

UNIVERSIDADE DO MINHO

Escola de Ciências

Luís Filipe Fernandes da Silva Mendes

Radioactividade de águas subterrâneas em  
terrenos cristalinos: caso de estudo na região de  
Ponte de Lima (Noroeste de Portugal)

Mestrado em Ordenamento e Valorização de Recursos  
Geológicos

Trabalho efectuado sob a orientação do  
Prof. Doutor Alberto da Silva Lima

Outubro de 2010

## DECLARAÇÃO

**Nome:** Luís Filipe Fernandes da Silva Mendes

**Correio Electrónico:** luisfilipemendes@gmail.com

**Telefone:** 964256956

**Bilhete de Identidade:** 11515735 de 12 de Outubro de 2007 do Arquivo de Identificação de Viana do Castelo

**Título dissertação:** Radioactividade de águas subterrâneas em terrenos cristalinos: caso de estudo na região de Ponte de Lima (Noroeste de Portugal)

### **Orientador**

Prof. Doutor Alberto da Silva Lima

**Ano de Conclusão:** 2010

**Designação do Mestrado:** Ordenamento e Valorização de Recursos Geológicos

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA TESE/TRABALHO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE.

Universidade do Minho, 30 de Outubro de 2010.

Assinatura: \_\_\_\_\_

## AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho deve-se a todos aqueles que directa ou indirectamente contribuíram com o seu apoio e incentivo. Por isso, não poderia deixar passar a ocasião para agradecer a todos. Como tal agradeço:

Ao Prof. Doutor Alberto da Silva Lima, orientador de estágio, por ter aceite orientar este trabalho, pelo acompanhamento, sugestões e incentivos em todos os momentos do trabalho, disponibilidade para o esclarecimento de dúvidas quer na componente de campo quer no gabinete, bem como a oportunidade de ter enriquecido os meus conhecimentos;

Ao Prof. Doutor Alcides José Sousa Castilho Pereira, da Universidade de Coimbra, pelo apoio na área da radioactividade, nomeadamente na detecção de radão nas águas subterrâneas;

Ao Dr. Paulo Pinto, do Laboratório de Radioactividade Natural do Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra, pelo apoio técnico e prontidão;

Aos meus pais, pelo apoio, carinho, atenção e preocupação com que sempre me atenderam;

Ao meu avô Francisco Fernandes, pela sua ajuda preciosa na localização dos pontos de água e durante a colheita de amostras;

À Sílvia Lopes pelo apoio, paciência, atenção e sugestões na elaboração deste trabalho. Disponibilidade na tradução de alguns artigos em Inglês;

À Eng. Fátima, do Município de Ponte de Lima, pela sua prontidão no esclarecimento de dúvidas e acesso a informação;

Ao Sr. Octávio pela ajuda na localização de nascentes e minas, nas freguesias de S. Pedro de Arcos e Fontão;

À Dra. Raquel Gonçalves e ao Dr. Pedro Silva pela compreensão e permissão na flexibilidade no horário de trabalho, durante a realização desta dissertação.

Aos que acreditaram no meu trabalho.

A todos, a minha profunda gratidão:

Muito obrigado.

---

“RADIOACTIVIDADE DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM TERRENOS CRISTALINOS: CASO DE ESTUDO NA REGIÃO DE PONTE DE LIMA (NOROESTE DE PORTUGAL)”

O radão é um gás radioactivo que não tem cor, cheiro ou sabor e é solúvel em água. Resulta do decaimento radioactivo do urânio e do rádio, elementos que estão presentes de forma natural no solo e nas rochas. Estima-se que, depois do fumo do tabaco, o radão seja o maior responsável pelo cancro do pulmão. Uma pessoa exposta, ao longo da sua vida, a  $400 \text{ Bq/m}^3$  deste gás tem o dobro das hipóteses de vir a sofrer da referida doença, sendo o risco ainda maior para os fumadores.

Regra geral, as concentrações de radão na atmosfera são baixas, mas em ambientes fechados podem atingir níveis preocupantes. Assim, a exposição humana ao gás varia em função da zona do país, das condições climatéricas e dos hábitos das populações. Por exemplo, no Inverno, como as casas são menos arejadas, a concentração do referido gás pode ultrapassar o dobro dos valores encontrados no Verão.

A água subterrânea tem uma maior concentração de radão do que a água de superfície, uma vez que as concentrações na atmosfera são baixas. Além disso, quando atingem a superfície, as águas subterrâneas vão perdendo radão para a atmosfera.

Este trabalho tem como finalidade avaliar as concentrações de radão nas águas subterrâneas da região de Ponte de Lima, uma das áreas de Portugal Continental com maior taxa de exposição à radiação gama. Pretende-se também identificar os factores envolvidos na variabilidade espacial das concentrações de radão.

Os dados obtidos mostram uma grande dispersão, com valores de radão situados entre  $9 \text{ Bq/L}$  e  $1164 \text{ Bq/L}$ . As concentrações mais elevadas correspondem a amostras localizadas em substrato granítico, mais concretamente num granito de grão médio ou fino a médio. Além disso, estas amostras parecem estar associadas a circuitos subterrâneos condicionados por facturação ENE-WSW sub-paralela ao acidente que controla em termos gerais o rio Lima. Não se verificaram correlações significativas entre os parâmetros radiológicos e físico-químicos globais.

“RADIOACTIVITY OF GROUNDWATER IN CRYSTALLINE TERRAINS: CASE STUDY IN THE PONTE DE LIMA REGION (NW PORTUGAL) “

Radon is a radioactive gas that has no color, smell or taste and is soluble in water. It follows from the radioactive decay of uranium and radium, elements that are naturally present in soil and rocks. It is estimated that after the tobacco smoke, radon is mainly responsible for lung cancer. A person exposed throughout his life to 400 Bq/m<sup>3</sup> of this gas has twice the chance of suffering from the disease, the risk being even greater for smokers.

Generally, concentrations of radon in the atmosphere are low, but indoors can reach alarming levels. Thus, human exposure to gas varies depending on the area, weather conditions and habits of populations. For example, in winter, as the houses are less ventilated, the concentration of that gas can reach more than double the values found in summer.

Groundwater has a higher concentration of radon than surface water, since concentrations in the atmosphere are low. Moreover, when it reach the surface, groundwater will lose radon to the atmosphere.

This study aims to evaluate the radon concentrations in groundwater of the Ponte de Lima region, one of the areas of mainland Portugal with a higher rate of exposure to gamma radiation. Another aim is to identify the factors involved in the spatial variability of groundwater radon concentration.

The data show a large scatter, with values of radon situated between 9 Bq / L and 1164 Bq / L. The highest activities belong to samples located on granitic rock, namely a medium or fine to medium grained granite. Moreover, these samples appear to be associated with ENE-WSW fractures sub-parallel to the major fault that controls the Lima River. There were no significant correlations between radiological and physicochemical parameters.

**INDICE**

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	III
<b>RESUMO</b> .....	V
<b>ABSTRACT</b> .....	VI
<b>ÍNDICE</b> .....	VII
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	IX
<b>ÍNDICE DE QUADROS</b> .....	XIII
<b>I.INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>II. RADIOACTIVIDADE NATURAL</b> .....	6
II.1. Isótopos.....	8
II.2. Decaimento Radioactivo.....	8
II.3. Tipos de radiação.....	10
II.4. Radão.....	12
II.4.1 Origem.....	12
II.4.2 Séries de decaimento.....	14
II.4.3. Vias de dispersão.....	16
II.4.4 Problemas para a Saúde Humana.....	20
II.4.5 Prevenção e controlo dos níveis de radão - Legislação aplicável.....	21
<b>III.CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO</b> .....	23
III.1. Enquadramento geográfico.....	24
III.2. Geomorfologia.....	25
III.3. Geologia.....	26
III.4. Hidroclimatologia.....	29
III.4.1 Precipitação.....	29
III.4.2 escoamento.....	30
III.4.3 Temperatura.....	31
III.4.4 Evapotranspiração Potencial.....	34
III.4.5 Evapotranspiração Real.....	34
III.5 Radiação Gama Natural.....	35

---

<b>IV. METODOLOGIA</b> .....	37
IV.1. Colheita de amostras.....	38
IV.2. Procedimentos analíticos.....	39
IV.2.1. $^{222}\text{Rn}$ .....	40
IV.2.2. $^{226}\text{Ra}$ .....	41
IV.2.3. $^{238}\text{U}$ e $^{234}\text{U}$ .....	41
<b>V. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	44
V.1. Caracterização físico-química.....	50
V.2. Parâmetros radiológicos.....	59
V.3. Relação entre parâmetros físico-químicos e radiológicos.....	62
V.4. Factores condicionantes da actividade do radão nas águas subterrâneas.....	74
<b>VI. CONCLUSÕES E SUGESTÕES</b> .....	76
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	79



**ÍNDICE DE FIGURAS**

<b>Figura II.1</b> - Poder de penetração dos diferentes tipos de radiação.....	11
<b>Figura II.2</b> - Fontes e distribuição da exposição média à radiação, da população mundial.....	12
<b>Figura II.3</b> – Dose média de radiação externa em Portugal.....	13
<b>Figura II.4</b> - Série de desintegração do $^{238}\text{U}$ .....	14
<b>Figura II.5</b> - Série de desintegração do $^{235}\text{U}$ .....	15
<b>Figura II.6</b> - Série de desintegração do $^{232}\text{Th}$ .....	16
<b>Figura II.7</b> – Vias de penetração do radão em habitações.....	19
<b>Figura III.1</b> – Localização da área de trabalho.....	24
<b>Figura III.2</b> – Geologia da região de Ponte de Lima.....	27
<b>Figura III.3</b> – Distribuição da precipitação ao longo do ano hidrológico 2009 - 2010, na estação climatológica de Ponte de Lima e valores médios mensais da série 1940/1941 a 1997/98.....	30
<b>Figura III.4</b> – Normais de temperatura em 10 estações climatológicas da região do Minho.....	32
<b>Figura III.5</b> – Distribuição dos valores de temperatura mensal do ano 2009-2010 e valores médios mensais históricos na estação climatológica de Ponte da Barca.....	33
<b>Figura III.6</b> - Evapotranspiração potencial mensal na estação climatológica de Ponte de Lima.....	34
<b>Figura III.7</b> – Evapotranspiração real média mensal.....	35
<b>Figura III.8</b> – Carta de Radiação Gama Natural.....	36

---

<b>Figura IV.1</b> – Material utilizado para a colheita de amostras e medições de campo.....	38
<b>Figura IV.2</b> – Medição da temperatura e condutividade eléctrica, potencial redox e amostra no <i>vial</i> e na garrafa de PET de 1,5 L.....	39
<b>Figura IV.3</b> - Espectrómetro de cintilação líquida ultra-sensível Perkin Elmer Quantulus 1220.....	40
<b>Figura IV.4</b> – Processo para a libertação do radão.....	42
<b>Figura IV.5</b> – Ampola, com cocktail de extracção contendo urânio e amostra de água.....	43
<b>Figura V.1</b> – Enquadramento geológico dos pontos de água inventariados....	47
<b>Figura V.2</b> – Distribuição dos pontos de água amostrados.....	49
<b>Figura V.3</b> - Distribuição dos valores de condutividade nas diferentes litologias.....	53
<b>Figura V.4</b> – Distribuição dos valores de pH nas diferentes litologias.....	53
<b>Figura V.5</b> - Distribuição dos valores potencial redox nas diferentes litologias.....	54
<b>Figura V.6</b> - Distribuição dos valores de temperatura nas diferentes litologias.....	55
<b>Figura V.7</b> – Diagrama de dispersão dos valores de temperatura e de condutividade.....	56
<b>Figura V.8</b> – Diagrama de dispersão dos valores de temperatura e de Eh.....	56
<b>Figura V.9</b> – Diagrama de dispersão dos valores de pH e de temperatura.....	57
<b>Figura V.10</b> – Diagrama de dispersão dos valores de pH e de condutividade.....	57

---

<b>Figura V.11</b> – Diagrama de dispersão dos valores de pH e de Eh.....	58
<b>Figura V.12</b> – Diagrama de dispersão dos valores de condutividade e de Eh.....	58
<b>Figura V.13</b> - Distribuição dos valores de Rn nas águas subterrâneas das diferentes litologias.....	62
<b>Figura V.14</b> – Diagrama de dispersão dos valores de Rn e de Eh.....	63
<b>Figura V.15</b> – Diagrama de dispersão dos valores de Rn e de condutividade.....	63
<b>Figura V.16</b> – Diagrama de dispersão dos valores de Rn e de temperatura....	64
<b>Figura V.17</b> – Diagrama de dispersão dos valores de Rn e de pH.....	64
<b>Figura V.18</b> – Diagrama de dispersão dos valores de Ra e de Eh.....	65
<b>Figura V.19</b> – Diagrama de dispersão dos valores de Ra e de condutividade.....	65
<b>Figura V.20</b> – Diagrama de dispersão dos valores de Ra e de temperatura...	66
<b>Figura V.21</b> – Diagrama de dispersão dos valores de Ra e de pH.....	66
<b>Figura V.22</b> – Diagrama de dispersão dos valores de $^{238}\text{U}$ e de Eh.....	67
<b>Figura V.23</b> – Diagrama de dispersão dos valores de $^{238}\text{U}$ e de condutividade.....	67
<b>Figura V.24</b> – Diagrama de dispersão dos valores de $^{238}\text{U}$ e de temperatura..	68
<b>Figura V.25</b> – Diagrama de dispersão dos valores de $^{238}\text{U}$ e de pH.....	68
<b>Figura V.26</b> – Diagrama de dispersão dos valores de $^{234}\text{U}$ e de Eh.....	69
<b>Figura V.27</b> – Diagrama de dispersão dos valores de $^{234}\text{U}$ e de condutividade.....	69

---

- 
- Figura V.28** – Diagrama de dispersão dos valores de  $^{234}\text{U}$  e de temperatura..70
- Figura V.29** – Diagrama de dispersão dos valores de  $^{234}\text{U}$  e de pH.....70
- Figura V.30** – Diagrama de dispersão dos valores de Rn e de Ra.....71
- Figura V.31** – Diagrama de dispersão dos valores de Rn e de  $^{238}\text{U}$ .....71
- Figura V.32** – Diagrama de dispersão dos valores de Rn e de  $^{234}\text{U}$ .....72
- Figura V.33** – Diagrama de dispersão dos valores de Ra e de  $^{238}\text{U}$ .....72
- Figura V.34** – Diagrama de dispersão dos valores de Ra e de  $^{234}\text{U}$ .....73
- Figura V.35** – Diagrama de dispersão dos valores de  $^{238}\text{U}$  e de  $^{234}\text{U}$ .....73

---

**ÍNDICE DE QUADROS**

<b>Quadro II.1</b> – Radionuclídeos em água subterrânea.....	17
<b>Quadro III.1</b> – Precipitação mensal do ano hidrológico 2009-2010 e valores médios mensais da série pluviométrica de 1940/1941 a 1997/1998, na estação climatológica de Ponte de Lima .....	29
<b>Quadro III.2</b> – Temperatura mensal do ano 2009-2010 e valores médios mensais históricos na estação climatológica de Ponte da Barca.....	33
<b>Quadro V.1</b> – Inventário dos pontos de água na área de estudo.....	45
<b>Quadro V.2</b> – Pontos de água amostrados.....	48
<b>Quadro V.3</b> – Valores de pH, condutividade eléctrica, potencial redox, temperatura e indicação do substrato geológico dos pontos de água amostrados.....	50
<b>Quadro V.4</b> – Valores estatísticos de temperatura, condutividade, pH e potencial redox.....	51
<b>Quadro V.5</b> – Resultados obtidos para alguns parâmetros radiológicos e teor de urânio nas águas subterrâneas.....	59
<b>Quadro V.6</b> – Valores estatísticos calculados para a concentração média do gás Rn, Ra, $^{238}\text{U}$ e $^{234}\text{U}$ .....	61
<b>Quadro V.7</b> – Comparação de valores, obtidos em campo e parâmetros radiológicos entre as amostras PL19 e PL20.....	75

## ***I. INTRODUÇÃO***

A radioactividade natural sempre existiu, mas só foi descoberta no ano de 1896, pelo físico francês *Henry Becquerel* (1852-1908). Ao estudar a relação entre substâncias fosforescentes e os raios X, este investigador observou que sais de urânio emitiam um tipo de radiação que influenciava chapas fotográficas, ou seja, concluiu que o urânio é um elemento radioactivo.

Pessoas que vivem em regiões graníticas recebem radiação proveniente do solo e que está presente no ar que respiramos. Um dos isótopos que mais contribuí para a exposição natural é o radão, um gás que não tem cheiro, não tem cor nem sabor, pelo que não é detectável pelos nossos sentidos. Apresenta um tempo de semi-vida de 3,82 dias e resulta das pequenas quantidades de urânio e rádio (elementos radioactivos) presentes, com maior ou menor concentrações, na maior parte dos solos, rochas e em materiais de construção. Nos solos e rochas, a distribuição de urânio e rádio não é igual. As rochas graníticas têm, geralmente, concentrações mais elevadas, enquanto as rochas calcárias têm concentrações mais baixas. A libertação para a atmosfera de radão está condicionada, ainda, pela permeabilidade e porosidade dos solos e rochas. A pressão atmosférica, humidade e temperatura podem também influenciar a libertação do gás (ITN, 2010). Nos Estados Unidos, o radão constitui a segunda causa de cancro do pulmão, depois do tabaco. Para exposições iguais, o risco de cancro do pulmão é cerca de vinte vezes mais elevado para os fumadores do que para quem nunca fumou (APPLETON, 2005).

No que concerne a trabalhos sobre radioactividade natural realizados em Portugal, até ao momento são ainda limitados, comparativamente com outros países e estão focalizados na zona centro do país. Um desses estudos (TEIXEIRA & FAÍSCA, 1992) permitiu fazer um levantamento preliminar das concentrações de radão no ar do interior das habitações do território continental, o qual conduziu à detecção de cerca de 9% de habitações com valores superiores a 200 Bq/m<sup>3</sup> e 3% superiores a 400 Bq/m<sup>3</sup>. As maiores concentrações de radão foram notadas em distritos cujo substrato geológico é maioritariamente constituído por granitos (Guarda e Viseu), que são, de entre a

diversidade de rochas ígneas, metamórficas e sedimentares do planeta, a variedade lítica que normalmente incorpora os mais elevados teores de urânio.

PEREIRA *et al.* (2010), ao estudar as concentrações de  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{234}\text{U}$  e  $^{238}\text{U}$  em águas subterrâneas numa área de substrato granítico-metassedimentar (Horta da Vilarça, Torre de Moncorvo), concluíram que 30% das amostras ultrapassaram os limites recomendados para a concentração de radão em águas de consumo e 65% para as concentrações de urânio. Estes valores estão associados a um importante jazigo de urânio que nunca foi explorado, mas que afecta as águas de circulação profunda, devido à transferência de quantidades muito significativas de radionuclídeos integrados na cadeia de decaimento.

Um outro estudo, na região de Oliveira do Hospital aponta que as concentrações em águas subterrâneas dependem fundamentalmente da litologia e da natureza dos materiais das caixas de falha, isto é, verificaram-se concentrações mais elevadas onde a água circula em falhas enriquecidas em urânio secundário e que se integram nos sistemas N30-35°E e N70-80°E (PEREIRA *et al.*, 1999).

Em habitações na região de Tondela, verificou-se que a probabilidade do interior das habitações ultrapassar o nível de  $400 \text{ Bq.m}^{-3}$  (risco elevado) está relacionado com facto dessas habitações assentarem em fracturas enriquecidas em urânio que intersectam o granito de Tábua e as rochas do complexo xistograuváquico, quando estas ocorrem como encraves na vizinhança do contacto com o granito. Na maioria das habitações que estavam sobre o granito de Tondela, o risco é considerado moderado (PEREIRA *et al.*, 2001).

FERREIRA (2009) desenvolveu um estudo sobre a radioactividade nas águas subterrâneas em terrenos graníticos na região do Minho, onde foram estimados os níveis de radão na água e identificados os factores geológicos condicionantes da variabilidade dos níveis de radioactividade determinados. O mesmo estudo apurou que os parâmetros físico-químicos analisados, bem como as concentrações de radão nas águas subterrâneas, apresentam uma



variabilidade elevada na distribuição espacial das concentrações. As áreas com maior índice radiológico parecem definir alinhamentos mais ou menos coincidentes com os acidentes morfológico-estruturais mais importantes da região.

Na região Noroeste de Portugal Continental, numa amostragem de 30 pontos de água, 16 de águas minerais e 14 de águas não minerais, verificou-se que as concentrações de radão nas águas minerais oscilam entre 40 Bq/L e 430 Bq/L, enquanto nas águas não minerais, as concentrações variam entre 59 Bq/L e 1421 Bq/L, sendo estas últimas, de um modo geral, superiores às águas minerais. Assim, os níveis mais elevados de radão (1421 Bq/L) estão associados ao granito do Gerês, mais rico em urânio (14 ppm), enquanto as amostras colhidas em Caldas da Saúde apresentam concentrações de radão (955 Bq/L) mais baixas que as o Gerês, seguindo a diminuição dos teores de urânio no substrato litológico (entre 9,5 ppm e 11,2 ppm) (FERREIRA *et al.*, 2010).

A escolha do tema da presente dissertação surgiu no seguimento do estudo na região do Minho anteriormente referido e nesse sentido era importante a realização de mais trabalhos em áreas específicas dentro desta região, de forma a adquirir mais pontos de amostragem, acrescentando e consolidando algumas das conclusões obtidas no referido trabalho.

Os objectivos gerais do presente estudo compreendem a avaliação da radioactividade das águas subterrâneas da região de Ponte de Lima e a identificação dos factores responsáveis pela variabilidade espacial dos níveis de radiação.

Desta forma, para a concretização dos objectivos acima descritos, definem-se os seguintes objectivos específicos:

- Caracterizar a geologia da região em estudo;
- Avaliar as características físico-químicas globais das águas subterrâneas da região em estudo;

- Avaliar os níveis de radioactividade das águas subterrâneas da região de Ponte de Lima, através da medição de alguns parâmetros radiológicos, como a actividade do Rn e as concentrações de Ra,  $^{234}\text{U}$  e  $^{238}\text{U}$ ;
- Correlacionar os níveis de radioactividade das águas subterrâneas com factores geológicos e hidrogeológicos;
- Explicar a associação entre os níveis de radão nas águas subterrâneas e a radiação gama global da região em estudo.

A presente dissertação está organizada em seis capítulos, incluindo o capítulo introdutório.

No capítulo 2 faz-se uma revisão bibliográfica, onde é abordado o tema da radioactividade natural, origem e vias de dispersão, bem como a problemática para a saúde humana e prevenção.

No capítulo 3 pretende-se caracterizar a área de estudo, onde se faz uma descrição do enquadramento geográfico, geológico, geomorfologia, tectónica e hidroclimatológica.

No capítulo 4 descrevem-se métodos, técnicas e procedimentos utilizados, tanto ao nível do trabalho de campo, na obtenção dos parâmetros físico-químicos, como de laboratório, para análise dos níveis de radioactividade.

No Capítulo 5 são apresentados e discutidos os resultados de campo e laboratório, de acordo com os objectivos do trabalho.

Finalmente, no capítulo 6 expõem-se as principais conclusões e apresentam-se sugestões para futuros trabalhos.

## ***II. RADIOACTIVIDADE NATURAL***

A radioactividade natural sempre existiu, mas só foi descoberta no ano de 1896, pelo físico francês *Henry Becquerel* (1852-1908). O pesquisador deixou filmes fotográficos em contacto com um elemento radioactivo natural, o urânio, e percebeu que este passava a emitir radiação. A prova concreta veio das manchas estampadas no filme e então Becquerel concluiu que se tratava dos raios emitidos por sais de urânio.

No final de 1897, a polonesa Marie Sklodowska Curie passou interessou-se pelo fenómeno descoberto por Becquerel e, em Abril de 1898, percebeu que, além do urânio, outro elemento conhecido, o tório, também emitia radiação. Começou, então, a suspeitar da existência de elementos radioactivos desconhecidos. Em Julho do mesmo ano, com ajuda do marido, físico francês de renome Pierre Curie, descobriu um novo elemento, ao qual deram o nome de rádio.

A radioactividade natural na atmosfera resulta fundamentalmente de dois processos:

- A emissão da terra de gases nobres radioactivos,  $^{222}\text{Rn}$  e  $^{220}\text{Rn}$ , que são produzidos como resultado do natural decaimento do rádio e do tório existentes na crosta terrestre;
- A interacção da radiação cósmica com os gases atmosféricos.

A radiação pode ser medida em Becquerel (Bq), que se define como sendo a actividade de um radionuclídeo decaindo à taxa, em média, de uma desintegração nuclear espontânea por segundo.

Os radionuclídeos mais importantes são o  $^{40}\text{K}$ ,  $^{87}\text{Rb}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{235}\text{U}$  e  $^{238}\text{U}$ . Os produtos “filhos” importantes são  $^{222}\text{Rn}$  e  $^{226}\text{Ra}$ , que provêm do  $^{238}\text{U}$  (WALTON, 1970).

## II.1. ISÓTOPOS

Isótopos são átomos de um elemento químico cujos núcleos têm o mesmo número atómico, ou seja, o mesmo número de protões ( $Z$ ), mas que contém diferentes números de massas atómicas ( $A$ ). Como tal, a diferença nas massas atómicas resulta de diferenças no número de neutrões nos núcleos atómicos e não no número de protões.

Na natureza, todos os elementos químicos presentes em substâncias minerais e na atmosfera são compostos de vários isótopos. Assim, o elemento natural mais simples, o hidrogénio, possui apenas um protão, enquanto o urânio, o mais complexo, contém 92 protões, sendo o elemento químico natural mais pesado. O urânio, tal como ocorre na Natureza, é fundamentalmente uma mistura de três isótopos ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  e  $^{234}\text{U}$ ). O  $^{234}\text{U}$  provém do  $^{238}\text{U}$  por decaimento radioactivo e o  $^{235}\text{U}$  supõe-se que seja de origem independente. Isótopos como o  $^{238}\text{U}$  são denominados radioactivos, uma vez que a sua composição nuclear não é estável. Pelo contrário, o hidrogénio 1 (prótio) é considerado um isótopo estável, na medida em que a sua composição nuclear não é modificada ao longo do tempo.

## II.2. DECAIMENTO RADIOACTIVO

O decaimento radioactivo é o aumento da estabilidade nuclear em virtude da emissão de radiação, pelo que os elementos radioactivos perdem a sua capacidade de emitir radiação com o tempo. A transformação intranuclear capaz de promover o decaimento é chamada de desintegração.

