1,24
35	1,23	1,04	1,06	0,94	0,89	0,82	0,87	0,94	1,00	1,13	1,17	1,25
36	1,24	1,04	1,06	0,94	0,88	0,81	0,86	0,94	1,00	1,13	1,17	1,26
37	1,25	1,05	1,06	0,94	0,88	0,80	0,86	0,93	1,00	1,14	1,18	1,27

O índice I foi desenvolvido por Thornthwait, porque este notou que a temperatura média não era satisfatória, visto que em alguns lugares era afetada por temperaturas inferiores ao ponto de congelamento.

Depois de calcular, os valores mensais de i , a soma desses valores forneceu-nos o $I =$ o índice de calor anual. Só depois de descobertos estes valores é que podemos descobrir o a e assim descobrir os valores de evapotranspiração potencial.

Tabela 6. Distribuição do valor de temperatura média e precipitação relativos à estação meteorológica de Vila Real, entre 1981-2010. E ainda, os valores de evapotranspiração potencial depois de calculados.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
Temp. média	6,3°	7,9°	10,8°	12°	14,9°	19,2°	21,3°	21,7°	18,5°	14,4°	9,4°	6,8°	
Precipitação	141,9	79,2	82,9	86,2	70,7	33,7	15,1	26,5	54,8	140,5	129,4	162,3	1023,2
ETP	21,7	25,1	40,7	42,1	54,6	73	88,3	97,7	81,6	64,3	35,8	24,4	649,3

Calculados os valores de ETP para os 12 meses do ano, há que calcular o valor de evapotranspiração real, anual (ETR). O cálculo é feito através do balanço entre a precipitação, a evapotranspiração potencial e reserva de água no solo, apresentando-se no final o valor de ETR total, como resultado do somatório das ETR's mensais.

O balanço hídrico é baseado em vários métodos estimativos, cujo princípio é que outros fluxos podem ser medidos ou calculados mais facilmente do que a própria recarga. Os componentes de um balanço hídrico são a precipitação, a temperatura, a evapotranspiração, entre outros, e podem ser medidos ou estimados de forma indireta. Normalmente, a precipitação e a temperatura são medidas de forma direta, os outros componentes são calculados através de fórmulas, tais como a evapotranspiração potencial e real.

Neste trabalho, o balanço hídrico ao nível do solo foi calculado pelo método de Thornthwaite-Matter (Mendes & Bettencourt, 1980), tendo-se iniciado este cálculo no mês de Janeiro, para se ter a garantia de que a capacidade de água utilizável, ou reserva útil (C) está completamente satisfeita. Os valores de água no solo (AS) (água

disponível no solo), que são necessários para determinar os valores da variação de água no solo (ΔAS), obtém-se do seguinte modo:

a) - Meses em que a P > ETP:

O valor de AS obtém-se adicionando a diferença entre P e ETP do mês à água do solo do mês anterior. O limite máximo de água no solo é o valor de C; o restante, se o houver, é considerado excesso.

b) - Meses em que P < ETP:

Nesta situação gera-se um défice de água e o valor de AS é determinado pela expressão:

$$AS = C \times e^{(-L/C)}$$

e = base dos logaritmos naturais;

L = valor da perda de potencial de água (P-ETP) acumulada desde o início do período seco.

Esta fórmula fundamenta-se na hipótese de que a intensidade de evapotranspiração real (ETR) se atenua à medida que diminui o valor de AS.

Em 1976, Custódio & Lamas, propuseram o balanço hídrico estruturado para subsidiar o planeamento agrícola na análise das deficiências hídricas dos cultivos mediante a avaliação da evapotranspiração real. O modelo proposto simula parte do ciclo hidrológico a partir da seguinte equação:

$$P = ETR + EX + \Delta AS$$

Onde:

P = precipitação em mm;

ETR = evapotranspiração real em mm;

EX = excedente de água;

ΔAS = variação da reserva de água utilizada pelas plantas.

É importante referir que calculou-se o balanço hídrico considerando o fator de capacidade de água utilizável com valor igual a 100mm. Estes valores foram previamente usados por Mendes e Bettencourt (1980), para as estações climatológicas da Régua, Vila Real, Pedras Salgadas, Vidago e Chaves.

Veja-se a tabela 7 e a figura 29 sobre o balanço hídrico.

Tabela 7. Balanço Hídrico (ao nível do solo). Estação de Vila Real. Período 1981-2010. Capacidade de água utilizável - 100 mm.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Temp. média	6,3°	7,9°	10,8°	12°	14,9°	19,2°	21,3°	21,7°	18,5°	14,4°	9,4°	6,8°
Precipitação	141,9	79,2	82,9	86,2	70,7	33,7	15,1	26,5	54,8	140,5	129,4	162,3
Nº dias mês	31	28	31	30	31	30	31	30	31	30	31	30
ETP	21,7	25,1	40,7	42,1	54,6	73	88,3	97,7	81,6	64,3	35,8	24,4
P-ETP	120,2	54,1	42,2	44,1	16,1	-39,3	-73,2	-71,2	-26,8	76,2	93,6	137,9
Água do solo (AS)	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	67,5	32,5	15,9	12,2	88,4	100	100
Δ(AS)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	32,5	35	16,6	3,7	76,2	11,6	0,0
L	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-39,3	-112,5	-183,7	-210,5	0,0	0,0	0,0
ETR	21,7	25,1	40,7	42,1	54,6	66,2	50,1	43,1	58,5	64,3	35,8	24,4
Défice (D)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,8	38,2	54,8	23,1	0,0	0,0	0,0
Excedente (S)	120,2	54,1	42,2	44,1	16,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	82,0	137,9

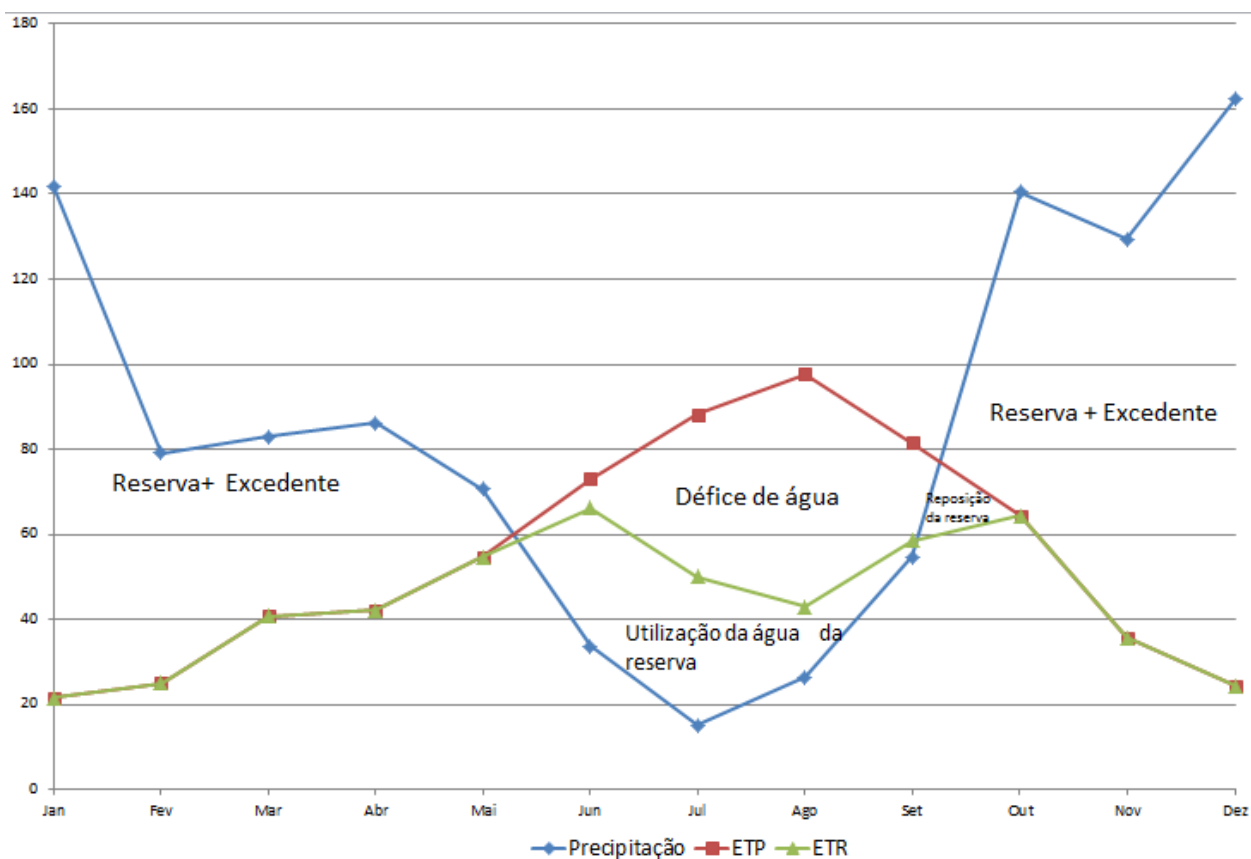


Figura 29. Balanço hídrico ao nível do solo para a estação de Vila Real. Período 1981-2010. Capacidade de água utilizável - 100mm.

O início do ano hidrológico é em Outubro, mas para efeitos de cálculo definiu-se que o início é em Janeiro, e podem salientar-se dois períodos importantes no regime hídrico, evidente na figura 29 e na tabela 7.

Outubro a Maio

Define o período mais chuvoso, em que o valor da precipitação (P) é superior ao da evapotranspiração potencial (ETP), e em que $ETR=ETP$. Corresponde, como é óbvio, ao período em que se dá a reposição da reserva de água no solo, até aos meses de Novembro/Dezembro, verificando-se seguidamente o aparecimento de excedentes. É durante este período e com estes excedentes, que se mobiliza a infiltração que promove a recarga dos aquíferos livres subsuperficiais (porosos e fraturados), bem como a dos profundos fraturados. É também neste período que se verificam as escorrências mais significativas.

Junho a Setembro

Período em que P é inferior à ETP pelo que, em termos práticos, se esgota a água da reserva através da ETR; a que resta no solo não tem significado já que é retida por adsorção. Como a $ETP>P$ toda a precipitação é mobilizada pela ETR e consome-se a água do solo de forma a minimizar o défice resultante entre a ETP e a ETR.

A partir do mês de Junho, e mais significativamente em Julho, salienta-se a manifestação daquele défice, de onde os valores da ETR resultam muito menores que os da ETP. Neste período, de Junho a Setembro, sublinha-se um período mais curto definido pelos meses de Julho e Agosto em que é mais significativa a relação $ETR<ETP$; corresponde ao período mais seco do ano hidrológico.

Em jeito de conclusão deve referir-se que no último período, Junho a Setembro, o regime hídrico evolui no sentido da diminuição da escorrência superficial e secagem do solo. Os caudais que alimentam os cursos de água, são explicados pela descarga subterrânea da água infiltrada no período húmido. Este período, apesar de curto, onde não é feita a reposição de água nos aquíferos, desenvolve-se fundamentalmente um esgotamento de água ao nível do solo e diminuição das reservas dos aquíferos, sendo o escoamento nos cursos de água resultante do escoamento subterrâneo. Sublinha-se ainda que neste período o recurso aos

aqüíferos superficiais, subsuperficiais e profundos é significativamente mais frequente pelo que se induz uma descida apreciável dos níveis piezométricos dos mesmos.

O período de Outubro a Abril caracteriza-se pela reposição das reservas de água ao nível do solo e recarga dos aqüíferos.

O défice desenvolvido entre Junho e Setembro corresponde a aproximadamente 10% da precipitação local. Para responder a este défice é necessário proceder-se à exploração de recursos hídricos subterrâneos.

2.4.4 Infiltração

Infiltração é o nome dado ao processo pela qual a água atravessa a superfície do solo. Este é um importante processo porque afeta diretamente o escoamento superficial que é o componente do ciclo hidrológico responsável pelos processos de erosão e inundações. Depois da água ultrapassar a superfície do solo, ou seja, após a infiltração, a camada superior atinge um valor alto de humidade e as camadas inferiores assumem valores de humidade mais reduzidos. Existe uma tendência para o movimento descendente da água, o que provoca um aumento nos valores de humidade das camadas inferiores, dando origem à redistribuição (Carvalho & Silva, 2006).

Quase todos os trabalhos que têm abordado a hidrogeologia de terrenos do Norte de Portugal, apontam para uma taxa de infiltração a rondar os 20% do valor da infiltração podendo ainda atingir valores superiores a 200 mm/ano relativamente à infiltração ou escoamento subterrâneo. Estas estimativas são baseadas em vários métodos, existindo alguma convergência nos valores fornecidos por cada método e nos valores obtidos para as diferentes regiões onde foram aplicados (Pereira, 1999; Lima, 2001; Oliveira *et al.*, 1997). Neste contexto, na zona das Caldas de Carlão adotando a taxa de infiltração da ordem dos 20% e considerando o valor da precipitação da região, a infiltração atinge valores anuais de 205 mm. O escoamento superficial assume uma percentagem de cerca de 28% da precipitação, chegando a valores anuais muito perto de 292 mm. Os resultados obtidos neste estudo hidrogeológico indicam que mais de metade da precipitação dá origem à evapotranspiração.

3. Prospeção, Pesquisa e Captação de água mineral

O trabalho aqui apresentado apoia-se nos resultados obtidos na zona do polo hidromineral de Caldas de Carlão num inventário de pontos de água, bem como em trabalhos de prospeção geofísica e de pesquisa mecânica, que culminou com a execução de dois furos de captação de água mineral sulfúrea.

3.1 Inventário de Pontos de água

Neste trabalho foi realizado um levantamento de pontos de água, com o intuito de fazer o reconhecimento mais pormenorizado sobre o local em questão. Deste modo podemos compreender e estudar as características da água subterrânea de uma determinada região, neste caso, Caldas de Carlão. Os trabalhos de campo decorreram entre 16/03/2016 até 23/03/2016.

Os parâmetros físico-químicos registados neste inventário de pontos de água foram a condutividade elétrica, a temperatura, o pH, a resistividade elétrica, os sólidos dissolvidos totais, a salinidade e o Eh.

Na figura 30 apresenta-se a distribuição espacial dos pontos de água inventariados, que são fundamentalmente nascentes e poços.

O registo das fichas de campo é apresentado nos anexos.

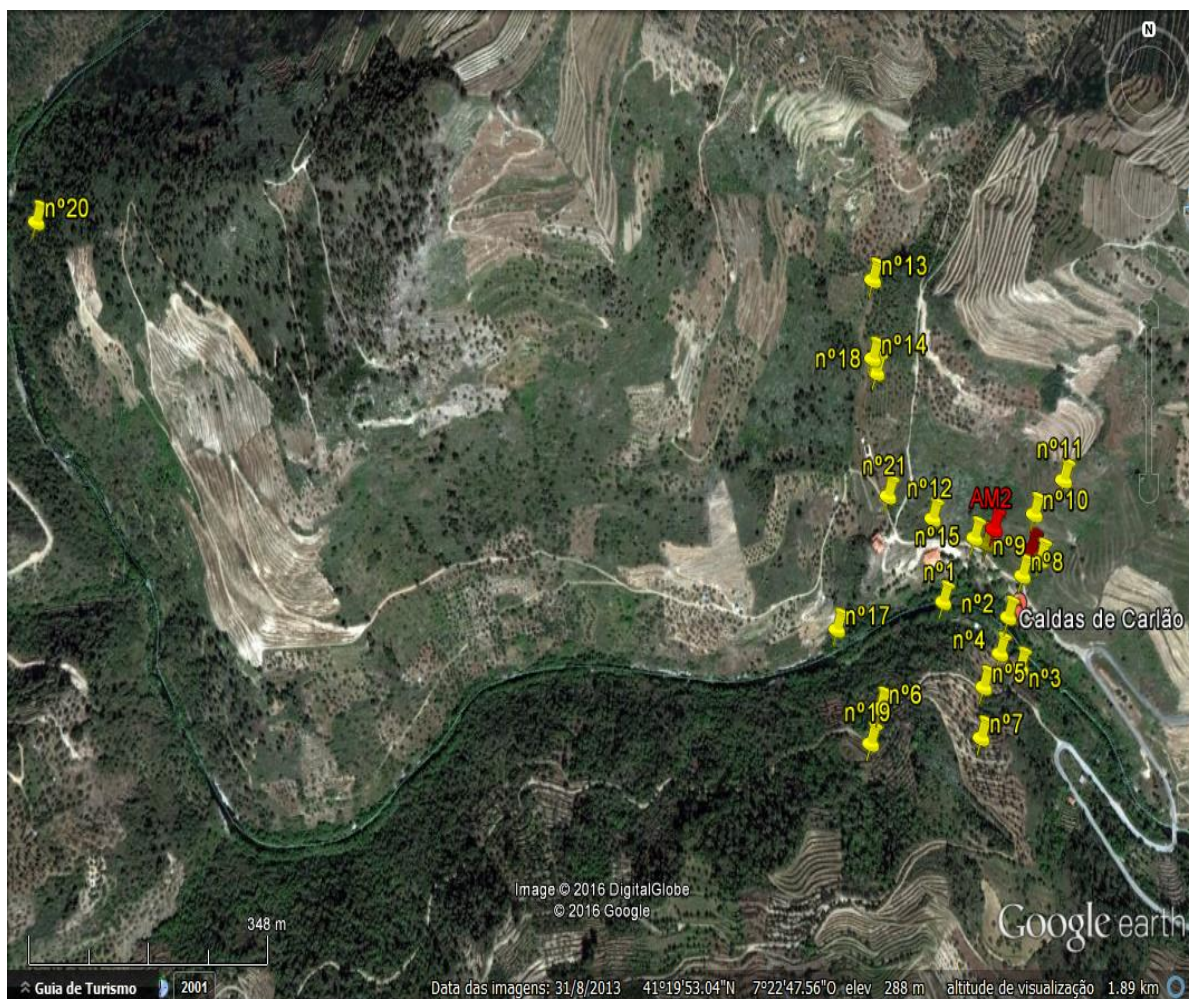


Figura 30. Levantamento de pontos de água realizado na zona envolvente das Caldas de Carlão.

3.2. Prospecção Geofísica

3.2.1. Objetivo

Os trabalhos de prospecção geofísica desenvolveram-se com o propósito de reconhecer as características do subsolo na zona envolvente às Caldas de Carlão. De entre as características a reconhecer referem-se a identificação de unidades geolétricas e eventuais materiais geológicos com elas correlacionáveis, a presença de estruturas e a identificação de estruturas geológicas e polos preferenciais ao desenvolvimento de trabalhos de pesquisa subsequentes, com vista à captação de

água mineral. Os resultados aqui apresentados decorrem da informação constante no relatório técnico-científico (Sousa Oliveira *et al.*, 2015).

3.2.2. Metodologia e trabalhos efetuados

Neste trabalho, as medições de resistividade foram determinadas com um equipamento da marca ABEM, modelo Terrameter SAS 300C, sincronizado com um booster da mesma marca, modelo SAS 2000, que permitiu a injeção de corrente com intensidades até 500mA.

Para maior rapidez e facilidade das leituras, utilizou-se um conjunto multicabo de trinta elétrodos, com separação entre elétrodos de dez metros, o que permitiu um dispositivo com um comprimento total de duzentos e noventa metros.

A georreferenciação tridimensional dos elétrodos foi realizada com recurso a um equipamento do tipo *Global Navigation Satellite System* (GNSS), da marca Ashtech, modelo Mobile Mapper 100, conectado a uma antena externa modelo, ASH111661 que permitiu a receção das frequências *Global Positioning System* (GPS) L1 e L2. Este equipamento determinou as posições em modo *Real Time Kinematic* (RTK), com base nas correlações difundidas pelas estações de referência do projeto SERVIR. Os dados assim recolhidos caracterizam-se por uma precisão posicional melhor que dois centímetros.

Nos locais onde a deficiente receção de satélites não permitiu a utilização do equipamento GNSS (sob coberto vegetal ou em zonas de forte encaixe topográfico), recorreu-se a uma estação total da marca Nikon, modelo DTM330, apoiada em posições determinadas com o equipamento GNSS.

Na aquisição de dados geofísicos foi aplicada a técnica de pseudo-seções por se achar a mais adequada ao estudo das variações de resistividade tanto lateral como vertical. O dispositivo utilizado foi o polo-dipolo com um elétrodo de corrente colocado a uma distância superior a dez vezes o maior espaçamento entre elétrodos de potencial. Para anular o efeito de assimetria do dispositivo, realizaram-se medições duplas em sentido direto e inverso.

Realizaram-se quatro pseudo-secções, designadas PS1 a PS4, com um comprimento individual de duzentos e noventa metros (Fig.31).