Se  $N(t)$  for o número de átomos existentes numa amostra radioactiva no instante  $t$ , o número de átomos desintegrados por unidade de tempo é dado por:

$$- (dN/dt) = \lambda N \quad (1)$$

Onde:

$N$  = número de átomos final

$N_0$  = número de átomos presentes no instante  $t = 0$

$\lambda$  = constante de decaimento radioactivo do isótopo

$t$  = tempo (s)

Por integração da expressão (1), resulta a equação fundamental da desintegração radioactiva:

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} \quad (2)$$

Em que:

$N$  = número de átomos final

$N_0$  = número de átomos presentes no instante  $t = 0$

$e$  = número neperiano

$\lambda$  = constante de decaimento radioactivo do isótopo

$t$  = tempo (s)

A quantidade de átomos de uma amostra radioactiva que sofrem desintegração numa unidade de tempo é chamada de actividade ( $A$ ). O uso do cálculo integral permite que a lei da desintegração radioactiva seja expressa em termos de actividade, da seguinte forma:

$$A = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} \quad (3)$$

Em que:

$A$  = actividade após um tempo  $t$

$A_0$  = actividade inicial ( $t=0$ )

$e$  = número neperiano

$\lambda$  = constante de decaimento radioactivo do isótopo

$t$  = tempo (s)

A actividade é medida por duas unidades: bequerel (Bq), que se refere ao número de desintegrações por segundo e Curie (Ci), que equivale a  $3,7 \times 10^9$  Bq.

A semi-vida ( $T_{1/2}$ ) de um isótopo radioactivo é o tempo necessário para que metade dos átomos de uma amostra constituída inicialmente por um único radionuclídeo se transforme num outro isótopo, como ilustra a equação:

$$T_{1/2} = 0,693/\lambda \quad (4)$$

O número que mede a velocidade de decaimento é chamado de constante de decaimento ( $\lambda$ ). Esta mede a instabilidade energética do núcleo, ou seja, a probabilidade do átomo emitir radioactividade e se estabilizar:

$$\lambda = 0,693/T_{1/2} \quad (5)$$

### II.3. TIPOS DE RADIAÇÃO

As radiações são ondas electromagnéticas que se propagam com uma determinada velocidade e manifestam energia, carga eléctrica e magnética variável, que pode ir desde valores pequenos até muito elevados (DAVIS & CORNWELL, 1998).

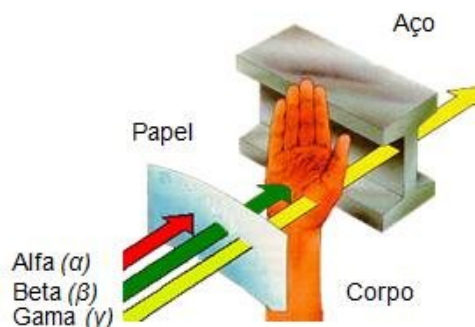
Os três tipos de radiação emitida pelas substâncias radioactivas são:

- **Radiação alfa ( $\alpha$ ):** é uma partícula formada por um átomo de hélio com carga positiva, em que a massa é quatro vezes a de um átomo de hidrogénio (núcleo de hélio). Num determinado meio, partículas alfa de igual energia têm o mesmo alcance, sendo um alcance muito pequeno, não excedendo os 5 cm, o que faz com que sejam facilmente blindadas, isto é, não conseguem penetrar a pele e podem ser mesmo bloqueadas apenas por uma folha de papel (Figura II.1). No

entanto, a inalação é perigosa para os pulmões e a ingestão provoca danos em outros tecidos vivos;

- **Radiação beta ( $\beta$ ):** é também uma partícula, de carga negativa, o electrão, possuindo apenas 1/1838 da massa do átomo de hidrogénio. É constituída por partículas que são emitidas pela maioria dos radionuclídeos naturais e têm maior penetração que as partículas alfa, apesar de ser menos ionizantes. A radiação beta pode penetrar no organismo, cerca de 2 a 3 mm, através da pele (Figura II.1);

- **Radiação gama ( $\gamma$ ):** é uma onda electromagnética. É gerada durante a desintegração radioactiva dos isótopos instáveis de elementos como o rádio ou o urânio. Tem um poder de penetração muito grande, embora o seu poder ionizante seja baixo. Sofre um fenómeno de absorção que depende do número de átomos da substância irradiada e que é causado por um processo de dispersão elástica dos raios por parte dos electrões dos átomos (efeito de Compton) e pela emissão de electrões, ao dar-se a colisão com os átomos (efeito fotoeléctrico), e ainda, pela geração de pares electrão-positrão. Os raios gama são produto da excitação do núcleo atómico e não apresentam carga eléctrica nem massa, podendo percorrer grandes distâncias sem sofrer interacções. Atravessam o corpo e chapas de aço até 15 cm de espessura, mas são barradas por espessas placas de chumbo (Figura II.1).



**Figura II.1** - Poder de penetração dos diferentes tipos de radiação  
(Fonte: <http://www.contren.org.br/radio.htm>).

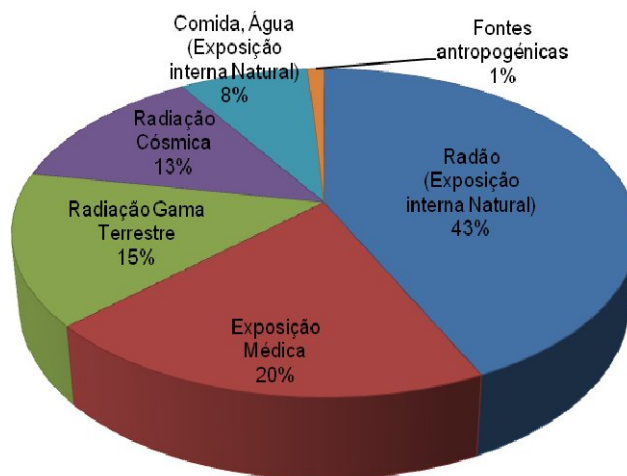


## II.4. RADÃO

### II.4.1. Origem

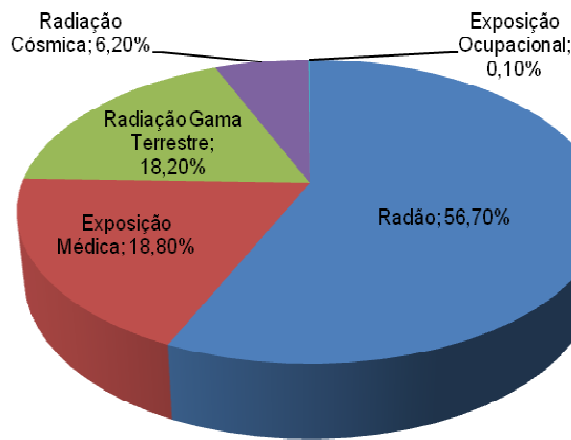
O radão ( $^{222}\text{Rn}$ ) é um gás de origem natural, radioactivo, cujos átomos se desintegram originando outros elementos também radioactivos, causando todos eles exposição do Homem às radiações ionizantes. É um gás inodoro, incolor e insípido, não detectável pelos nossos sentidos. Deriva das pequenas quantidades de urânio e rádio presentes, em proporções variáveis, na maior parte dos solos e rochas e, conseqüentemente, em materiais de construção. O tempo necessário para se reduzir a metade a actividade do radão é de 3,8 dias (semi-vida do radão).

A exposição média da população mundial relativamente ao radão (exposição interna natural) é de 43%, seguindo-se a exposição médica com 20%. As fontes antropogénicas representam apenas 1% (Figura II.1).



**Figura II.2** - Fontes e distribuição da exposição média à radiação, da população mundial (Adaptado de W.H.O, 2004).

Segundo ITN (2010), a dose média de radiação externa em Portugal, no caso do radão, é de 56,70% (Figura II 2).



**Figura II.3** – Dose média de radiação externa em Portugal  
(Adaptado de ITN, 2010).

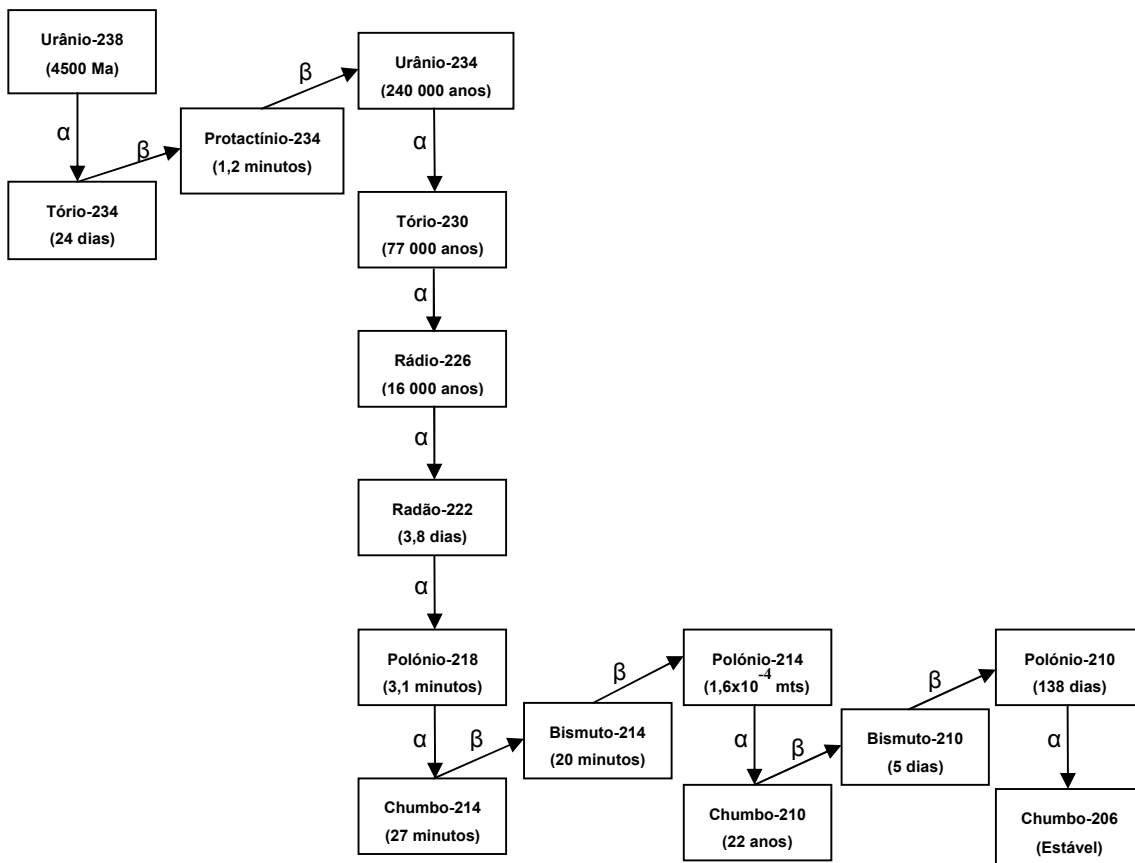
Sendo um gás inerte, o radão pode facilmente migrar dos locais onde é produzido ou dissolver-se na água contida nos poros dos materiais geológicos. Quando ocorre em elevadas concentrações no ar de espaços confinados, constitui um factor de risco ambiental, uma vez que a inalação, em especial dos seus descendentes, pode induzir graves perturbações no funcionamento do organismo humano, sendo considerado como a segunda causa de cancro do pulmão por instituições internacionais responsáveis pela área de saúde (National Academy of Sciences, 1998).

O radão forma-se no seio das rochas e materiais de construção por desintegração do  $^{238}\text{U}$ , que dá origem a uma série de elementos de filiação, nomeadamente o  $^{230}\text{Th}$ , o  $^{226}\text{Ra}$  e o  $^{222}\text{Rn}$ . Devido às suas propriedades, passa facilmente no ar e na água. Mediante um processo de difusão, entra na constituição da atmosfera, juntamente com os seus descendentes, acabando por vir a ser inalado sob a forma de aerossol atmosférico.

## II.4.2. Séries de decaimento

Os isótopos radioactivos possuem núcleos instáveis que se decompõem, emitindo radiações alfa, beta e raios gama. Esses isótopos atingem a estabilidade na forma de isótopos não radioactivos de outros elementos químicos, seguindo diferentes séries de decaimento. O gás radão resulta do decaimento do urânio e do tório, de acordo com as séries que a seguir se apresentam.

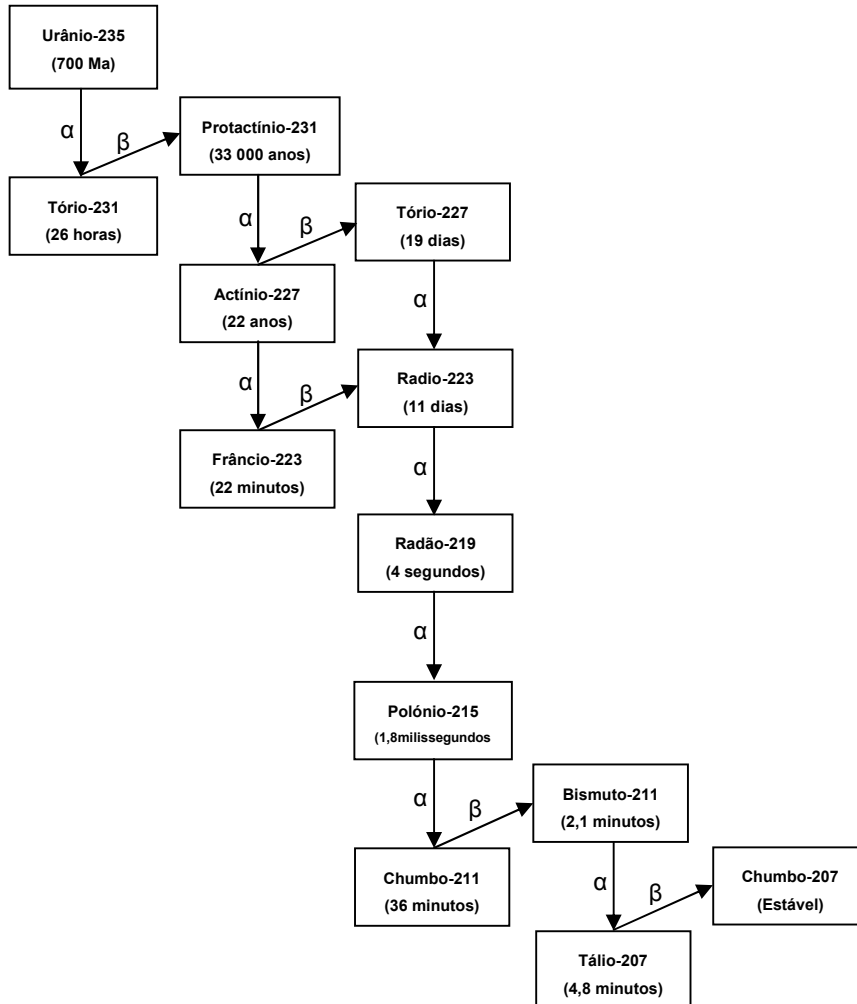
A série de decaimento do  $^{238}\text{U}$  inicia-se no  $^{238}\text{U}$  com um tempo de semi-vida de 4500 Ma, passando pelo  $^{234}\text{U}$  (240 000 anos) e pelo  $^{222}\text{Rn}$  (3,8 dias), terminando no  $^{206}\text{Pb}$ , que é um isótopo estável (Figura II. 4).



**Figura II.4** - Série de desintegração do  $^{238}\text{U}$  (adaptado de Human Health Fact Sheet, 2002)

Os símbolos  $\alpha$  e  $\beta$  indicam o decaimento alfa e beta e o tempo a semi-vida.

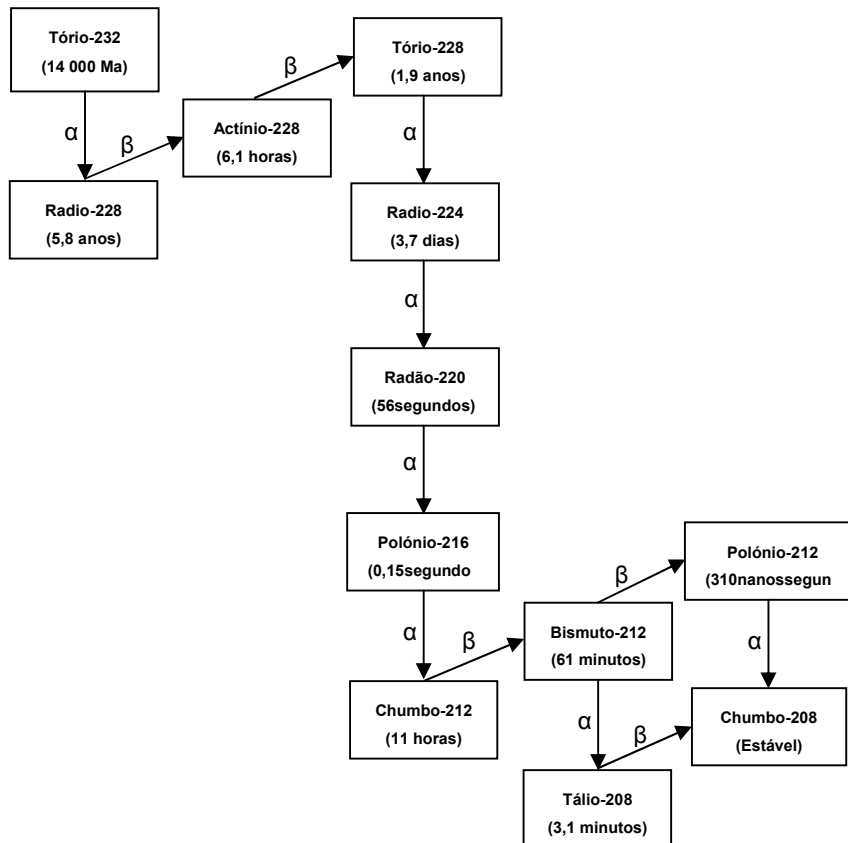
A série de desintegração do  $^{235}\text{U}$  (Figura II. 5) inicia-se no  $^{235}\text{U}$  (700 Ma), passando pelo  $^{223}\text{Ra}$  (11 dias) e pelo  $^{219}\text{Rn}$  (4 segundos), terminando no  $^{207}\text{Pb}$  (estável).



**Figura II.5** - Série de desintegração do  $^{235}\text{U}$  (adaptado de Human Health Fact Sheet, 2002)

Os símbolos  $\alpha$  e  $\beta$  indicam o decaimento alfa e beta e o tempo a semi-vida.

A série de decaimento do  $^{232}\text{Th}$  inicia-se no  $^{232}\text{Th}$  (14 000 Ma), passando pelo  $^{224}\text{Rn}$  (3,7 dias) e pelo  $^{220}\text{Rn}$  (56 segundos), terminando no  $^{208}\text{Pb}$  (Figura II. 6).



**Figura II.6** - Série de desintegração do  $^{232}\text{Th}$  (adaptado de Human Health Fact Sheet, 2002)  
Os símbolos  $\alpha$  e  $\beta$  indicam o decaimento alfa e beta e o tempo a semi-vida.

#### II.4.3. Vias de dispersão

A radioactividade natural da água resulta dos elementos radioactivos dissolvidos (ex. urânio), suspensos em forma coloidal (ex. tório), suspensos (micro-cristais de elementos radioactivos) e difundidos (ex. radão). No Quadro II.1 estão citados as semi-vidas e os tipos de radiação emitida pelos diferentes radioisótopos. A radioactividade natural da água resulta principalmente do contacto desta com rochas e minerais, podendo considerar-se como o principal

agente transportador dos elementos radioactivos sob várias condições geoquímicas a geofísicas (SAMPA, 1979).

**Quadro II.1** – Radionuclídeos em água subterrânea (adaptado WALTON, 1970).

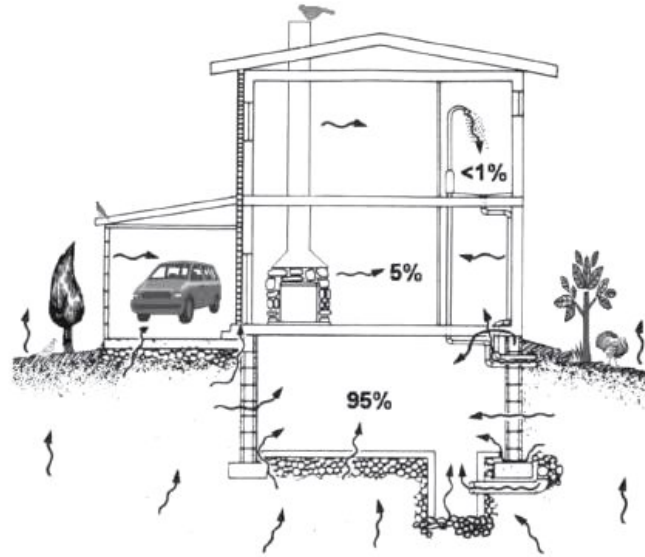
Elemento	Semi-Vida	Tipo de radiação emitida
Bário	13 Dias	$\gamma$
	12,8 Dias	$\beta^-$ , $\gamma$
Bromo	36 Horas	$\beta^-$ , $\gamma$
Cálcio	153 Dias	$\beta^-$
Carbono	5 600 Anos	$\beta^-$
Cério	290 Dias	$\beta^-$ , $\gamma$
Césio	$2,9 \times 10^6$ Anos	$\beta^-$
	33 Anos	$\beta^-$ , $\gamma$
Cloro	$4 \times 10^5$ Anos	$\beta^-$
Crómio	27,8 Dias	$\gamma$
Cobalto	270 Dias	$\beta^+$ , $\gamma$
	5,3 Anos	$\beta^-$ , $\gamma$
Hidrogénio	12,4 Anos	$\beta^-$
Iodo	$1,72 \times 10^7$ Anos	$\beta^-$ , $\gamma$
	8,04 Dias	$\beta^-$ , $\gamma$
Fósforo	14,3 Dias	$\beta^-$
Plutónio	92 Anos	$\alpha$ , $\gamma$
	$2,4 \times 10^4$ Anos	$\alpha$ , $\gamma$
	6,580 Anos	$\alpha$
	$5 \times 10^5$ Anos	$\alpha$
Rádio	1,620 Anos	$\alpha$ , $\gamma$
	6,7 Anos	$\beta^-$
Radão	3,83 Dias	$\alpha$
Rubídio	18,7 Dias	$\beta^-$ , $\gamma$
	$6 \times 10^{10}$ Anos	$\beta^-$
Ruténio	40 Dias	$\beta^-$ , $\gamma$
	1 Ano	$\beta^-$
Sódio	2,6 Anos	$\beta^+$ , $\gamma$
Estrôncio	40 Dias	$\beta^-$
	29 Anos	$\beta^-$
Enxofre	88 Dias	$\beta^-$
Urânio	$7,1 \times 10^8$ Anos	$\alpha$
	$4,5 \times 10^9$ Anos	$\alpha$ , $\gamma$
Zinco	245 Anos	$\beta^+$ , $\gamma$

A libertação do radão da água para o ambiente realiza-se no momento em que ela entra em contacto com o ar, uma vez que o gás tem solubilidades muito diferentes nos dois meios e o coeficiente de partilha é favorável ao ar. A proporção de radão transferido da água para o interior dos edifícios depende

fundamentalmente da sua concentração (que é geralmente mais elevada nas águas subterrâneas), do volume e do grau de arejamento da água consumida e do processamento a que a água é sujeita nos circuitos e locais de utilização. Nas habitações abastecidas por captações subterrâneas, tendo em conta o volume médio de água utilizada, a concentração do radão no ar de origem hídrica é variável entre  $1 \times 10^{-4}$  a  $2 \times 10^{-4}$  em relação à sua concentração na água (AKERBLOM & LINDGREN, 1997).

A entrada do radão nas habitações dá-se preferencialmente pelas zonas de contacto com a superfície do terreno, através das fissuras da placa que está em contacto com o chão e das paredes, por juntas ou canalizações mal vedadas. Quando as habitações são mal arejadas, o radão pode atingir concentrações impressionantes no seu interior. O risco de suceder tal situação é evidentemente maior nas moradias construídas directamente sobre o solo, podendo no entanto o radão constituir um problema mesmo em prédios urbanos de vários andares. O risco é também maior nas zonas com subsolos ricos em urânio e as regiões graníticas parecem ser as mais afectadas.

Em condições normais, o radão produzido no subsolo ascende, em parte, até à superfície topográfica, passando para a atmosfera, onde se dilui. O ar atmosférico contém alguma actividade de radão, ainda que geralmente reduzida ( $< 10 \text{ Bqm}^{-3}$ ). Contudo, quando existem habitações, estabelecem-se gradientes de pressão que conduzem o gás para a habitação, como resultado da mais elevada temperatura no interior desta (Figura II.7) (NEVES *et al*, 2004).



**Figura II.7** – Vias de penetração do radão em habitações (adaptado de LAO, 1990).

O radão concentra-se nos pisos inferiores das habitações (caves e pisos térreos), por difusão ou aproveitando juntas mal seladas e fissuras, podendo aqui atingir concentrações de algumas dezenas a alguns milhares de  $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ . Atendendo a que é mais denso que o ar, as suas concentrações reduzem-se significativamente a partir do segundo piso acima do solo, tendendo a equilibrar com os valores atmosféricos. Estima-se que *cerca de 95%* do radão presente numa habitação seja proveniente do subsolo, onde as concentrações deste gás são em geral muito elevadas. Os restantes 5% provem dos materiais de construção. Uma ínfima parte (<1%) é libertada a partir da água consumida (NEVES *et al*, 2004).

Nos edifícios deve-se ter em conta o tipo de construção, os materiais utilizados e os hábitos de arejar a casa, pois são factores que influenciam os níveis de radão no ar interior de uma habitação. As concentrações de radão ao longo do ano variam, sendo normalmente mais elevadas no Inverno, devido a um menor arejamento das casas comparativamente com o Verão. No ambiente exterior, a situação é inversa, ou seja, no Verão as concentrações são mais elevadas do que no Inverno, devido ao aumento da temperatura e diminuição da humidade.

Em relação às habitações e edifícios já existentes, algumas das acções de redução do radão podem envolver medidas simples, como selar todas as fendas existentes no pavimento ou juntas, de modo a impedir as entradas do



radão do solo para a zona ocupacional e também beneficiar da ventilação natural. Se estas técnicas não forem suficientemente eficazes, pode tornar-se necessário adoptar medidas correctivas, como a colocação no pavimento de membranas que sejam impermeáveis ao ar (radão) e ventilação mecânica.

#### **II.4.4. Problemas para a Saúde Humana**

A exposição do Homem a radiações ionizantes pode ser externa, nomeadamente por via da radiação gama expelida pelos materiais geológicos, ou interna, através da inalação ou ingestão dos radionuclídeos contidos no ar, na água ou nos alimentos (PEREIRA, 2003).

Segundo a Agência de Protecção Ambiental dos EUA (EPA, 1986), estima-se que 1 a 3 em cada 100 pessoas, durante a sua vida, que inalem ar com concentrações de 4 pCi/L ou superior, incorrem no risco de contrair cancro nos pulmões. Estima-se que, depois do fumo do tabaco, o radão seja o maior responsável por cancro do pulmão. A exposição humana a este gás varia, não só em função da zona do país e das condições climatéricas, como também dos hábitos das populações, nomeadamente no que diz respeito à ventilação das habitações.