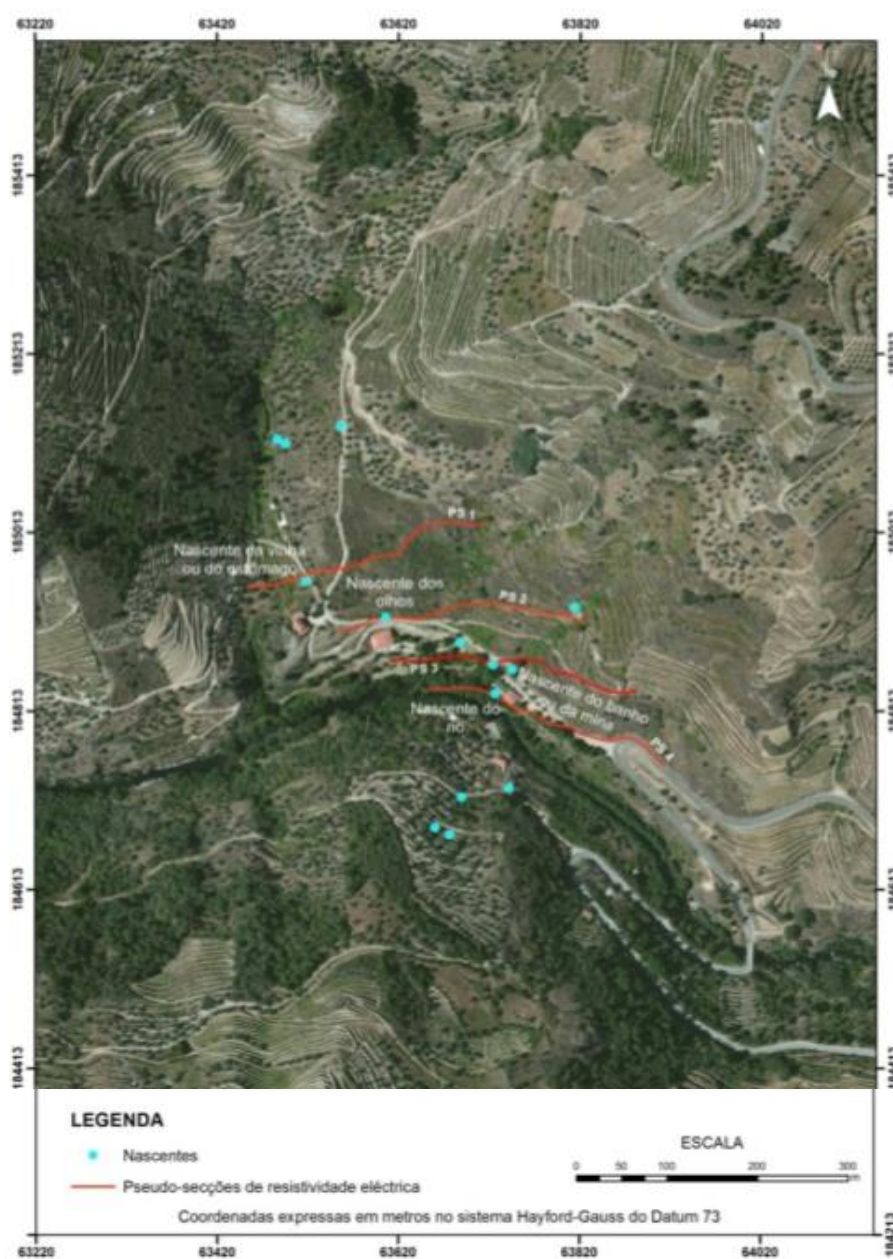


Figura 31. Localização das quatro pseudo-secções efetuadas nos trabalhos de geofísica (Sousa Oliveira *et al.*, 2015).

O número de eléctrodos por pseudo-secção foi trinta, separados entre por dez metros. A profundidade de investigação máxima foi cerca de cento e dez metros.

As pseudo-secções orientaram-se genericamente no sentido este-oeste, de modo a intersectarem os dois grupos de estruturas principais previamente reconhecidos nos trabalhos de cartografia geológica de superfície, com o primeiro

elétrodo localizado a oeste, sujeitas a pequenas variações de direção ditadas pelas características topográficas e características do substrato, nomeadamente a presença aflorante impeditiva da penetração dos elétrodos.

A pseudo-secção PS1 localizou-se cerca de sete metros a norte da nascente da vinha ou do estômago. A pseudo-secção PS2 localizou-se junto da nascente dos olhos. A pseudo-secção PS3 localizou-se a cerca de dez metros a norte da nascente do banho ou da mina, e a pseudo-secção PS4, localizou-se a cerca de dois metros a sul da nascente do rio.

As figuras 32, 33, e 34 mostram alguns aspetos da realização das pseudo-secções.



Figura 32. Pormenor na disposição do multicabo na realização da PS4 junto ao portão de acesso às Caldas de Carlão (Sousa Oliveira *et al.*, 2015).

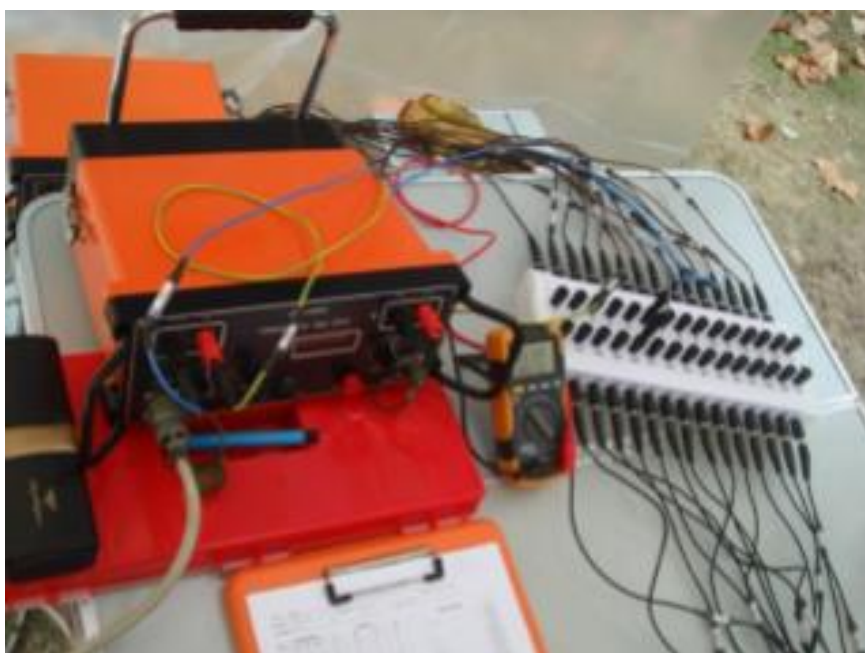


Figura 33. Detalhe do equipamento de controlo (Sousa Oliveira *et al.*, 2015).



Figura 34. Detalhe da ligação do dispositivo a um eletrodo de aço inoxidável (Sousa Oliveira *et al.*, 2015).

3.2.2. Pseudo-secção PS1

Do conjunto das pseudo-secções realizadas nos trabalhos de campo apresenta-se, a título elucidativo, a interpretação da pseudo-secção PS1.

Esta pseudo-secção foi desenvolvida no sentido oeste – este, inicia-se no lado oeste, no eléctrodo 1, e termina no lado este no eléctrodo 30 (Fig.31). Esta é a pseudo-secção localizada mais a norte da área em estudo.

O perfil desta pseudo-secção encaixa quase exclusivamente sobre rochas granitóides, aparecendo as rochas metassedimentares praticamente só na parte final da mesma, a partir dos 280 metros.

Ao longo da pseudo-secção, foram intersectados vários filões e massas assinaladas (Fig.31).

A nascente da Vinha ou Estômago, localiza-se a cerca de 7m a Sul da pseudo-secção, a aproximadamente 65m do seu início.

A pseudo-secção exhibe ao longo de todo o seu desenvolvimento uma unidade geoelectrica superficial com resistividades muito variáveis, de 30 Ω .m a mais de 4000 Ω .m, com uma espessura média de 20 m. O que vemos abaixo dessa unidade poderia resultar da intersecção de estruturas geológicas inclinadas subparalelas á direção da pseudo-secção 1, ou até corresponder a extensas fraturas de descompressão do maciço.

De acordo com a informação geológica do local, neste caso não existe nenhuma estrutura geológica sub-paralela á pseudo-secção, e muito provavelmente deve corresponder a fraturas de descompressão.

Mais abaixo, os valores de resistividade são concordantes com a presença de materiais granitóides alterados a sãos, e eventualmente podemos estar perante a presença de águas minerais com valor mínimo pouco superior a 6 Ω .m até mais de 12500 Ω .m.

O sector mais condutor desenvolve-se imediatamente abaixo da unidade geoelectrica entre os 80 e os 125 m, com valores de resistividade compatíveis com a presença de água mineral, que se enraíza até pelo menos aos 80 metros de profundidade, muito provavelmente está relacionado com a nascente da Vinha ou Estômago.

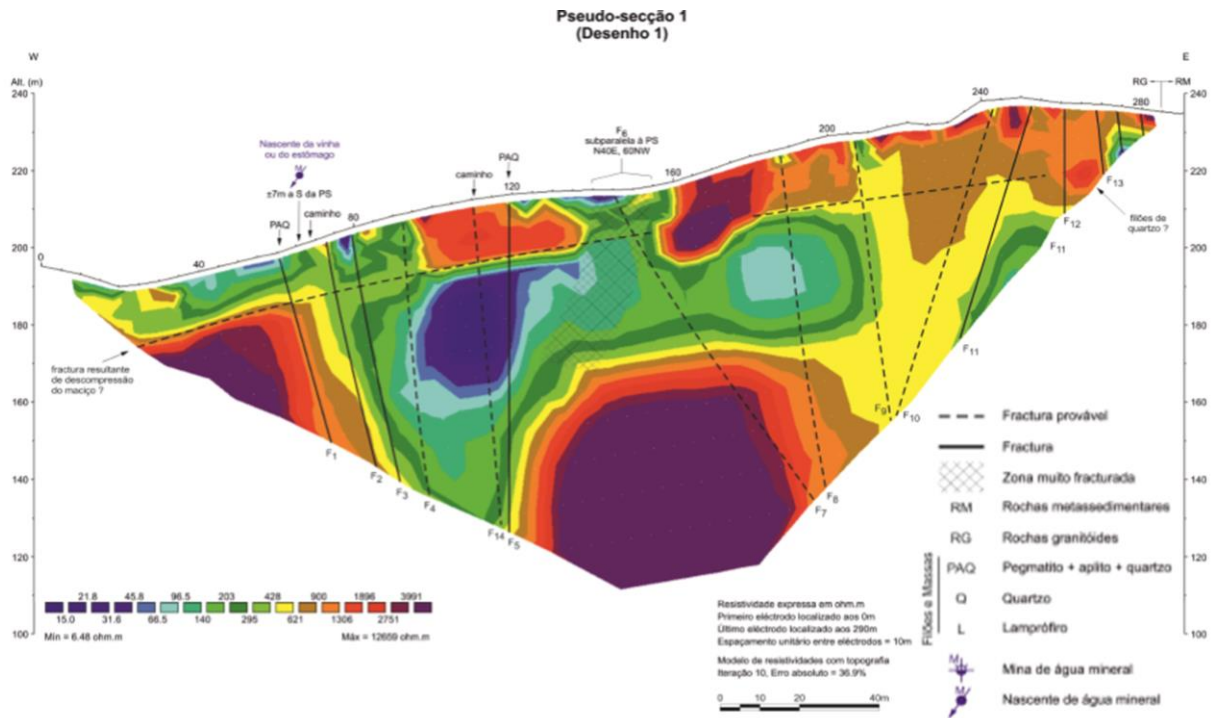
Comparando o resultado da pseudo-secção com a geologia superficial, tudo aponta para uma relação estreita entre o sector mais condutor (já referido anteriormente), e dois grupos estruturais distintos, representados pelas estruturas F1, F3, F5 e F14 com uma direcção genérica de NW-SE.

Para leste, existe um outro sector condutor, sensivelmente entre os 170 m e os 200 m, a profundidades entre os 20 m e os 50 m, com resistividades superiores a 80 Ω .m até valores superiores a 400 Ω .m.

Para profundidades superiores à unidade geoelectrica superficial, do lado oeste, e profundidades superiores a cerca de 50 m do lado este, o sector é confinado por blocos com resistividades muito elevadas compatíveis com a presença de materiais graníticos sãos, como é o exemplo do bloco mais central e profundo, aparentemente confinado por estruturas com direcção genérica de NW-SE, em particular com as estruturas F5, F7, F8 e F14.

Os valores da resistividade modelados permitem apontar qual o sector preferencial ao desenvolvimento de trabalhos de pesquisa subsequentes, com vista à captação de água mineral. Conjugando os resultados geofísicos e os elementos geológicos e hidrogeológicos locais, é possível fazer uma interpretação da pseudo-secção conforme se apresenta na figura 35, onde se destacam zonas de rocha granítica sã, alterada e alterada satura.

a)



b)

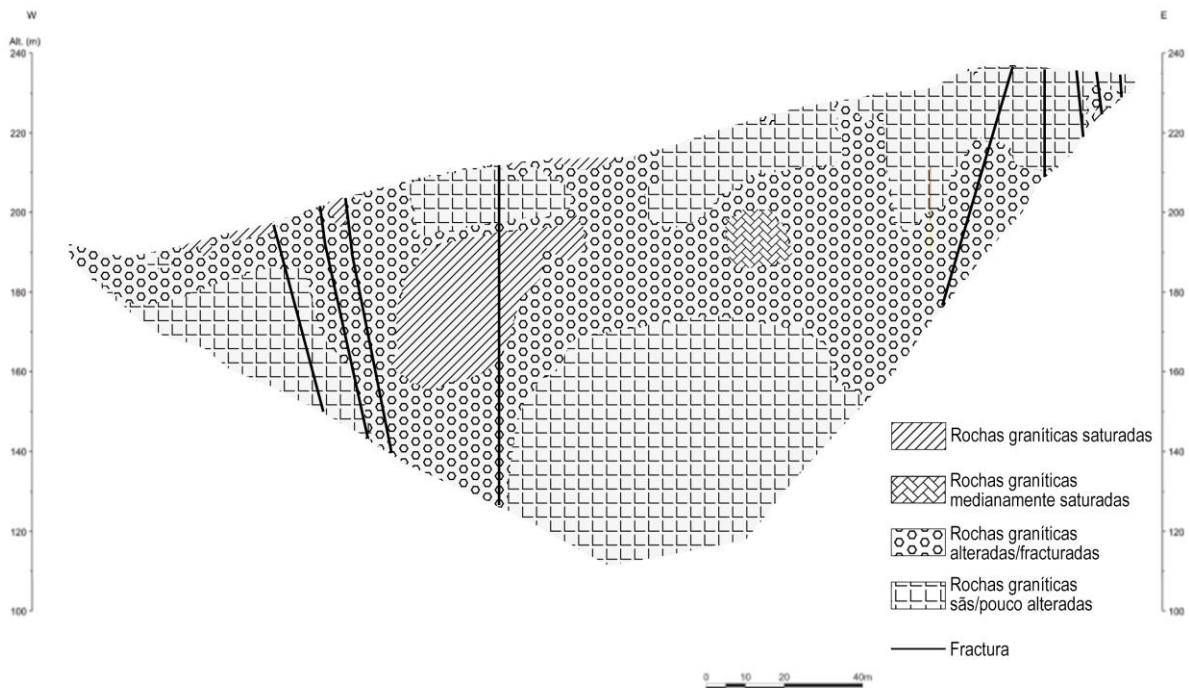


Figura 35. a) Pseudo-secção (Sousa Oliveira *et al.*, 2015); b) Interpretação da pseudo-secção.

3.3 Execução das Captações de água subterrâneas

Na área de Caldas de Carlão, da conjugação de dados de natureza lito-estrutural geofísica e hidrogeológica locais, foram definidos vários locais com potencial hidromineral acrescido suscetíveis de serem intervencionados por sondagens mecânicas. Foram então selecionados dois locais onde se desenvolveram perfurações cujo resultado final foi a construção de duas captações para o fornecimento de água sulfúrea às termas de Caldas de Carlão.

3.3.1. Enquadramento Geográfico

Os furos de captação localizam-se na margem esquerda do rio Tinhela, sensivelmente 35 m a NNW e a 89 m NW da nascente principal (nascente da Mina ou do Banho), respetivamente o furo AM1 e o furo AM2. As coordenadas das bocas dos furos realizados apresentam-se na tabela 8.

Tabela 8. Coordenadas das bocas das captações AM1 e AM2 (Sousa Oliveira *et al.*, 2015).

Furo de Captação	Coordenadas					Folha da CMP 1:25 000
	M_Dt73	P_Dt73	M_ETRS89	P_ETRS89	Cota aproxim. (altitude elipsoidal)	
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	
AMG1	63737,528	184879,223	63733,519	184878,828	188	103
AMG2	63682,698	184911,287	63678,689	184910,891	187	103

Dt73- Sistema de coordenadas Hayford-Gauss, Datum 73

ETRS89- Sistema de coordenadas ETRS89 (PT-TM06)

O método de perfuração adotado neste trabalho foi o método de rotopercussão pneumática, devido às características locais do terreno (formações granitóides). Para além disso, este método apresenta maior rapidez na velocidade de perfuração e na remoção de detritos, permite estimar a produtividade das formações aquíferas durante a perfuração e os custos são mais reduzidos comparativamente com outros métodos.

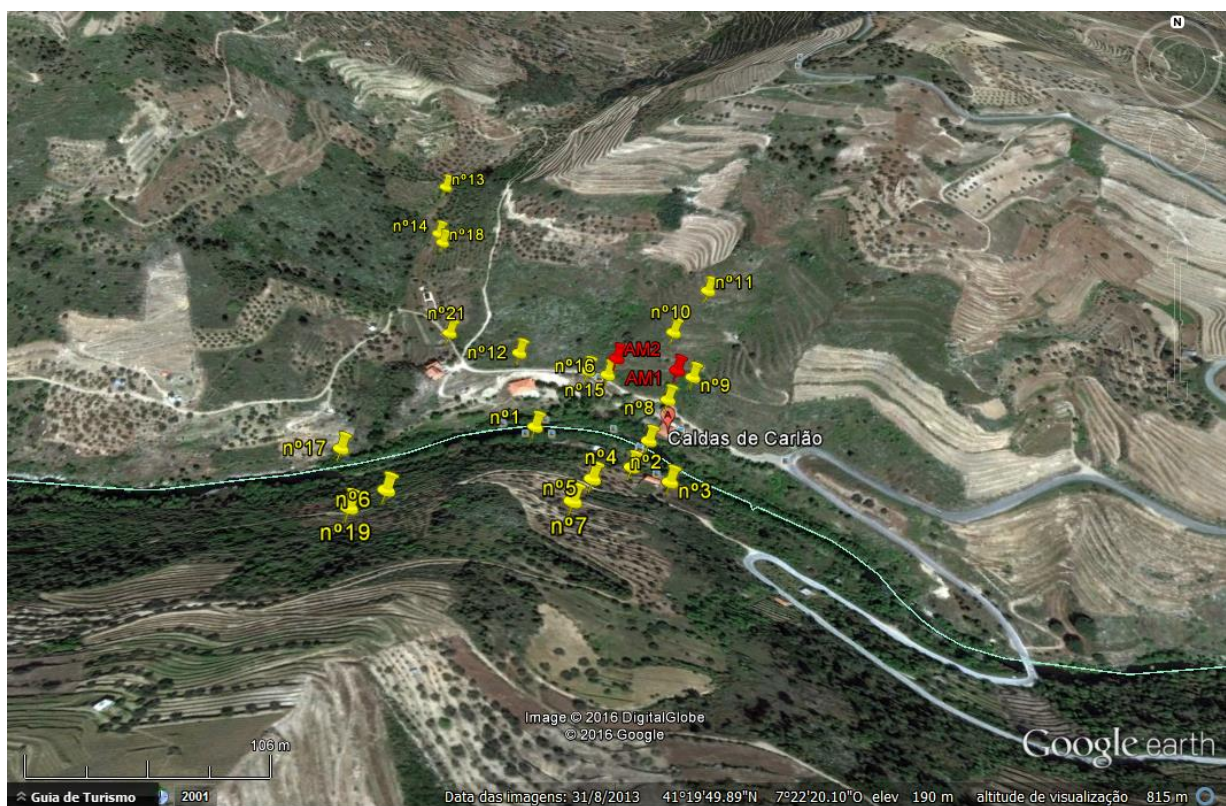


Figura 36. Caldas de Carlão. Enquadramento e localização dos furos de captação AM1 e AM2 e referência a nascentes (minerais/não minerais) envolventes.

3.3.2. Furo de captação AM1

A perfuração da captação AM1 desenvolveu-se em duas fases, inicialmente foi feita uma perfuração de sondagem, com um diâmetro de 6^{1/2}" até aos 151,0 m de profundidade, com o objetivo de identificar e caracterizar o maciço cristalino perfurado, e também a identificação dos níveis produtivos de água subterrânea, mineral sulfúrea ou não.

A segunda fase consistiu em alargar ou reperfurar o furo com o ajustamento dos diâmetros para o entubamento e para transformar o furo de sondagem em furo de captação. Esta operação de alargamento realizou-se com os diâmetros de 17^{3/4}”, 10” e 9”, respetivamente entre as profundidades de 0 m e 6 m, de 0 m a 60 m e de 60 m e 83 m. Veja-se a tabela 9.

Tabela 9. Sondagem/Furo AM1 – elementos relativos a diâmetros de perfuração e profundidades alcançadas (Sousa Oliveira *et al.*, 2015).

Sondagem/furo AM1 – Perfuração								
	Fase 1 (reconhecimento)				Fase 2 (alargamento)			
Φ perfuração (“)	17 ¾”	10”	9”	6 ½”	17 ¾”	10”	9”	6 ½”
Profundidades (m)	-	-	-	0 a 151	0 a 6	0 a 60	60 a 83	-

Confirmou-se o esperado, e a litologia atravessada foi ao encontro do enquadramento geológico e hidrogeológico. A sondagem atravessa uma grande variedade de litologias, granitóides, metassedimentar e filoneanas que se vão repetindo alternadamente ao longo de todo o perfil.

De um modo geral, o material geológico era mais ou menos são, e por isso não houve problemas na estabilização das paredes do furo, ou seja, estavam reunidas boas propriedades geomecânicas. Só ao chegar aos 90 metros é que existia alguma instabilidade com conseqüente queda de fragmentos quartzosos para o interior da captação.

Foram intersectados alguns níveis produtivos de água sulfúrea, cujos valores de profundidade e caudal estão assinalados na tabela 10. Os níveis produtivos intersectados vão ao encontro das informações recolhidas posteriormente através das diagrfias geofísicas. Veja-se a tabela 10.

Tabela 10. Sondagem/Furo AM1 – intersecção de níveis produtivos de águas sulfúreas (Sousa Oliveira *et al.*, 2015).

Níveis produtivos Profundidade de ocorrência (troço)	Caudais acumulados registados em perfuração	Confirmação nas diagrfias geofísicas
(m)	(L/s)	
16 – 19	0,5	X
70 – 73	0,6	X
79 – 81	0,7	X
84 – 85	3,0	X
145 – 148	5,0	Sem diagrfia
Caudal de artesiano repuxante final – 2,5 L/s		

Foi realizado um controlo hidrogeológico de acordo com os critérios sistematizados por Sousa Oliveira *et al.* (2015) no relatório dos furos AM1 e AM2, fizeram-se nomeadamente registos de 3 em 3 metros (comprimento das varas) da litologia atravessada, do tempo de avanço por vara, da presença ou da ausência de água e a sua natureza, do caudal em perfuração e de artesianismo, temperatura, condutividade elétrica e pH da água captada (figura 37). Em simultâneo, foi efetuado o registo dos valores do caudal na nascente da Mina.