O risco de contrair cancro pulmonar depende da concentração e da duração da exposição ao radão. Por isso, a União Europeia recomenda que as pessoas tomem medidas contra o radão em suas casas quando têm valores de concentração superiores a 400 Bq/m<sup>3</sup>. Mas, este valor é pouco realista, já que uma pessoa exposta, ao longo da sua vida, a 400 Bq/m<sup>3</sup> de gás radão tem o dobro das hipóteses de vir a sofrer de um cancro pulmonar. Este risco é ainda maior para os fumadores. Para a construção de novas habitações, a União Europeia recomenda que não se permitam valores acima dos 200 Bq/m<sup>3</sup>.

O radão entra no corpo humano por inalação ou por ingestão, através da água. Emitindo, ele próprio e alguns dos seus descendentes, partículas alfa, fracamente penetrativas mas fortemente energéticas, é potencial causador de danos ao nível das células. Isso mesmo sugeriram experiências com ratos e cães, nos quais a exposição ao gás se concluiu aumentar a incidência de certos tumores em especial do tracto respiratório. Estudos epidemiológicos em

humanos evidenciaram também o papel carcinogénico do radão e dos seus descendentes (GODINHO, 1999).

#### **II.4.5. Prevenção e controlo dos níveis de radão - Legislação aplicável**

Tal como já foi referido, o ser humano está exposto ao radão de duas formas: através da inalação do gás e descendentes, ou por ingestão através do consumo de água, na qual o radão se encontra dissolvido. Apesar desta última ser menos importante, relativamente à inalação, não deve ser desprezada, especialmente se as águas utilizadas para o consumo humano contiverem valores elevados de radão e seus descendentes.

Uma recomendação da Comissão Europeia (2001/928/EURATOM) relativa à protecção da população contra a exposição ao radão no abastecimento de água potável estabelece que, para concentrações que excedam 1000 Bq/L, a acção de correcção necessita de ser justificada com base na protecção radiológica.

A Legislação Nacional relativamente à qualidade de água para consumo humano (Decreto-Lei Nº 306/2007 de 27 de Agosto) define os seguintes limites para os parâmetros radiológicos: actividade  $\alpha$ -total - 0,5 Bq/L; actividade  $\beta$ -total - 1 Bq/L.

O Decreto Regulamentar n.º 34/92 de 04 de Dezembro estabelece normas sobre segurança e protecção radiológica aplicáveis na extracção e tratamento de minérios radioactivos, isto é, regulamenta, em matéria específica de segurança e protecção radiológica, as actividades de pesquisa, reconhecimento e exploração de depósitos de urânio, instalação e utilização de todos os correspondentes anexos mineiros onde não se trate como produto principal, mas onde se possam encontrar produtos de filiação do radão ou do tório em suspensão no ar e transporte de minério de urânio.

Dependendo do risco, da concentração e da duração da exposição ao radão, em 1990 uma Directiva publicada pela União Europeia (90 / 143 / EURATOM)

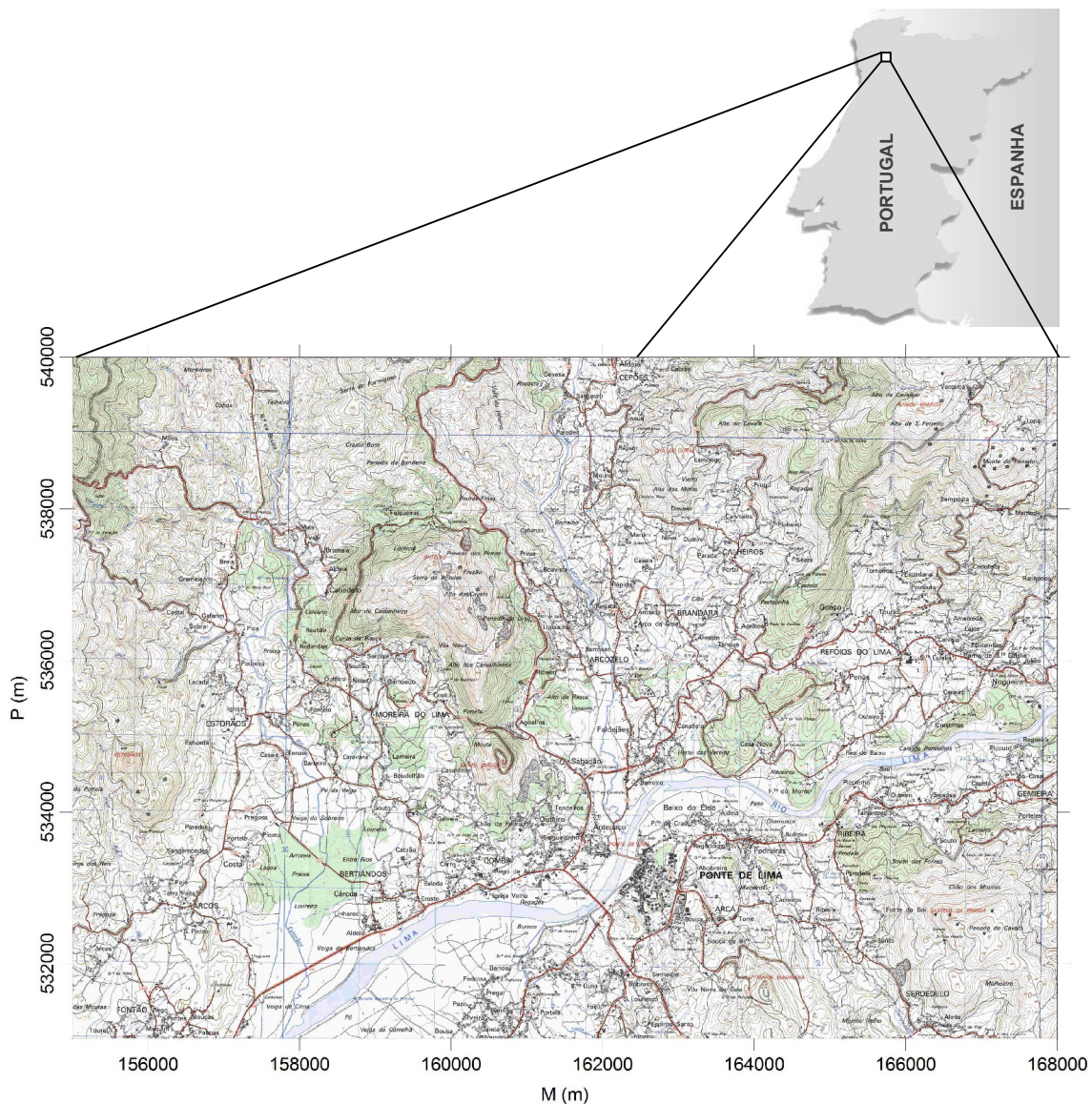
recomenda que nas habitações já construídas as concentrações médias anuais não ultrapassem os 400 Bq/m<sup>3</sup> e, para futuras construções, os níveis de radão sejam mantidos abaixo dos 200 Bq/m<sup>3</sup>. Vários países adoptaram já limites máximos legais de concentração de radão nas habitações, como é o caso da Suíça, que adoptou o valor máximo de 200 Bq/m<sup>3</sup>.

Em Portugal, o Decreto-Lei n.º 79/2006 de 04 de Abril aprova o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE), transpondo parcialmente para a ordem jurídica nacional a Directiva n.º 2002/91/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro, relativa ao desempenho energético dos edifícios. Na alínea c) do n.º 8 do Artigo 29.º, o RSECE estabelece uma concentração máxima de radão de 400 Bq/m<sup>3</sup>, sendo a sua pesquisa obrigatória apenas em edifícios construídos em zonas graníticas, nomeadamente nos distritos de Braga, Vila Real, Porto, Guarda, Viseu e Castelo Branco.

### ***III. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO***

### III.1. ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO

Ponte de Lima situa-se no Norte de Portugal (Figura III. 1), sendo um concelho com uma área de 321,5 km<sup>2</sup>, distribuída por 51 freguesias, pertencente ao distrito de Viana do Castelo. É limitado pelos concelhos de Paredes de Coura, Arcos de Valdevez, Ponte da Barca, Vila Nova de Cerveira, Caminha e Viana do Castelo, todos pertencentes ao distrito de Viana do Castelo e pelos concelhos de Vila Verde e Barcelos, pertencentes ao distrito de Braga. Na margem Norte do rio Lima, no limite do concelho, o relevo é bastante montanhoso, atingindo os 800 metros de altitude na serra d'Arga.



**Figura III.1** – Localização da área de trabalho (adaptado da Folha Nº28 da Carta Militar de Portugal, à escala 1:25 000).

O rio Lima nasce no monte Talarino (altitude de 975 metros) na freguesia de Paradiña, nos contrafortes da Serra de San Mamed, na província de Orense, em Espanha. Entra em Portugal próximo do Lindoso a uma altitude de 275 metros e desagua em Viana do Castelo. A bacia hidrográfica do rio Lima tem uma área de 2480 km<sup>2</sup> (1177 km<sup>2</sup> em Portugal e 1303 km<sup>2</sup> em Espanha). É limitada a Norte pela bacia dos rios Âncora e Minho, a Este pela bacia do rio Douro e a Sul pela bacia do rio Cávado.

O rio Lima tem uma extensão aproximada de 108 km (67 km em Portugal e 41 km em Espanha). No troço compreendido entre Ponte de Lima e a foz em Viana do Castelo, o rio corre num vale largo. Nesta zona, há a possibilidade de ocorrência de cheias devido à elevada precipitação, à qual se associam a forma alongada da bacia e a fraca permeabilidade dos terrenos das encostas.

### **III.2. GEOMORFOLOGIA**

O relevo do Minho Ocidental integra-se no contexto mais vasto do relevo do Noroeste da Península Ibérica. Com efeito, a morfologia minhota e galega ocidental é marcada pela oposição entre relevos elevados, culminando em planaltos descontínuos preservados no topo de blocos individualizados entre vales desenhando um reticulado rígido, que sugere um controlo por fracturas, geralmente de difícil identificação no terreno, e vales profundos mas largos de fundo aplanado, seguindo regionalmente orientações preferenciais mas apresentando contornos sinuosos (CABRAL, 1992).

Segundo FERREIRA (1986), a originalidade do relevo minhoto ocidental deve-se às suas características litológicas, em que predominam as rochas cristalinas, a condições climáticas húmidas favoráveis à alteração e a uma tectónica complexa influenciando directa ou indirectamente a morfologia (criando desníveis ou facilitando a erosão diferencial). O mesmo autor refere também que aquele relevo é confuso e difícil de interpretar devido a três características, nomeadamente, a descontinuidade e má conservação dos níveis de aplanamento, ausência de depósitos correlativos destes níveis, cuja idade atribui ao Terciário, e a originalidade das vertentes graníticas, tendendo a

conservar o seu perfil rígido e abrupto, o que dificulta a distinção entre escarpas tectónicas e vertentes erosivas.

A região em estudo é acidentada, com relevos bastante elevados, separados por vales profundos. Destes, destacam-se o vale do Lima, muito largo e aberto, na parte vestibular, acompanhado de uma larga planície de aluvião que penetra ao longo dos vales afluentes.

A norte do rio Lima destaca-se a serra de Arga, de vertentes íngremes e cimo aplanado, com 800 m de altitude (801 m em Bretial; 784 m em Corisco).

Para leste, divisa-se a serra de Formigoso (516 m), a serra de Antelas (431 m) e os montes do Penedo Branco (726 m) e Penedo (628 m).

O rio Lima corre em vale aberto, com inclinação diminuta, próximo do perfil de equilíbrio. A planície é inundável nas cheias, transformando o rio meandroso, em larga toalha líquida, entre Ponte de Lima e a foz (TEIXEIRA & MEDEIROS, 1972).

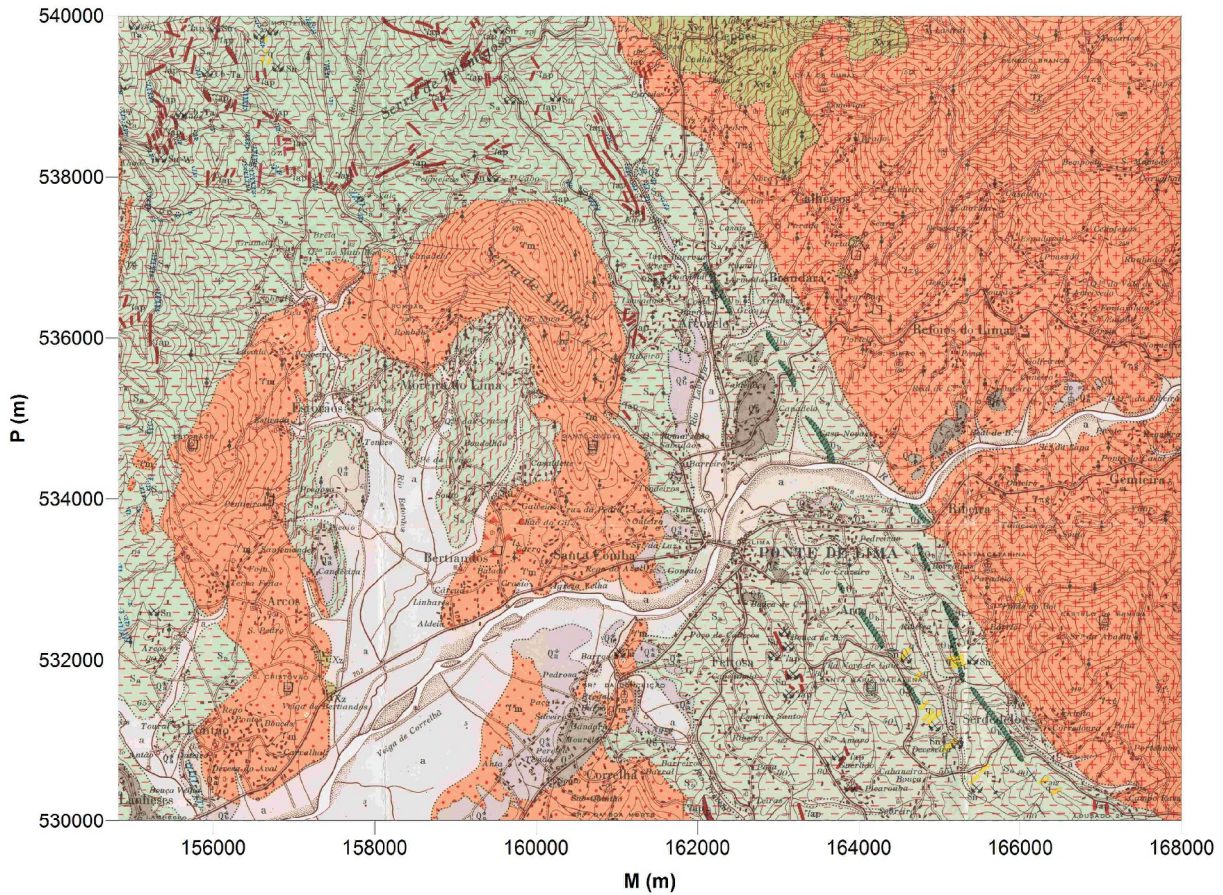
### **III.3. GEOLOGIA**

Com base na folha 5-A da Carta Geológica de Portugal na escala 1/50 000 (Figura III.2), é possível visualizar na área em estudo a existência de várias formações geológicas, desde rochas filonianas, rochas eruptivas, complexo xisto-grauváquico ante-ordovícico e séries matamórficas derivadas e unidades do Paleozóico, do Plistocénico e de idade Moderno.

Do Moderno, registam-se aluviões recentes ao longo dos rios e seus afluentes, em especial ao longo do rio Lima, a jusante de Ponte do Lima (S. João da Ribeira). Estes depósitos são constituídos por lodos, areias e cascalheiras fluviais.

Do Plistocénico, encontram-se depósitos de praias e de terraço ao longo do rio Lima. Estes depósitos de terraço são numerosos e escalonados a diferentes níveis, ou seja, entre 5 a 10 metros está representado em Moreira e Geraz do Lima. De 15 a 25 metros estes depósitos entram ao longo dos ribeiros de

Fornelos, Portuzelo, do rio de Estorões e da ribeira de Labruja, enquanto os de 45 a 55 metros deparam-se em frente à vila de Ponte de Lima, no vale da ribeira de Labruja.



Símbolo	Litologia	Símbolo	Litologia
a Ad	Aluviões actuais (a)	Xz	Xistos andaluzíticos
Q <sub>6</sub> <sup>+</sup>	Depósito de Terraço	Xyz	Complexo xisto-granítico-migmatítico
Q <sub>a</sub> <sup>+</sup>	Depósito de Terraço	γπg	Granito porfiroide de grão grosseiro ou médio a grosseiro
Q <sub>b</sub> <sup>+</sup>	Depósito de Terraço	γf	Granito de grão fino
S <sub>a</sub>	Xisto e grauvaques. Xistos amplitosos fñanitos eliditos com "Monograptus", intercalados Quartzitos	γΔ	Granodiorito de Bertandos
S <sub>a</sub>	Corneanas, xistos andaluzíticos, Xistos garníferos, xistos luzentes, etc.	γm	Granito de grão médio ou médio a fino
S <sub>a</sub>	Complexo Xisto-granítico	q	Filões de massas de quartzo.
Q <sub>s</sub>	Quartzitos	γp	Filões e massas aplito-pegmatíticas e pegmatíticas

Figura III.2 – Geologia da região de Ponte de Lima. Adaptado da folha 5-A (Viana do Castelo), da Carta Geológica de Portugal, à escala 1/50 000.



Segundo TEIXERA & MEDEIROS (1972), o Silúrico abrange grandes áreas da região de Ponte de Lima. Inclui xistos e grauvaques, xistos amplitosos, ftanitos e liditos com “Monograptus”, quartzitos intercalados, corneanos, xistos andaluzíticos, xistos granatíferos, xistos luzentes e o Complexo xisto-granítico.

As rochas eruptivas estão representadas numa extensa zona de rochas graníticas e granodioríticas de diversas composições e características texturais. Os granitos são de diferentes tipos e a sua textura vai desde os granitos de grão fino a porfíroides grosseiros. Quanto à sua composição mineralógica, são de dois tipos, os calco-alcalinios e os alcalinios.

As rochas graníticas constituem manchas extensas na área da folha de Viana do Castelo. São, de modo geral, rochas leucocráticas, de duas micas, embora com predomínio da moscovite sobre a biotite.

Nos granitos calco-alcalinios está incluído o granito porfíroide de grão grosseiro ou médio a grosseiro, representado nas freguesias de Calheiros, Brandara, Refoios e, a sul do rio Lima, em Gemieira, S. João da Ribeira e Serdedelo. Entre Calheiros e Refoios do Lima, a rocha é leucocrática de grão grosseiro, com fenocristais de orientação linear. É um granito constituído particularmente por ortose, pertite pouco frequente e quartzo, sendo a plagioclase de domínio da oligoclase. A ortose contém inclusões de quartzo e plagioclase e, nas fracturas, clorite e sericite, enquanto o quartzo manifesta secções xenomorfas e é frequente em inclusões na biotite. Na mancha de Refoios do Lima estão cartografados dois pequenos afloramentos de granito não porfíroide de grão fino: um a sul do Penedo Branco e o outro a SE de Castelo da Ermida (TEIXERA & MEDEIROS, 1972).

Em Bertianos aflora o granodiorito de grão médio, situado no lugar de Cabrão.

Um granito alcalino de grão médio ou fino a médio aflora numa grande mancha, em forma de ferradura. Esta rocha é de grão médio e sobre esta mancha

assenta Bertandos e Santa Comba e, sobre o ramo ocidental, Estorãos, Arcos e Fontão.

Entre Santo Ovídio e Sabadão, a NW de Ponte de Lima, aflora uma rocha leucocrática, de grão médio, formada essencialmente por quartzo, plagioclase e microclina (TEIXERA & MEDEIROS, 1972).

As rochas filonianas representadas na região são de dois tipos: as quartzosos e as aplito-pegmatíticas e pegmatíticas. Os filões quartzosos são menos abundantes comparativamente com os pegmatíticos. São frequentemente mineralizados. Os filões e massas aplito-pegmatíticas e pegmatíticas são vulgares e desenvolvidos (TEIXERA & MEDEIROS, 1972).

### III.4. HIDROCLIMATOLOGIA

#### III.4.1. Precipitação

A precipitação média anual em Portugal Continental é cerca de 900 mm, apresentando uma grande variação espacial, isto é, os valores mais altos a rondar os 2 800 mm no Minho e Douro Litoral e valores inferiores a 600 mm no interior do Baixo Alentejo (IAmbiente, 2010). No concelho de Ponte de Lima, a precipitação relativa ao ano hidrológico 2009-2010 é 1537,4 mm, valor ligeiramente inferior à média da série de 1940/1941 a 1997/98 (1650 mm). No Quadro III.1 apresentam-se os valores de precipitação mensais nos períodos antes mencionados.

**Quadro III.1** – Precipitação (mm) mensal do ano hidrológico 2009-2010 e valores médios mensais da série pluviométrica de 1940/1941 a 1997/1998, na estação climatológica de Ponte de Lima (Dados obtidos em SNIRH, 2010).

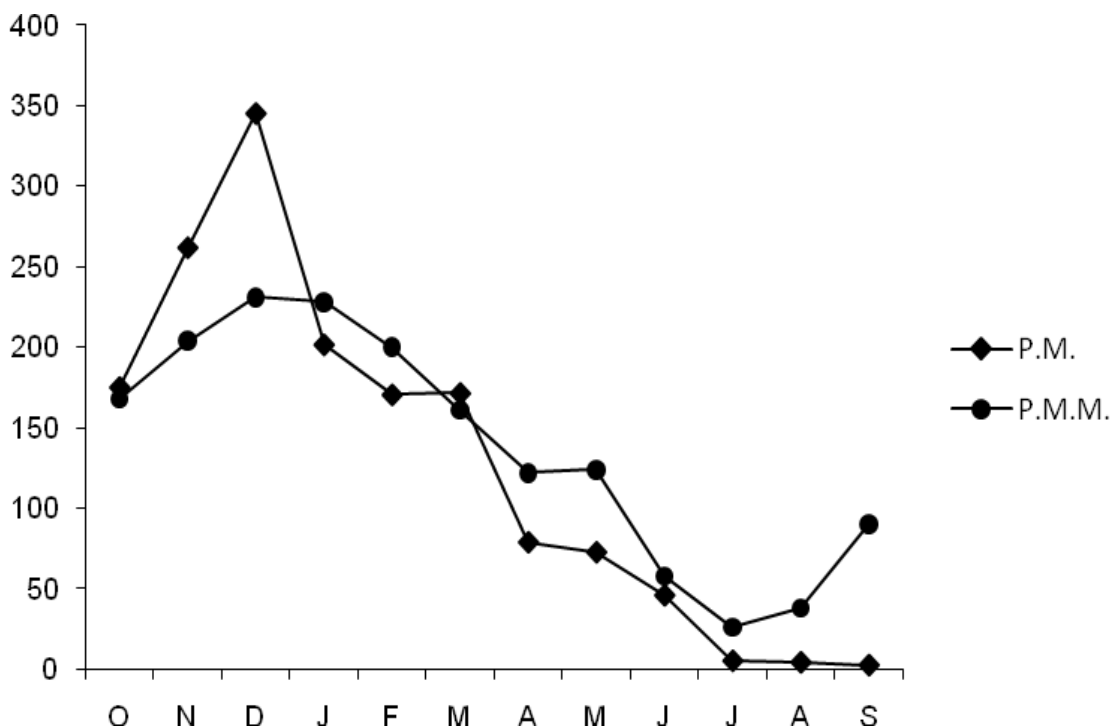
	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S
P.M.	175,2	262	345,3	201,7	170,6	171,5	79,1	72,9	46,2	5,5	4,6	2,8
P.M.M.	168	204	231	228	200	161	122	124	58	26	38	90
Precipitação total de Outubro 2009 a Setembro 2010							1537,4					
Precipitação total média mensal de 1940/1941 a 1997/98							1650					

**P.M.** – Precipitação Mensal no ano hidrológico 2009-2010

**PMM** – Precipitação Média Mensal na série 1940/1941 a 1997/98

Como se observa na Figura III.3, os meses de Novembro e Dezembro de 2009 registam precipitações superiores à média, contrastando com os meses de Julho, Agosto e Setembro de 2010, com valores de precipitação muito inferiores aos valores médios.

Considerando a totalidade do ano hidrológico, pode considerar-se que a precipitação nesse ano não difere de modo significativo da normal pluviométrica. Atendendo à data da colheita das amostras de água (Maio 2010), pode dizer-se que esse período é mais seco que o normal.



**Figura III.3** – Distribuição da precipitação (mm) ao longo do ano hidrológico 2009-2010 (P.M.), na estação climatológica de Ponte de Lima e valores médios mensais da série 1940/1941 a 1997/98 (P.M.M.) na mesma estação (Dados obtidos em SNIRH, 2010).

#### III.4.2. Escoamento

De acordo com LIMA (2001), o escoamento total anual da região onde se insere a área em estudo é de cerca de 64% da precipitação. Os excedentes hídricos ocorrem entre os meses de Novembro e Maio e estão repartidos pelas

componentes superficial e subterrânea de acordo com as proporções de 33% e 30% da precipitação, respectivamente. Considerando os valores médios de precipitação anual referidos anteriormente, estima-se que 545 mm correspondam ao escoamento superficial e 495 mm constituam escoamento subterrâneo.

A rede hidrográfica que percorre a área em estudo apresenta condicionada estruturalmente como indicia o traçado rígido e rectilíneo de algumas linhas de água. O próprio rio Lima assume uma orientação geral ENE-WSW, concordante com a direcção das principais mega estruturas frágeis regionais. Os seus afluentes estão orientados segundo duas direcções dominantes: uma próxima de N-S a NNE-SSW e outra NW-SE, concordante com a estruturação hercínica.

O funcionamento hidrogeológico da área em estudo pode se conceptualmente descrito pelos modelos de dupla porosidade, intervindo uma camada mais superficial constituída pelos materiais resultantes da alteração das rochas e uma rede de fracturas, responsável por circuitos mais profundos.

Os pontos de descarga natural (nascentes) deste tipo de aquíferos estão frequentemente associados à intersecção de fracturas com a superfície topográfica ou a interfaces de contacto das camadas de alteração com a rocha subjacente. Como se verá oportunamente muitas das nascentes incluídas no presente estudo parecem estar condicionadas pelos contactos litológicos entre as rochas graníticas e as formações metassedimentares.