Relativamente aos caudais registados durante a perfuração, estes valores aumentaram progressivamente com a profundidade e variaram entre os 0,5 L/s e 5,0 L/s (tabela 10 e tabela 11). O mesmo aconteceu com a temperatura, com um valor máximo registado de 33°C quando a profundidade atingiu o seu máximo, e com um valor mínimo de 25°C aos 15 metros de profundidade. O pH apresentou-se variável, com um mínimo registado de 7,98 e um máximo de 9,03, com tendência a aumentar com a profundidade, mas diminuindo ligeiramente na parte final do furo. No que diz respeito à condutividade, este parâmetro apresentou um comportamento semelhante ao pH e o valor máximo registado foi de 420 uS/cm e um mínimo de 390 uS/cm.

É importante referir que as operações de perfuração em AM1 interferiram com o caudal da nascente da Mina, tendo-se registado uma diminuição do mesmo quando foi intersectado o primeiro nível de água sulfúrea, localizado entre os 16 e os 19 metros de profundidade. No final do processo de perfuração registou-se um caudal de artesianismo repuxante igual a 2,5 L/s.

Tabela 11. Furo AM1- Parâmetros registados na fase de perfuração (Sousa Oliveira *et al.*, 2015).

Parâmetros registados na fase de perfuração de AM1					
	Registos em AM1				Registos na Nascente da Mina ou do Banho
	Caudal (L/s)	pH	Condutividade (μ S/cm)	Temperatura ($^{\circ}$ C)	Caudal (L/s)
Mínimo	0,5	7,98	390	25,0	0,26
Máximo	5,0	9,03	420	33,0	0,55
Média	2,0	8,38	401	28,7	0,37

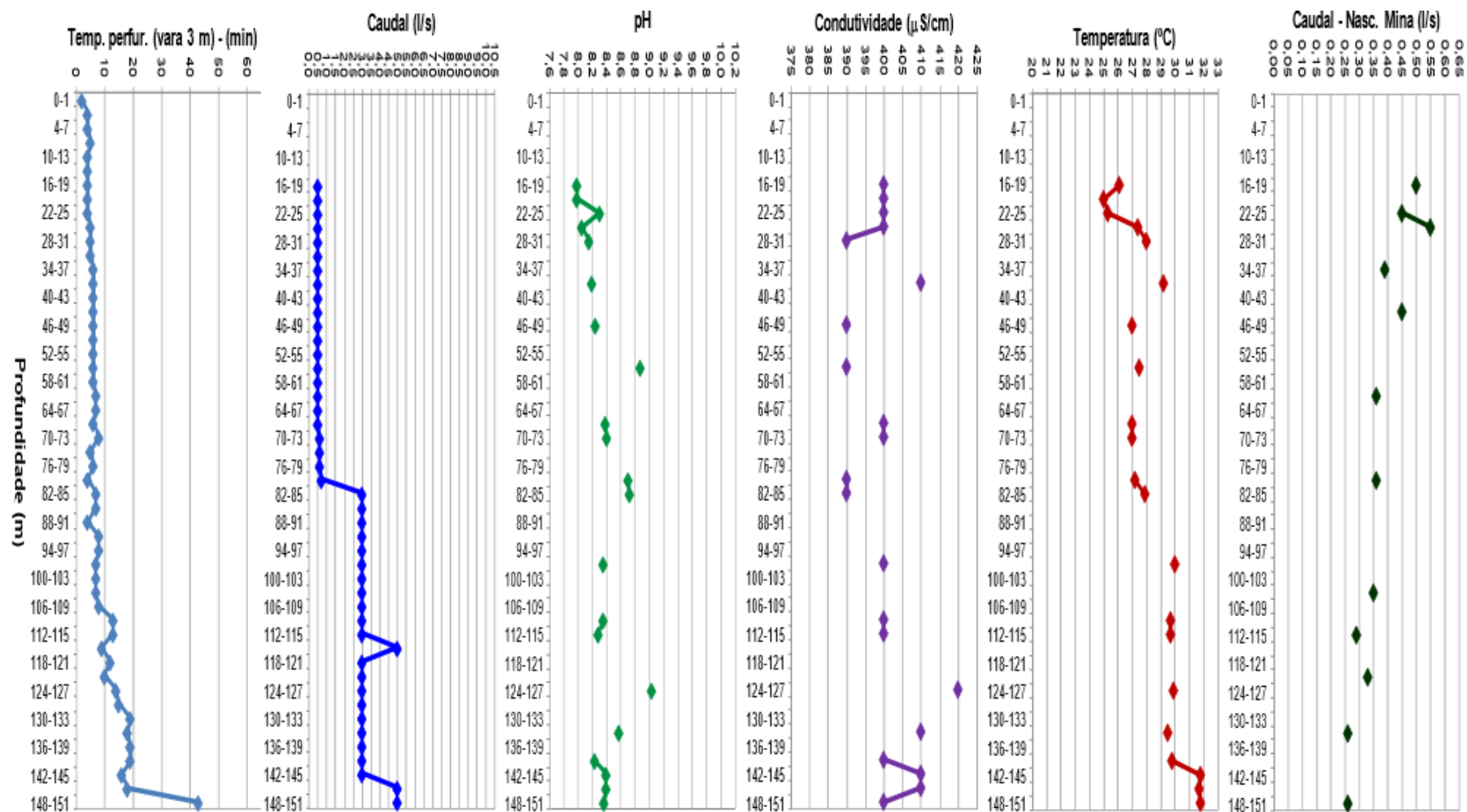


Figura 37. Profundidades, parâmetros físico-químicos registados durante a perfuração a 6^{1/2} e variação do caudal na nascente da Mina (Sousa Oliveira *et al.*, 2015).

Posteriormente, e no sentido de avaliar a estrutura do furo, nomeadamente em relação à posição espacial dos níveis produtivos de água mineral sulfúrea (entradas de água no furo), as características da água intersectada no perfil do furo quanto à sua temperatura e condutividade (resistividade) e as características dos terrenos atravessados, foram desenvolvidas diagrfias geofísicas.

Os parâmetros registados nas diagrfias executadas foram a radioatividade gama natural, o potencial espontâneo, a resistividade, a temperatura e a condutividade. As diagrfias foram executadas até aos 90 m de profundidade, não atravessando assim a totalidade do furo devido a problemas de obstrução localizados àquela profundidade.

As diagrfias facilitaram a decisão sobre o posicionamento da coluna de revestimento definitivo e das zonas a isolar e a impermeabilizar no compromisso da preservação da qualidade do recurso e das suas características, nomeadamente com a valorização do parâmetro temperatura.

A coluna de revestimento de aço normal foi devidamente cimentada no seu espaço anular, entre a coluna e o terreno entre as profundidades 0 m e 6 m. A principal coluna de revestimento (de inox ASI 316L) também foi cimentada em toda a sua extensão no seu espaço anular, entre o terreno e os entubamentos até aos 83 m de profundidade.

No que diz respeito às cimentações para o isolamento, aplicou-se calda de cimento com aditivos aceleradores de presa. As operações de cimentação foram dificultadas devido ao caudal e elevada pressão de artesianismo repuxante. Foi necessário repetir esta operação várias vezes. Para tal, foi necessário repensar todo o processo desde a metodologia, operação e equipamentos especiais de forma a contrariar/anular o efeito negativo do artesianismo na aplicação e tomada de presa da calda de cimento.

Entre as profundidades de 83 m e 151 m o furo não levou qualquer revestimento, ficando em *open hole*, porque as propriedades geomecânicas dos terrenos atravessados assim o permitem.

É feita uma síntese de informação dos elementos relativos ao entubamento e cimentação dos espaços anulares na tabela 12.

Tabela 12. Furo AM1, elementos relativos ao entubamento e cimentação dos espaços anulares (Sousa Oliveira, et al., 2015).

Sondagem/furo AM1 – Revestimento (entubamentos)/cimentação					
Profundidade (m)	Colunas de revestimento (entubamentos)		Open Hole	Cimentação dos espaços anulares	
	Aço normal (EN10217) Φ = 330 mm; E = 4 mm	Aço Inox AISI 316L, Fechado Φ = 168 mm; E = 2 mm		Entre terreno e entubamentos	Entre entubamentos
0 – 6	X	X		X	X
6 – 83		X		X	
83 – 151			X		

Os níveis produtivos com água mineral sulfúrea aproveitados na captação estão localizados entre os 83 m e os 151 m de profundidade (tabelas 13, e anexo nº2), situando-se nos troços definidos entre os 84 m e os 85 m e entre os 145 m e os 148.

3.3.3. Ensaio de Caudal - Captação AM1

A realização dos ensaios de caudal foi desenvolvida com a colocação da bomba submersível a 60 m de profundidade em relação à boca do furo.

A duração do ensaio foi de 2882 minutos (48 horas), distribuídos por: 1) 510 minutos (8,5 horas) com ensaio a caudais escalonados e crescentes; 2) 2370 minutos (39,5 horas) com ensaio de sustentabilidade caudal vs rebaixamento e 3) 2 minutos com recuperação total do artesianismo registado antes do início do ensaio (tabela 14). Os resultados apresentam-se nas figuras 38 e 39.

Durante o desenvolvimento dos ensaios registaram-se os tempos de bombagem, caudais, níveis hidrodinâmicos (estes medidos em relação à boca do furo), temperatura, condutividade e pH. A par disso, também foram registados os caudais no furo AM2 (caudal de artesianismo repuxante) e na nascente do Banho ou da Mina, assim como os parâmetros temperatura, condutividade e pH. Os resultados apresentam-se nas figuras 38, 39, 40 41, 42, 43 e na tabela 13.

Tabela 13. Síntese de parâmetros relativos ao ensaio de bombagem realizado (Sousa Oliveira *et al.*, 2015).

Sondagem/furo AM1 – Revestimento (entubamentos)/cimentação					
Profundidade (m)	Colunas de revestimento (entubamentos)		Open Hole	Cimentação dos espaços anulares	
	Aço normal (EN10217) Φ = 330 mm; E = 4 mm	Aço Inox AISI 316L, Fechado Φ = 168 mm; E = 2 mm		Entre terreno e entubamentos	Entre entubamentos
0 – 6	X	X		X	X
6 – 83		X		X	
83 – 151			X		

Os resultados obtidos mostraram que a bombagem no furo AM1 não produziu efeitos visíveis na Nascente da Mina e no furo AM2 em relação aos parâmetros anteriormente referidos. Alguns desvios a nível do pH poderão estar relacionados com o equipamento e condições de leitura.

A análise dos gráficos dos ensaios de caudal escalonados e da curva característica aponta para um caudal máximo admissível para a exploração de 5 L/s, correspondente a apenas mais 1 L/s que o caudal de artesianismo repuxante.

Sublinha-se ainda a elevada pressão registada no cabeçote do furo em período pós ensaio de caudal que foi de 6,4 bar. Vejam-se as figuras 37, 38 e 39, 40,41 e 42.

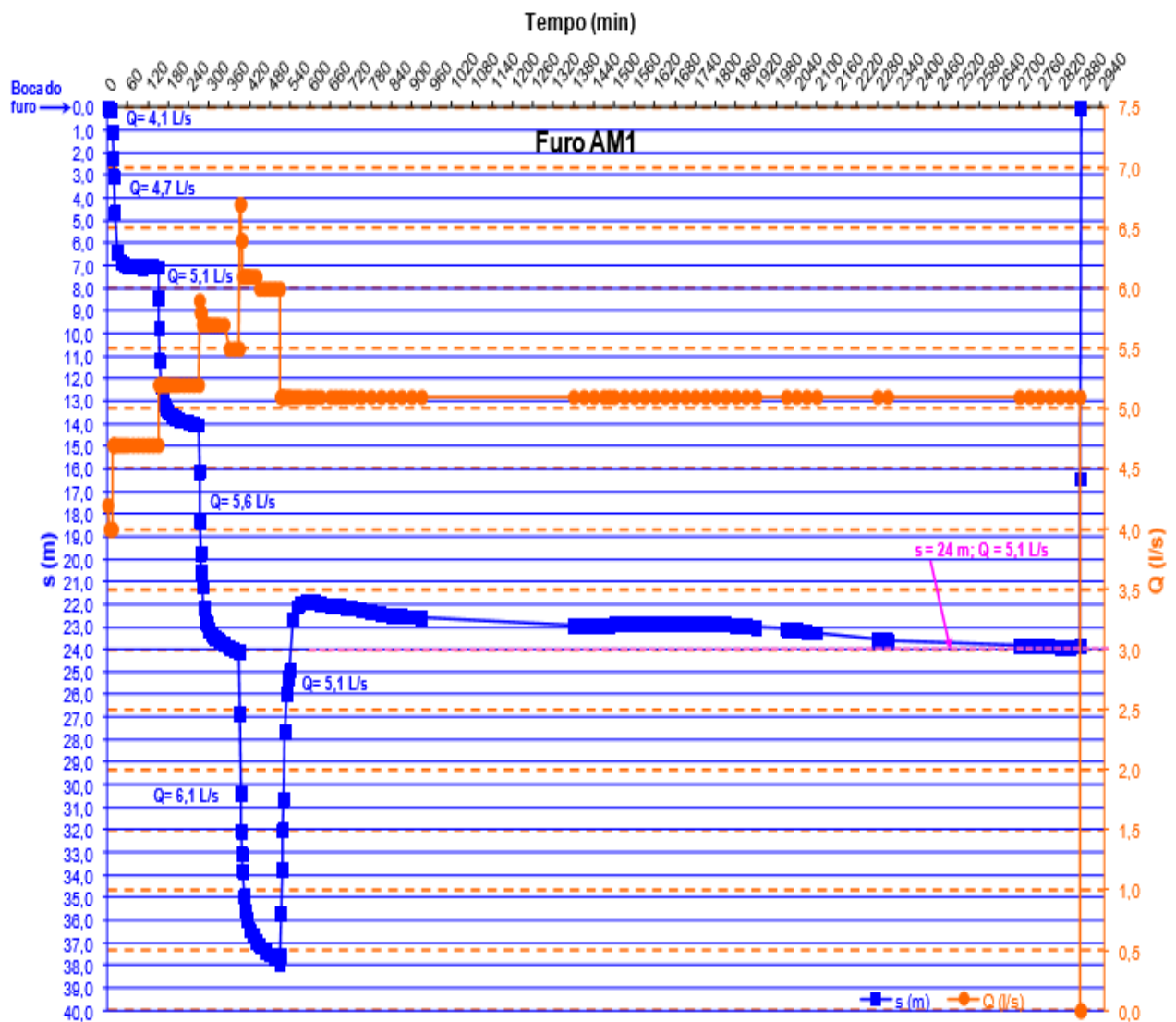


Figura 38. Furo AM1- Ensaio de caudal escalonado. Curva tempo vs rebaixamento (s) e tempo vs caudal (Q) (Sousa Oliveira *et al.*, 2015).

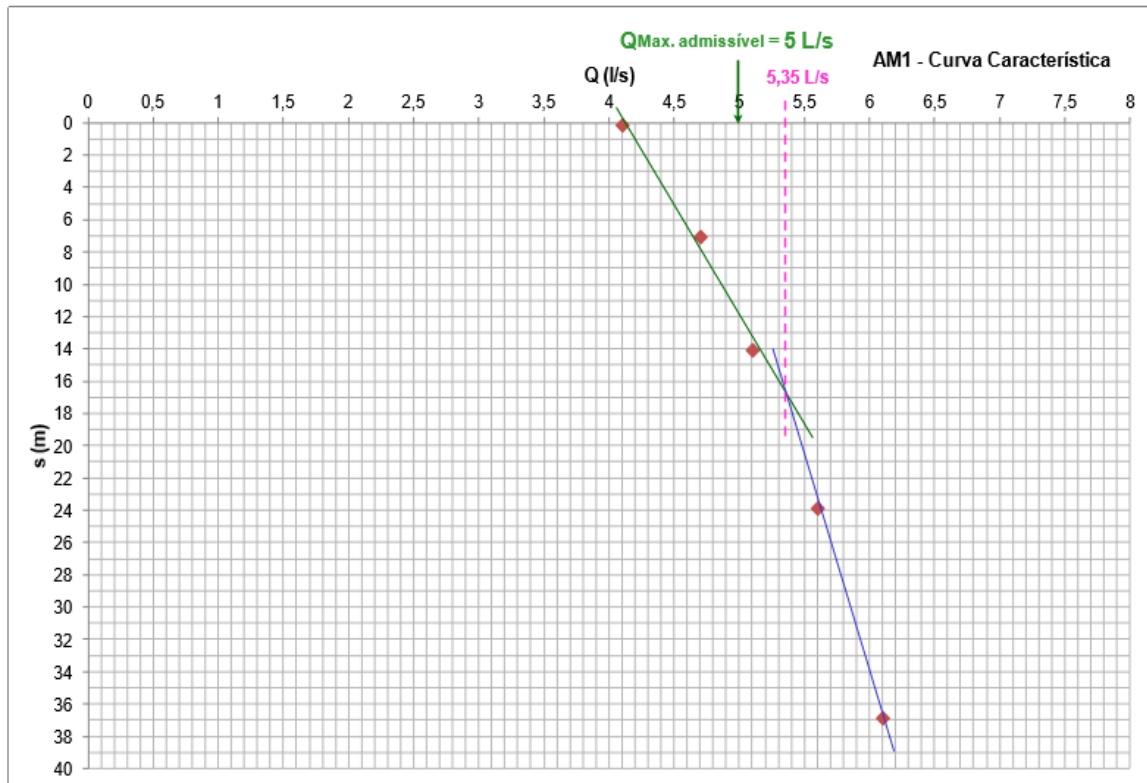


Figura 39. Furo AM1 – Ensaio de caudal escalonado realizado. Curva característica do furo AM1 (Sousa Oliveira *et al.*, 2015).

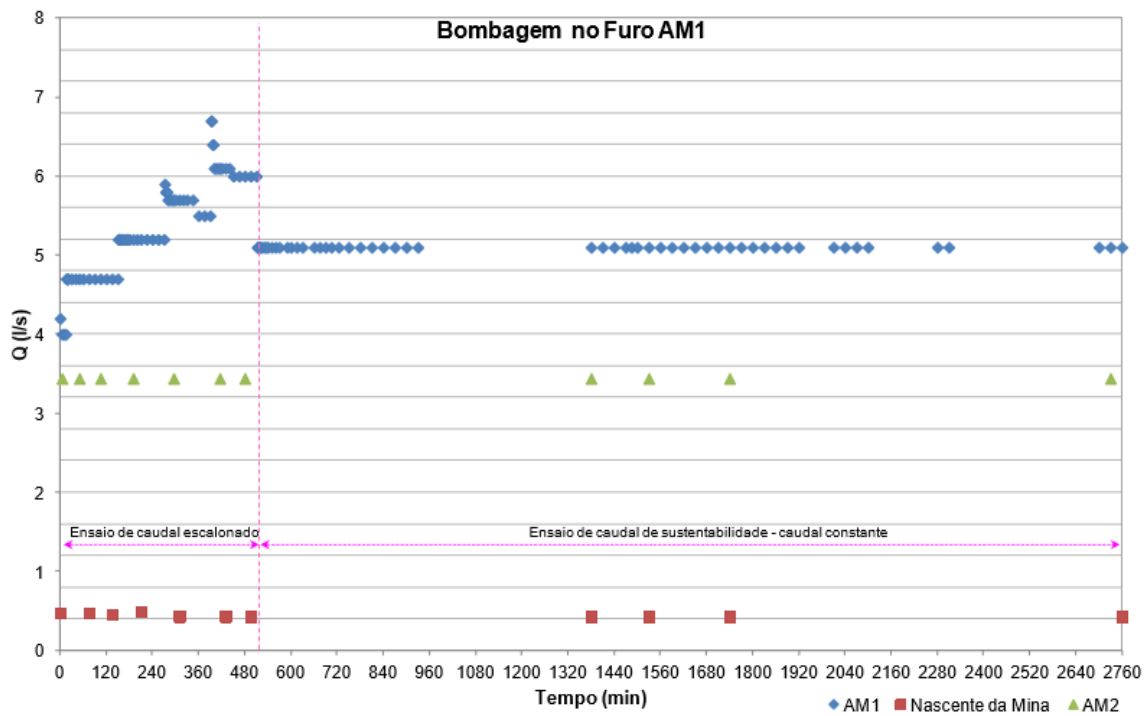


Figura 40. Ensaio de caudal escalonado realizado no furo AM1. Caudais registados em AM1, na nascente da mina e em AM2 – caudal de artesianismo repuxante (Sousa Oliveira *et al.*, 2015).

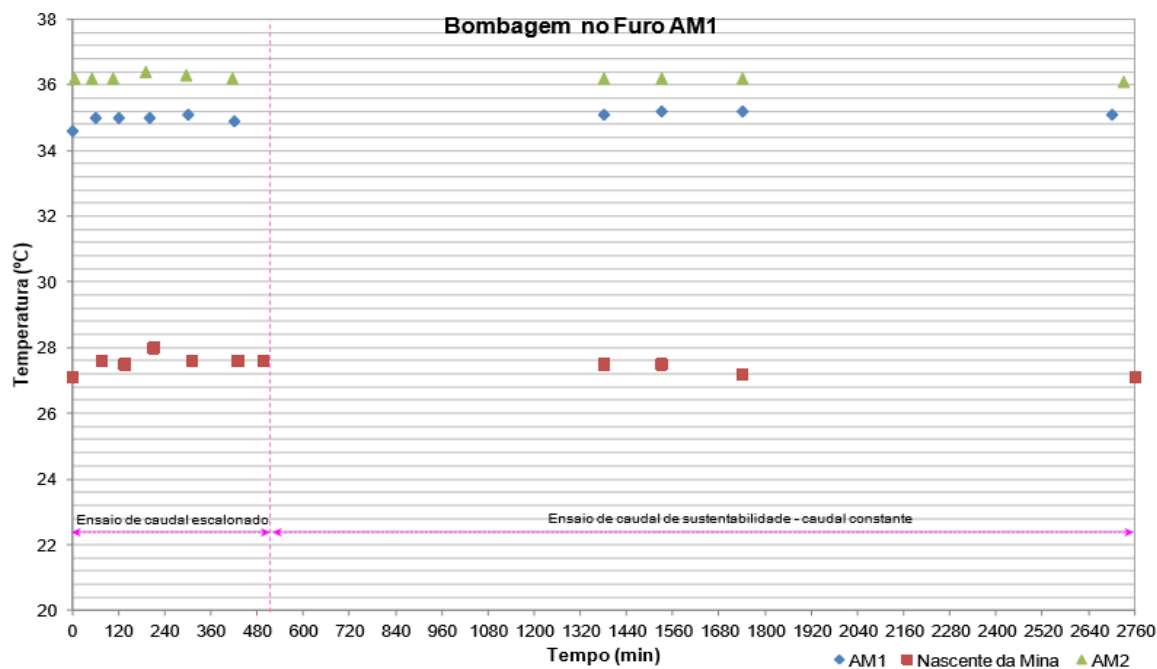


Figura 41. Ensaio de caudal escalonado realizado no furo AM1. Temperaturas registadas em AM1, na nascente da Mina e em AM2 – artesianismo repuxante (Sousa Oliveira *et al.*, 2015).