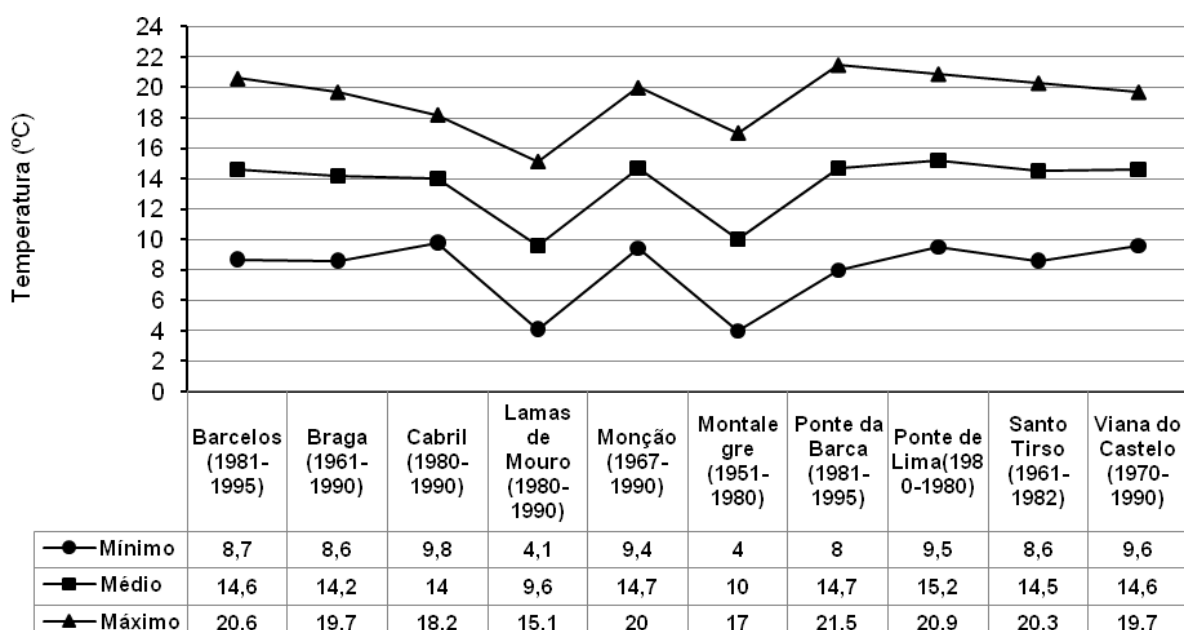
### **III.4.3. Temperatura**

Os valores médios anuais da temperatura em Portugal variam entre 7 °C de mínimo nas zonas altas do interior Centro (Serra da Estrela) e um máximo de 18 °C no litoral Sul. Os valores da temperatura média mensal variam ao longo do ano, atingindo o valor máximo em Agosto e o valor mínimo em Janeiro. No Verão, os valores médios da temperatura máxima variam entre 16 °C na Serra

da Estrela e 32 °C a 34 °C no interior da região Centro e Alentejo. Os valores médios da temperatura mínima no Inverno variam entre 2 °C nas zonas montanhosas do interior e os 12 °C no Algarve (IAMBIENTE, 2010).

Na Figura III.4 apresentam-se valores de temperatura em dez estações da região do Minho (LIMA, 2001). Como se observa, o valor mínimo varia entre os 4 °C em Montalegre e os 9,8 °C em Cabril (S. Lourenço), enquanto o valor máximo oscila entre os 15,1 °C em Lamas de Mouro e os 21,5 °C em Ponte da Barca. Quanto ao valor médio, verifica-se que o mais baixo ocorre em Montalegre (10 °C) e o mais elevado na freguesia de Arcozelo, concelho de Ponte de Lima (15,2 °C). A amplitude térmica mais elevada pertence à estação climatológica de Ponte da Barca (13,5 °C).

Na região de Ponte de Lima regista-se um valor mínimo de 9,5 °C, um valor médio de 15,2 °C e um valor máximo de 20,9 °C.



**Figura III.4** – Normais de temperatura (°C) em 10 estações climatológicas da região do Minho (dados obtidos em LIMA, 2001).

No Quadro III.2 apresentam-se valores de temperatura ao longo do ano de 2009-2010 e as temperaturas médias mensais históricas da estação

climatológica de Ponte da Barca. Estes dados estão representados graficamente na Figura III.5. Como se observa, o mês de Janeiro de 2010 é o mês mais frio, com uma temperatura média de 8.4 °C, sendo também historicamente o mês mais frio, com um valor médio de 8°C. Os meses mais quentes são Julho e Agosto, com 23.4 °C e 23.3 °C respectivamente. A temperatura média anual da região é de 14,9 °C.

**Quadro III.2** – Temperatura (°C) mensal do ano 2009-2010 e valores médios mensais históricos na estação climatológica de Ponte da Barca (Dados obtidos em SNIRH, 2010).

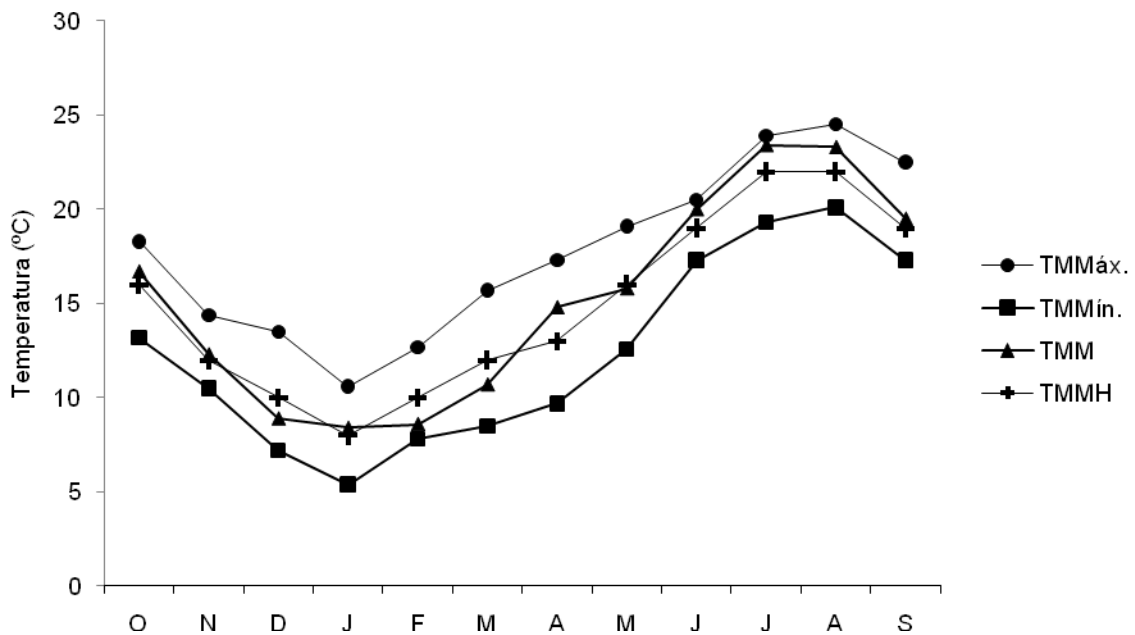
	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	Anual
TMMáx.	18.3	14.4	13.5	10.6	12.7	15.7	17.3	19.1	20.5	23.9	24.5	22.5	24.5
TMMín.	13.2	10.5	7.2	5.4	7.8	8.5	9.7	12.6	17.3	19.3	20.1	17.3	5.4
TMM	16.7	12.3	8.9	8.4	8.6	10.7	14.8	15.8	20	23.4	23.3	19.5	15.2
TMMH	16	12	10	8	10	12	13	16	19	22	22	19	14.9

**TMMáx.** – Temperatura Mensal Máxima

**TMM** – Temperatura Média Mensal

**TMMín.** - Temperatura Mensal Mínima

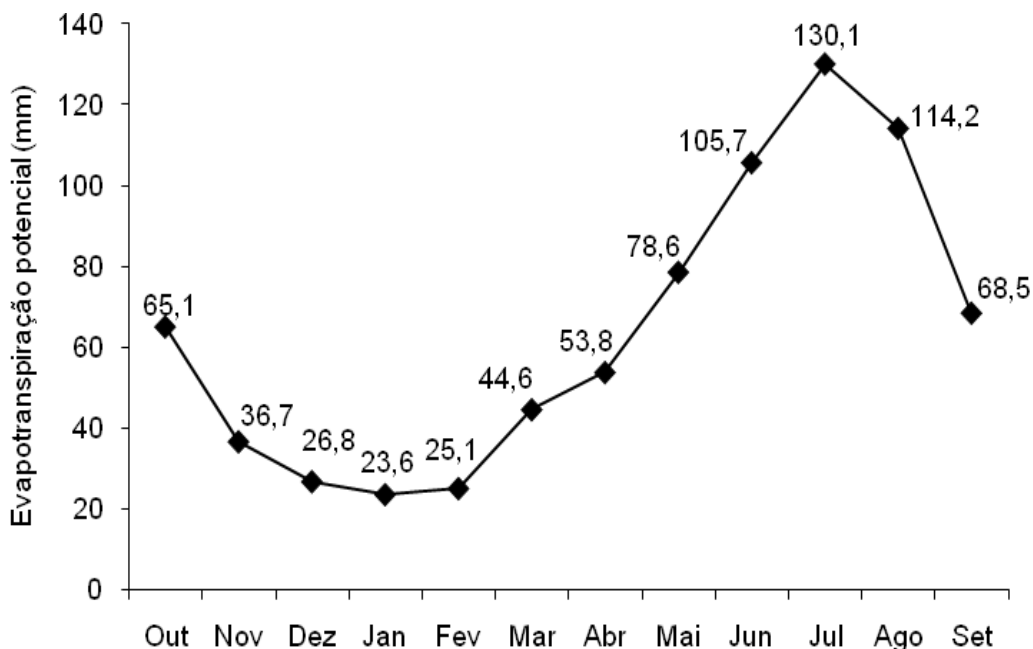
**TMMH** – Temperatura Média Mensal Histórica



**Figura III.5** – Distribuição dos valores de temperatura (°C) mensal do ano 2009-2010 e valores médios mensais históricos na estação climatológica de Ponte da Barca (Dados obtidos em SNIRH, 2010).

### III.4.4. Evapotranspiração Potencial

No concelho de Ponte de Lima, a evapotranspiração potencial (ETP) varia ao longo do ano (Figura III. 6), atingindo valores mais elevados no período de Verão (130,1 mm em Julho) e o oposto durante os períodos de Inverno (23,6 mm em Janeiro). A evapotranspiração anual apresenta um valor de 772,8 mm (LIMA, 2001).



**Figura III.6** - Evapotranspiração potencial mensal na estação climatológica de Ponte de Lima (Adaptado de LIMA, 2001).

### III.4.5. Evapotranspiração Real

A evapotranspiração real (ETR) na área de influência da estação climatológica de Ponte de Lima é de 755,8 mm (LIMA, 2001). A variação intra-anual está representada na Figura III.7. Entre Outubro e Maio, os valores de ETR são iguais aos de ETP. Em Junho as disponibilidades hídricas não são suficientes

pelo que o valor de ETR é inferior ao de ETP, verificando-se uma situação análoga nos meses de Julho e Agosto. Com a precipitação do mês de Setembro termina o período seco, sendo a ETR igual à ETP.

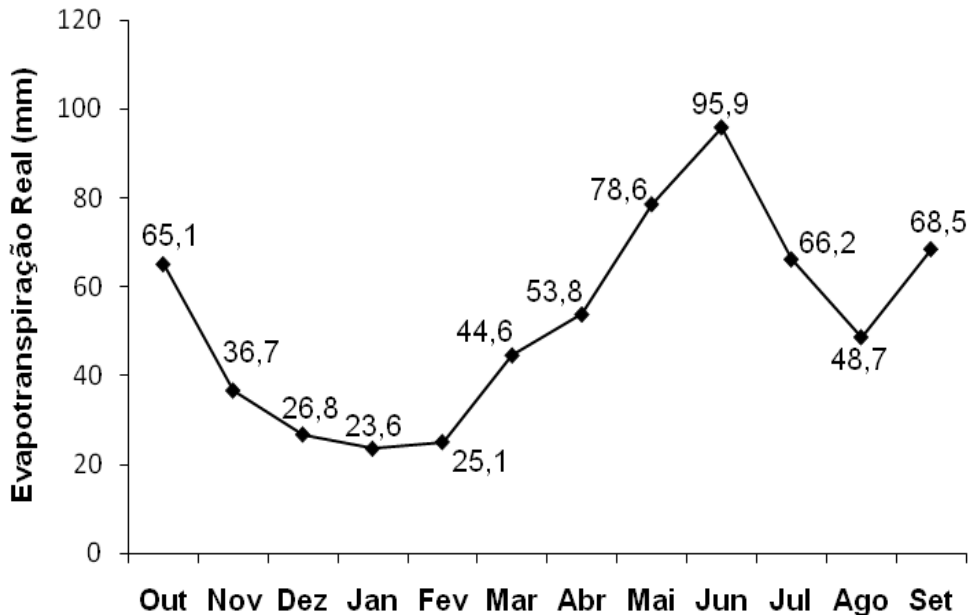
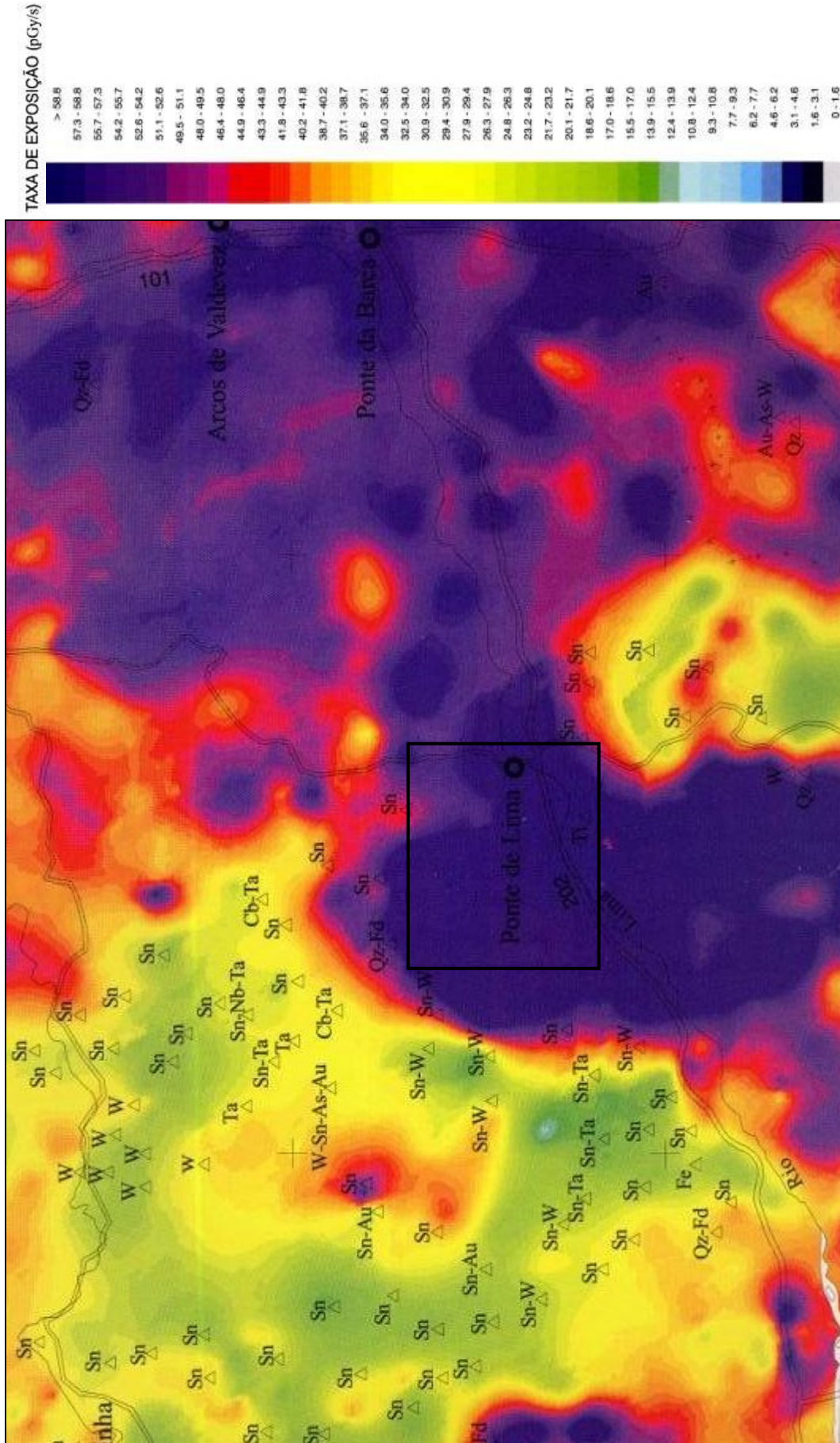


Figura III.7 – Evapotranspiração real média mensal (valores em mm).

### III.5. RADIAÇÃO GAMA NATURAL

Com base na Carta de Radiação Gama Natural (Figura III.8), é possível verificar que a taxa de exposição no concelho de Ponte de Lima é muito elevada, atingindo valores superiores a 50 pGy/s. Para Este os valores são também elevados, ocorrendo o inverso na zona Oeste. Este facto condicionou a selecção da área em estudo, já que se trata de uma das áreas de Portugal Continental com maior taxa de radiação gama natural.





**Figura III.8** – Extraído da Carta de Radiação Gama Natural, na escala de 1:200 000 - Folha 1 (Porto) Edição do IGM com a colaboração da AIEA. Coordenação de Luis Torres. Execução do trabalho de campo e compilação parcial de J. Leote e M. Silva. (1997)

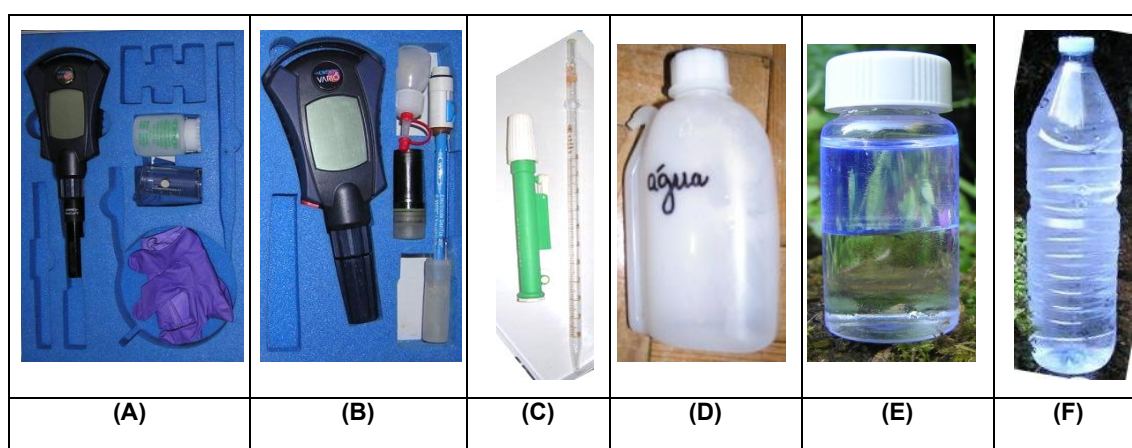
## ***IV. METODOLOGIA***

O presente trabalho foi desenvolvido com base numa componente de campo e uma de laboratório. A área de estudo abrange 9 freguesias do concelho de Ponte de Lima (Arcozelo, S. Pedro (Arcos), Moreira, Estorãos, Refoios, Brandara, Calheiros, Fontão e Sá), seleccionadas com base na variabilidade litológica, zonas de contacto, carta radiométrica e existência de nascentes e minas.

#### IV.1. COLHEITA DE AMOSTRAS

Em primeiro lugar, fez-se um inventário de pontos água, na sua totalidade correspondendo a minas e nascentes. A opção por esta tipologia prende-se com a necessidade de garantir que a água das amostras recolhidas não sofre alterações significativas após abandonar o meio subterrâneo.

Posteriormente, procedeu-se à preparação dos recipientes para colheita de amostras para posterior análise de parâmetros radiológicos. Neste processo foram colocados 12 ml de cocktail de cintilação (Betaplate) num recipiente (*vial*), onde posteriormente se colocou a amostra a analisar (Figura IV.1 – E).



**Figura IV.1** – Material utilizado para a colheita de amostras e medições de campo. Conduvímeter (A), medidor de pH (B), pipeta (C), recipiente para a água destilada (D), *vial* com amostra+Betaplate (E) e garrafa de PET com capacidade de 1,5 L (F).

Dos 52 pontos inventariados, recolheram-se amostras em 40 pontos. Nestas, efectuaram-se medições, *in situ*, dos seguintes parâmetros: condutividade

eléctrica, temperatura, pH e Eh. Para o efeito, foram utilizados os equipamentos ilustrados na Figura IV.1. Assim, a condutividade e a temperatura foram medidas com um condutivímetro, marca WTW, modelo Vario Cond. Para a medição do pH foi utilizado um equipamento marca WTW, modelo Vario pH, tendo sido usado o mesmo equipamento para a medição de Eh, após substituição do eléctrodo.

Na colheita das amostras, procedeu-se da forma a seguir descrita.

Em primeiro lugar, através de uma pipeta, colocaram-se 10 ml de amostra para o vial, agitou-se, misturando-se com o cocktail de cintilação. Para evitar a “fuga” do gás radão durante a colheita, procurou-se produzir o mínimo de turbulência ao introduzir a amostra no recipiente.

Seguidamente, encheu-se uma garrafa de 1,5 L de amostra, procedendo-se ao registo dos dados e parâmetros de campo, nomeadamente, designação do local, coordenadas, data e hora de recolha, pH, temperatura, condutividade e potencial redox (Eh) (Figura IV.2).



**Figura IV.2** – Medição da temperatura e condutividade eléctrica (A), potencial redox (B) e amostra no vial e na garrafa de PET de 1,5 L (C).

## IV.2. PROCEDIMENTOS ANALÍTICOS

As amostras foram transportadas para Laboratório de Radioactividade Natural do Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra onde foram analisadas relativamente alguns parâmetros radiológicos.

Para cada amostra foram medidos os isótopos  $^{238}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  e  $^{222}\text{Rn}$ . As medições foram efectuadas por espectrometria de cintilação líquida, em espectrómetro de cintilação líquida ultra-sensível *Quantulus 1220* da Perkin – Elmer<sup>®</sup> (Fig. IV.3).

As técnicas de cintilação líquida (LSC) associadas a técnicas de extracção selectiva permitem a determinação rápida de uma série de parâmetros radiológicos, na base dos quais se poderá calcular a dose efectiva total. Outro benefício da LSC é a rápida e simples preparação das amostras, quando comparada com outras técnicas radiométricas. De uma maneira geral, o erro global estimado é inferior a 15 % dos valores medidos.



**Figura IV.3** - Espectrómetro de cintilação líquida ultra-sensível Perkin Elmer Quantulus 1220, para determinação de um amplo conjunto de radionuclídeos naturais ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{222}\text{Ra}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{14}\text{C}$ ...) e artificiais ( $^{137}\text{Cs}$ , Sr,  $^3\text{H}$ ...), bem como da radiação alfa total e beta total. (Fonte: <http://www.dct.uc.pt>).

#### IV.2.1. $^{222}\text{Rn}$

O Radão é medido através do método de dupla fase (ASTM, 1998) e, de acordo com este procedimento, uma amostra de água não arejada é transferida para um frasco de polietileno que contém um cocktail de cintilação, imiscível com água (betaplate de Perkin – Elmer<sup>®</sup>). O gás radão está preferencialmente concentrado na fase orgânica. Estudos anteriores evidenciaram que os frascos

de polietileno revestidos a teflon são bastante estanques no que concerne ao gás radão (BELLONI *et al.*, 1995). Após 3 horas, o equilíbrio secular é atingido entre o radão e os seus descendentes de semi-vida curta, podendo a amostra ser contada no equipamento. A eficiência foi avaliada pela medição de várias soluções padrão de  $^{226}\text{Ra}$ , após o radão ter atingido o equilíbrio secular (21 dias).

#### IV.2.2. $^{226}\text{Ra}$

Para a análise do  $^{226}\text{Ra}$ , procedeu-se da seguinte forma:

1º) Adicionou-se 1,33 ml de ácido nítrico (65%), para que se atinja um  $\text{pH} \leq 2$ , em cerca de 1,5 L de água, depois desta ter sido filtrada (filtro de membrana de  $0,45 \mu\text{m}$ );

2º) Deitou-se 500 ml num gobelé e colocou-se sobre uma placa de aquecimento até atingir os 50 ml (redução de 10 vezes). Relativamente à temperatura da placa, esta pode atingir os  $199 \text{ }^\circ\text{C}$ , consoante o número de amostras, isto é, quanto menor for o número de amostras, mais elevada é a temperatura.

O radioisótopo  $^{226}\text{Ra}$  é medido pelo método indirecto, com base no radão acumulado no cocktail de cintilação. O radão é medido depois do equilíbrio com o  $^{226}\text{Ra}$  ser atingido (21 dias). Em cada caso, 10 ml de amostra de água acidificada e pré-concentrada foi colocada num recipiente de polietileno revestido a teflon, ao qual se adicionou 10 ml de cocktail de cintilação (betaplate).

#### IV.2.3. $^{238}\text{U}$ e $^{234}\text{U}$

Pelo facto do balanço dos isótopos  $^{238}\text{U}$  e  $^{234}\text{U}$  ser raramente alcançado em análises de água, devem medir-se ambos os isótopos. O valor da relação  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  varia normalmente entre 1 e 1,5, podendo alcançar valores mais elevados chegando a 7 ou 8 (FORTE *et al.*, 2004). Antes da contagem por cintilação líquida, efectuou-se a extracção selectiva do urânio, recorrendo a um “cocktail de extração selectiva”, composto por HDEHP (bis-2-etilhexyl-orthophosphoric acid) e um cocktail de cintilação imiscível em água.