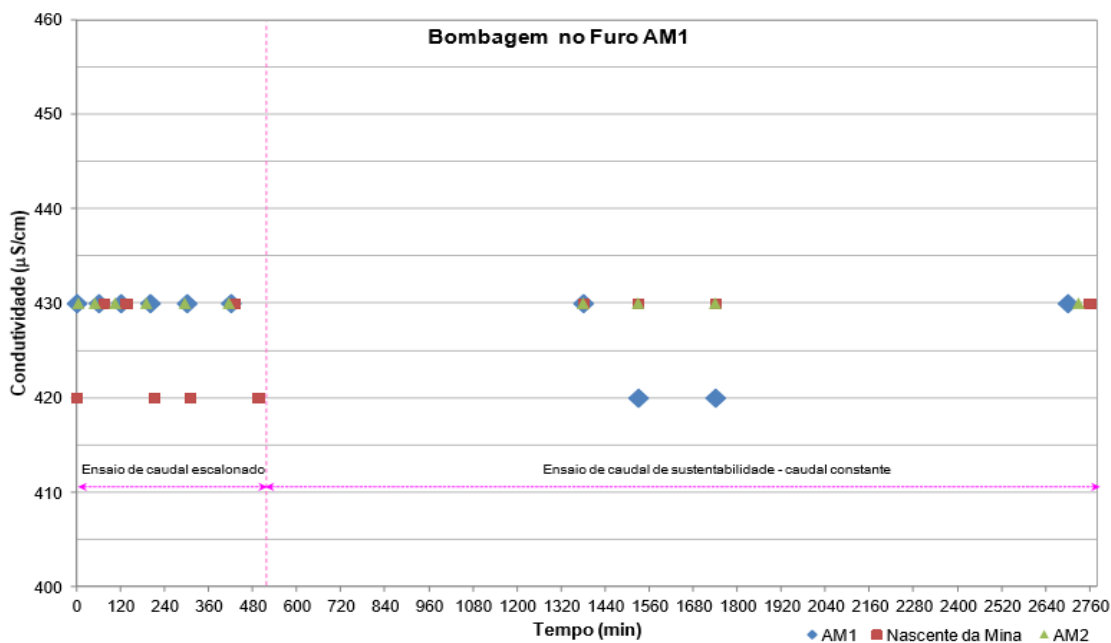


Figura 42. Ensaio de caudal escalonado realizado no furo AM1. Condutividades registadas no furo AM1, na nascente da Mina e em AM2 – artesianismo repuxante (Sousa Oliveira *et al.*, 2015).

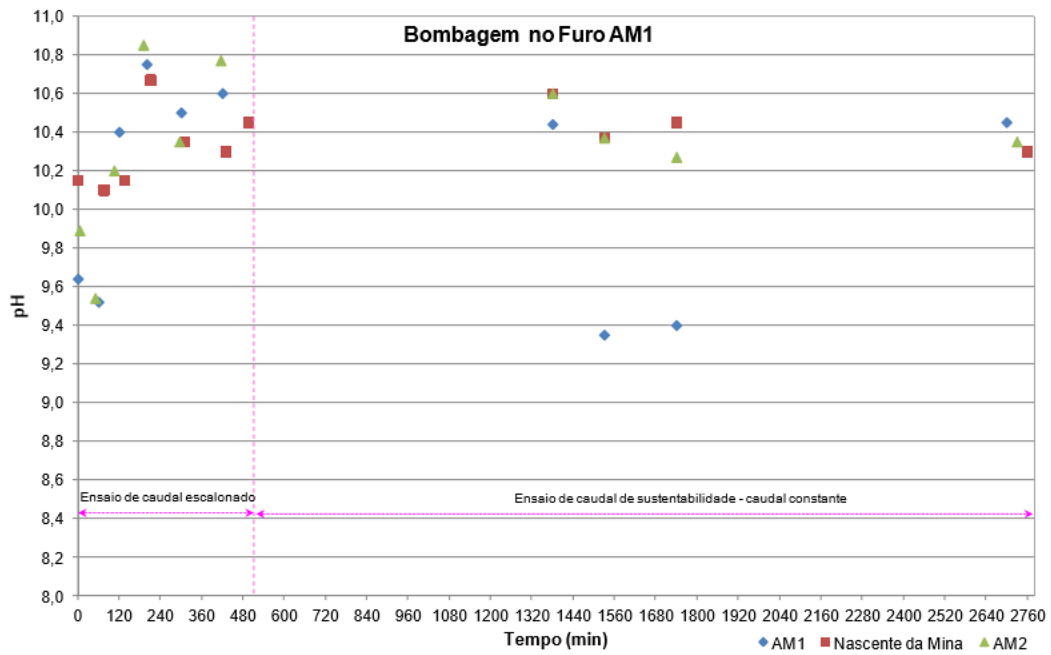


Figura 43. Ensaio de caudal escalonado realizado no furo AM1. Apresentam-se os valores de pH registados em AM1, na nascente da Mina e em AM2 – artesianismo repuxante (Sousa Oliveira *et al.*, 2015)

3.3.4. Furo de captação AM2

A perfuração da captação AM2 desenvolveu-se em duas fases, inicialmente foi feita uma perfuração de sondagem, com um diâmetro de 6^{1/2}" até aos 142 m de profundidade, com o objetivo de identificar e caracterizar o maciço cristalino perfurado, e também para identificar os níveis produtivos de água subterrânea, mineral sulfúrea ou não.

A segunda fase, consistiu em alargar ou reperfurar o furo com o ajustamento dos diâmetros para o entubamento e para transformar o furo de sondagem em furo de captação. Esta operação de alargamento realizou-se com os diâmetros de 17^{3/4}" e 9" respetivamente entre as profundidades de 0 m a 12 m, de 0 m a 88. Os dados relativos a estas operações estão presentes na tabela 14.

Tabela 14. Sondagem/Furo AM2 – elementos relativos a diâmetros de perfuração e profundidades alcançadas (Sousa Oliveira *et al.*, 2015)

Sondagem/furo AM2 - Perfuração						
	Fase 1 (reconhecimento)			Fase 2 (alargamento)		
Φ perfuração (")	17 ¾"	9 "	6 ½ "	17 ¾"	9 "	6 ½ "
Profundidades (m)	-	-	0 a 142	0 a 12	0 a 88	-

A litologia atravessada foi de acordo com o enquadramento geológico e hidrogeológico. A sondagem atravessa uma grande variedade de litologias, granitóides, metassedimentar e filoneanas que se vão repetindo alternadamente ao longo de todo o perfil.

De um modo geral, o material geológico é mais ou menos são/compacto, evidenciando assim boas propriedades geomecânicas, que garantem a estabilidade das paredes do furo.

Foram intersectados alguns níveis produtivos de água sulfúrea, cujos valores de profundidade e caudal estão assinalados na tabela 15. Os níveis produtivos intersectados vão ao encontro das informações recolhidas posteriormente através das diagrfias geofísicas.

Tabela 15. Sondagem/Furo AM2 – intersecção de níveis produtivos de águas sulfúreas (Sousa Oliveira *et al.*, 2015).

Níveis produtivos Profundidade de ocorrência (troço)	Caudais acumulados registados em perfuração	Confirmação nas diagrfias geofísicas
(m)	(L/s)	
10 – 13	0,22	
22 – 25	0,43	X
28 – 31	1,60	X
34 – 37	3,33	
40 – 43	4,00	X
79 – 82	5,00	
94 – 97	6,60	X
112 – 115	10,0	X
Caudal de artesianismo repuxante final – 3,3 L/s		

Foi realizado um controlo hidrogeológico de acordo com os critérios sistematizados e já referidos no âmbito da captação AM1. Em simultâneo, registaram-se os valores do caudal na nascente da Mina, e da captação AM1.

Em AM2 os caudais registados durante a perfuração, aumentaram progressivamente com a profundidade e variaram entre os 0,2 L/s e 10,0 L/s (tabela 16 e figura 44). O mesmo aconteceu com a temperatura, com um valor máximo registado de 34,2°C, e com um valor mínimo de 19,5°C. O pH apresentou-se variável, com um mínimo registado de 8,45 e um máximo de 10,02 com tendência a aumentar com a profundidade, mas diminuindo ligeiramente na parte final do furo. No que diz respeito à condutividade, este parâmetro apresentou um comportamento semelhante ao pH e o valor máximo registado foi de 410 uS/cm e um mínimo de 330 uS/cm. Veja-se a tabela 16.

Tabela 16. Parâmetros registados durante a fase de perfuração (Sousa Oliveira *et al.*, 2015).

Parâmetros registados na fase de perfuração de AM2						
	Registos em AM2				Registos no furo AM1 (artesianismo)	Registos na Nascente da Mina ou do Banho
	Caudal (air flow)	pH	Condutividade	Temperatura	Caudal	
	(L/s)		(μ S/cm)	($^{\circ}$ C)	(L/s)	
Mínimo	0,2	8,45	330	19,5	2,5	0,25
Máximo	10,0	10,02	410	34,2	2,5	0,76
Média	5,2	9,14	389	27,2	2,5	0,55

É importante referir que as operações de perfuração em AM2 interferiram com o caudal da nascente da Mina, tendo-se registado uma diminuição do mesmo, particularmente a partir da profundidade localizada no troço entre os 73 e 76 m.

A perfuração não produziu efeitos visíveis no caudal do furo AM1.

No final do processo de perfuração registou-se um caudal de artesianismo repuxante igual a 3,3L/s.

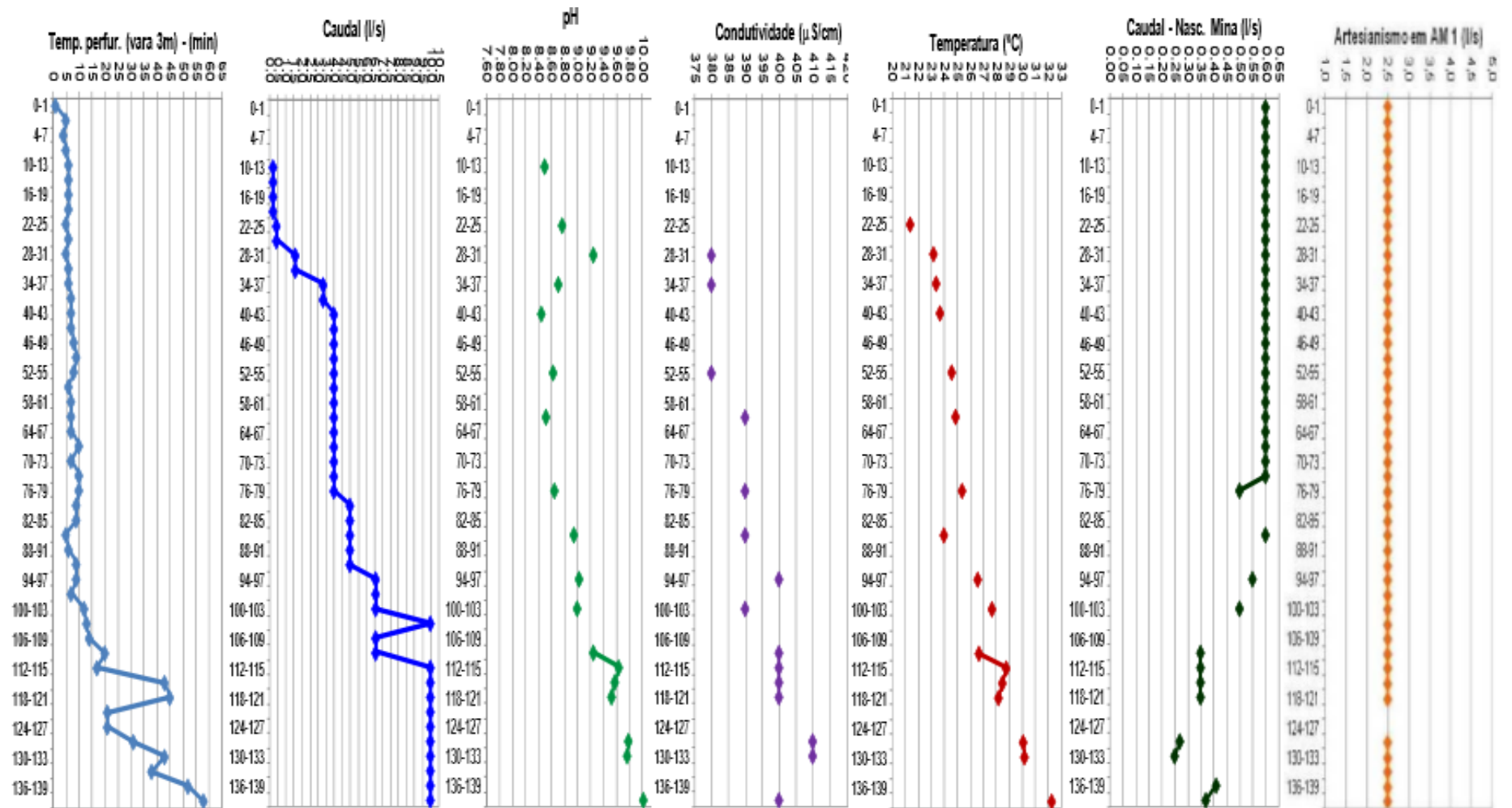


Figura 44. Profundidades, parâmetros físico-químicos registados durante a perfuração a 61/2" e variação do caudal na nascente da Mina, e da captação AM1 (Sousa Oliveira *et al.*, 2015).

As diagrfias geofísicas foram desenvolvidas de acordo com o que foi aqui escrito anteriormente, nomeadamente relativamente às diagrfias geofísicas em AM1. Os demais elementos introdutórios sobre esta temática são também os constantes neste ponto. As diagrfias no furo AM2 foram executadas até aos 138 m de profundidade, não atravessando assim a totalidade do furo devido a problemas de obstrução localizados àquela profundidade.

Estas diagrfias facilitaram a decisão sobre o posicionamento da coluna de revestimento definitivo e das zonas a isolar e a impermeabilizar no compromisso da preservação da qualidade do recurso e das suas características, nomeadamente, com a valorização do parâmetro temperatura.

A coluna de revestimento de aço normal foi devidamente cimentada no seu espaço anular externo, entre as profundidades 0 m e 12 m. A principal coluna de revestimento (de inox AISI 316L) também foi cimentada em toda a sua extensão no seu espaço anular externo, localizado entre os 0 m e os 83 m de profundidade.

Entre os 0 m e 3 m de profundidade colocou-se ainda um maciço de betão com dimensões 3 m x 3 m x 3 m e um tubo de PVC com diâmetro de 500 mm e 3 m de comprimento de modo a estabilizar a parte mais superficial do terreno que se apresentava muito fraturado.

No que diz respeito às cimentações para o isolamento, aplicou-se calda de cimento com aditivos aceleradores de presa, tal como em AM1. Estas operações foram dificultadas pelas mesmas razões apontadas na captação AM1, tendo sido necessário várias tentativas até ter êxito.

Entre as profundidades 90 m e 142 m optou-se por não aplicar qualquer revestimento no furo, ficando em *open hole*, porque entendeu-se que as propriedades geomecânicas dos terrenos atravessados assim o justificavam.

É apresentada uma síntese de elementos relativos ao processo de entubamento e cimentação dos espaços anulares (tabela 17).

Tabela 17. Furo AM2 – elementos relativos ao entubamento e cimentação dos espaços anulares (Sousa Oliveira *et al.*, 2015).

Sondagem/furo AM2 – Revestimento (entubamentos)/Cimentação						
Profundidade (m)	Colunas de revestimento (entubamentos)			Open Hole	Cimentação dos espaços anulares	
	PVC $\Phi=500$ mm	Aço normal (EN 10217) $\phi = 330$ mm e = 4 mm	Aço Inox AISI 316L, fechado $\phi = 154$ mm e = 2 mm		Entre terreno e entubamentos	Entre entubamentos
0 – 13	X	X	X		X *	X
3 – 12		X	X		X	X
12 – 90			X		X	
90 - 142				X		

X * - Entre o tubo de PVC e o terreno procedeu-se à escavação do maciço rochoso, num volume de 3x3x3m³. A cavidade aberta, antepoço, foi posteriormente preenchida com betão de modo a garantir a estabilidade do maciço rochoso fraturado que, superficialmente, se encontrava muito fraturado dificultando as operações de progresso da perfuração.

Os níveis produtivos com água mineral sulfúrea aproveitados na captação estão localizados entre os 90 m e os 142 m de profundidade (tabelas 16 e 17, figura 29 e anexo), e situam-se nos troços definidos entre 94 e 97 metros, 112 e 115 metros e entre 124 e 125 metros.

3.3.5. Ensaios de Caudal- Captação AM2

A realização dos ensaios de caudal foi desenvolvida com a colocação da bomba submersível a 60 m de profundidade em relação à boca do furo.

O ensaio foi realizado num tempo total de 2782 minutos (46,4 horas), distribuídos por: 1) 600 minutos (10,0 horas) com ensaio a caudais escalonados e crescentes; 2) 2180 minutos (36,3 horas) com ensaio de sustentabilidade caudal vs rebaixamento e 3) 2 minutos com recuperação total do artesianismo registado antes do início do ensaio. Os resultados apresentam-se nas figuras 45 e 46.

Durante o desenvolvimento dos ensaios registaram-se os tempos de bombagem, caudais, níveis hidrodinâmicos (estes medidos em relação à boca do

furo), temperatura, condutividade e pH. A par disso, também foram registados os caudais no furo AM1 (caudal de artesianismo repuxante) e na nascente do Banho ou da Mina, assim como os parâmetros temperatura, condutividade e pH. Os resultados apresentam-se nos gráficos 45 a 50 e na tabela 19.

Tabela 18. Síntese de parâmetros relativos ao ensaio de bombagem realizado (Sousa Oliveira *et al.*, 2015).

		Caudal	Tempo		Nível hidrodinâmico (ref. boca do furo)		Δs	
			(L/s)	(min)		(m)		
				Período	Total	Início		Fim
Bombagem	Escalões	1	4,00	0 – 120	120	0,00	1,76	1,76
		2	4,45	120 – 240	120	1,76	5,68	3,92
		3	5,00	240 – 360	120	5,68	19,92	14,24
		4	5,50	360 – 480	120	19,92	31,54	11,62
		5	5,80	480 – 600	120	31,54	39,95	8,41
	Sustentabilidade		4,50	600 – 2780	2180	39,95	12,89	-27,06
Recuperação			0,0*/3,9**	2780-2782	2	12,89	0,00	-12,89
Pós ensaio de caudal e recuperação	Caudal artesianismo repuxante – 3,9 L/s							
	Pressão registada no cabeçote do furo – 6,6 bar							

Os resultados obtidos mostraram que a bombagem no furo AM2 não produziu efeitos visíveis na Nascente da Mina e no furo AM1 em relação aos parâmetros anteriormente referidos. Alguns desvios a nível do pH poderão estar relacionados com o equipamento e condições de leitura.

A análise dos gráficos dos ensaios de caudal escalonado e da curva característica aponta para um caudal máximo admissível para a exploração de 5 L/s, correspondente a apenas mais 1 L/s que o caudal de artesianismo repuxante.

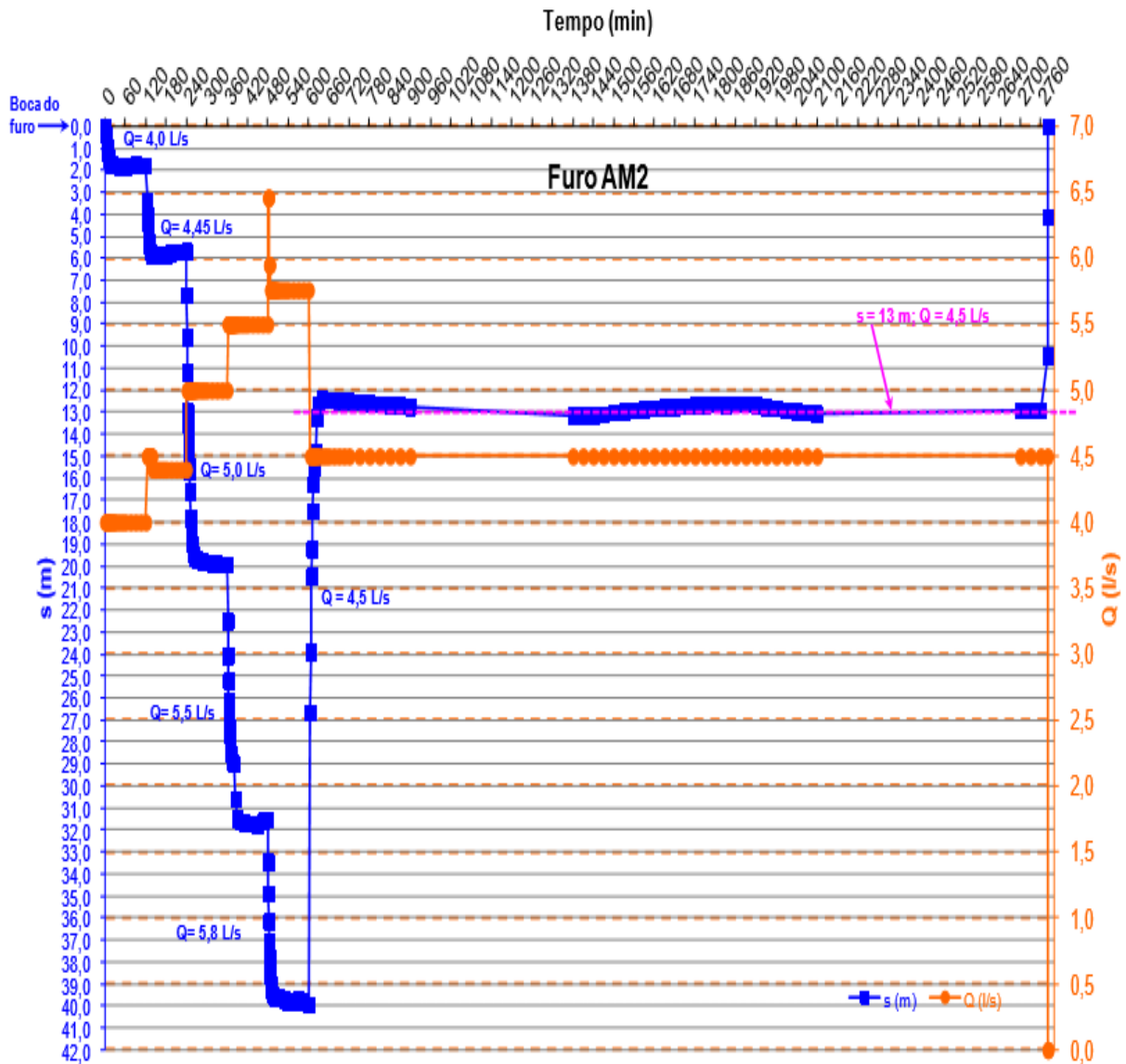


Figura 45. Furo AM2- Ensaio de caudal escalonado. Curva tempo vs rebaixamento (s) e tempo vs caudal (Q) (Sousa Oliveira *et al.*, 2015).