Assim, o processo para a análise do Urânio fez-se da seguinte forma:

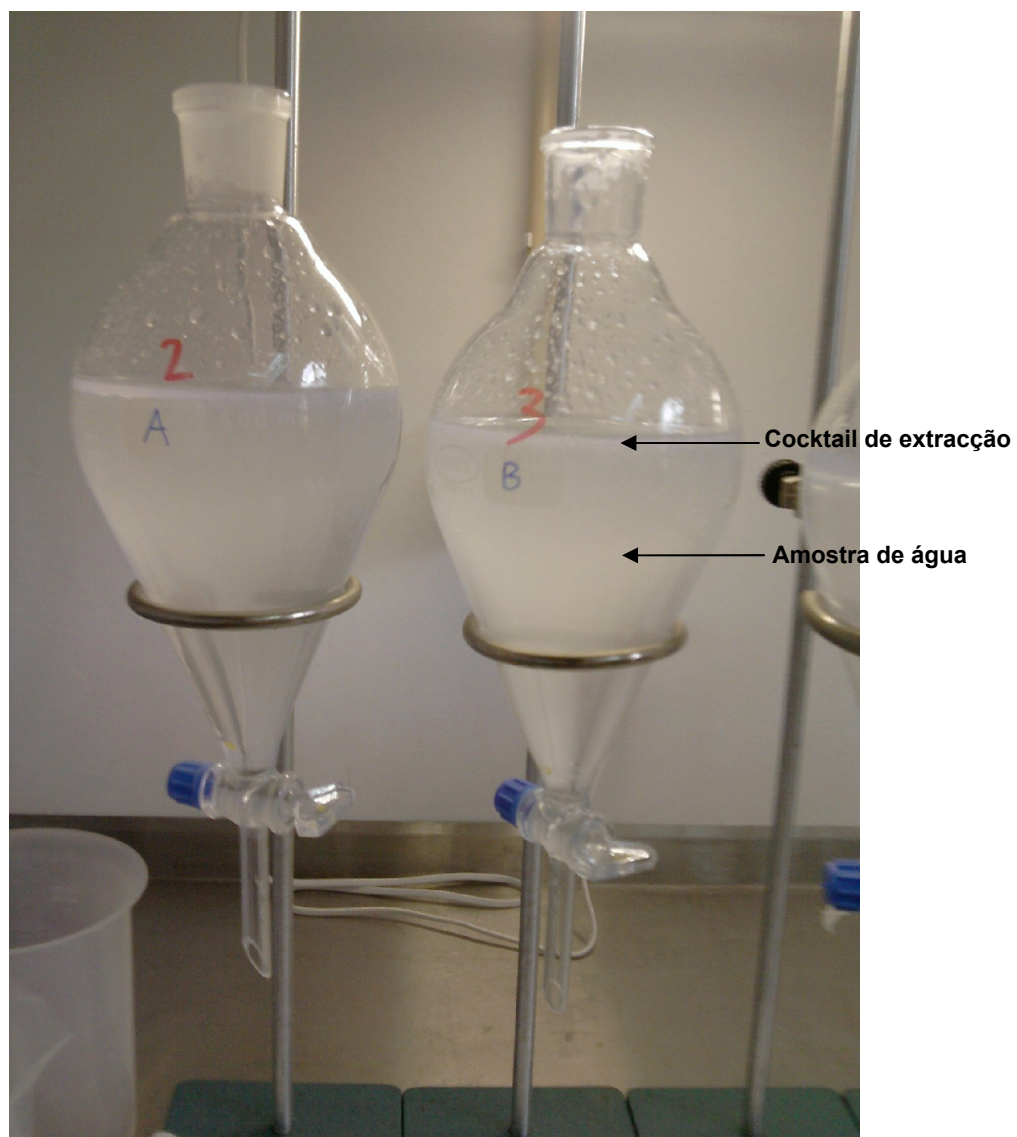
- 1º) Colocaram-se 500 ml de amostra num recipiente de vidro;
- 2º) Agitou-se durante cerca de 1 minuto para libertar o gás radão presente na amostra (desgasificação), com paragem aos 30 segundos, colocando-se de seguida num sistema de arejamento durante cerca de 10 minutos (Figura IV.4);



**Figura IV.4** – Processo para a libertação do radão.

3º) Misturou-se 1 ml de HDEHP com 20 ml de betaplate, transferindo-se esta mistura para a amostra de 500 ml, previamente desgaseificada e colocada numa ampola de decantação periforme, agitando-se durante 10 a 12 segundos, promovendo a passagem do urânio para a fase orgânica. Ao fim de 20 minutos verificou-se a separação entre fases (cocktail de extracção contendo urânio e amostra de água) (Figura IV.5).

4º) Após a separação, a amostra (cocktail de extracção) necessária para análise do urânio foi colhida num frasco de polietileno, estando pronta a contar ao fim de 3h; a actividade foi calculada com base nos picos alfa de  $^{238}\text{U}$  e  $^{234}\text{U}$ . Para uma informação mais detalhada, consultar GONÇALVES & PEREIRA (2007).



**Figura IV.5** – Ampola, com cocktail de extracção contendo urânio e amostra de água, após 20 minutos de repouso.



## ***V. RESULTADOS E DISCUSSÃO***

Como se referiu oportunamente, foram inventariados 52 pontos de água localizados nas freguesias de Arcozelo, Moreira, Sá, Fontão, Refoios, Estorãos, Brandara, Bertandos e Calheiros (Quadro V.1 e Figura V.1).

**Quadro V.1** – Inventário dos pontos de água na área de estudo.

N – Nascente; M - Mina

Ref.	Tipo	Designação local	Freguesia	Coordenadas militares (m)		Litologia
PL01	N	Fonte da poça	Arcozelo	161564	534644	Corneanas, xistos andaluzíticos, xistos granitíferos e xistos luzentes
PL02	N	Quinta Nova	Arcozelo	161084	536888	Corneanas, xistos andaluzíticos, xistos granitíferos, xistos luzentes, etc.
PL03	M	Canos	Arcozelo	161137	535554	Corneanas, xistos andaluzíticos, xistos granitíferos e xistos luzentes
PL04	N	Fonte de Ribeiro	Arcozelo	161390	535886	Corneanas, xistos andaluzíticos, xistos granitíferos e xistos luzentes
PL05	N	Fonte casal	Moreira	159961	535291	Complexo xisto - granítico
PL06	M	Espírito Santo	Moreira	159868	535461	Complexo xisto - granítico
PL07	N	Vila Nova	Moreira	159727	535948	Complexo xisto - granítico
PL08	N	Qta Espírito Santo	Moreira	159935	534979	Complexo xisto - granítico
PL09	M	Vesjoeira (Qta Espírito Santo)	Moreira	159791	535514	Complexo xisto - granítico
PL10	N	Fonte do Carvalho	Moreira	159546	535687	Complexo xisto - granítico
PL11	M	Arcozelo	Arcozelo	161045	536636	Corneanas, xistos andaluzíticos, xistos granitíferos e xistos luzentes
PL12	N	Nascente Fojo	Arcozelo	160220	538439	Corneanas, xistos andaluzíticos, xistos granitíferos e xistos luzentes
PL13	M	Presa	Arcozelo	161058	537149	Corneanas, xistos andaluzíticos, xistos granitíferos e xistos luzentes
PL14	N	Presa	Arcozelo	161039	537083	Corneanas, xistos andaluzíticos, xistos granitíferos e xistos luzentes
PL15	N	Fonte Costeira	Sá	159607	534143	Complexo xisto - granítico
PL16	N	Fonte Feituras	Sá	159863	534231	Complexo xisto - granítico
PL17	N	Fonte Nova	Sá	160065	534286	Complexo xisto - granítico
PL18	M	Fonte da Vila	Fontão	156313	530575	Granito de grão médio ou fino a médio
PL19	M	Mina	Fontão	156146	530497	Granito de grão médio ou fino a médio
PL20	M	Fontaval	Fontão	156897	531097	Granito de grão médio ou fino a médio

Quadro V.1 (Cont.)

Ref.	Tipo	Designação local	Freguesia	Coordenadas militares (m)		Litologia
PL21	N	Casa Nova - "Bica 1"	Refoios	164071	534817	Corneanas, xistos andaluzíticos, xistos granitíferos e xistos luzentes
PL22	N	Casa Nova - "Bica 2"	Refoios	164071	534817	Corneanas, xistos andaluzíticos, xistos granitíferos e xistos luzentes
PL23	M	Caneiro	Refoios	166501	535417	Granito porfíroide de grão grosseiro ou médio a grosseiro
PL24	N	Fonte de Antelas	Moreira	159546	537089	Granito de grão médio ou fino a médio
PL25	N	Sobreiro Redondo	Moreira	159549	537558	Granito de grão médio ou fino a médio
PL26	N	Berdial	Moreira	159133	537797	Corneanas, xistos andaluzíticos, xistos granitíferos e xistos luzentes
PL27	N	Carvalhoal	Moreira	159445	537806	Corneanas, xistos andaluzíticos, xistos granitíferos e xistos luzentes
PL28	N	Regatal	Arcozelo	162109	536804	Corneanas, xistos andaluzíticos, xistos granitíferos e xistos luzentes
PL29	N	Calheiros	Calheiros	163630	538128	Granito porfíroide de grão grosseiro ou médio a grosseiro
PL30	M	Calheiros	Calheiros	163798	537228	Granito porfíroide de grão grosseiro ou médio a grosseiro
PL31	M	Brandara	Brandara	164215	536008	Granito porfíroide de grão grosseiro ou médio a grosseiro
PL32	N	Penas	Refoios	165257	535851	Granito porfíroide de grão grosseiro ou médio a grosseiro
PL33	M	Brandara	Brandara	164150	535878	Granito porfíroide de grão grosseiro ou médio a grosseiro
PL34	N	Fonte Barrio	Moreira	159155	535655	Complexo xisto - granítico
PL35	M	Fonte Engenheiro	Moreira	159082	534963	Complexo xisto - granítico
PL36	N	Fonte Passal	Moreira	158893	535350	Complexo xisto - granítico
PL37	M	Picouto	S.Pedro (Arcos)	157317	533660	Complexo xisto - granítico
PL38	N	Fonte Neves	S.Pedro (Arcos)	155583	532233	Corneanas, xistos andaluzíticos, xistos granitíferos e xistos luzentes
PL39	N	Costa	S.Pedro (Arcos)	157428	533558	Aluviões actuais
PL40	N	Manga	S.Pedro (Arcos)	157907	534146	Depósitos de terraços fluviais
PL41	M	Fonte Agro	Moreira	159842	537757	Corneanas, xistos andaluzíticos, xistos granitíferos e xistos luzentes
PL42	N	Poças Amaro	Moreira	159463	537376	Granito de grão médio ou fino a médio
PL43	N	S.Pedro (Arcos)	S.Pedro (Arcos)	156567	532618	Granito de grão médio ou fino a médio
PL44	M	Quinta Pentieiros	Bertiandos	156747	534206	Granito de grão médio ou fino a médio
PL45	N	Caneiro	Refoios	166219	535527	Granito de grão médio ou fino a médio
PL46	M	Sabadão	Arcozelo	161366	534604	Corneanas, xistos andaluzíticos, xistos granitíferos e xistos luzentes

Quadro V.1 (Cont.)

Ref.	Tipo	Designação local	Freguesia	Coordenadas militares (m)		Litologia
PL47	M	Sabadão	Arcozelo	161403	534503	Corneanas, xistos andaluzíticos, xistos granitíferos e xistos luzentes
PL48	N	Fonte Breia	Estorãos	157054	537113	Corneanas, xistos andaluzíticos, xistos granitíferos e xistos luzentes
PL49	N	Arcozelo (J.Moreira)	Arcozelo	160903	535703	Granito de grão médio ou fino a médio
PL50	N	Fonte Terra Feita	S.Pedro (Arcos)	156185	532787	Granito de grão médio ou fino a médio
PL51	N	Fonte da Coelhoa	S.Pedro (Arcos)	157170	533027	Granito de grão médio ou fino a médio
PL52	N	Paredes	S.Pedro (Arcos)	156884	533640	Granito de grão médio ou fino a médio

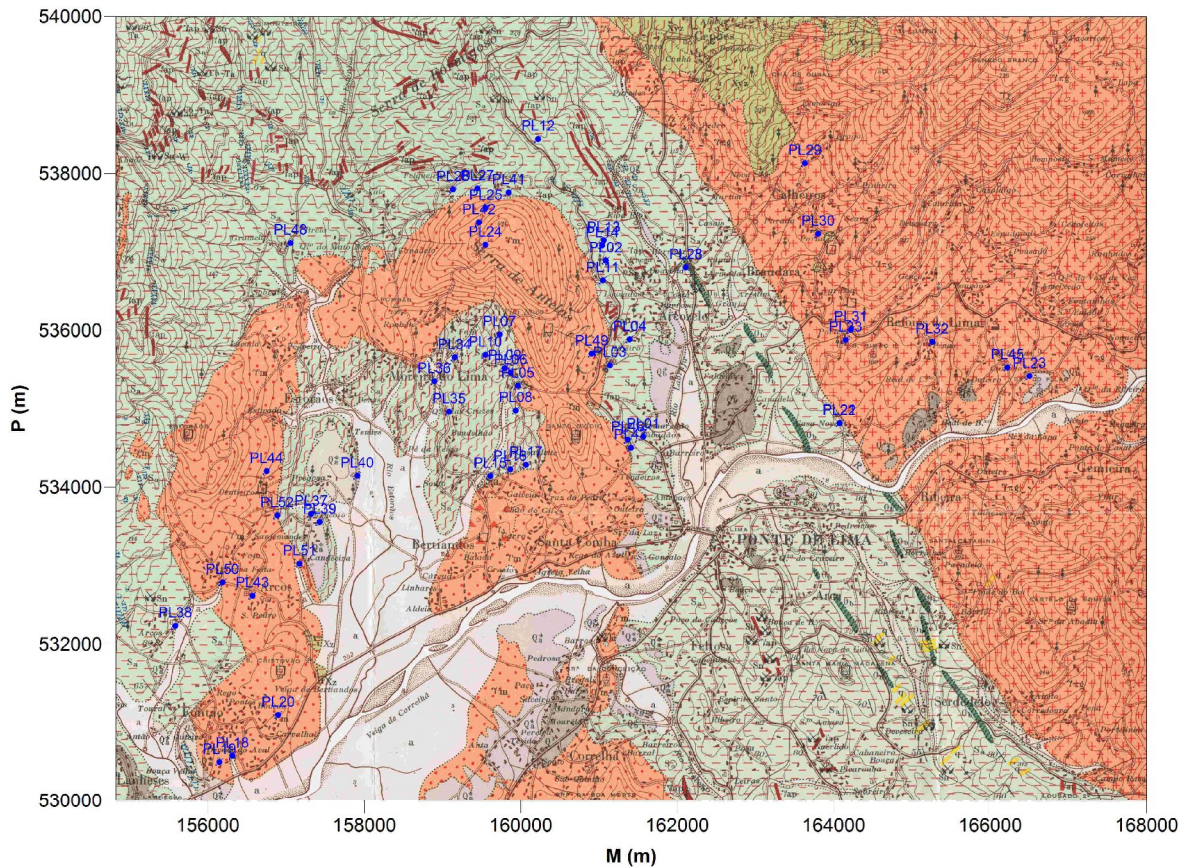


Figura V.1 – Enquadramento geológico dos pontos de água inventariados (●).

Ver legenda na figura III.2

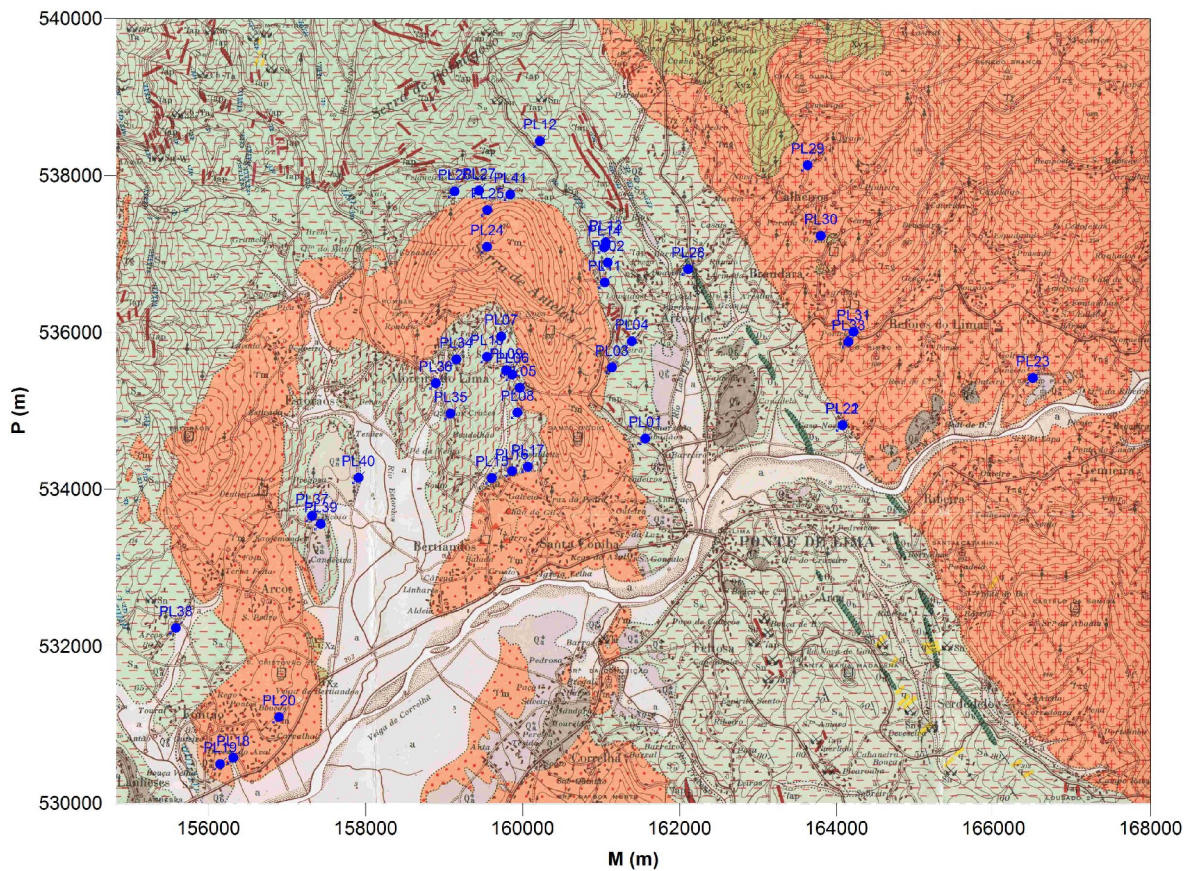
Dos 52 pontos de água referidos, foram seleccionados 40, visto que alguns acabaram por secar (Ex. Penas, na freguesia de Refoios – PL32) e outros apresentavam difícil acesso, o que impossibilitou a medição e colheita de amostras (Ex. Sabadão, na freguesia de Arcozelo – PL46 e PL47). No Quadro V.2 apresentam-se os pontos de água seleccionados para amostragem, indicando-se também a data e a hora das colheitas. Na Figura V.2 mostra-se a distribuição destes pontos, de forma a identificar-se o substrato geológico onde ocorrem.

**Quadro V.2** – Pontos de água amostrados.

Ref.	Designação local	Freguesia	Data de recolha	Hora	Captação	Observações
PL01	Fonte da poça	Arcozelo	21-05-2010	11:15	Nascente	
PL02	Quinta Nova	Arcozelo	21-05-2010	12:15	Nascente	2 metros da nascente
PL03	Canos	Arcozelo	21-05-2010	12:40	Mina	Mina com 10 metros
PL04	Fonte de Ribeiro	Arcozelo	21-05-2010	13:08	Nascente	Nascente a 15 metros
PL05	Fonte casal	Moreira	21-05-2010	14:38	Nascente	
PL06	Espírito Santo	Moreira	21-05-2010	15:00	Mina	
PL07	Vila Nova	Moreira	21-05-2010	15:35	Nascente	
PL08	Quinta Espírito Santo	Moreira	21-05-2010	16:20	Nascente	
PL09	Vesjoeira (Qta Espírito Santo)	Moreira	21-05-2010	17:06	Mina	Colhida a 250Mts da nascente (tubo)
PL10	Fonte do Carvalho	Moreira	21-05-2010	17:40	Nascente	
PL11	Arcozelo	Arcozelo	21-05-2010	18:04	Mina	Mina com 10 metros (visível)
PL12	Nascente Fojo	Arcozelo	21-05-2010	18:53	Nascente	
PL13	Presas	Arcozelo	21-05-2010	19:45	Mina	Mina com 6 metros (visível)
PL14	Presas	Arcozelo	21-05-2010	20:20	Nascente	
PL15	Fonte Costeira	Sá	22-05-2010	08:05	Nascente	
PL16	Fonte Feituras	Sá	22-05-2010	08:53	Nascente	Nascente a 6 metros, água corre lentamente
PL17	Fonte Nova	Sá	22-05-2010	09:12	Nascente	
PL18	Fonte da Vila	Fontão	22-05-2010	11:31	Mina	
PL19	Mina	Fontão	22-05-2010	12:13	Mina	Mina a 65 metros
PL20	Fontaval	Fontão	22-05-2010	13:08	Mina	Mina (água praticamente parada)
PL21	Casa Nova - "Bica 1"	Refoios	22-05-2010	15:22	Nascente	
PL22	Casa Nova - "Bica 2"	Refoios	22-05-2010	15:46	Nascente	Distância cerca de 1.5 metros entre a Bica 1 e 2
PL23	Caneiro	Refoios	22-05-2010	17:24	Mina	Mina a 70 metros (tubo)
PL24	Fonte de Antelas	Moreira	22-05-2010	19:45	Nascente	
PL25	Sobreiro Redondo	Moreira	22-05-2010	20:31	Nascente	
PL26	Berdial	Moreira	23-05-2010	07:50	Nascente	

Quadro V.2 (Cont.)

Ref.	Designação local	Freguesia	Data de recolha	Hora	Captação	Observações
PL27	Carvalho	Moreira	23-05-2010	08:39	Nascente	
PL28	Regatal	Arcozelo	23-05-2010	09:40	Nascente	
PL29	Calheiros	Calheiros	23-05-2010	10:24	Nascente	
PL30	Calheiros	Calheiros	23-05-2010	11:12	Mina	
PL31	Brandara	Brandara	23-05-2010	11:51	Mina	
PL33	Brandara	Brandara	23-05-2010	12:37	Mina	Mina a 4 metros
PL34	Fonte Barrio	Moreira	23-05-2010	15:01	Nascente	
PL35	Fonte Engenheiro	Moreira	23-05-2010	15:21	Mina	Mina a 2 metros (tubo)
PL36	Fonte Passal	Moreira	23-05-2010	16:04	Nascente	
PL37	Picouto	S.Pedro (Arcos)	23-05-2010	17:15	Mina	
PL38	Fonte Neves	S.Pedro (Arcos)	23-05-2010	18:28	Nascente	
PL39	Costa	S.Pedro (Arcos)	23-05-2010	19:22	Nascente	
PL40	Manga	S.Pedro (Arcos)	23-05-2010	20:00	Nascente	
PL41	Fonte Agro	Moreira	23-05-2010	20:56	Mina	Mina com 7 metros (visível)



## V.1. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA

Durante a colheita de amostras de água foram medidos quatro parâmetros físico-químicos (pH, condutividade eléctrica, potencial redox e temperatura). Os dados estão compilados no Quadro V.3.

**Quadro V.3** – Valores de pH, condutividade eléctrica, potencial redox, temperatura e indicação do substrato geológico dos pontos de água amostrados.

Ref.	pH	Condutividade eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Eh (mV)	T ( $^{\circ}\text{C}$ )	Substrato Geológico
PL01	5,62	75,9	373	14,8	Corneanas, xistos andaluzíticos, xistos granitíferos e xistos luzentes
PL02	5,37	54,3	364	14,7	Corneanas, xistos andaluzíticos, xistos granitíferos, xistos luzentes, etc.
PL03	5,72	49,3	335	15,1	Corneanas, xistos andaluzíticos, xistos granitíferos e xistos luzentes
PL04	5,25	68,3	327	15,2	Corneanas, xistos andaluzíticos, xistos granitíferos e xistos luzentes
PL05	5,42	77,5	395	14,8	Complexo xisto - granítico
PL06	5,33	62,9	412	15,1	Complexo xisto - granítico
PL07	5,58	52,5	346	14,5	Complexo xisto - granítico
PL08	5,77	82,5	364	15,1	Complexo xisto - granítico
PL09	6,55	92,3	315	16,7	Complexo xisto - granítico
PL10	6,14	63,1	363	14,9	Complexo xisto - granítico
PL11	5,19	53,2	425	14,7	Corneanas, xistos andaluzíticos, xistos granitíferos e xistos luzentes
PL12	5,1	33,6	397	13,5	Corneanas, xistos andaluzíticos, xistos granitíferos e xistos luzentes
PL13	5,09	101,3	370	15,3	Corneanas, xistos andaluzíticos, xistos granitíferos e xistos luzentes
PL14	5,12	109,2	376	15,9	Corneanas, xistos andaluzíticos, xistos granitíferos e xistos luzentes
PL15	5,76	98,7	350	14,9	Complexo xisto - granítico
PL16	5,19	154,5	377	15,6	Complexo xisto - granítico
PL17	5,89	110,4	350	14,7	Complexo xisto - granítico
PL18	5,79	197,4	343	14,5	Granito de grão médio ou fino a médio
PL19	5,29	285	394	15,5	Granito de grão médio ou fino a médio
PL20	5,08	142,9	388	14,7	Granito de grão médio ou fino a médio
PL21	5,06	61,5	415	14,7	Corneanas, xistos andaluzíticos, xistos granitíferos e xistos luzentes
PL22	5,21	61,5	423	14,7	Corneanas, xistos andaluzíticos, xistos granitíferos e xistos luzentes
PL23	5,49	123,8	409	15,3	Granito porfiróide de grão grosseiro ou médio a grosseiro
PL24	5,18	36	428	14,4	Granito de grão médio ou fino a médio
PL25	5,75	33,4	417	13,1	Granito de grão médio ou fino a médio
PL26	5,06	64,4	428	13,9	Corneanas, xistos andaluzíticos, xistos granitíferos e xistos luzentes
PL27	5,39	35,5	413	13,2	Corneanas, xistos andaluzíticos, xistos granitíferos e xistos luzentes

Quadro V.3 (Cont.)

Ref.	pH	Condutividade eléctrica ( $\mu\text{S/cm}$ )	Eh (mV)	T ( $^{\circ}\text{C}$ )	Substrato Geológico
PL28	5,16	77,7	414	15,4	Corneanas, xistos andaluzíticos, xistos granitíferos e xistos luzentes
PL29	5,72	53,9	404	13,7	Granito porfíroide de grão grosseiro ou médio a grosseiro
PL30	5,57	81,4	427	15,1	Granito porfíroide de grão grosseiro ou médio a grosseiro
PL31	5,58	51,9	413	14,8	Granito porfíroide de grão grosseiro ou médio a grosseiro
PL33	5,61	64,5	414	15	Granito porfíroide de grão grosseiro ou médio a grosseiro
PL34	5,56	79,2	417	14,9	Complexo xisto - granítico
PL35	5,47	55,5	411	15,5	Complexo xisto - granítico
PL36	5,33	111,5	421	16,1	Complexo xisto - granítico
PL37	6,03	198,2	397	14,9	Complexo xisto - granítico
PL38	5,22	48,5	432	16,1	Corneanas, xistos andaluzíticos, xistos granitíferos e xistos luzentes
PL39	5,42	55,2	445	14,6	Aluviões actuais
PL40	4,75	35,4	460	14,7	Depósitos de terraços fluviais
PL41	5,57	37,6	452	13,2	Corneanas, xistos andaluzíticos, xistos granitíferos e xistos luzentes

Relativamente ao pH, registaram-se valores no intervalo de 4,75 (PL40) a 6,55 (PL09), enquanto a condutividade eléctrica varia entre 33,4  $\mu\text{S/cm}$  (PL25) e 285  $\mu\text{S/cm}$  (PL19). Por sua vez, o potencial redox apresenta valores entre 315 mV (PL09) e 460 mV (PL40) e, por fim, os valores de temperatura oscilam entre 13,2  $^{\circ}\text{C}$  (PL41) e 16,7  $^{\circ}\text{C}$  (PL09) (Quadro V.3).

Uma estatística descritiva dos parâmetros antes referidos é apresentada no Quadro V.4.

Quadro V.4 – Valores estatísticos de temperatura, condutividade eléctrica, pH e potencial redox.

	T ( $^{\circ}\text{C}$ )	Condutividade Eléctrica ( $\mu\text{S/cm}$ )	pH	Eh (mV)
<b>Média</b>	14,84	83,29	5,46	395,10
<b>Mediana</b>	14,85	64,45	5,42	406,50
<b>Desvio Padrão</b>	0,77	51,94	0,35	35,46
<b>Mínimo</b>	13,10	33,40	4,75	315,00
<b>Máximo</b>	16,70	285,00	6,55	460,00



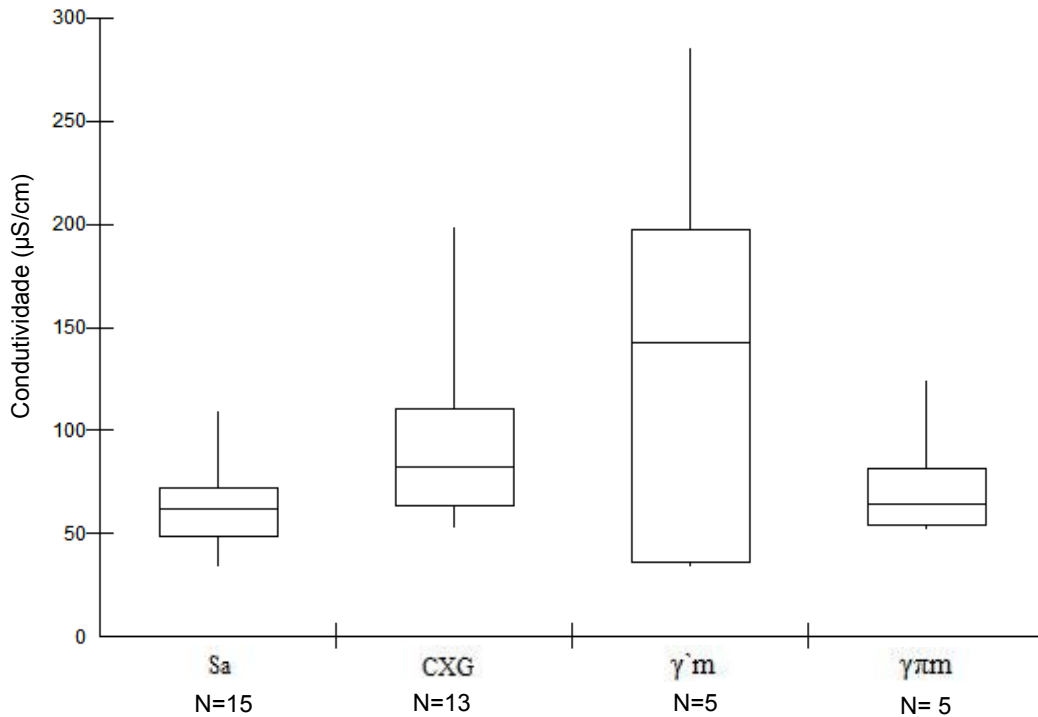
Da observação do Quadro V.4, verifica-se que os valores médios da temperatura, da condutividade eléctrica, do pH e do potencial redox da água são de 14,84 °C, 83,29  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , 5,46 e 395,10 mV, respectivamente. É de realçar o valor máximo obtido na condutividade, de 285  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (PL19), que é cerca do triplo do valor médio, e muito superior ao valor mínimo, (33,40 em PL25), apesar de ambas assentarem num substrato geológico de granito de grão médio ou fino a médio. Embora não tenham sido efectuadas análises físico-químicas mais detalhadas, aquele valor elevado de condutividade eléctrica sugere a influência de factores antrópicos na mineralização da água. De facto, o ambiente hidrogeológico regional não explica, por processos naturais, uma mineralização daquela ordem de grandeza.

Considerando os valores médios dos diferentes parâmetros físico-químicos (Quadro V.4), poderá dizer-se que as águas analisadas apresentam uma mineralização baixa e são típicas de circuitos hidrogeológicos pouco profundos.

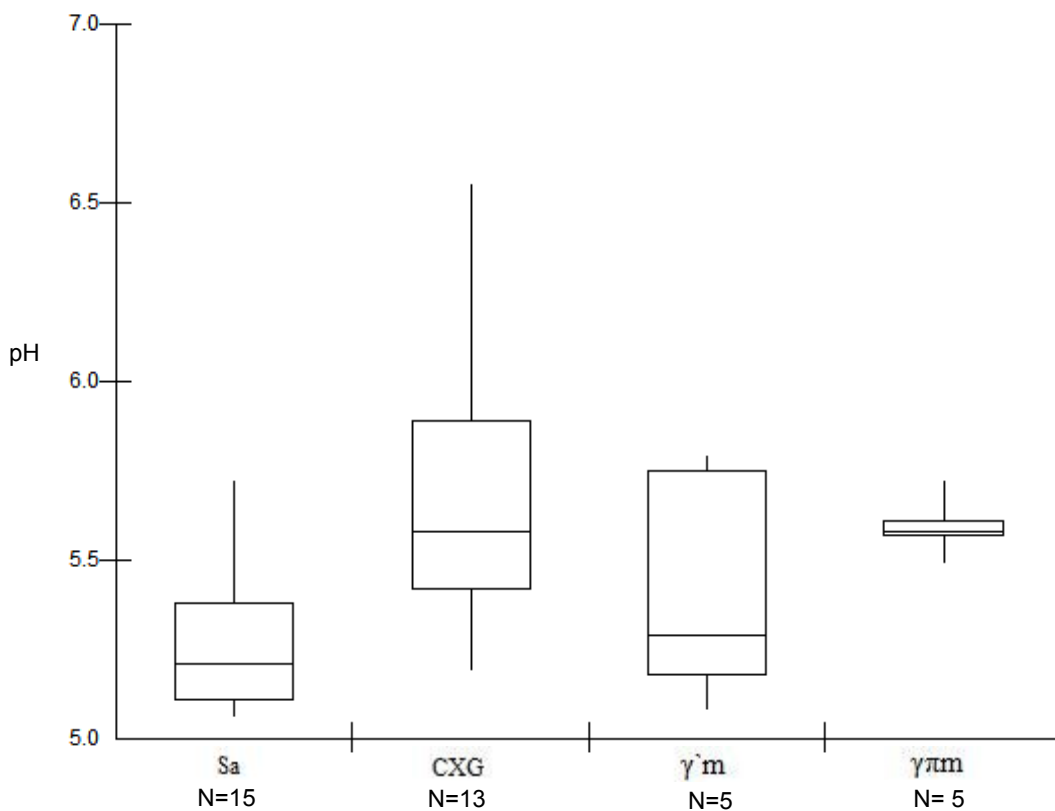
Analisando os valores dos parâmetros físico-químicos antes mencionados em função das litologias onde ocorrem as emergências estudadas, é possível identificar variações que podem estar relacionadas com o próprio substrato geológico.

Na Figura V.3 apresenta-se a distribuição dos valores de condutividade eléctrica das águas em função da litologia, tendo-se utilizado a representação através de diagramas do tipo caixa-de-bigodes. A maior dispersão dos valores de condutividade ocorre nas amostras relacionadas com o granito de grão médio ou fino a médio, que registam também o maior valor mediano. Com efeito, este valor é significativamente superior aos valores medianos das águas relacionadas com as outras litologias, que apresentam entre si valores relativamente semelhantes.

A Figura V.4 apresenta a distribuição dos valores de pH em função da litologia. Ao contrário dos valores da condutividade, a maior dispersão dos valores de pH ocorre ao nível do complexo xisto-granítico. No entanto, o valor mediano é semelhante ao das amostras associadas ao granito porfiróide de grão grosseiro ou médio a grosseiro, ambos ligeiramente superiores a 5,5. De salientar a baixa dispersão dos valores de pH das amostras do granito referido anteriormente.

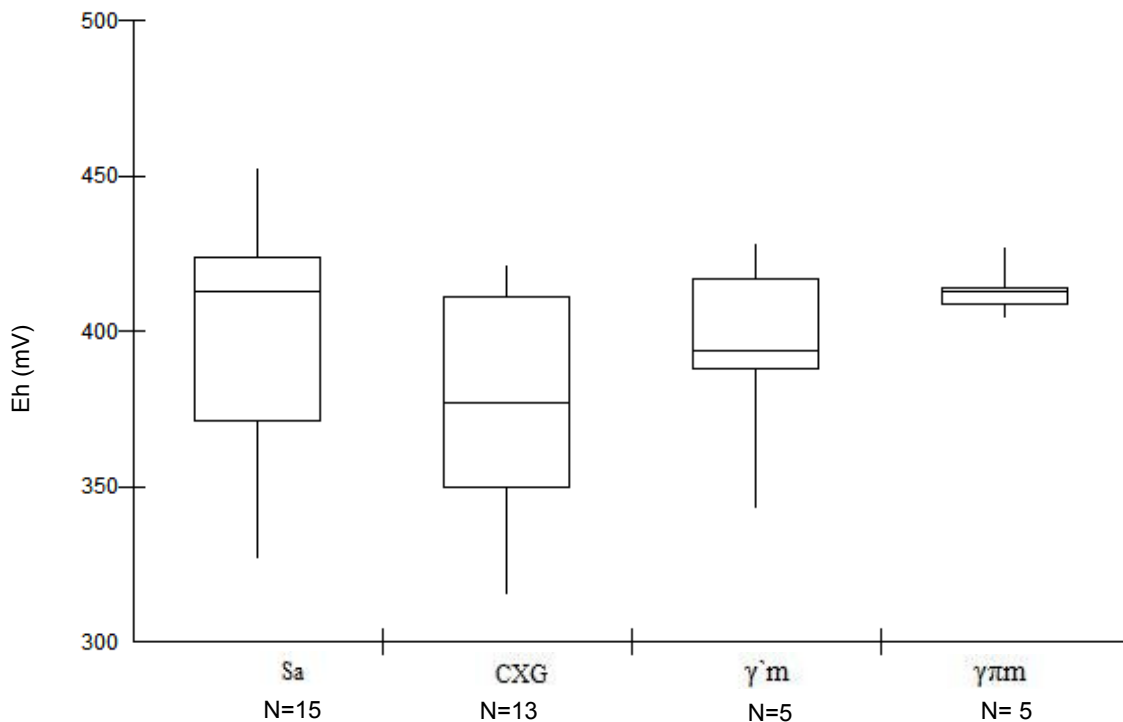


**Figura V.3-** Distribuição dos valores de condutividade ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) nas diferentes litologias (Sa - Corneanas, xistos andaluzíticos, xistos granitíferos e xistos luzentes; CXG - Complexo xisto – granítico;  $\gamma`m$  - Granito de grão médio ou fino a médio;  $\gamma\pi m$  - Granito porfiróide de grão grosseiro ou médio a grosseiro; N – número de amostras).



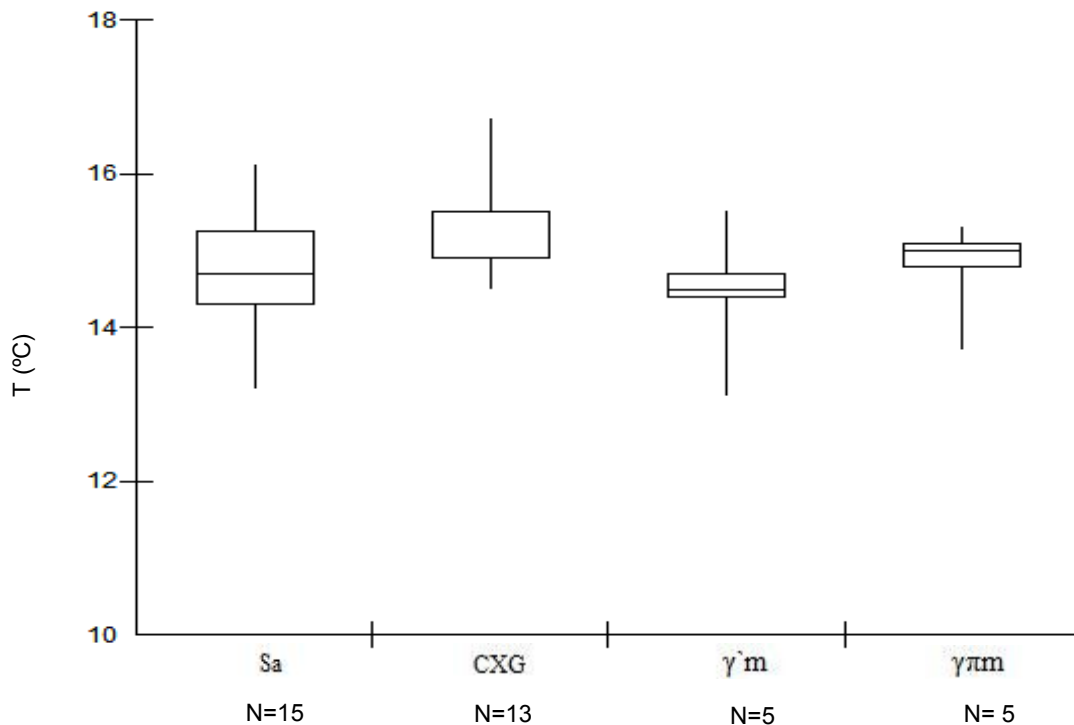
**Figura V.4** – Distribuição dos valores de pH nas diferentes litologias (Sa - Corneanas, xistos andaluzíticos, xistos granitíferos e xistos luzentes; CXG - Complexo xisto – granítico;  $\gamma`m$  - Granito de grão médio ou fino a médio;  $\gamma\pi m$  - Granito porfiróide de grão grosseiro ou médio a grosseiro; N – número de amostras).

Em relação ao potencial redox (Figura V.5) não se registam diferenças assinaláveis nas amostras das diferentes litologias, sendo apenas de salientar a baixa dispersão ao nível das amostras granito porfiróide de grão grosseiro ou médio a grosseiro. De um modo geral, os valores encontrados conferem às águas elevado poder oxidante, como seria de esperar, atendendo carácter cortical dos circuitos subterrâneos.



**Figura V.5** - Distribuição dos valores potencial redox (mV) nas diferentes litologias (Sa - Corneanas, xistos andaluzíticos, xistos granitíferos e xistos luzentes; CXG - Complexo xisto – granítico;  $\gamma^m$  - Granito de grão médio ou fino a médio;  $\gamma\pi m$  - Granito porfiróide de grão grosseiro ou médio a grosseiro; N – número de amostras).

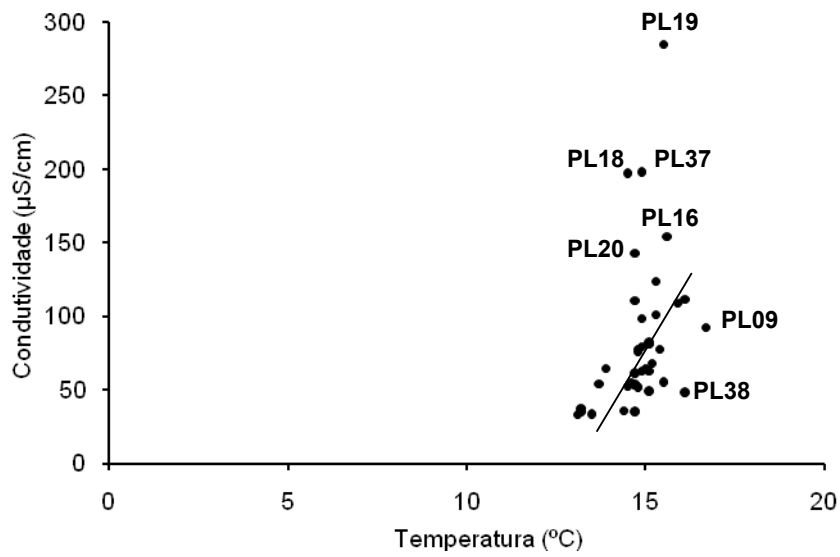
À semelhança do potencial redox, a temperatura das águas subterrâneas não apresenta diferenças significativas em função das litologias onde ocorrem. Os valores encontrados são semelhantes ao da temperatura média do ar e, o que seria de esperar, uma vez que a profundidade dos circuitos não é suficiente para revelar a influência do gradiente geotérmico. Como tal, a temperatura destas águas subterrâneas está dependente da temperatura atmosférica.



**Figura V.6** - Distribuição dos valores de temperatura (°C) nas diferentes litologias (Sa - Corneanas, xistos andaluzíticos, xistos granitíferos e xistos luzentes; CXG - Complexo xisto – granítico;  $\gamma^m$  - Granito de grão médio ou fino a médio;  $\gamma^{\pi m}$  - Granito porfiróide de grão grosseiro ou médio a grosseiro; N – número de amostras).

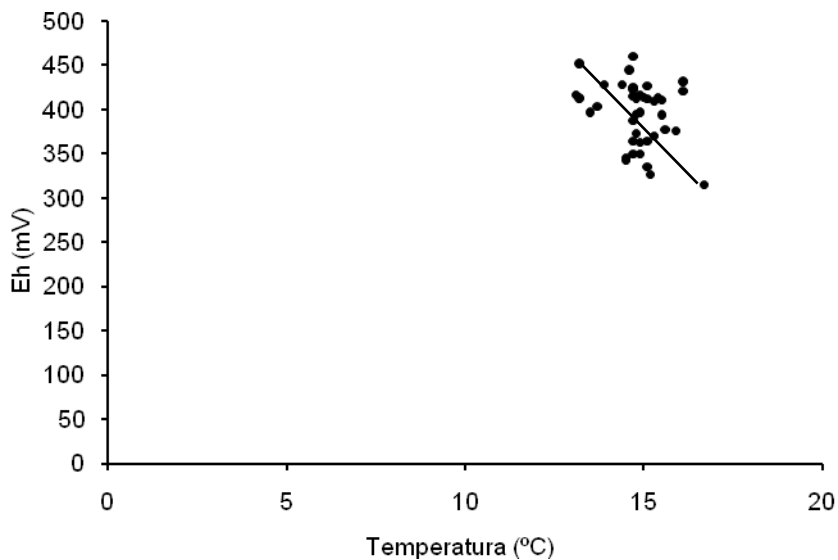
Na tentativa de identificar correlações entre os parâmetros físico-químicos anteriormente referidos, elaboraram-se os diagramas de dispersão apresentados nas Figuras V.7, V.8, V.9, V.10, V.11 e V.12.

De um modo geral, a condutividade eléctrica não exhibe correlação com a temperatura das águas, identificando-se, contudo, uma fraca tendência de evolução paralela dos dois parâmetros nas amostras menos mineralizadas (Figura V.7). Com efeito, se excluirmos os pontos identificados na Figura V.7, parece existir uma correlação positiva entre a condutividade eléctrica e a temperatura das águas. Tal correlação deixa de existir nas amostras mais mineralizadas, provavelmente devido ao facto destas estarem associadas a ambientes contaminados e, portanto, a sua mineralização não está dependente exclusivamente de processos naturais.



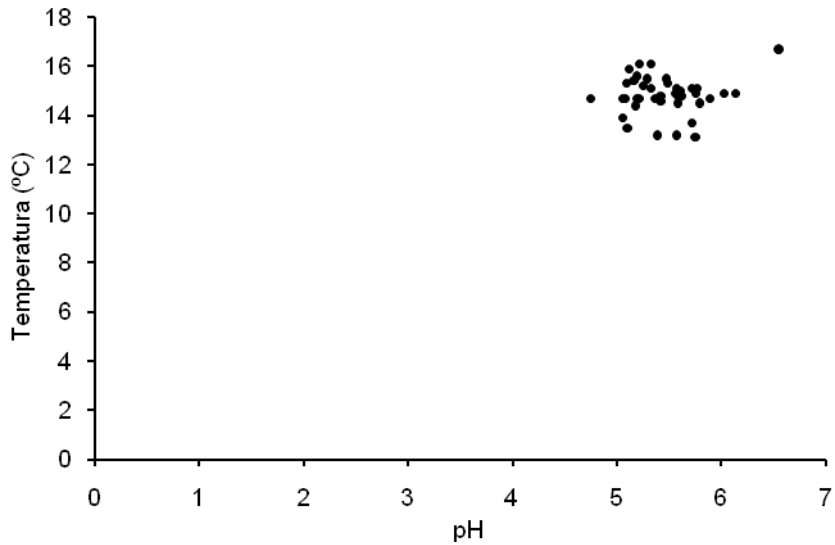
**Figura V.7** – Diagrama de dispersão dos valores de temperatura e de condutividade.

No diagrama de dispersão dos valores de temperatura e potencial redox (Figura V.8) observa-se uma ligeira correlação negativa, indiciando a existência de águas com circulação mais profunda.

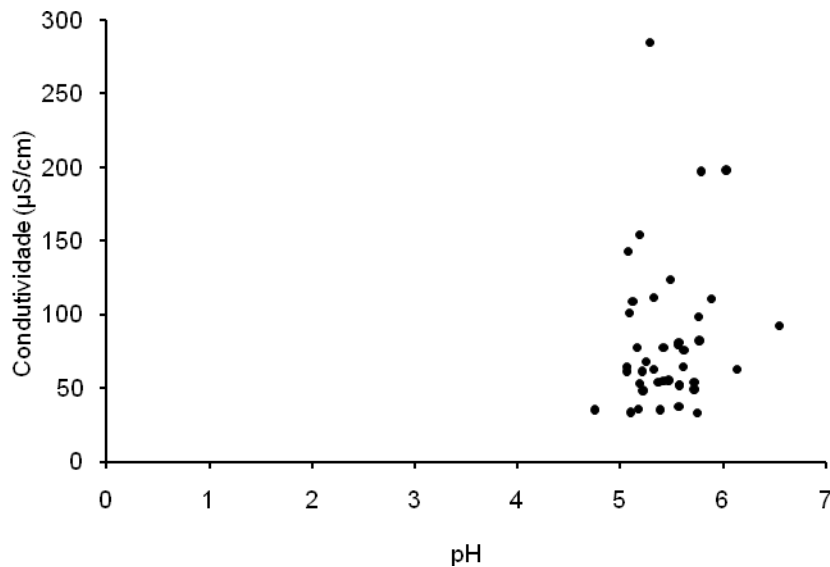


**Figura V.8** – Diagrama de dispersão dos valores de temperatura e de Eh.

Os valores de pH e de temperatura não apresentam entre si qualquer dependência (Figura V.9), o mesmo acontecendo em relação ao pH e à condutividade (Figura V.10).



**Figura V.9** – Diagrama de dispersão dos valores de pH e de temperatura.



**Figura V.10** – Diagrama de dispersão dos valores de pH e de condutividade.

Entre o pH e o potencial redox das águas analisadas estabelece-se uma correlação negativa incipiente (Figura V.11), que poderá traduzir o fenómeno de interacção água/rocha, já que o consumo de protões na hidrólise dos

silicatos fará aumentar o pH, à medida que o potencial de oxidação diminui, como resultado do consumo do oxigénio dissolvido nos processos redox.

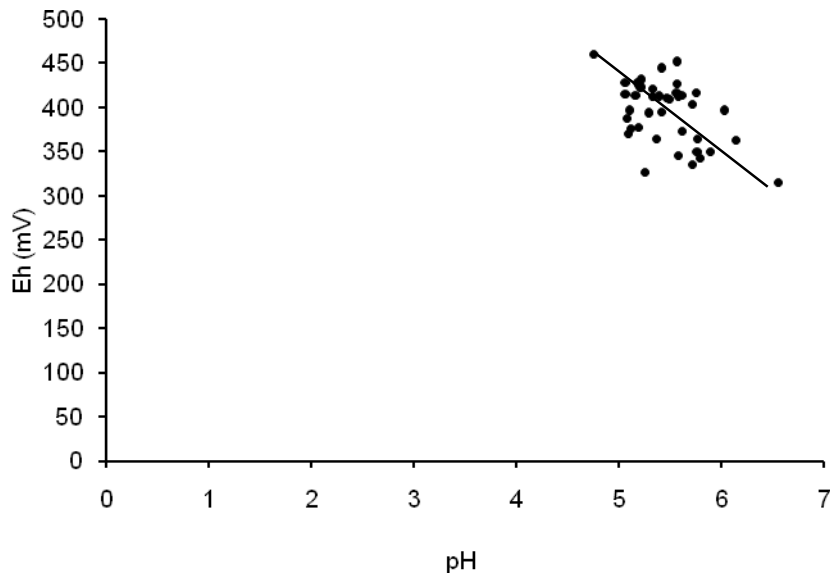


Figura V.11 – Diagrama de dispersão dos valores de pH e de Eh.

O fenómeno descrito anteriormente poderá também explicar a tendência observada entre o potencial redox e a condutividade das águas nas amostras pouco mineralizadas (condutividade eléctrica inferior a  $100 \mu\text{S}/\text{cm}$ ). Com efeito, como se observa na Figura V.12, as amostras com condutividade eléctrica superior a  $100 \mu\text{S}/\text{cm}$  (mais mineralizadas) mostram-se totalmente independentes dos valores de potencial redox.

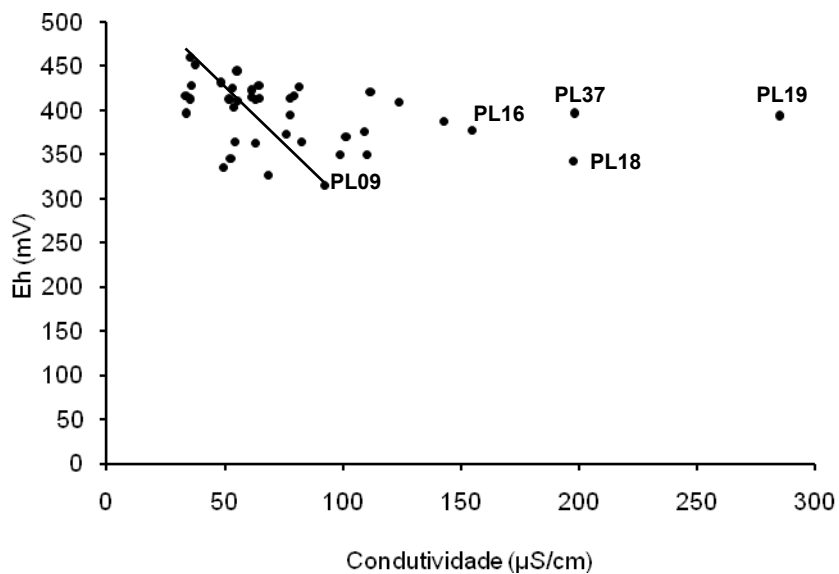


Figura V.12 – Diagrama de dispersão dos valores de condutividade e de Eh.

## V.2. PARÂMETROS RADIOLÓGICOS

No Quadro V.5 apresentam-se os resultados obtidos nas análises aos parâmetros radiológicos Rn, Ra,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$  e aos teores de U.

**Quadro V.5** – Resultados obtidos para alguns parâmetros radiológicos e teor de urânio nas águas subterrâneas (ld – limite de detecção).