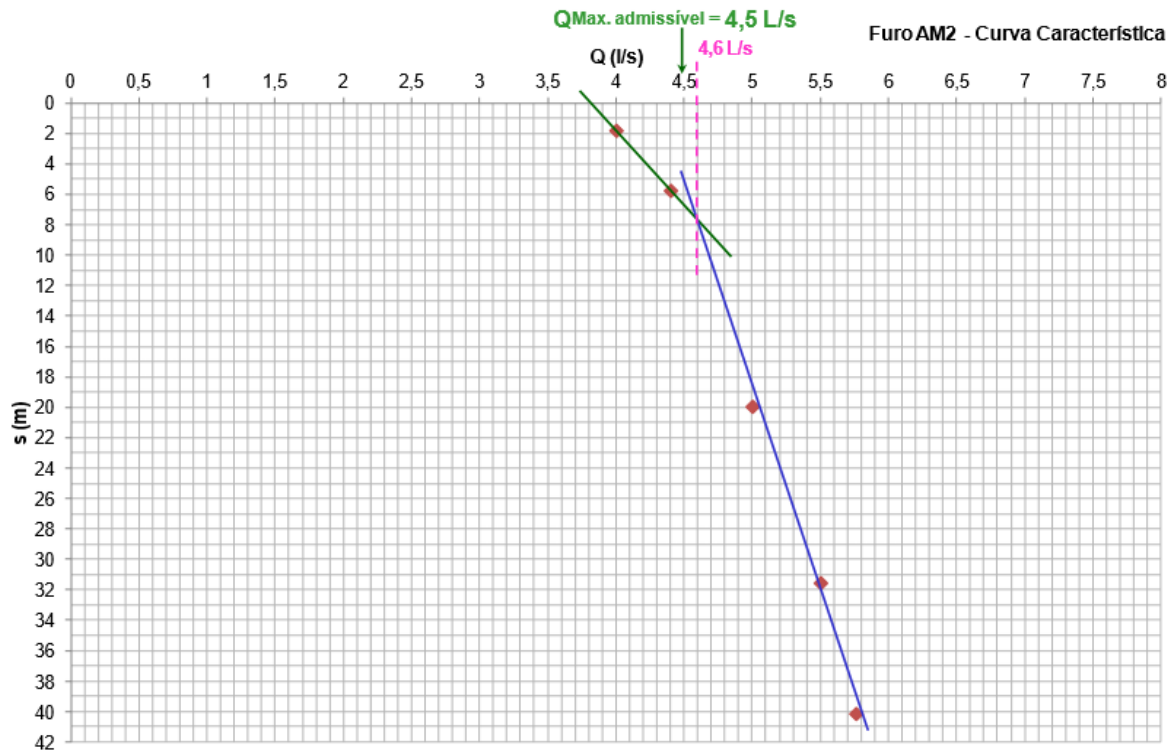


Figura 46. Furo AM2 – ensaio de caudal escalonado realizado. Curva característica do furo AM2 (Sousa Oliveira *et al.*, 2015).

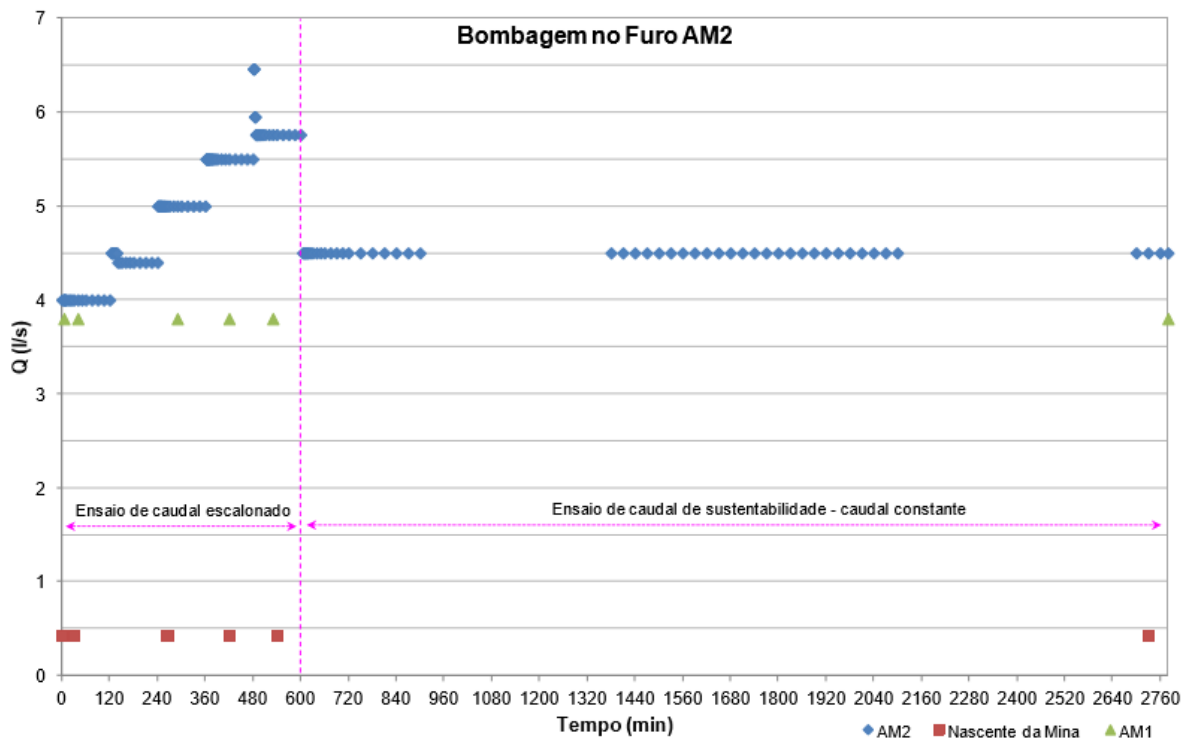


Figura 47. Ensaio de caudal escalonado realizado no furo AM2. Caudais registados em AM2, na nascente da Mina e em AM1 – caudal de artesianismo repuxante (Sousa Oliveira *et al.*, 2015).

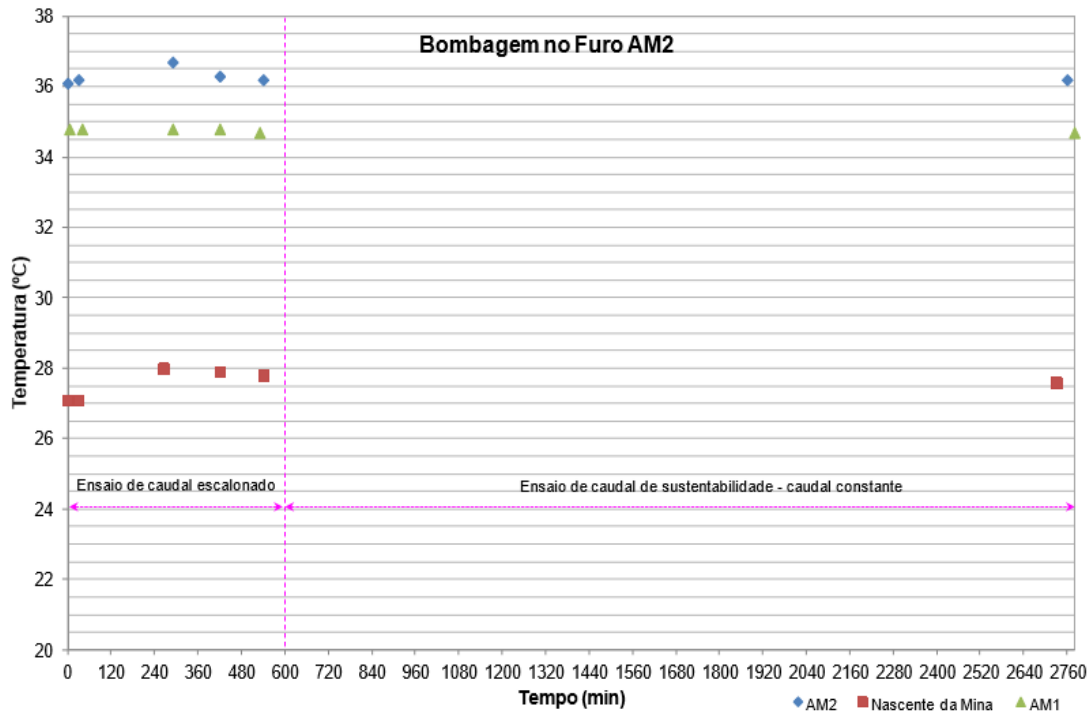


Figura 48. Ensaio de caudal escalonado realizado no furo AM2. Temperaturas registadas em AM2, na nascente da Mina e em AM1 – artesianismo repuxante (Sousa Oliveira *et al.*, 2015).

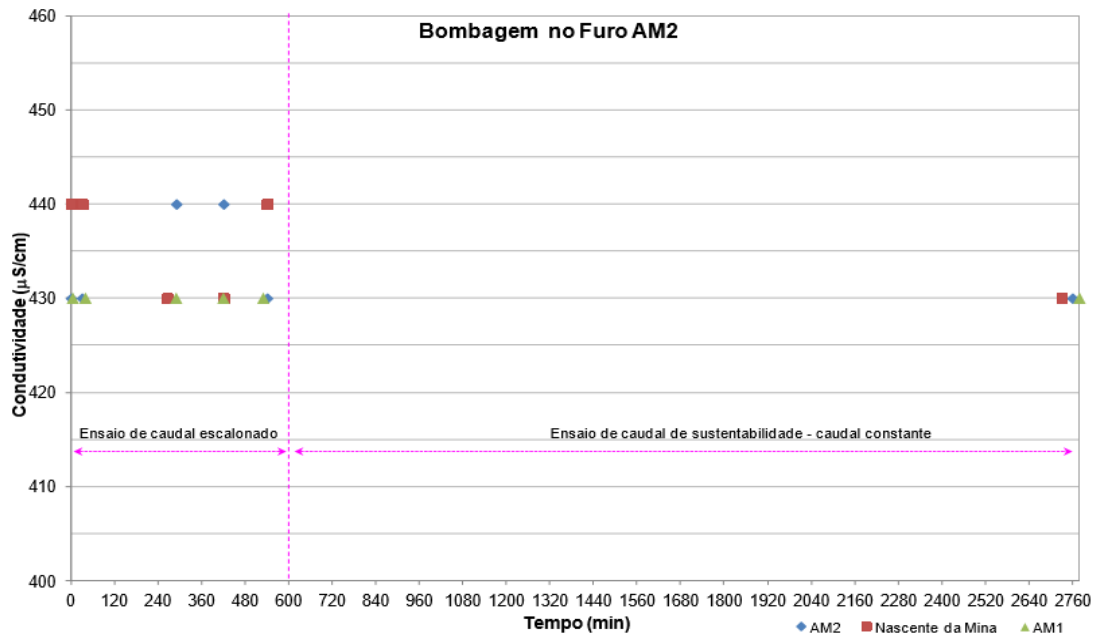


Figura 49. Ensaio de caudal escalonado realizado no furo AM2. Condutividades registadas em AM2, na nascente da Mina e em AM1 – artesianismo repuxante (Sousa Oliveira *et al.*, 2015).

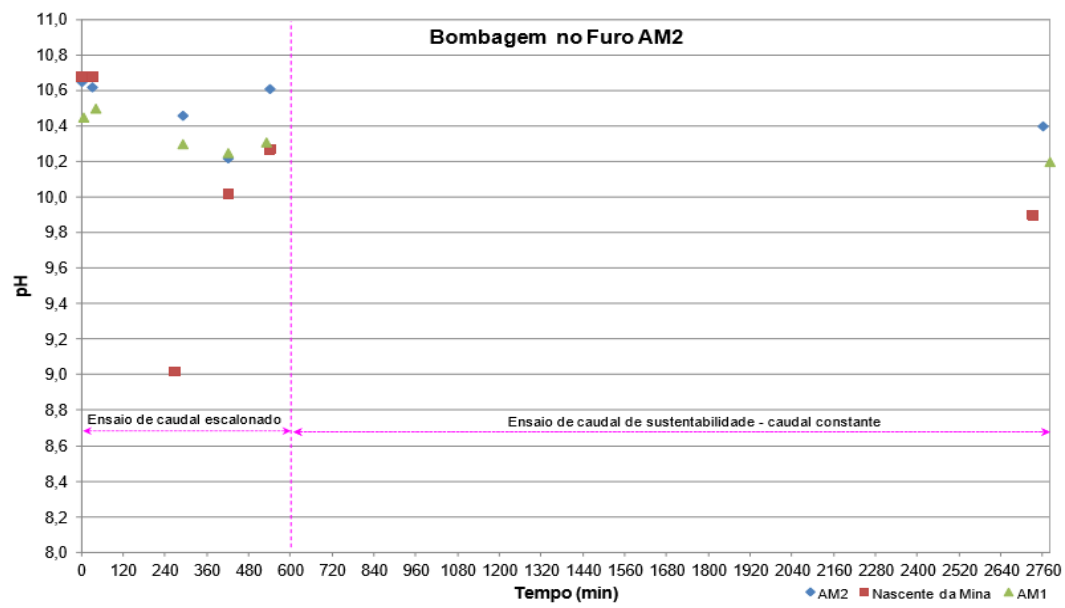


Figura 50. Ensaio de caudal escalonado realizado no furo AM2. Apresentam-se os valores de pH registados em AM2, na nascente da Mina e em AM1- artesianismo repuxante (Sousa Oliveira *et al.*, 2015).

Tabela 19. Parâmetros físico químicos e hidráulicos (e respetiva evolução) no âmbito dos trabalhos realizados com a execução das captações, furos AM1 e AM2 (Sousa Oliveira *et al.*, 2015).

Captação	Descritivo	Parâmetros				
		(valores médios registados)				
		Temperatura (°C)	Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	pH	Caudal (L/s)	Pressão (bar)
Furo AM1	Antes do ensaio de caudal escalonado (com caudal de artesianismo de 4 L/s)	34,6	430	9,7		
	Durante o ensaio de caudal escalonado	35,1	428	10,2		
	Caudal de artesianismo repuxante				4,0	
	Caudal de exploração máximo admissível				5,0	
	Pressão média registada no cabeçote do furo após a realização dos ensaios de caudal					6,4
Furo AM2	Antes do ensaio de caudal escalonado (com caudal de artesianismo de 3,9 L/s)	36,1	430	10,6		
	Durante o ensaio de caudal escalonado	36,3	434	10,5		
	Caudal de artesianismo repuxante				3,9	
	Caudal de exploração máximo admissível				4,5	
	Pressão média registada no cabeçote do furo após a realização dos ensaios de caudal					6,6
Nascente da Mina	Antes dos ensaios de caudal escalonados	27,1	430	10,4	0,44 (na nascente, valores médios registados)	
	Durante os ensaios de caudal escalonados	27,6	431	10,3	0,44 (na nascente, valores médios registados)	

3.4 Hidroquímica

Sob o ponto de vista químico, as águas das Caldas de Carlão são águas sulfúreas, bicarbonatadas, sódicas, fluoretadas, e contêm uma concentração de sílica com 14% para o valor da mineralização (Machado, 1992), e emergem a uma temperatura de 30°C na nascente da Mina, e 36°C nas novas captações realizadas (Sousa Oliveira *et al.*, 2015).

Segundo Calado (2001), e Almeida & Calado (1993), as águas alcalino fluoretadas fazem parte de um sistema hidromineral dominado por vapor, e a composição química resulta da mineralização de águas subterrâneas comuns por fluxos de voláteis quentes vindos de profundidade, exalados por magma em arrefecimento.

De um modo geral estas águas estão em associação direta com ambientes granitóides. Por outro lado, considerando estudos realizados em sistemas hidrominerais sulfúreos e gasocarbónicos da região (Marques *et al.*, 1999; Sousa Oliveira, 2001) tudo leva a crer que estas águas são de origem meteórica e a recarga acontece em pontos de cota elevada na região envolvente às emergências.

No âmbito deste trabalho apresentam-se os resultados recentes de natureza química e físico-química relativos às captações de água sulfúrea de Caldas de Carlão, nascente da Mina e furos AM1 e AM2 (tabelas 20 e 21).

Tabela 20. Composição química maioritária das amostras analisadas laboratorialmente da Nascente da Mina, AM1 e AM2 .

Amostras recolhidas	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	CO ₃ ²⁻
Nascente 09/07/2015	104	4,1	3,9	0,103	205	5,8	10,3	1,2
Nascente 25/02/2016	105	4,1	4,5	0,15	211	12	12	1,1
(AM1)23/07/2015	101	4,5	5,71	0,126	215	6,1	12,9	1,4
(AM1)25/08/2015	106	4,1	4,91	0,098	209	5,9	12,7	1,4
(AM1)22/10/2015	107	3,4	3,91	0,074	221	4,9	12,6	1,4
(AM1)19/11/2015	105	3,6	3,83	0,073	217	5,9	12,5	1,6
(AM1)17/12/2015	110	3,6	3,6	0	217	2,6	13,4	1,6
(AM1)27/01/2016	110	3,9	3,9	0	217	4,1	12,8	1,4
(AM1)25/02/2016	110	3,9	3,9	0	214	7,2	12	1,6
(AM2)23/07/2015	101	3,9	3,58	0,058	216	6,1	12,5	1,6
(AM2)25/08/2015	107	3,9	4,55	0,069	209	6,9	12,6	1,5
(AM2)22/10/2015	103	3,3	4,32	0,101	214	4,5	12,7	1,9
(AM2)19/11/2015	105	3,5	3,78	0,063	211	3,7	12,8	2,4
(AM2)17/12/2015	115	3,6	3,64	0	220	0	17,1	1,8
AM2)27/01/2016	110	3,9	3,8	0	215	3,6	13	1,4
(AM2)25/02/2016	110	4	3,9	0	213	6,7	13	1,9
Médias	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	CO ₃ ²⁻
Nascente da Mina	104,5	4,1	4,2	0,1265	208	8,9	10,65	1,15
AM1	107	3,84	3,86	0,0053	215,7	5,24	12,7	1,48
AM2	107,29	3,64	3,73	0,042	214	4,5	13,39	1,78

Considerando as espécies iónicas maiores: (catiões: Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺; Aniões: HCO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻ e CO₃²⁻), representa-se a composição química das diferentes captações através dos diagramas de Stiff, Durov e Piper (figuras 51, 52, 53, 54, 55 e 56).

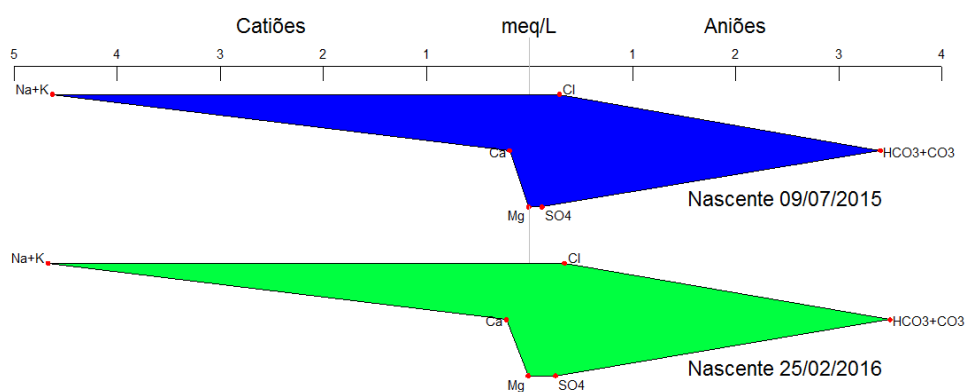


Figura 51. Diagrama de Stiff - Nascente da Mina.

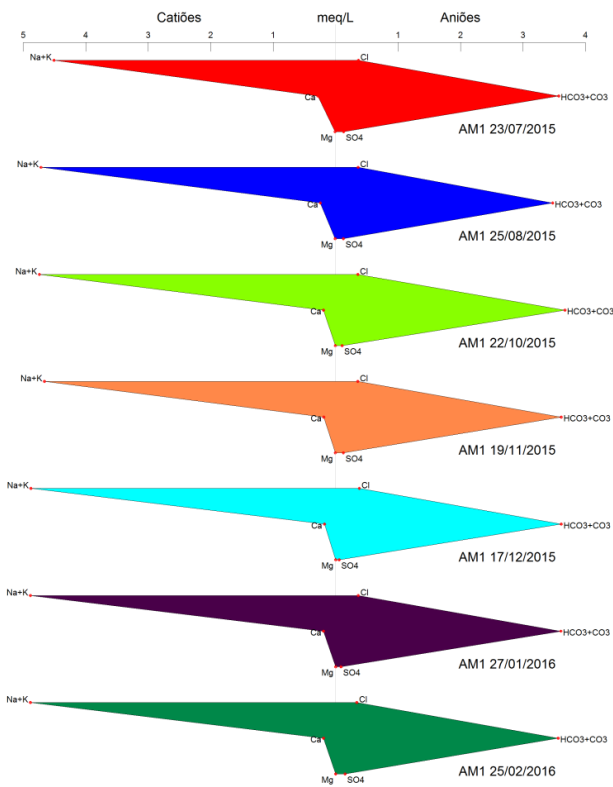


Figura 52. Diagrama de Stiff, das águas do furo de captação AM1.