Ref.	Colheita	Análise	Rn [Bq/L]	Ra [Bq/L]	$^{238}\text{U}$ [Bq/L]	$^{234}\text{U}$ [Bq/L]	U [ppb]	Substrato Geológico
PL01	21-05-10 11:15	24-05-2010 12:09	65	<ld	<ld	<ld	<ld	Corneanas, xistos andaluzíticos, xistos granitíferos e xistos luzentes
PL02	21-05-10 12:15	24-05-2010 13:09	221	0,007	0,01	<ld	0,6	Corneanas, xistos andaluzíticos, xistos granitífero e xistos luzentes
PL03	21-05-10 12:40	24-05-2010 14:09	219	0,066	0,02	0,02	1,3	Granito de grão médio ou fino a médio
PL04	21-05-10 13:08	24-05-2010 15:09	205	<ld	<ld	<ld	<ld	Corneanas, xistos andaluzíticos, xistos granitíferos e xistos luzentes
PL05	21-05-10 14:38	24-05-2010 16:09	353	<ld	0,03	<ld	2,1	Complexo xisto - granítico
PL06	21-05-10 15:00	24-05-2010 17:09	580	<ld	0,44	0,31	35,6	Complexo xisto - granítico
PL07	21-05-10 15:35	24-05-2010 18:09	495	<ld	0,01	0,01	0,9	Complexo xisto - granítico
PL08	21-05-10 16:20	24-05-2010 19:09	151	<ld	0,01	<ld	0,5	Complexo xisto - granítico
PL09	21-05-10 17:06	24-05-2010 20:09	43	<ld	<ld	<ld	<ld	Complexo xisto - granítico
PL10	21-05-10 17:40	24-05-2010 21:09	88	0,040	<ld	<ld	<ld	Complexo xisto - granítico
PL11	21-05-10 18:04	24-05-2010 22:09	476	<ld	<ld	<ld	<ld	Corneanas, xistos andaluzíticos, xistos granitíferos e xistos luzentes
PL12	21-05-10 18:53	24-05-2010 23:09	115	<ld	<ld	<ld	<ld	Corneanas, xistos andaluzíticos, xistos granitíferos e xistos luzentes
PL13	21-05-10 19:45	25-05-2010 00:09	148	0,004	<ld	<ld	<ld	Corneanas, xistos andaluzíticos, xistos granitíferos e xistos luzentes
PL14	21-05-10 20:20	25-05-2010 01:09	91	<ld	<ld	<ld	<ld	Corneanas, xistos andaluzíticos, xistos granitíferos e xistos luzentes
PL15	22-05-10 8:05	25-05-2010 02:09	298	0,003	<ld	<ld	<ld	Complexo xisto - granítico
PL16	22-05-10 8:53	25-05-2010 03:09	679	0,012	<ld	<ld	<ld	Complexo xisto - granítico
PL17	22-05-10 9:12	25-05-2010 04:09	71	0,101	<ld	<ld	<ld	Complexo xisto - granítico
PL18	22-05-10 11:31	25-05-2010 05:09	422	0,141	<ld	<ld	<ld	Granito de grão médio ou fino a médio
PL19	22-05-10 12:13	25-05-2010 06:09	1078	0,890	0,04	0,04	3,3	Granito de grão médio ou fino a médio



Quadro V.5 (Cont.)

Ref.	Colheita	Análise	Rn [Bq/L]	Ra [Bq/L]	<sup>238</sup> U [Bq/L]	<sup>234</sup> U [Bq/L]	U [ppb]	Substrato Geológico
PL20	22-05-10 13:08	25-05-2010 07:09	1164	0,144	0,02	0,01	1,7	Granito de grão médio ou fino a médio
PL21	22-05-10 15:22	25-05-2010 08:20	152	<ld	<ld	<ld	<ld	Corneanas, xistos andaluzíticos, xistos granitíferos e xistos luzentes
PL22	22-05-10 15:46	25-05-2010 08:50	133	<ld	<ld	<ld	<ld	Corneanas, xistos andaluzíticos, xistos granitíferos e xistos luzentes
PL23	22-05-10 17:24	25-05-2010 09:20	44	<ld	<ld	<ld	<ld	Granito porfiróide de grão grosseiro ou médio a grosseiro
PL24	22-05-10 19:45	25-05-2010 09:50	695	<ld	<ld	<ld	<ld	Granito de grão médio ou fino a médio
PL25	22-05-10 20:31	25-05-2010 10:20	356	0,085	<ld	<ld	<ld	Corneanas, xistos andaluzíticos, xistos granitíferos e xistos luzentes
PL26	23-05-10 7:50	25-05-2010 10:50	120	<ld	<ld	<ld	<ld	Corneanas, xistos andaluzíticos, xistos granitíferos e xistos luzentes
PL27	23-05-10 8:39	25-05-2010 11:20	200	<ld	<ld	<ld	<ld	Corneanas, xistos andaluzíticos, xistos granitíferos e xistos luzentes
PL28	23-05-10 9:40	25-05-2010 11:50	26	<ld	0,40	0,27	32,4	Corneanas, xistos andaluzíticos, xistos granitíferos e xistos luzentes
PL29	23-05-10 10:24	25-05-2010 12:20	76	<ld	<ld	<ld	<ld	Granito porfiróide de grão grosseiro ou médio a grosseiro
PL30	23-05-10 11:12	25-05-2010 12:50	36	<ld	<ld	<ld	<ld	Granito porfiróide de grão grosseiro ou médio a grosseiro
PL31	23-05-10 11:51	25-05-2010 13:20	56	<ld	<ld	<ld	<ld	Granito porfiróide de grão grosseiro ou médio a grosseiro
PL33	23-05-10 12:37	25-05-2010 13:50	62	<ld	<ld	<ld	<ld	Granito porfiróide de grão grosseiro ou médio a grosseiro
PL34	23-05-10 15:01	25-05-2010 14:20	93	<ld	<ld	<ld	<ld	Complexo xisto - granítico
PL35	23-05-10 15:21	25-05-2010 14:50	84	<ld	<ld	<ld	<ld	Complexo xisto - granítico
PL36	23-05-10 16:04	25-05-2010 15:20	239	0,008	<ld	<ld	<ld	Complexo xisto - granítico
PL37	23-05-10 17:15	25-05-2010 15:50	14	0,101	<ld	<ld	<ld	Complexo xisto - granítico
PL38	23-05-10 18:28	25-05-2010 16:20	83	<ld	<ld	<ld	<ld	Corneanas, xistos andaluzíticos, xistos granitíferos e xistos luzentes
PL39	23-05-10 19:22	25-05-2010 16:50	31	<ld	<ld	<ld	<ld	Aluviões actuais
PL40	23-05-10 20:00	25-05-2010 17:20	9	<ld	<ld	<ld	<ld	Depositos de terraços fluviais
PL41	23-05-10 20:56	25-05-2010 17:50	114	<ld	<ld	<ld	<ld	Corneanas, xistos andaluzíticos, xistos granitíferos e xistos luzentes

Como se observa no Quadro V.5, a maioria das amostras não possui valores relativos aos parâmetros Ra,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$  e U, dispondo-se apenas de valores de Rn para a totalidade das amostras.

A actividade do radão nas águas subterrâneas varia entre 9 Bq/L (PL40) e 1164 Bq/L (PL20), sendo que a amostra PL19 possui também uma actividade de radão muito elevada (1078 Bq/L). A estatística descritiva dos valores dos parâmetros radiológicos está apresentada no Quadro V.6.

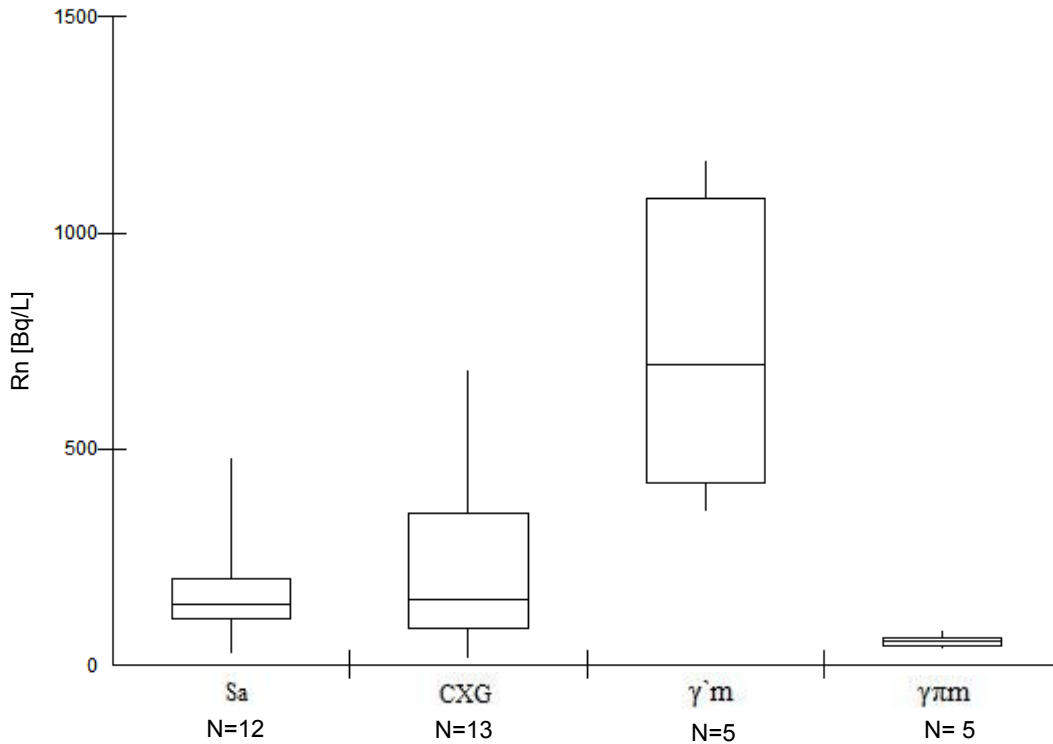
**Quadro V.6** – Valores estatísticos calculados para a concentração média do gás Rn, Ra,  $^{238}\text{U}$  e  $^{234}\text{U}$  (Bq/L).

	Rn (Bq/L)	Ra (Bq/L)	$^{238}\text{U}$ (Bq/L)	$^{234}\text{U}$ (Bq/L)
<b>Média</b>	239,63	0,04	0,02	0,02
<b>Mediana</b>	126,50	0,00	0,00	0,00
<b>Desvio Padrão</b>	273,64	0,14	0,09	0,06
<b>Mínimo</b>	9,00	0,00	0,00	0,00
<b>Máximo</b>	1164,00	0,89	0,44	0,31

A actividade média de radão nas águas subterrâneas analisadas é de 239,63 Bq/L, valor bastante superior ao valor mediano e, portanto, influenciado pelos valores elevados PL19 e PL20. A elevada dispersão dos dados traduz-se por um desvio padrão de 273,64 Bq/L, conduzindo a um coeficiente de variação superior a 100%.

A distribuição dos valores de radão nas águas subterrâneas em função da litologia onde mesmas ocorrem está representada na Figura V.13. As amostras associadas ao granito de grão médio ou fino a médio apresentam uma distribuição que se destaca das restantes, tanto em termos de dispersão como em relação à tendência central. De facto, o valor mediano destas amostras é significativamente superior aos valores medianos das amostras associadas às restantes litologias. Não obstante a elevada dispersão antes mencionada, a actividade mínima de radão das amostras provenientes do granito de grão

médio ou fino a médio é ainda ligeiramente superior ao valor correspondente ao percentil 75 das amostras associadas ao complexo xisto-granítico. Em oposição, as amostras colhidas no granito porfiróide de grão grosseiro ou médio a grosseiro apresentam actividade de radão muito baixa, bastante homogénea (Figura V.13).



**Figura V.13** - Distribuição dos valores de Rn nas águas subterrâneas das diferentes litologias (Sa - Corneanas, xistos andaluzíticos, xistos granitíferos e xistos luzentes; CXG - Complexo xisto – granítico; γ<sub>m</sub> - Granito de grão médio ou fino a médio; γ<sub>πm</sub> - Granito porfiróide de grão grosseiro ou médio a grosseiro; N – número de amostras).

### V.3. RELAÇÃO ENTRE PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E RADIOLÓGICOS

Quando comparamos os valores de radão nas águas subterrâneas com o potencial redox (Figura V.14), não parece existir qualquer relação entre os dois parâmetros. No entanto, se considerarmos apenas as amostras com menores actividades de radão, esboça-se uma correlação negativa, indicando um aumento dos níveis de radão em amostras menos oxidadas, ou seja, em amostras provavelmente associadas a circuitos mais profundos.

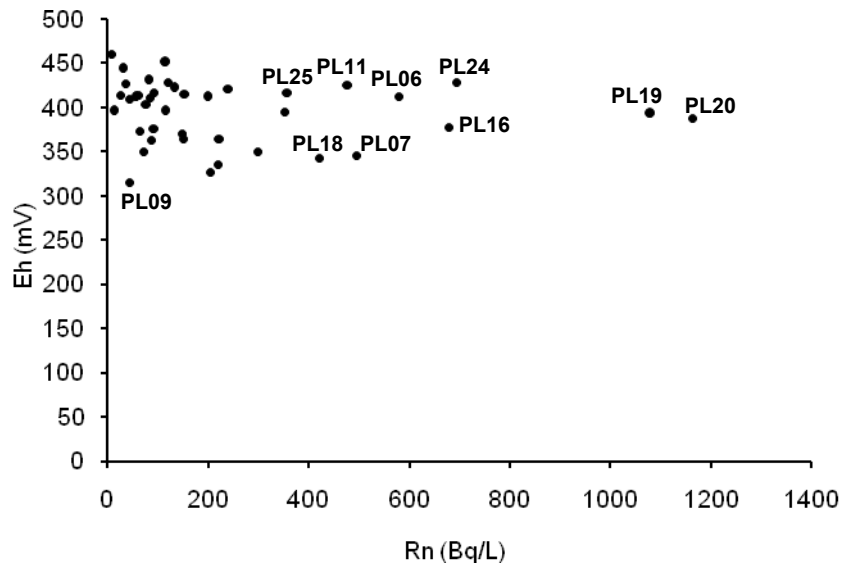


Figura V.14 – Diagrama de dispersão dos valores de Rn e de Eh.

Na sequência da lógica antes exposta, seria de esperar uma correlação negativa entre a condutividade e a actividade do radão, particularmente nas amostras com menor radioactividade ( $< 200$  Bq/L). No entanto, tal correlação não parece existir (Figura V.15), em parte devido ao facto da mineralização das águas subterrâneas não estar exclusivamente controlada pelo processo de interacção água/rocha.

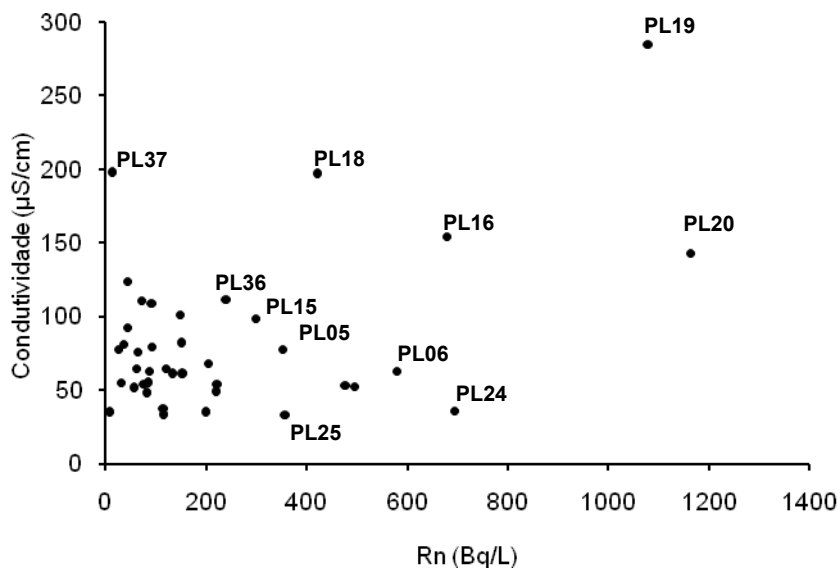


Figura V.15 – Diagrama de dispersão dos valores de Rn e de condutividade.

Também no que se refere à temperatura, não se observa qualquer relação com actividade do radão (Figura V.16).

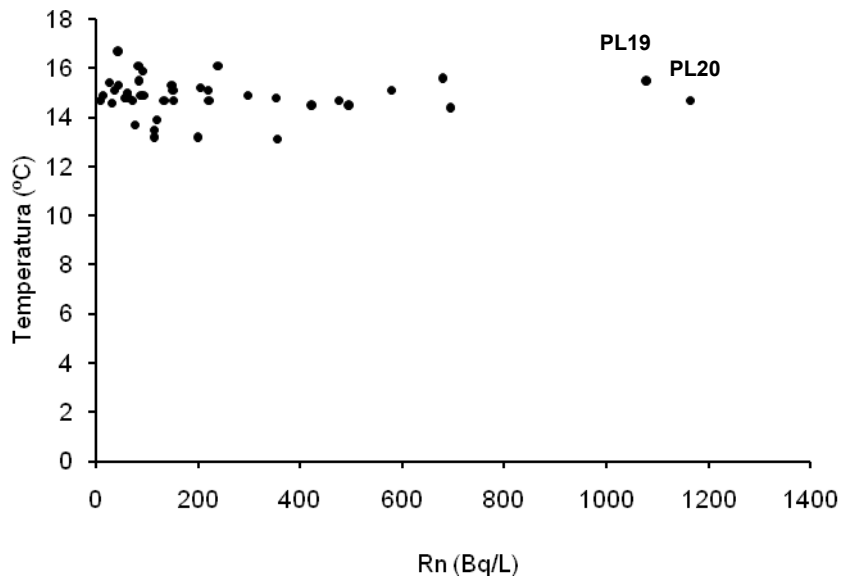


Figura V.16 – Diagrama de dispersão dos valores de Rn e de temperatura.

Situação análoga à anterior ocorre relativamente ao pH e os níveis de radão (Figura V.17).

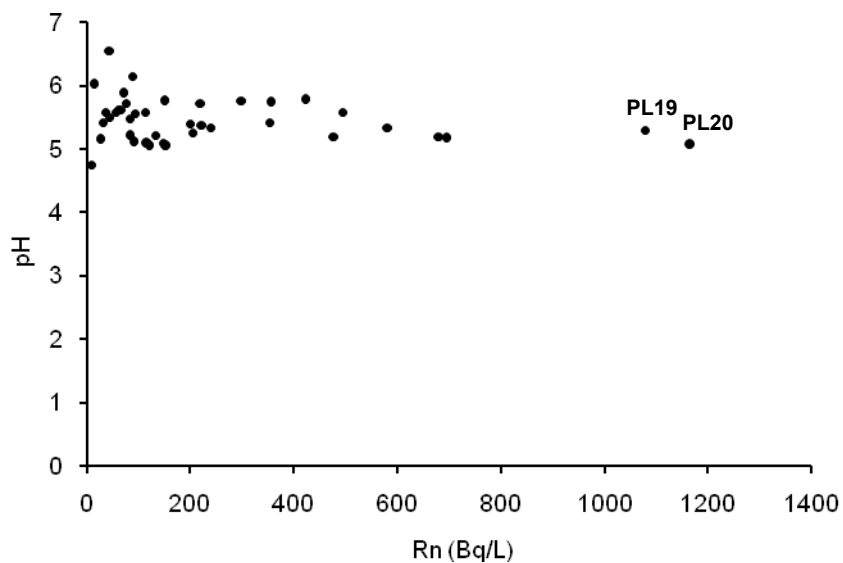


Figura V.17 – Diagrama de dispersão dos valores de Rn e de pH.

Relativamente à actividade do rádio e a sua relação com o potencial redox das águas, não se identifica qualquer correlação, embora para actividades inferiores a 0,2 Bq/L se esboce uma ténue relação negativa entre os dois parâmetros (Figura V.18).

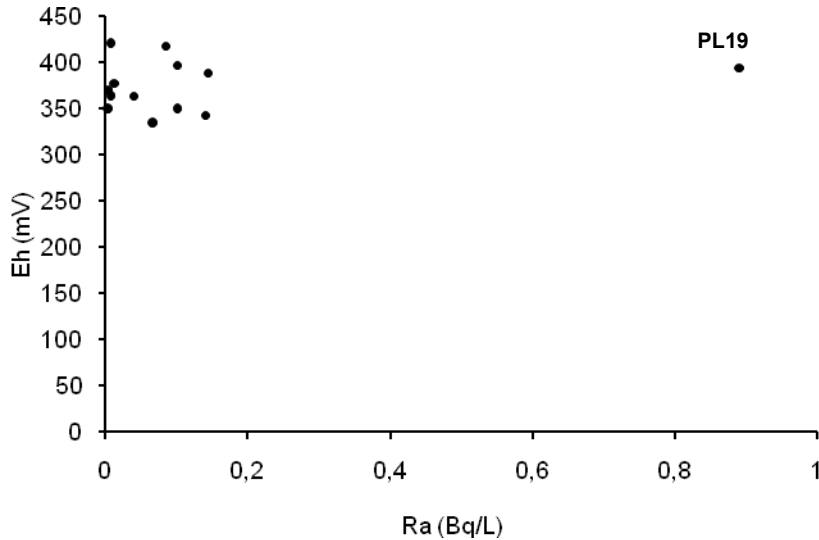


Figura V.18 – Diagrama de dispersão dos valores de Ra e de Eh.

Excluindo os dados relativos ao ponto PL19, parece existir uma certa dependência entre a actividade do rádio e a condutividade das águas (Figura V.19). Esta correlação, embora incipiente, poderá ser o reflexo do fenómeno interacção água /rocha.

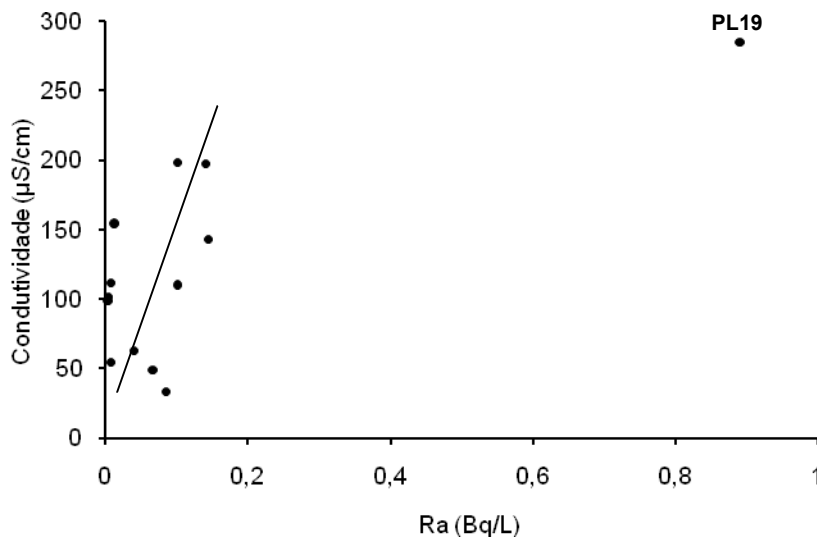


Figura V.19 – Diagrama de dispersão dos valores de Ra e de condutividade.

A temperatura das águas não exhibe qualquer relação com a actividade do rádio (Figura V.20).

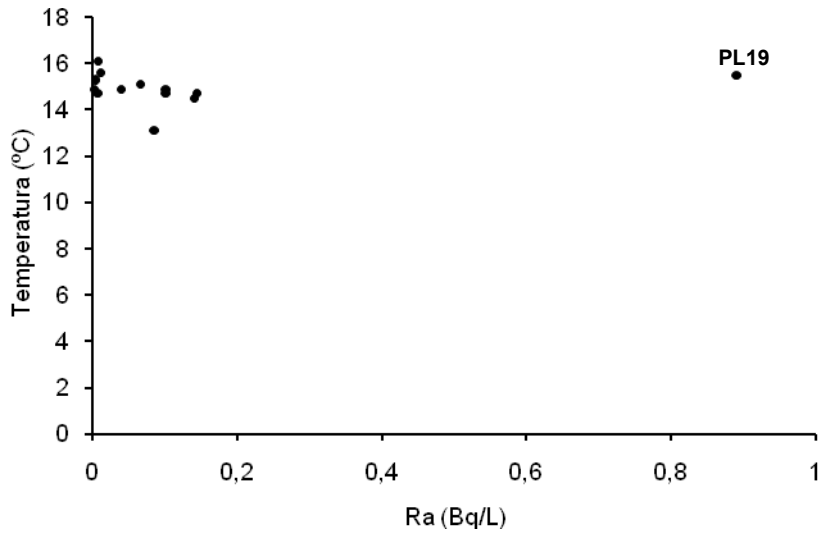


Figura V.20 – Diagrama de dispersão dos valores de Ra e de temperatura.

Do mesmo modo, também a actividade do rádio mostra-se independente do pH das águas (Figura V.21).

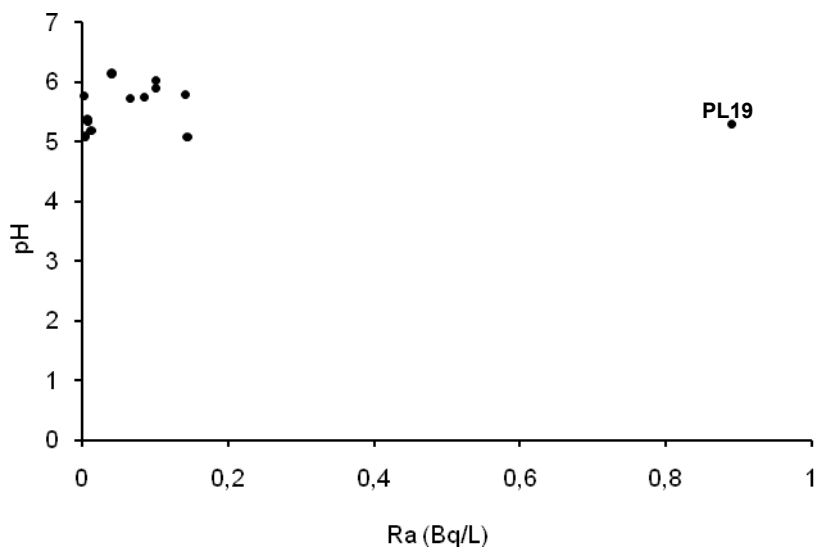


Figura V.21 – Diagrama de dispersão dos valores de Ra e de pH.

No que respeita ao isótopo  $^{238}\text{U}$ , não se observa qualquer relação com o potencial redox das águas (Figura V.22).