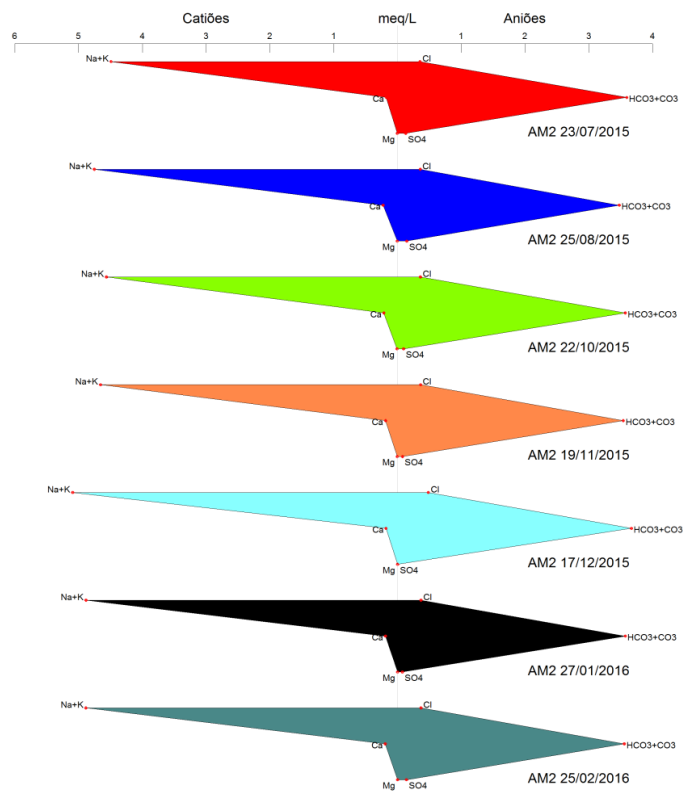


Figura 53. Diagrama de Stiff, relativo às águas do furo de captação AM2.

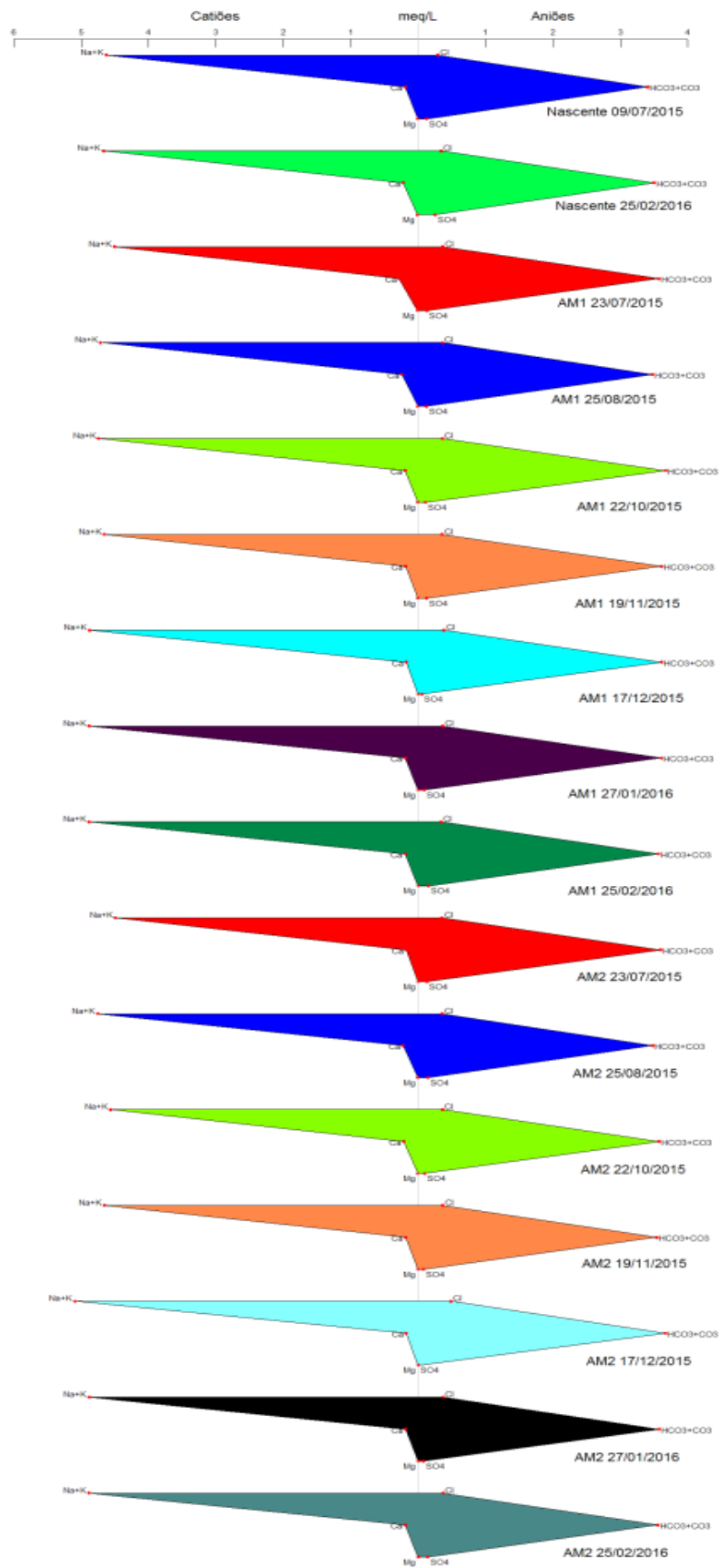


Figura 54. Diagrama de Stiff, de todas as amostras analisadas da Nascente da Mina, AM1 e AM2.

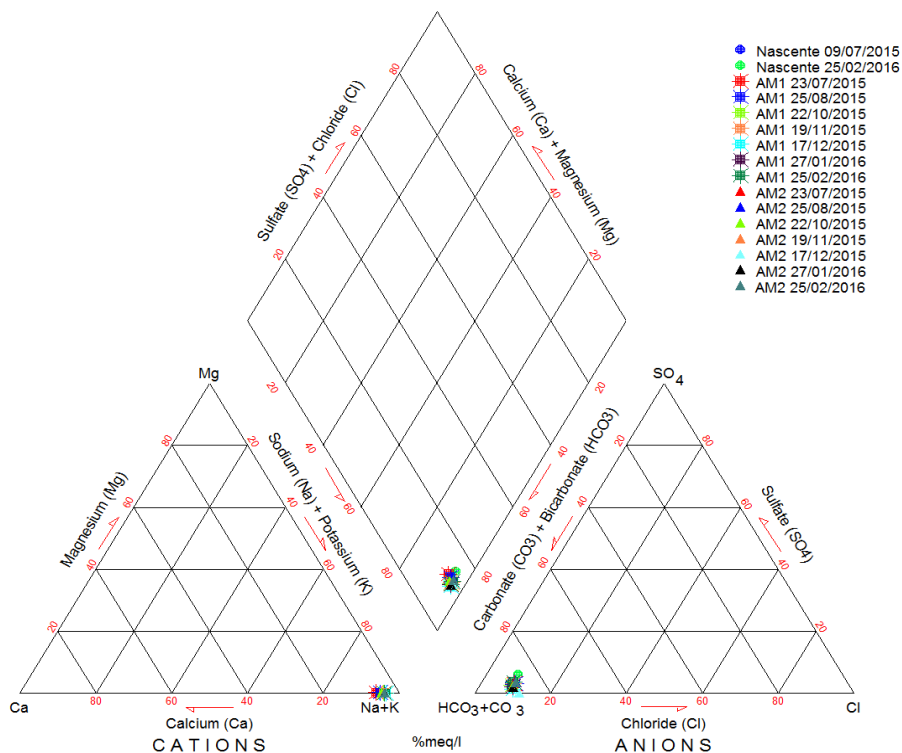


Figura 55. Diagrama de Piper, das amostras analisadas da Nascente da Mina, AM1 e AM2.

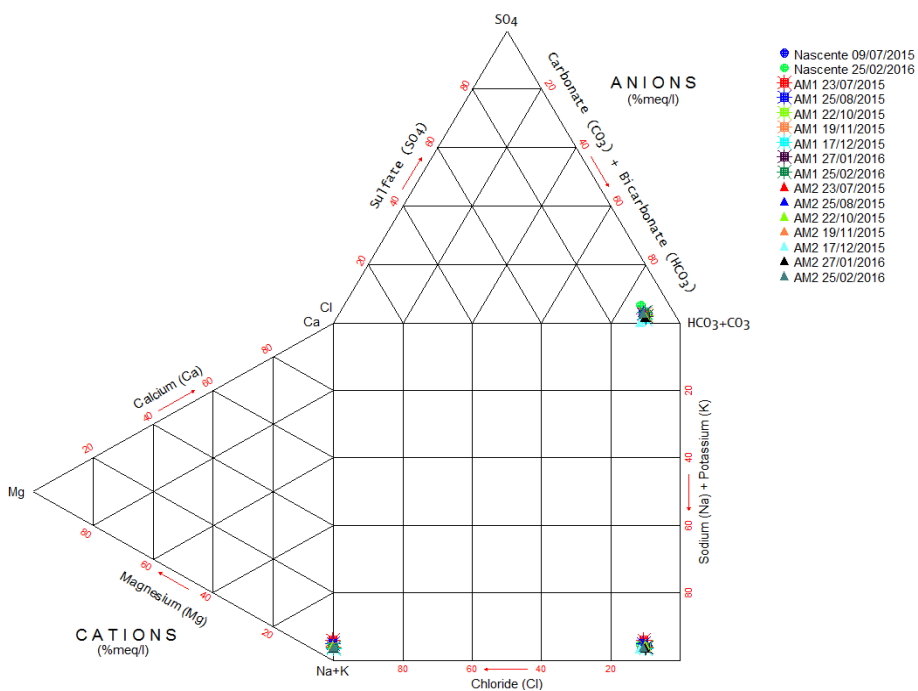


Figura 56. Diagrama de Durov correspondente às amostras analisadas da Nascente da Mina, AM1 e AM2

Como é possível observar nas figuras 51, 52, 53 e 54 os polígonos resultantes dos diagramas de Stiff, de modo geral, têm a mesma forma, o que quer dizer que as águas avaliadas são da mesma família, portanto com composição química semelhante. Também têm tamanhos muito idênticos, que são um indicador de que as águas têm uma mineralização muito semelhante.

Podemos concluir, de acordo com as figuras 55 e 56, diagrama de Piper e diagrama de Durov respetivamente, que as águas das Caldas de Carlão são águas sulfúreas bicarbonatadas sódicas. A projeção das águas das diferentes captações sobre o mesmo ponto nestes diagramas e os resultados conclusivos dos diagramas de Stiff indicam tratar-se de águas muito iguais.

Durante o inventário hidrogeológico das Caldas de Carlão (figura 30, ponto 3.1), foram medidos os parâmetros da condutividade elétrica, pH, temperatura, resistividade elétrica, totais de sólidos dissolvidos, salinidade e o potencial redox, em várias nascentes e poços e nas duas captações de água de água mineral, cujos resultados se apresentam na Tabela 21.

Tabela 21. Características físico-químicas dos vários pontos de água medidos durante a realização do inventário hidrogeológico.

	Coordenadas		Condutividade ($\mu\text{S/cm}$)	pH	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Resistividade ($\text{K } \Omega \times \text{cm}$)	TDS (mg/L)	Salinidade (mg/L)	Eh (mV)
	Latitude	Longitude							
nº1	41°19'48.30"N	7°22'23.54"W	114,3	7,8	10,5	11,23	108	0	-55,9
nº2	41°19'47.66"N	7°22'18.89"W	62,6	8,9	10	14,93	76	0	-83
nº3	41°19'45.55"N	7°22'18.16"W	180,3	7,84	11,6	5,54	202	0	-30
nº4	41°19'46.16"N	7°22'19.62"W	162	7,66	10,4	6,19	179	0	-43,8
nº5	41°19'44.84"N	7°22'21.10"W	82,4	6,85	11,9	12,13	92	0	-9,6
nº6	41°19'44.00"N	7°22'28.46"W	81,2	7,4	26,6	12,4	90	0	-29,2
nº7	41°19'42.90"N	7°22'21.71"W	98,5	6,24	12	9,97	114	0	-45
nº8	41°19'49.42"N	7°22'18.04"W	433	8,28	30,3	2,32	481	0,2	-83,9
nº9	41°19'50.10"N	7°22'16.96"W	166,3	7,88	13,6	5,98	187	0	-64
nº10	41°19'52.00"N	7°22'17.68"W	183,4	7,38	15,2	5,39	207	0	-21,3
nº11	41°19'53.39"N	7°22'16.09"W	147,4	7,2	16,1	6,77	166	0	-20,5
nº12	41°19'51.81"N	7°22'24.50"W	395	7,83	12,6	2,51	450	0,1	-45,5
nº13	41°20'1.51"N	7°22'29.23"W	295	7,5	11,5	3,39	329	0,1	-31,6
nº14	41°19'58.36"N	7°22'29.10"W	416	8,95	12,8	2,4	464	0,1	-128,2
nº15	41°19'51.00"N	7°22'21.46"W	237	8,32	15,5	4,28	261	0	-86,3
nº16	41°19'50.76"N	7°22'20.58"W	438	7,86	21,2	2,28	489	0,2	-55,8
nº17	41°19'47.16"N	7°22'31.19"W	70	8,2	11,8	12,96	79	0	-48,4
nº18	41°19'57.80"N	7°22'28.82"W	264	7,06	11,5	3,75	293	0	-5,4
nº19	41°19'42.67"N	7°22'29.33"W	135	7,47	11,7	7,23	155	0	-13,1
nº20	41°20'4.06"N	7°23'27.53"W	385	8,13	21,3	2,59	432	0,1	-64,7
nº21	41°19'52.75"N	7°22'27.72"W	455	8,33	17,1	2,19	509	0,2	-82,4
AM1	41°19'50.50"N	7°22'17.61"W	430	8,08	34,6	2,34	475	0,2	-62,9
AM2	41°19'51.39"N	7°22'20.19"W	431	8,2	33,1	2,31	482	0,2	-77,5

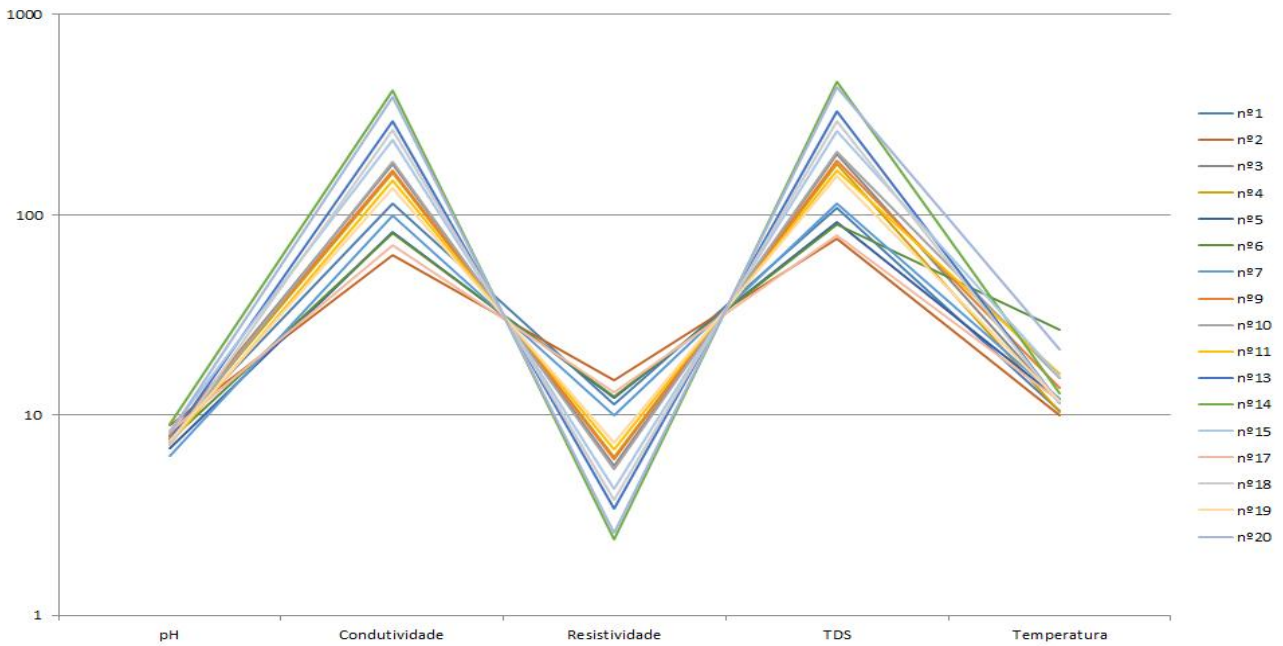


Figura 57. Características físico-químicas dos vários pontos de água não mineral, medidos durante a realização do inventário hidrogeológico.

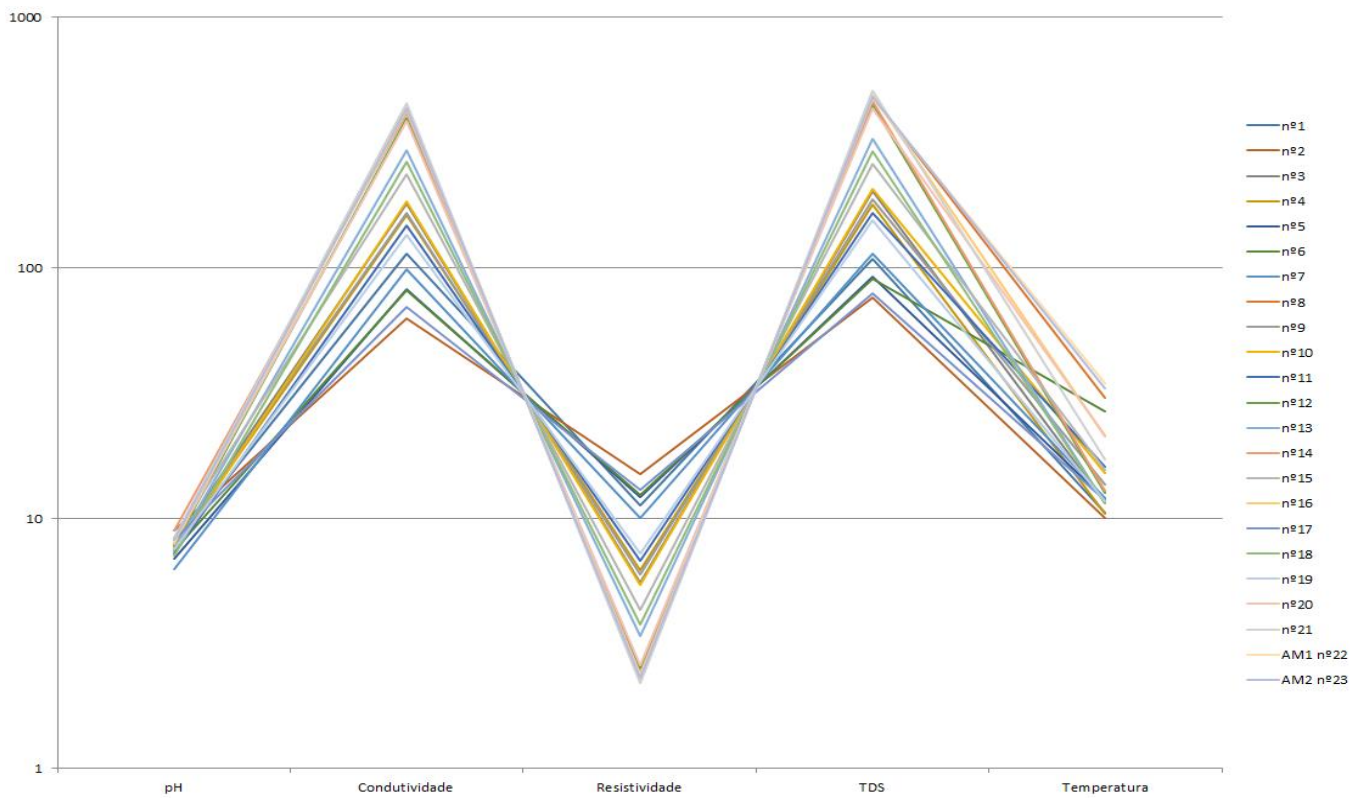


Figura 58. Características físico-químicas de todos os pontos de água (mineral e não mineral), medidos durante a realização do inventário hidrogeológico.

Como podemos ver, há alguma discrepância dentre as águas ditas normais, e alguns pontos de água, nomeadamente nos pontos de água nº8, nº12, nº16, nº21, nº22 e nº23, que correspondem à nascente da mina, nascente dos olhos, nascente do estômago, nascente da vinha, captação AM1 e captação AM2 respetivamente. Ou seja, é perfeitamente visível o contraste entre as águas normais da zona envolvente e as águas minerais (como é o caso das nascentes, e das captações). Estas águas minerais, apresentam normalmente uma maior condutividade elétrica do que as águas normais, um pH mais alto, um aumento acentuado em relação ao valor de totais de sólidos dissolvidos (TDS), e também obviamente uma temperatura bastante mais elevada. Existem contudo outras águas que parecem ter alguma mistura com águas minerais sulfúreas como é o caso das águas dos pontos 14 e 20, cujos valores de condutividade e pH estão mais próximos dos valores correspondentes às águas minerais ali ocorrentes.

Na figura 59 e na tabela 22, é feita uma comparação das características físico-químicas entre as águas não minerais, e as captações AM1 e AM2 e a Nascente da Mina, que são as águas que atualmente são exploradas nas Caldas de Carlão, e podemos observar que os parâmetros de pH, condutividade elétrica, totais de sólidos dissolvidos (TDS) e temperatura têm valores mais altos quando se tratam de águas minerais. No sentido inverso, o único parâmetro avaliado neste estudo que apresenta valores mais altos em águas normais é a resistividade elétrica.

Tabela 22. Características físico-químicas média das águas não minerais, e das águas atualmente exploradas (AM1, AM2, e Nascente da Mina).

	pH	Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Resistividade ($\text{K } \Omega \times \text{cm}$)	TDS (mg/L)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)
Média das águas não minerais	7,8	228,7	6,18	274,8	15,89
Média das águas de AM1/AM2/Nascente da Mina	8,21	431,75	2,32	479,8	32,08

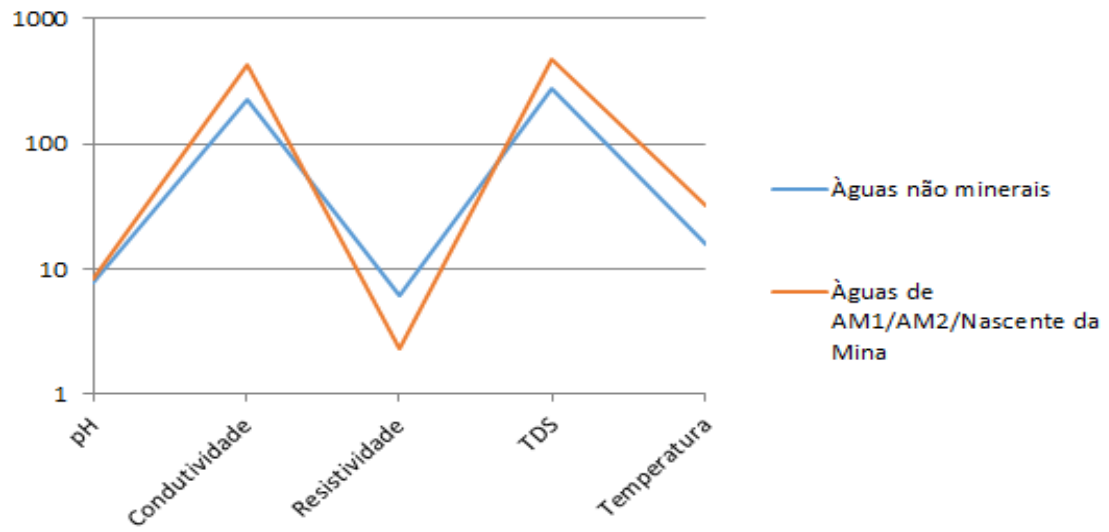


Figura 59. Comparação das médias das características físico-químicas das águas não minerais e das águas das captações AM1 e AM2 e da Nascente da Mina.

4. Modelo Hidrogeológico Conceptual

Um sistema hidrogeológico pode ser representado através de uma construção mental, resultante da interpretação da informação disponível num dado momento, através de um modelo conceptual. Estes modelos, assumem simplificações fundamentais para facilitar a sua aplicabilidade prática, as quais devem ser, na medida do possível, limitadas, de modo a garantir o rigor da representação. Estes modelos hidrogeológicos conceptuais vão sofrendo sucessivos aperfeiçoamentos à medida que a informação é obtida, contribuindo assim para ampliar o conhecimento sobre o sistema hidrogeológico.

No caso das Caldas de Carlão, o modelo conceptual consistiu desde o início do estudo, numa hipótese evolutiva diretamente relacionada com o reconhecimento de determinados parâmetros, processos e ocorrências relativamente ao sistema aquífero em questão.

A conceptualização passou pela identificação dos tipos de aquíferos abrangidos, das suas características gerais e dos processos físicos e químicos envolvidos. As principais características consideradas foram a litologia, a geomorfologia, a morfoestrutura, a hidrogeoquímica, a interação entre água subterrânea e água superficial e a localização de potenciais áreas de recarga e de áreas de descarga.

4.1. Modelo Hidrogeológico Conceptual das Caldas de Carlão

O resultado do estudo geológico, geomorfológico, geofísico, hidrogeoquímico, e ainda os trabalhos de prospeção, pesquisa e captação realizados na área das Caldas de Carlão tornaram possível esboçar um modelo hidrogeológico conceptual associado às águas termais das Caldas de Carlão. Este modelo é baseado na interpretação dos resultados provenientes da abordagem multidisciplinar adotada.

De acordo com o modelo delineado, a ocorrência da nascente termal das Caldas de Carlão é fortemente condicionado pelo seu enquadramento geológico, geotectónico e geomorfológico especialmente no que respeita à existência de nós tectónicos definidos pelas principais fraturas geológicas localmente presentes, as quais incluem o contacto litotectónico entre as rochas granitóides e as rochas metassedimentares pertencentes à formação da Desejosa, integrada no Complexo Xisto-Grauváquico.

As Caldas de Carlão emergem na base de uma encosta do vale encaixado, onde corre o rio Tinhela, e estão relacionadas com os acidentes tectónicos do vale do Tua, duas falhas com orientação geral de NNE-SSW, com ligação provável entre si através de uma outra falha com orientação NW-SE, direção a que normalmente se associam corredores de cisalhamento.



Figura 60. Enquadramento da área das Caldas de Carlão. a) vista de sul para norte; b) vista de oeste para leste (Sousa Oliveira, 2014).

As Caldas de Carlão apresentam uma notável diversidade hidrogeológica, manifestada pela ocorrência de diversos tipos de aquíferos e de águas subterrâneas, onde claramente predominam os meios de circulação fissurados comparativamente aos porosos.

O sistema hidrogeológico das Caldas de Carlão pode então ser dividido em dois sub-sistemas interligados, o das águas subterrâneas normais e o das águas minerais. As águas subterrâneas normais são águas cuja temperatura de emergência se encontra diretamente condicionada pela temperatura do ar, com pH entre mais reduzido em relação ao pH típico das águas sulfúreas e, predominantemente, com uma condutividade elétrica relativamente baixa. Nas emergências de águas minerais, as temperaturas são normalmente superiores a 30°C, o pH geralmente é superior a 8, e a condutividade elétrica atinge valores bastante superiores comparativamente às águas subterrâneas normais. Estas águas minerais, são águas sulfúreas de fácies hidrogeoquímica bicarbonatada, sódica, silicatada e fluoretada.

A recarga dos aquíferos superficiais tem origem na infiltração resultante da precipitação, fruto das condições climáticas da região. As áreas mais favoráveis para a infiltração e para a recarga, e conseqüentemente menos favoráveis ao escoamento superficial, são as áreas caracterizadas por declives reduzidos, solos espessos e cobertura vegetal abundante. Contudo, em geral na área envolvente às Caldas de Carlão, predominam solos com elevado potencial de escoamento superficial.

A recarga do sistema hidromineral tem origem na circulação descendente da água meteórica proveniente dos aquíferos sub-superficiais e intermédios. A infiltração deverá acontecer a altitudes elevadas e a circulação é profunda. Esta circulação profunda tem lugar, fundamentalmente, em zonas do maciço granítico com permeabilidade acrescida pela presença de estruturas geológicas, como as duas falhas com orientação geral de NNE-SSW correspondente às linhas tectónicas do vale do Tua.

No caso do sistema hidromineral de Caldas de Carlão, estas altitudes distribuem-se geográfica e principalmente nos sectores a N e a NW deste local. A hipótese de infiltração nestes sectores é suportada, embora não tenhamos dados isotópicos de oxigénio e deutério da água mineral de Caldas de Carlão e da água não mineral da região, tendo em conta estudos isotópicos, desenvolvidos em sistemas hidrominerais, quer sulfúreos, quer gasocarbónicos na região de Trás-Os-Montes e Alto Douro, que demonstram que as áreas de recarga associadas aos respetivos sistemas hidrominerais, localizam-se em sectores de cota elevada envolventes às zonas de emergência (Marques, 1999; Andrade, 2002; Espinha, 2001; Sousa Olivera, 2000).

A circulação hidromineral nas zonas do reservatório e na descarga dá-se, principalmente, em ambiente granítico fraturado. Note-se que a fácies hidroquímica destas águas minerais é compatível com o ambiente granitóide.

A descarga das águas do polo hidromineral de Caldas de Carlão parece ser localmente controlado pelo sistema de fraturas NNE-SSW a NE-SW, bem como pelo sistema de fraturas WNW-ESE a NW-SE, e também pelos nós estruturais resultantes da intersecção destes dois sistemas. Merece destaque a presença de um filão de rocha básica localizado a Sul deste polo, que poderá funcionar como barreira aos fluxos ascendentes e a água mineral sulfúrea provenientes do sector Norte da região.

A grande maioria das águas subterrâneas (das quais as águas termominerais são um excelente exemplo) tem a sua origem na precipitação atmosférica (IAEA, 1981, 1983). No entanto, em alguns casos, os processos de recarga e circulação subterrânea são relativamente complexos, sendo necessário obter o maior número possível de informações acerca dos processos envolvidos (Espinha Marques *et al.*, 2003).

Dada a distancia entre as potenciais áreas de recarga e área de descarga, e a profundidade do reservatório mineral, estima-se que o tempo de residência destas águas minerais seja bastante longo. A localização da área de descarga ocorre junto aos nós tectónicos resultantes da intersecção entre as falhas com orientação NNE-SSW, correspondentes às linhas tectónicas do Vale do Tua, e outra falha com orientação NW-SW.

O reservatório, estará instalado em rochas graníticas a grande profundidade. Esta hipótese surge quando se consideram as características químicas destas águas, que são bastante semelhantes às que ocorrem em aquíferos graníticos noutros sistemas hidrominerais. Ao longo do circuito geohidráulico, as águas inicialmente meteóricas vão interagindo principalmente com a rocha granitóide, tendo como consequência o aumento da mineralização, e sofrendo um aumento progressivo de temperatura até à parte mais profunda do circuito. No processo de ascensão, condicionado pelo sistema de fraturas anteriormente referido, em particular pelos nós estruturais por estas definidos as águas sulfúreas serão sujeitos a processos de reequilíbrio físico e químico até a emergência.



LEGENDA

● Edifício termal

● Nascente da mina/banho

● Captação AM1

Figura 61. Mapa da área das Caldas de Carlão, onde está assinalado o corte usado para fazer o modelo hidrogeológico conceptual.

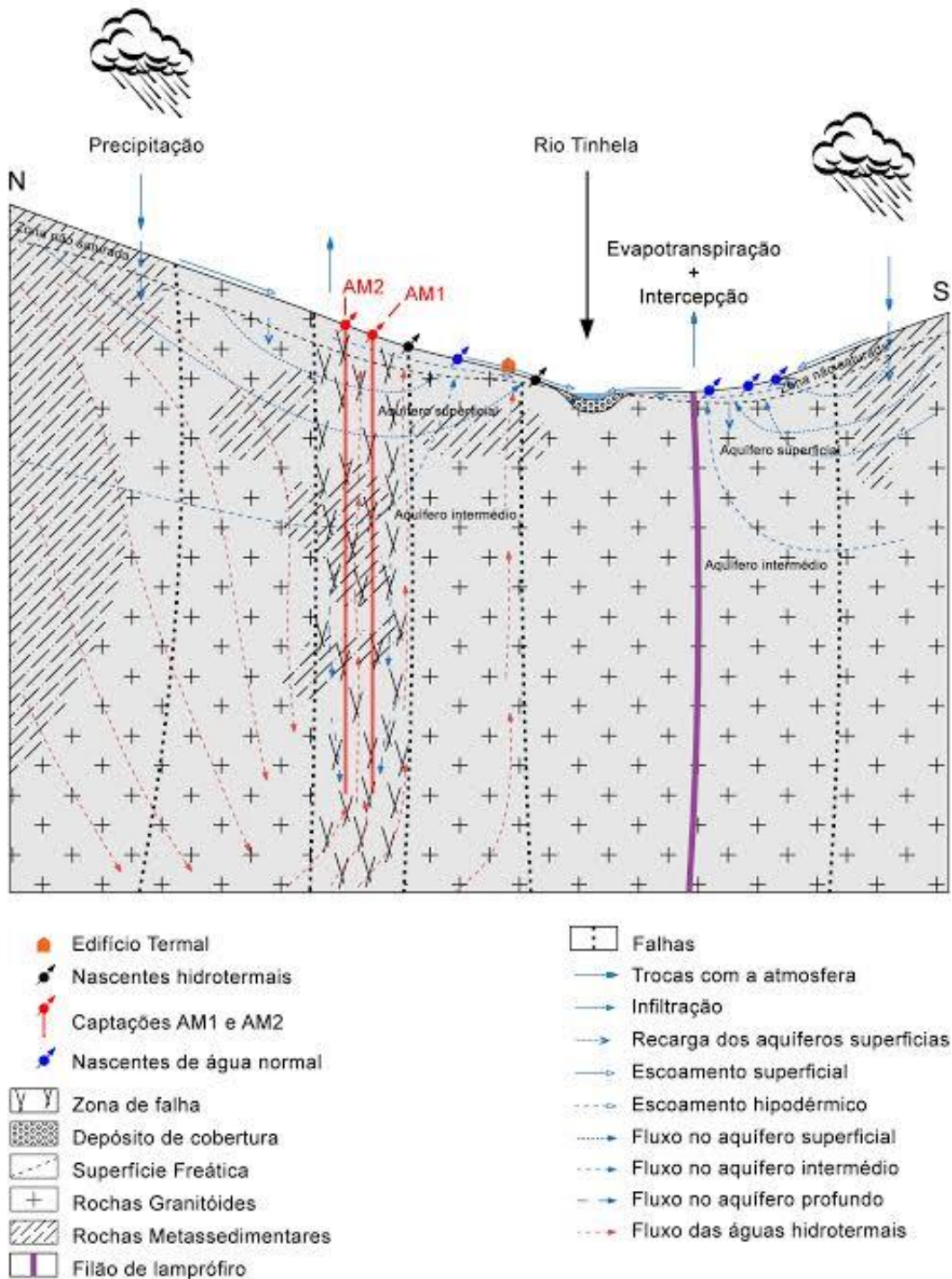


Figura 62. Modelo hidrogeológico proposto para as Caldas de Carlão

5. Conclusões e Perspetivas Futuras

Com o presente estudo, pretendeu-se contribuir para o aprofundamento do conhecimento da hidrologia de uma região com algum potencial reconhecido para a gestão dos recursos hídricos portugueses, em particular os hidrominerais.

Antes de serem apresentadas as conclusões a nível hidrogeológico resultantes dos estudos efetuados e discutidos nesta dissertação, importa referir que a prospeção e a pesquisa de água subterrânea no Maciço Hespérico do Norte e Centro de Portugal estão condicionadas por uma envolvente social e cultural. De facto, foi já anteriormente assinalado que o problema do desenvolvimento de recursos hídricos subterrâneos não é só uma questão técnica, assumindo contornos mais vastos, nomeadamente no domínio da Engenharia, da Economia, da Sociologia e do Ordenamento do Território (Lingsley *et al.*, 1992; Biswas, 1996).

Os trabalhos realizados adotaram uma perspetiva multi e inter disciplinar, de acordo com a qual foram utilizados, em conjunto, conceitos, técnicas e métodos de diversas áreas do domínio das Geociências, em particular a Geologia, a Geomorfologia, a Hidrogeologia (física e química), a Climatologia, a Geofísica e a Geoquímica Isotópica.

As tarefas realizadas incluíram diversos trabalhos de campo, nomeadamente reconhecimentos geológicos e geomorfológicos, e inventariação de pontos de água com a medição de determinados parâmetros. Esta dissertação também abordou as campanhas geofísicas, e os trabalhos efetuados aquando da construção das duas captações de água subterrânea. Complementariamente, os trabalhos de campo apoiaram-se em estudos de gabinete, foi feita uma análise da cartografia topográfica, geológica, geomorfológica e hidrológica, assim como a análise de estudos anteriores com interesse para a realização desta dissertação.

Assim, com esta perspetiva centrada nas águas subterrâneas, foi possível a construção de um esboço do modelo hidrogeológico conceptual, o qual se entende ser

útil para a tomada de decisões sobre a gestão dos recursos hídricos existentes na região.

Depois de uma reflexão sobre os estudos e trabalhos efetuados, as conclusões são as seguintes:

- i. Geomorfologicamente, a região enquadra-se na base de uma encosta, subordinada ao rio Tinhela, e as emergências localizam-se por norma em zonas mais depressionadas, e dependem de fracturação importante, estão relacionadas nomeadamente com as linhas tectónicas do vale do Tua com orientação NNE-SSW, e com uma outra falha de orientação NW-SE. As duas falhas de orientação NNE-SSW são normais ao anticlinal de Carviçais, estrutura a que pertencem os terrenos da zona. Relativamente à outra falha de orientação NW-SE, será responsável pela ascensão da água mineral;
- ii. O quadro geológico regional destaca o claro domínio das rochas granitóides relativamente às rochas metassedimentares do Complexo Xisto-Grauváquico, observando-se, deste modo a preponderância dos meios de circulação fissurados sobre os meios porosos;
- iii. Sobre o ponto de vista climático, no que respeita à temperatura, apresenta um regime térmico simples, em que o mês mais quente do ano é Agosto, e o mais frio é Janeiro. A temperatura média anual situa-se entre os 13°C e os 14°C. A precipitação é mais abundante em Dezembro e Janeiro, meses em que esse valor atingiu valores próximos de 140 mm/mês e 160 mm/mês respetivamente, enquanto que nos meses mais quentes de Verão (Julho e Agosto) a precipitação atingiu valores de 15.1 mm/mês e 26.5 mm/mês. Os valores médios anuais de precipitação estão muito próximos de 1000 mm/ano, podendo variar um pouco de ano para ano;
- iv. Foi efetuado um inventário hidrogeológico nas Caldas de Carlão, este inventário foi acompanhado da elaboração de uma ficha descritiva para cada ponto de água. O inventário incluiu pontos de água subterrânea normal (nascentes e poços), pontos de água mineral (nascentes e duas captações por furo vertical) e de água superficial (rio Tinhela);

- v. As águas minerais das Caldas de Carlão, são águas sulfúreas, bicarbonatadas, sódicas e fluoretadas e emergem a uma temperatura de 30°C na nascente principal das Termas, mas com a realização das novas captações obteve-se nestas água uma temperatura de 36°C. Estas águas minerais apresentam normalmente uma maior condutividade elétrica e um pH mais alto, sendo que em média o pH desta água é 8,21, o valor de sulfuração médio é de 22,4 ml I₂ 0,01N/L, e o valor de mineralização total médio é de 423,6 mg/L.
- vi. A utilização das técnicas de geofísica de resistividade elétrica permitiu definir polos preferenciais para a execução de captações mecânicas (furos), para a intersecção do sistema hidromineral sulfúreo;
- vii. Foram executadas duas captações do tipo furo vertical, à rotopercussão, que se revelaram um elevado sucesso, nomeadamente no que respeita a caudais e temperaturas disponíveis para este tipo de águas;
- viii. As duas captações executadas para além da coluna de revestimento de aço normal, têm uma coluna de revestimento principal de inox ASI 316L. A captação AM1 levou uma coluna de revestimento de aço normal até entre os 0 e os 6 metros, e uma outra coluna de revestimento em inox entre os 0 e os 83 metros. A partir dos 83 metros de profundidade a captação ficou em *open hole* até aos 151 metros, porque as propriedades geomecânicas dos terrenos assim o permitem. Em AM2, a coluna de revestimento de aço normal situa-se entre os 0 e os 12 metros, e a coluna em aço inox ASI 316L atinge os 83 metros de profundidade. Entre os 90 e 142 metros a captação ficou em *open hole* tal como em AM1. Devido ao terreno se apresentar muito fraturado, a captação AM2 necessitou ainda de um maciço de betão de dimensões 3m x 3m x 3m, e de um tubo PVC com diâmetro de 500 mm até aos 3 metros para estabilizar a parte mais superficial do terreno;
- ix. Tanto na captação AM1 como na AM2, foram necessárias operações de cimentação para proteger as características da água mineral. A captação AM1 foi cimentada no espaço anular entre a coluna de aço normal e o terreno até aos 6 metros, enquanto que a outra coluna de revestimento em inox ASI 316L foi cimentada em toda a sua extensão no seu espaço anular entre o terreno e os entubamentos até aos 83 metros de profundidade. A captação AM2 foi

cimentada entre os entubamentos até aos 12 metros, e a coluna de revestimento principal em inox ASI 316L foi cimentada no espaço anular externo em toda a sua extensão entre os 0 e os 90 metros de profundidade. Nas cimentações para o isolamento aplicou-se calda de cimento com aditivos aceleradores de presa, mas ainda assim estas operações foram dificultadas devido ao caudal e elevada pressão de artesianismo repuxante;

- x. Os níveis produtivos de água mineral sulfúrea aproveitados localizam-se entre os 83 e 151 metros de profundidade no caso da captação AM1, na captação AM2, os níveis produtivos de água mineral sulfúrea situam-se entre os 90 e os 142 metros de profundidade;
- xi. De acordo com os trabalhos de hidroquímica realizados, existem dois tipos de águas nas Caldas de Carlão, as águas minerais sulfúreas e águas normais. Em relação às águas minerais, os resultados mostram que se tratam de águas com a mesma tipologia hidroquímica, neste caso, a mesma água. Esta é uma água mineral sulfúrea, bicarbonatada, sódica e fluoretada;
- xii. O modelo conceptual proposto para o sistema hidromineral de Caldas de Carlão aponta para uma infiltração a ocorrer no sector N e NW. Os fluxos subterrâneos são condicionados por fraturas e litologias enquadradas no sistema cristalino fraturado, fundamentalmente granitóide e sedimentar. Neste modelo, as águas minerais tem afinidade com o ambiente granitóide, e portanto também a descarga é condicionada por fraturas dos sistemas de falhas anteriormente referidos com orientação NNE-SSW e NW-SE, bem como pelos nós estruturais e os fatores geomorfológicos associados ao Rio Tinhela. Acresce ainda, parecer importante no processo de descarga, a presença de um filão de rocha básica que poderá funcionar como barreira ao fluxo hidrominerais para Sul da região, facilitando assim o processo de emergência no polo hidromineral de Caldas de Carlão.

À medida que os trabalhos foram avançando, surgiram novos e interessantes problemas, originando pistas orientadoras para trabalhos futuros. De entre os possíveis rumos de investigação salientam-se os seguintes:

- I. Ampliação da rede de locais de estudo das águas superficiais, e aprofundamento do estudo da interligação entre as águas superficiais e as águas subterrâneas;
- II. Realização de campanhas de amostragem de águas e afloramentos rochosos presentes nas Caldas de Carlão, para análise química e análise isotópica. Uma vez que para este estudo não foram realizadas análises isotópicas, seria interessante analisar os resultados e assegurar a veracidade do modelo hidrogeológico conceptual proposto neste estudo;
- III. Delimitação de áreas de recarga do sistema hidromineral, nomeadamente através da utilização de novos resultados sobre a composição isotópica das águas subterrâneas, aliadas às novas campanhas de reconhecimento geológico e geomorfológico;
- IV. Realização de novos estudos geofísicos para um reconhecimento mais detalhado das estruturas geológicas com maior interesse hidrogeológico, e para obter mais detalhes à cerca dos processos de recarga e descarga do aquífero mineral;
- V. Compreender a natureza e o valor monetário dos serviços de natureza ambiental prestados pelo sistema hidrogeológico ao sistema socioeconómico.

Bibliografia

- Acciaiuoli, L. M. C., 1952. Le Portugal Hydromineral, Direction Générale des Mines et Services Géologiques, Lisbonne, Vol.I, pp. 284.
- Alençõo, A. M.; Sousa Oliveira, A.; Pacheco, F. A. L.. 2005. Caldas de Carlão e S. Lourenço: O aproveitamento terapêutico do passado ao presente. *In*: Livro de Resumos (também editado em DVD): *INTERREG IIIA, Douro/Duero Séc. XXI, Acção 2.2. Encontro Ibérico Sobre Património Transfronteiriço na Região do Douro/Reunión Iberica sobre Patrimonio Geologico en la Región Transfronteriza del Duero*. Casa da Cultura de Freixo de Espada à Cinta, 3 e 4 de Junho, Freixo de Espada à Cinta, pp. 63-66.
- Allen, R.G., Pereira L.S., Howell, T.A., Jensen, M.E., 2011. Evapotranspiration information reporting: I. Factors governing measurement accuracy. *Agric. Water Manage.* 98, 899-920.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop Evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrig. Drain, Rome, pp. 300.
- Andrade, M. P. L., 2002. A geoquímica isotópica e as águas termominerais. Contribuição dos isótopos do Sr ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) e do Cl ($^{37}\text{Cl}/^{35}\text{Cl}$) na elaboração de modelos de circulação. O caso de algumas águas do Norte de Portugal, Tese de Mestrado, Instituto Superior Técnico de Lisboa, Lisboa.
- Bhattacharya, P. K.; Patra, H. P. 1968. Direct current Geoelectric Sounding: Principles and interpretation, Elsevier Publishing Company, Amsterdam/London/New York.
- Biswas A. (1996). Water resources: environmental planning, management and development. McGraw Hill. 1ª Edition. ISBN-13: 978-0070054837.
- Bitzer, K.; Travé, A; Carmona, J. M. 2001. Fluid flow processes at basin scale. *Acta Geologica Hispanica*, Barcelona, 36 (1/2), pp. 1-20.

Brassington, R., 1998. Field hydrogeology, John Wiley & Sons, Chichester, UK, pp. 248.

Calado, C. ; Almeida, C., 1993. Geoquímica do flúor em águas minerais da Zona Centro-Ibérica. In: F. Noronha, M. Marques & P. Nogueira, Eds, IX Semana de Geoquímica e II Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa, Porto, 1993. Mem. Mus. Labor. miner. geol. Fac. Ciênc. Univ. Porto, Porto, 3: 319-323.

Calado, C., 1995. Notícia explicativa da Carta de Nascentes Minerais, Escala 1/ 1 000 000. In: Atlas do Ambiente, 44 pp. Direcção-Geral de Recursos Naturais/Ministério do Ambiente e Recursos Naturais, Lisboa.

Calado, C., 2001. A ocorrência de água sulfúrea alcalina no Maciço Hespérico: quadro hidrogeológico e quimiogénese. Tese de Doutoramento, Universidade de Lisboa.

Cantista, A. (2010). O termalismo em Portugal. *Anales de Hidrologia Médica*, 3(1),pp. 79–107.

Carrington da Costa, J. C. 1950. Notícia sobre uma carta geológica do Buçaco de Nery Delgado, Direcção-Geral de Minas e Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa, pp. 28

Carvalho J.M. 2000. As Aguas Subterrâneas no Abastecimento de Núcleos Urbanos do Norte de Portugal, Jornadas hispano-lusas sobre las aguas subterraneas en el noroeste de la península ibérica. Ministério de Ciência e Tecnologia e Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.

Carvalho, D. F.; Silva, L. D. B. 2006. Hidrologia, Cap. 5, pp. 60-80.

Carvalho, J. M. 2006. Prospecção e pesquisa de recursos hídricos subterrâneos no Maciço Hespérico Português: linhas metodológicas, Tese de Doutoramento, Universidade de Aveiro.

Carvalho, J.M.; Medeiros, A.L.C.; Garcia, S., 2004. Caracterização hidrodinâmica de algumas áreas do Maciço Hespérico Português. IN: 7º Congresso da Água, APRH, Lisboa, p1-16. Edição em CD-Rom.

Cortez J.A.S. 1981. Estudo hidrogeológico e Programa de trabalhos de pesquisa das Caldas de Carlão.

Cortez, J. A. S. 1996. Plano de exploração das Caldas de Carlão.

Cortez, J. A. S. 1996. Projeto de beneficiação da nascente do banho.

Cortez, J. A. S. 2012. Plano de exploração das Caldas de Carlão, 1ª atualização.

- Craig, H. 1961. Isotopic variations in meteoric waters, *Science*, 133, pp. 1703.
- Cruz, J. 2002. Reconhecimento e Prospecção Hidrogeológica. In: Prospecção pesquisa e captação de águas minerais naturais, recursos geotérmicos e águas de nascente, Comunicações apresentadas nas II Sessões Técnicas integradas nas comemorações dos 150 anos da criação da 1ª Comissão Geológica de Portugal.
- Custódio E., Llamas M.R., 1976. *Hidrologia subterrânea*, Ediciones Omega, S.A., Barcelona.
- Dahlin, T. 1996. 2D resistivity surveying for environmental and engineering applications. *First Break*, 14 (7), pp. 275- 283.
- DGEG 2007. Recursos Hidrogeológicos e Geotérmicos, Relatório de atividades de 2015, disponível em: www.dgeg.pt/pagina.aspx?js=0&codigono=63637867AAAAAAAAAAAAAAAA
- Duarte, J. F. P. 2013. Planeamento, Captação e Gestão de águas subterrâneas da região de Aveiro, Tese de Mestrado, Universidade de Aveiro.
- Ernstson, K.; Kirsch, R. 2009. Geoelectrical methods. In R. Kirsch (Ed.), *Groundwater Geophysics, 2009, a tool for hydrogeology*, pp. 85-117. Berlin Heidelberg New York: Springer.
- Espinha Marques J.; Chaminé H.I.; Carvalho J.M.; Borges F.S.. 2001. Estudo de sistemas hidrominerais: o caso de Caldas do Moledo. Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.
- Espinha Marques, J.; Carvalho, J.M.; Sodré Borges, F. 2003. O sistema hidromineral de caldas do moledo, peso da régua (Norte de Portugal). *Cadernos Lab. Xeol.Laxe, A Coruna*.
- Espinha Marques, J.; Marques, J. M.; Chaminé, H. I.; Gomes, A. A.; Fonseca, P. E.; Martins Carvalho, J.; Graça, R. C.; Aires-Barros, L.; Sodré Borges, F.. 2003. Nascente termal do Poço Quente (Granj o-Caldas do Moledo, Norte de Portugal): morfoestrutura, geoquímica e hidrogeologia. *Cad. Labor. Xeol. Laxe, Revista de Xeolox a Galega e do Herc nico Peninsular, A Coru a*, 28:147-172.
- Farahani, H.J.; Howell, T.A.; Shuttleworth, W.J.; Bausch, W.C. 2007. Evapotranspiration: progress in measurement and modeling in agriculture, *Trans, ASABE* 50, pp. 1627–1638.

Feitosa F.A.C.; Manuel Filho J. 2000. Hidrogeologia. Conceitos e Aplicações. CPRM/REFO.

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. ISBN 978-972- 763-132-2

Fetter, C. W., 2001. Applied Hydrogeology. 4th Ed., Prentice Hall, New Jersey, pp. 598.

Fitts, C. R., 2002. Groundwater science, Academic Press, London, pp. 450.

Fontana, D.C. 1990. Determinação da evapotranspiração, In: Bergamaschi, H. (Coord). Agrometeorologia aplicada á irrigação, 1990, Porto Alegre: UFRGS.

Gatlin, C. 1960. Petroleum Engineering, Drilling and well Completions. Prentice-Hall, New Jersey, USA.

Glenn, E.P.; Neale, C.M.U.; Hunsaker, D.J.; Nagler, P.L..2011. Vegetation index-based crop coefficients to estimate evapotranspiration by remote sensing in agricultural and natural ecosystems. Hydrol. Process. 25, pp. 4050–4062.

Gonfiantini, R.; Fröhlich, K.; Aragus-Aragus, L.; Rozanski, K. 1998. Isotopes in Groundwater Hydrology. In: Isotope Tracers in Catchment Hydrology. Elsevier Publishing Company, New York, pp. 203-246.

Griffiths, D.; Turnbull, J.; Olayinka, A. 1990. Two-dimensional resistivity mapping with a computer-control-1Array. First Break, 8 (4), pp. 121-129.

Griffiths, D.H.; Baker, R. D. 1993. Two-dimensional resistivity imaging and modelling in areas of complex geology, J. Appl. Geophys., 29, pp. 211-226.

Guedes, J. F. 2013. Optimização de metodologias de construção de infra-estruturas hidráulicas subterrâneas muito profundas, para a captação de recursos hídricos e geotérmicos em maciços graníticos, Programa de Tese de Doutoramento, Universidade da Beira Interior.

Guerra, A. C. M. 2015. Utilização de isótopos ambientais (^2H , ^{13}C , ^{18}O , ^3H , ^{14}C) na caracterização de sistemas hidrominerais e geotérmicos do Norte de Portugal (Termas de Monção e Gerês), Tese de Mestrado, Instituto Superior Técnico de Lisboa.

Hamill, D. L.; Bell, F. G.. 1986. Groundwater Resource Development.

Herbert, J. H.; Gómez, J. C..2012. Utilización de técnicas de sondeos en estúdios geotécnicos, Departamento de exploración de recursos minerales y obras subterráneas, Ingenieros de minas de Madrid, Madrid.

Huarte, J.P. 1977. Procedi Procedimientos de sondeos: Teoria, practica y aplicaciones, Publicaciones científicas de la Junta de Energia Nuclear- Espanha

IAEA – International Atomic Energy Agency (1981). Stable isotope hydrology. Deuterium and oxygen-18 in the water cycle. IAEA-Vienna, Technical Reports Series, 210. Vienna.

Ingebritsen S.E.; Manning C.E.. 1999. Geological implications of a permeability-depth curve for the continental crust, Los Angeles, USA.

Ingebritsen S.E.; Sanford W.E. 1998. Groundwater in geologic processes. Cambridge University Press, New York.

Kendall, C.; Caldwell, E. A. 1998. Fundamentals of Isotope Geochemistry. In: C. Kendall; J. J. McDonnell (Edits.), Isotope Tracers in Catchment Hydrology , Elsevier Science B.V. Amsterdam, pp. 839.

Koefoed, O. 1980. Geosounding Principles: Resistivity Sounding Measurements, Methods in Geochemistry and Geophysics, Elsevir Science Ltd, ISBN-13: 978-0444417046.

Lepierre, C. (1930). Chimie et physico-chimie des Eaux. In: Le Portugal hydrologique et climatique, Vol. 1, pp. 75-106.

Lima, A. S.. 2001. Hidrogeologia de Terrenos Graniticos. Minho-Portugal. Universidade do Minho, Braga.

Linsgley R.K.; Franzini J.B.; Freyberg D.L.; Tchobanoglous G. 1992. Water Resources Engineering. McGraw-Hill.

Liou, Y.A.; Kar, S.K.. 2014. Evapotranspiration estimation with remote sensing and various surface energy balance algorithms—a review. Energies 7, pp. 2821-2849.

Loke, M.H.; Lane, J.W..2004. Inversion of data from electrical resistivity imaging surveys in water-covered areas. Exploration Geophysics, 35 (4), pp. 266-271.

Lopes, A. L..1892. Águas Minero-Medicinaes de Portugal, M. Gomes, Livreiro-Editor, Lisboa.

Lowrie, W. 2007. *Fundamentals of Geophysics*, second edition, Cambridge University Press, UK.

Machado, M.J.C.. 1992. Aspectos do Quimismo das Águas Gasocarbónicas da Zona de Vidago. in APRH (ed.) "O Estado da Água em Portugal". Comunic. 1º Congresso da Água, 1992 (Lisboa), Vol. 3:255-270. Assoc. Port. dos Recursos Hídricos. Lisboa

Marques, J. M., 1999. *Geoquímica dos fluidos e da interacção água-rocha: os casos das águas mineralizadas quentes e frias de Chaves, Vilarelho da Raia, Vidago e Pedras Salgadas*, Tese de Doutoramento, Instituto Superior Técnico de Lisboa.

Marques, J. M.; Carreira, P. M.; Espinha Marques, J.; Chaminé, H. I; Fonseca, P. E.; Monteiro Santos, F. A.; Almeida, E.; Gonçalves, R.; Martins Carvalho, J.; Almeida P. G.; Teixeira J..2007. Tracing the dynamics of thermal waters using a multitechnique approach (Serra da Estrela, Central Portugal). In: *Actas do Seminário sobre Águas Subterrâneas*, Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, Lisboa, 14 pp.

McGinis, L.D.; Jensen, T.E.. 1971. Permafrost-hydrogeologic régime in two ice-free valleys, Antarctica, from electrical depth sounding, *Quaternary Research*, pp. 389-409.

Medeiros, A. C..2012. *Obtenção do IQA para avaliação da qualidade da água em rios dos municípios de Abaetetuba e Barcarena*, Universidade Federal do Pará-Ufpa, Belém.

Mendes J.C.; Bettencourt M.L., 1980. Contribuição para o estudo do balanço climatológico de água no solo e classificação climática de Portugal Continental. In: *O Clima de Portugal*, Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica.

Oliveira, A. S. 2001. *Hidrogeologia dos sistemas gasocarbónicos da província hidromineral transmontana: Ribeirinha (Mirandela), Sandim (Vinhais) e Segirei e Salgadela (Chaves)*, Tese de Doutoramento, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.

Oliveira, J. T.; Carvalho, P.; Pereira, Z.; Pacheco, N.; Fernandes, J.; Korn, D.. 1997. The stratigraphy of the Neves Corvo Mine Region. *Society Economic Geology. Neves Corvo Field Conference*, pp. 86-87.

Overmeeren R. A. V.; Ritsema I.L.. 1988. *GEA 58: A Way of Continuous Vertical Electrical Sounding*, TNO-Institute of Applied Geoscience, Delft, the Netherlands.

Peixoto, J. P. 1977. *O ciclo da água em escala global*, Secretaria de Estado do Ambiente, Lisboa, pp. 75.

- Pereira, L.S; Perrier, A.; Allen, R.G.; Alves, I..1999. Evapotranspiration: concepts and future trends, *J. Irrig. Drain. Eng.* 125, pp. 45–51.
- Pereira, M. R. 1999. Hidrogeologia das rochas fracturadas da Terra Quente Transmontana, Tese de Doutoramento, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real.
- Pérez-Estaún, A.; Bea, F.; Bastida, F.; Marcos, A.; Catalán, J.; Poyatos, D.; Arenas, R.; García, F.; Azor, A.; Simarcas, J.F.; Lodeiro, F..2004. La Cordillera Varisca Europea: El Macizo Ibérico. In: *Geología de España*, Ed. J.A. Vera, SGE-IGME, Madrid.
- Pernes, R. A. S..2014. Well-logging correlation- análise e correlação de diagráfias em poços na bacia do Rio Grande do Norte, Tese de Mestrado, Instituto Superior Técnico de Lisboa.
- Pinto, H. G.; Mangorrinha, J.. 2009. O desenho das termas: história da arquitectura termal portuguesa, Ministério da Economia e Inovação, Lisboa.
- Ramos, A.C.C.V.. 2003. Termalismo/ turismo termal - contextos, impactes e potencialidades, Instituto de Financiamento e Apoio ao Turismo, Lisboa, pp. 295-309.
- REYNOLDS JM.. 1997. An introduction to applied and environmental geophysics. Ed. John Wiley and Sons.
- Reynolds, J.M.; Paren, J.G..1980. Recrystallization and electrical behaviour of glacier ice, *Nature*, Vol. 283, Nº 5742. Pp 63-64.
- RIBEIRO L., 2009. Gestão integrada de Bacias Hidrográficas. Instituto Superior Técnico de Lisboa, Lisboa.
- Ribeiro, A.; Pereira E.; Dias R. 1990. Structure of Centro-Iberian allocthon in the Northwest oh the Iberian Peninsula. In: Dallmeyer R.D. & Martinez-Garcia E. (Eds), *Pre-Mesozoix Geology of Iberia*, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Rocha, C. L.; Brezezinski, M. A.; DeNiro, M. J..2000. A first look at the distribution of the stable isotopes of silicon in natural waters, *Geochemistry, Geophysics e Geosystems*, pp. 2467 – 2477.
- Rodrigues, R. P. C.. 2011. Estância termal. Espaço verde termal. Catalisador urbano das Caldas da Rainha. Dissertação de Mestrado. Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Rynolds, J.M.; Paren, J.G..1984. Electrical resistivity of ice from the Antartic Peninsula, Antarctica. *Journal of Glaciology*, Vol.6, Nº 47.

SANTOS, M.F..1972. Pré-História de Portugal, Edições Verbo, Cacém.

Sereno, M..1974. Caldas de Carlão Mas Porque?

Silva, A.F.; Romão, J.; Sequeira, A.; Oliveira, J.T..1995. A sucessão litoestratigráfica ante-ordovícica na Zona Centro-Ibérica (ZCI), em Portugal: Ensaio da interpretação com base nos dados actuais. XIII Reunion de Geologia del Oeste Peinsular, Universidad de Salamanca, pp.71-72.

Simões. C.. 1993. Águas Minerais Portuguesas: da sua caracterização físico-química ao esboço de uma classificação. Boletim de Minas. DGGM.

Sousa Oliveira, A.. 2014. Cartografia Geológica e Prospeção Geofísica em Caldas de Carlão, Departamento de Geologia, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.

Sousa Oliveira, A.; Gonçalves, J.L.P.; Almeida, S.M.S.; Lourenço, J.M.M.. 2015. Relatório interno da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Águasmil e Caldas de Carlão.

Sousa, M.B.. 1982 . Litoestratigrafia e estrutura do Complexo Xisto-Grauváquico ante-Ordovícico, Grupo do Douro. Memórias e Nota do Museu e Laboratórios de Mineralogia e Geologia, Universidade de Coimbra, pp. 223.

Sousa, M.B.; Sequeira, A.J.D.. 1987-1989. Carta Geológica de Portugal na escala 1/50000. Notícia explicativa da folha 10-D (Alijó), Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, pp. 59.

Sterret, R.J.. 2007. Groundwater and wells, Ed. Johnson Screens, USA.

Teixeira, C.; 1955. Notas sobre a Geologia de Portugal: o Complexo Xisto-Grauváquico anteOrdoviciano. Empresa Literária Fluminense, Lisboa, 50 p.

Telford w. M.; Geldart, I. P.; Sheriff r. E. 1990. Applied geophysics. 2ed. Cambridge University Press.

Thorthwaite, C.W.. 1948. Na approach toward a rational classification of climate, Geographic Review, 38. pp. 55-93.

Todd, D. K.; Mays, L. W.. 2005. Groundwater Hydrology, John Wiley & Sons, New York.

Torres, A.; Narciso, A.; Lepierre, C.; Luzes, O.. 1930-1935. Le Portugal Hydrologique et Climatique, Departamento Geral Minas e Serviços Geológicos, Lisboa.

Travassos, N.F.E.T.. 2003. Inventário Nacional das captações dos sistemas de Abastecimento Público de Água no Âmbito da Segurança e Proteção Civil. Universidade de Évora.

Urish, D.W.. 1983. The practical application of surface electrical resistivity to detection of ground-water pollution, consultado em: www.researchgate.net/publication/227631987 The Practical Application of Surface Electrical Resistivity to Detection of Ground-Water Pollution.

Whitely, R. J.. 1973. Limitations on resistivity methods as inferred from the buried sphere problema, Geophysics, Vol. 4, Nº 1.

Yungul S.H.. 1996. Electrical methods in Geophysical Exploration of Sedimentary Basin. Chapman and Hill, U.K.

Zohdy, A.A.; Eaton G.P.; Mabey D.R.. 1974. Application of Surface Geophysics to Ground-Water Investigations. U.S. Geological Survey Techniques of Water-Resource Investigations TWRI 2-D1. [ER, GR, MAG, SRR].

Legislação

Decreto-Lei n.º 54/2015.

D.G. – III série – n.º 190 de 15/8/1942.

D.G. n.º 109 – III série – de 9/5/1973.

D.R.-III série-9/1/97.

D.R. n.º 57 – I série B – de 22/3/2005 – Portaria n.º 289/2005.

D.R. n.º 118 – II – 23/5.

Sites

APA, Associação Portuguesa do Ambiente. ex INAG, Instituto Nacional da Água Consultado a 08/07/2016

APIAM, Associação Portuguesa dos Industriais de Águas Minerais Naturais e de Nascente. Consultado a 20/03/2016

DGEG, Direção Geral de Energia e Geologia. Consultado a 20/01/2016

IAEA, Internacional Atomic Energy Agency Consultado a 12/06/2016

IGME, Instituto Geológico y Minero de España Consultado a 07/05/2016

LNEG, Laboratório Nacional de Energia e Geologia. Consultado a 20/01/2016

ANEXOS- Inventário de Pontos de Água – Caldas de Carlão.

Condições climáticas	Chuva		Acesso	Bom	
	Nublado	X		Razoável	
	Sol			Mau	X

Localização				
Carta Geológica: 103	Coordenadas:	M -	P ^{to} água: 13	Data: 17-03-2016
		P -		
		Cota -		

Parâmetros Físico-Químicos

Condutividade (µS/cm)	Temperatura(°C)	Ph

Resistividade (kΩ x cm)	TDS (mg/L)	Salinidade	Eh

Nascentes		Poços	
Caudal:		NHE (m):	
Tipo:		Tipo:	
Usos:		Usos:	

Observações: _____