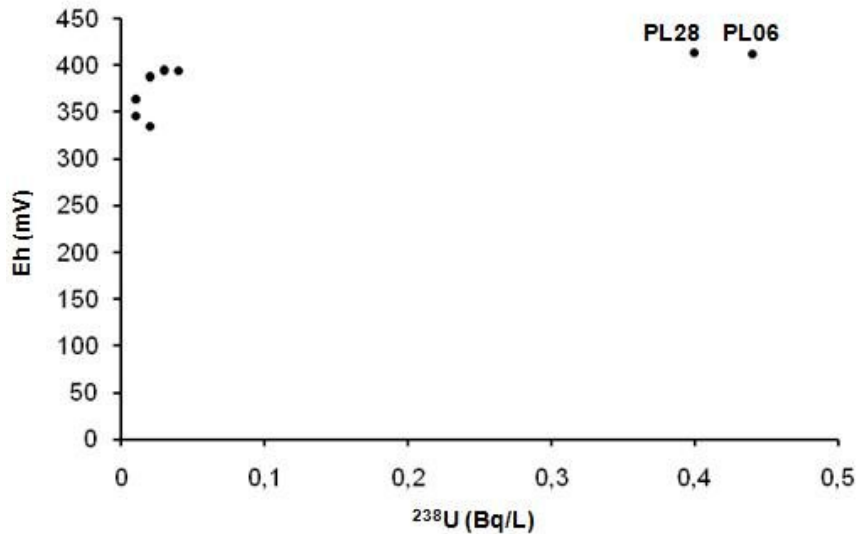


Figura V.22 – Diagrama de dispersão dos valores de  $^{238}\text{U}$  e de Eh.

Excluindo os dados relativos aos pontos PL06 e PL28, identifica-se uma correlação positiva entre os valores de condutividade e a actividade do  $^{238}\text{U}$  (Figura V.23), o que corrobora as interpretações relativas à interacção água/rocha.

No entanto, importa sublinhar a exiguidade de pontos que conduziu a esta interpretação.

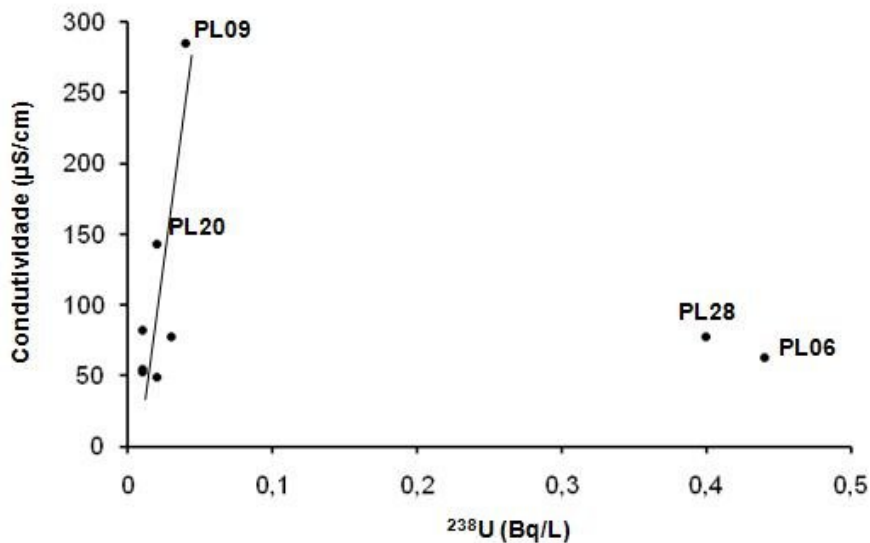


Figura V.23 – Diagrama de dispersão dos valores de  $^{238}\text{U}$  e de condutividade.



À semelhança da condutividade, também a temperatura parece mostrar uma certa tendência de aumento concomitante com a actividade do  $^{238}\text{U}$ , tal como se ilustra na Figura V.24, se forem excluídos os pontos PL06 e PL28.

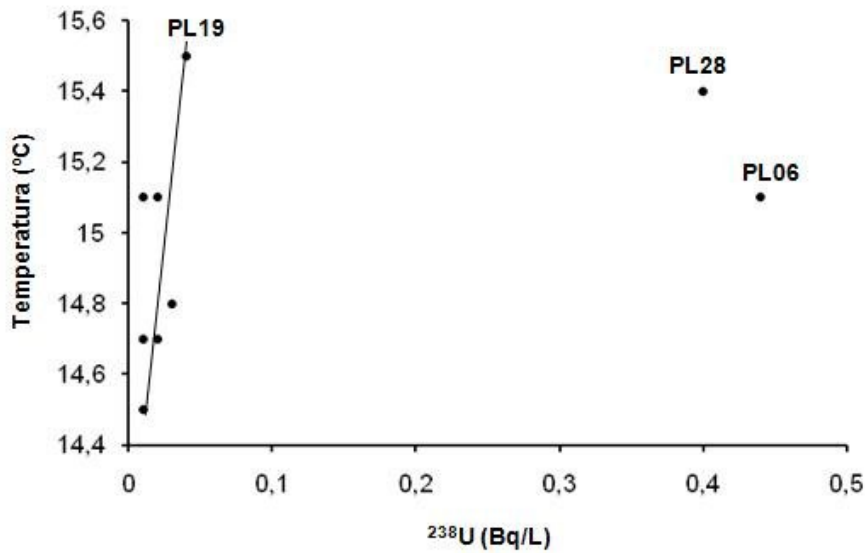


Figura V.24 – Diagrama de dispersão dos valores de  $^{238}\text{U}$  e de temperatura.

Em relação ao pH, mesmo excluindo os pontos anteriormente referidos, não se esboça qualquer correlação com a actividade do  $^{238}\text{U}$  (Figura V.25).

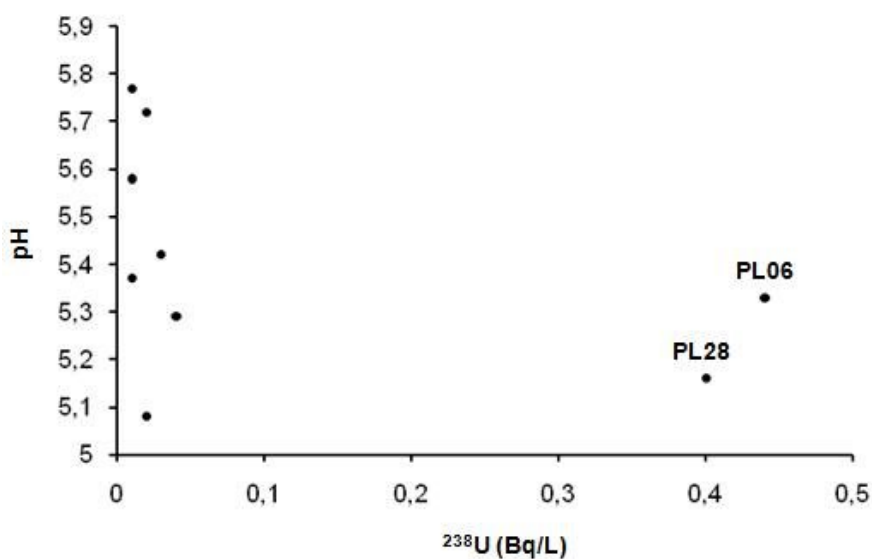


Figura V.25 – Diagrama de dispersão dos valores de  $^{238}\text{U}$  e de pH.

Os dados relativos ao isótopo  $^{234}\text{U}$  são ainda mais exíguos que os do  $^{238}\text{U}$ , já que na maioria das amostras não foi possível quantificar a actividade daquele isótopo. Os escassos resultados disponíveis (6), mostram que em relação ao potencial redox, não se estabelece qualquer correlação (Figura V.26).

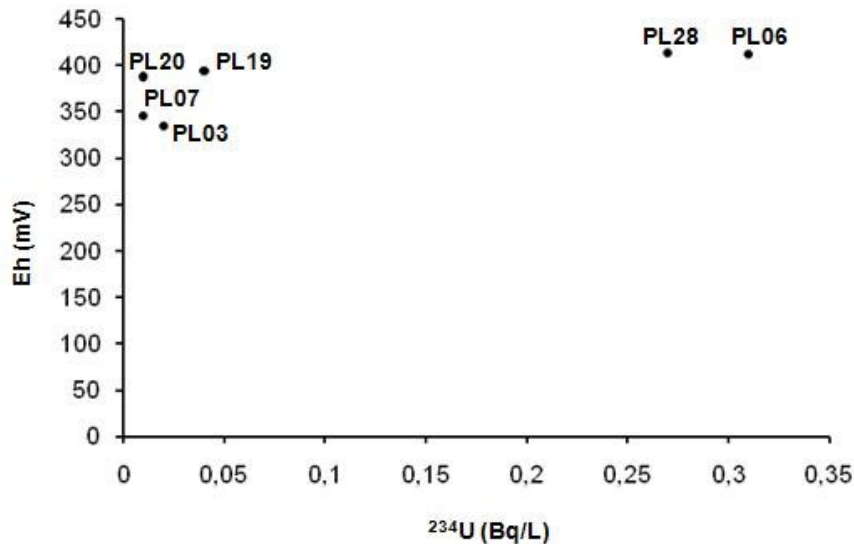


Figura V.26 – Diagrama de dispersão dos valores de  $^{234}\text{U}$  e de Eh.

Relativamente à condutividade eléctrica, e à semelhança do que se verificou no  $^{238}\text{U}$ , após a exclusão dos pontos PL06 e PL28, obtém-se uma correlação positiva com actividade do  $^{234}\text{U}$  (Figura V.27).

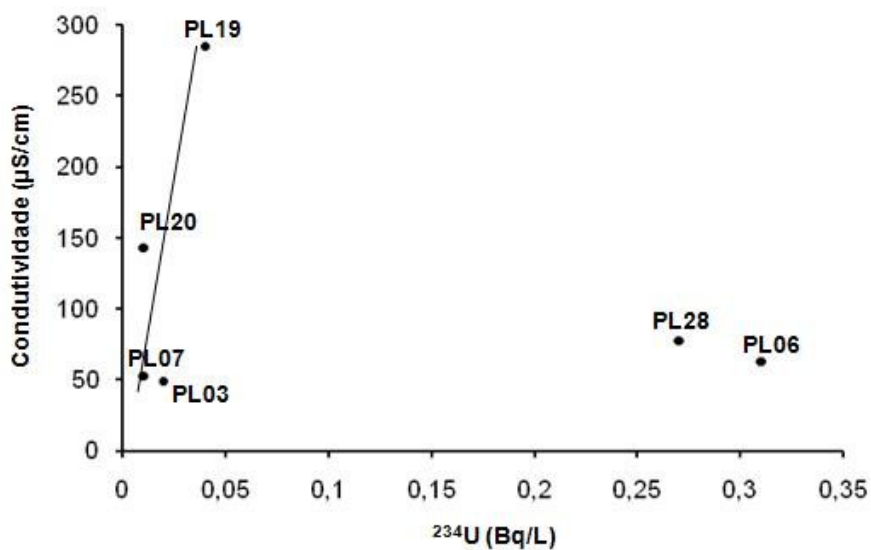


Figura V.27 – Diagrama de dispersão dos valores de  $^{234}\text{U}$  e de condutividade.

Também em relação à temperatura é possível esboçar um paralelismo com a actividade do  $^{234}\text{U}$ , se não forem considerados os pontos PL06 e PL28 (Figura V.28).

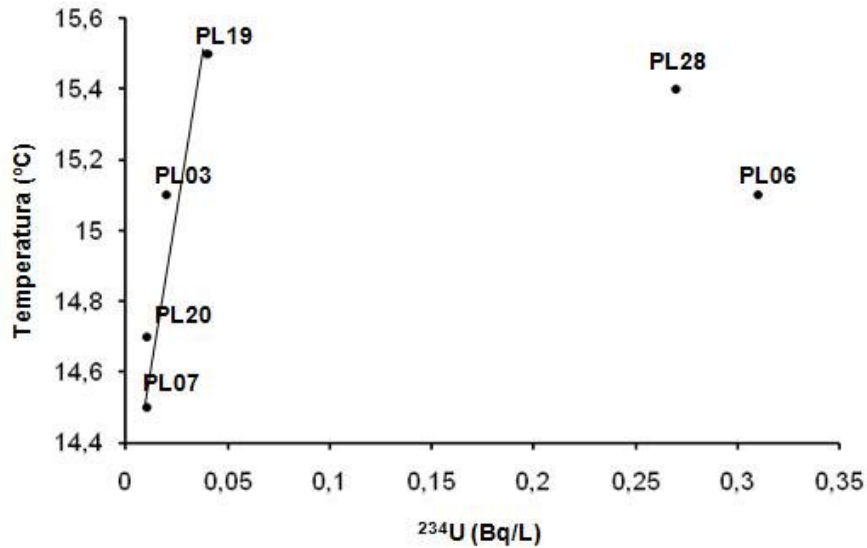


Figura V.28 – Diagrama de dispersão dos valores de  $^{234}\text{U}$  e de temperatura.

Quanto ao pH, mesmo excluindo os pontos anteriormente referidos, não se esboça qualquer correlação com a actividade do  $^{234}\text{U}$  (Figura V.29).

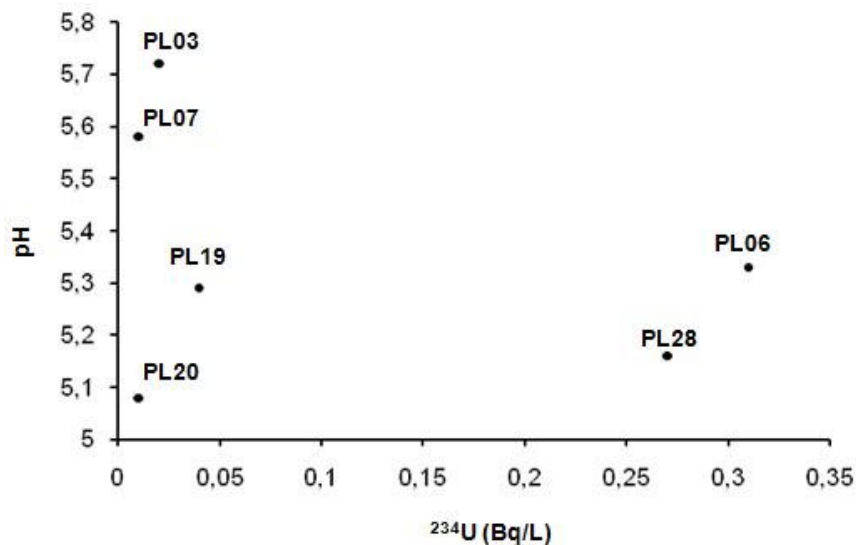


Figura V.29 – Diagrama de dispersão dos valores de  $^{234}\text{U}$  e de pH.

Embora contra-intuitivo, não se esboça qualquer correlação entre a actividade do Ra e Rn, embora a amostra referente ao ponto PL19 possua o valor mais elevado de Ra e o segundo valor mais elevado de Rn. O ponto PL20 destaca-se também por possuir o maior valor de Rn e o segundo maior valor de Ra, embora este último seja muito inferior ao do PL19 (Figura V.30).

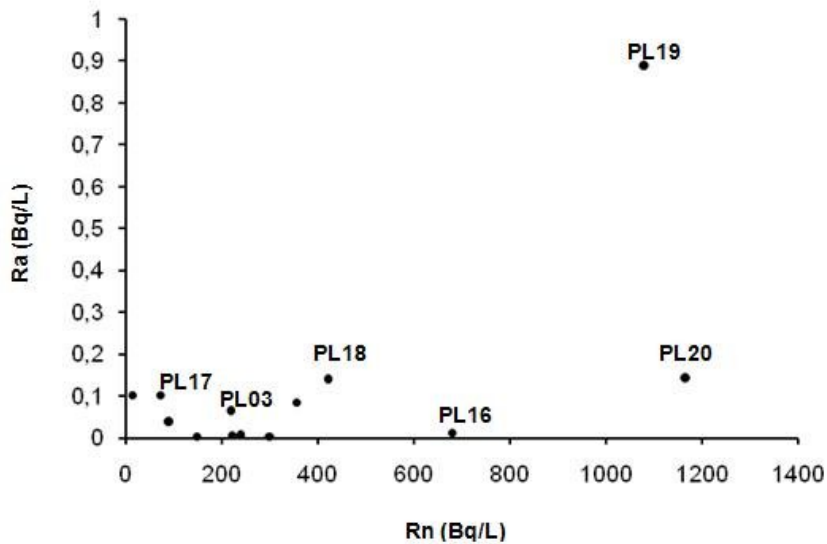


Figura V.30 – Diagrama de dispersão dos valores de Rn e de Ra.

No contexto geral não se identifica qualquer correlação entre as actividades do  $^{238}\text{U}$  e do Rn (Figura V.31).

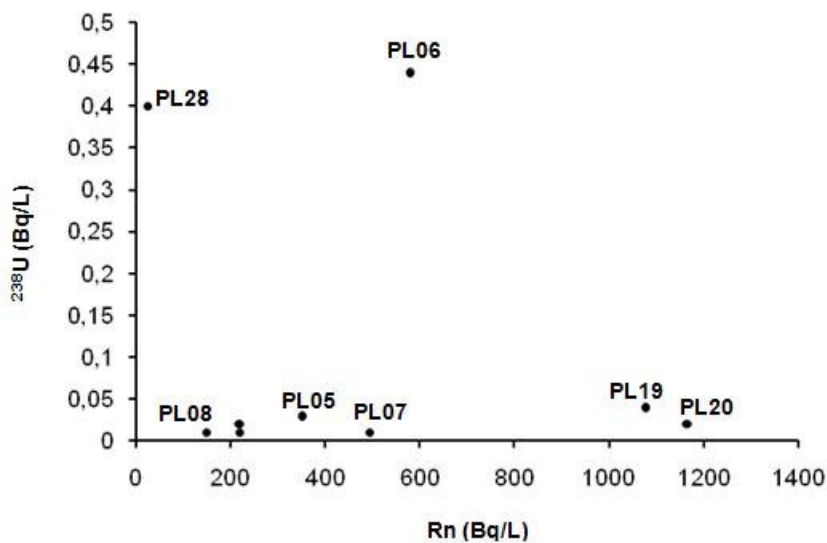


Figura V.31 – Diagrama de dispersão dos valores de Rn e de  $^{238}\text{U}$ .

Comportamento idêntico ocorre em relação ao isótopo  $^{234}\text{U}$  (Fig.V.32).

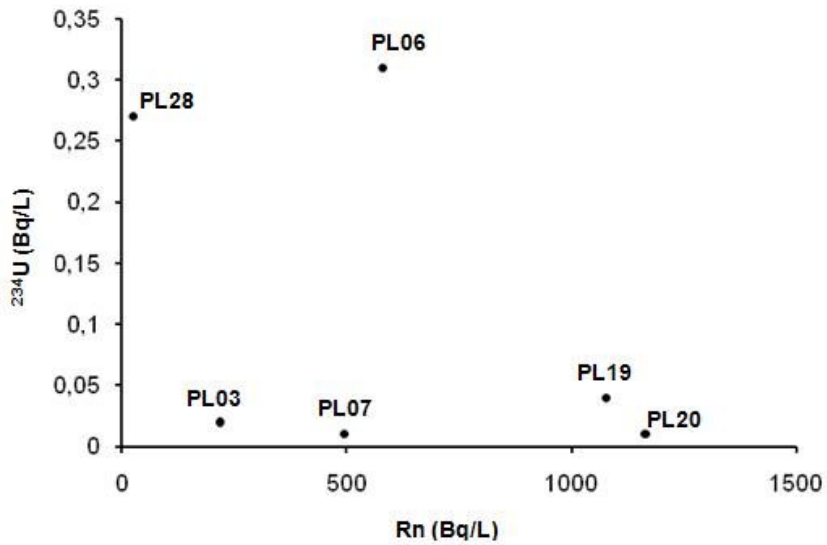


Figura V.32 – Diagrama de dispersão dos valores de Rn e de  $^{234}\text{U}$ .

Não obstante o número extremamente limitado de dados, parece esboçar-se uma correlação positiva entre a actividade do  $^{238}\text{U}$  e do Ra (Figura V.33).

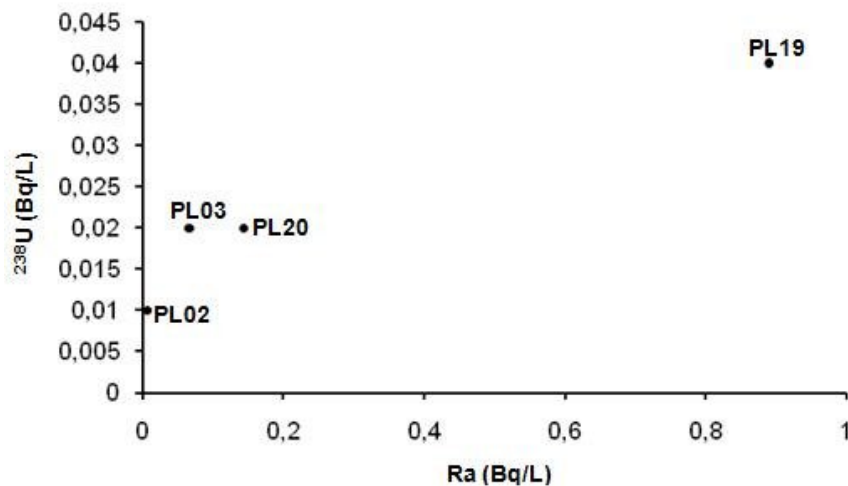


Figura V.33 – Diagrama de dispersão dos valores de Ra e de  $^{238}\text{U}$ .

A exiguidade de dados e a sua posição no diagrama da Figura V.34 não permitem tirar qualquer ilação à eventual relação entre as actividades do  $^{234}\text{U}$  e do Ra.

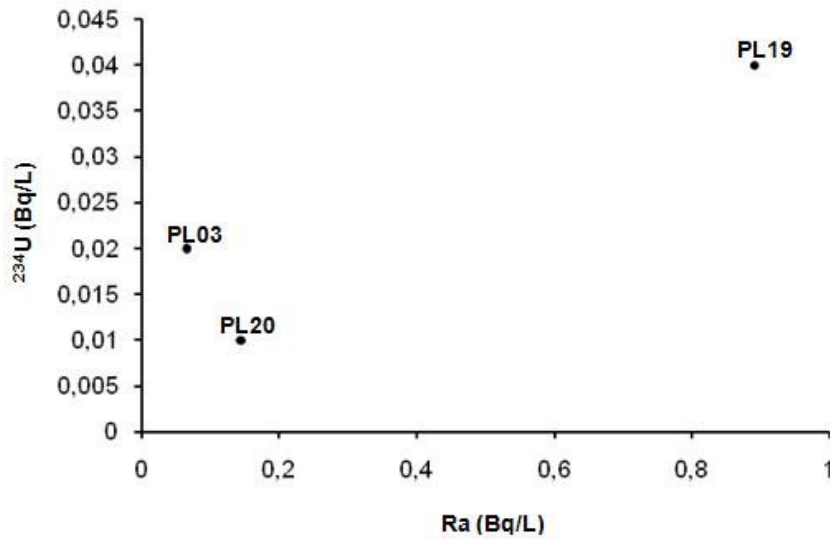


Figura V.34 – Diagrama de dispersão dos valores de Ra e de  $^{234}\text{U}$ .

Como seria de esperar, obtém-se uma boa correlação entre as actividades do  $^{234}\text{U}$  e do  $^{238}\text{U}$  (Figura V.35).

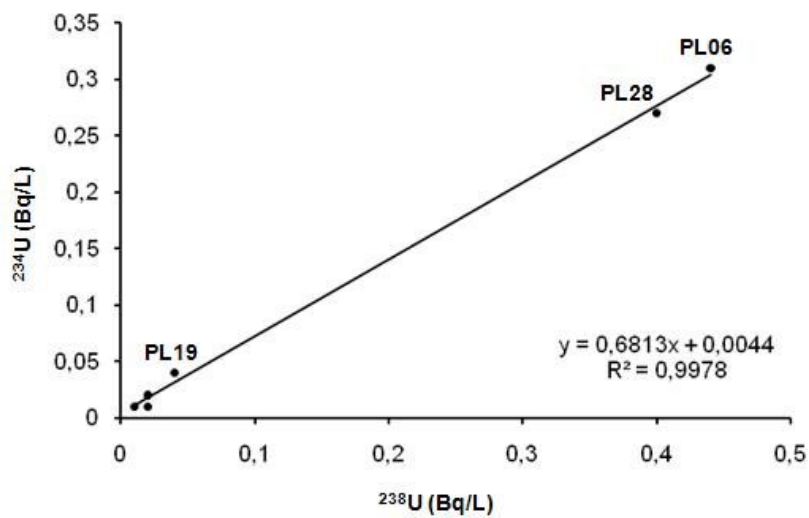


Figura V.35 – Diagrama de dispersão dos valores de  $^{238}\text{U}$  e de  $^{234}\text{U}$ .

#### **V.4. FACTORES CONDICIONANTES DA ACTIVIDADE DO RN NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**

Um dos principais objectivos do presente estudo refere-se à identificação dos factores que controlam a actividade do radão nas águas subterrâneas. Os dados anteriormente expostos e as interpretações efectuadas puseram em destaque a dificuldade de alcançar aquele objectivo. No entanto, reconheceram-se alguns factores envolvidos neste processo, tendo-se destacado o fenómeno de interacção água/rocha.

No contexto dos dados obtidos, e não obstante a elevada dispersão dos mesmos, as actividades de radão nas amostras PL19 e PL20 atingem valores excepcionalmente elevados no quadro regional. Na tentativa de encontrar explicações para este facto, elaborou-se o Quadro V.7 que sintetiza os dados físico-químicos e radiológicos das águas destas duas amostras. Além destes dados, importa referir que ambos os pontos de água estão inseridos na mesma litologia, um granito de grão médio ou fino a médio que, como vimos oportunamente parecer proporcionar os maiores índices de radioactividades nas águas subterrâneas regionais.

Como se observa no Quadro V.7 não diferem de modo significativo, o mesmo não acontecendo em relação à condutividade eléctrica, que é substancialmente mais elevada em PL19. Esta diferença, a resultar da interacção água/rocha deveria conduzir a valores de radão muito mais elevados na amostra PL19, o que não se verifica. Contudo, como se teve oportunidade de enfatizar, valores de condutividade desta ordem de grandeza não são explicáveis apenas pela dissolução dos minerais das rochas, estando muito provavelmente envolvidos outros processos, particularmente os relacionados com a actividade antrópica.

Considerando o atrás exposto e o facto dos valores de potencial redox e temperatura serem semelhantes nas duas amostras, poderá considerar-se que as mesmas não apresentam diferenças significativas a nível físico-químico, o que explicaria a semelhança na actividade do radão.

**Quadro V.7** – Comparação de valores, obtidos em campo e parâmetros radiológicos entre as amostras PL19 e PL20.

Ref	pH	Cond.	Eh	T (°C)	Rn	Ra	<sup>238</sup> U	<sup>234</sup> U	U (ppb)
PL19	5,29	285	394	15,5	1078	0,890	0,04	0,04	3,3
PL20	5,08	142,9	398	14,7	1164	0,144	0,02	0,01	1,7

A individualização destas duas amostras no contexto regional, não podendo ser explicada pelos aspectos composicionais das águas e das rochas (já que ocorrem na mesma litologia), poderá estar relacionada com aspectos de natureza estrutural. Com efeito, as duas amostras em questão situam-se próximas do rio Lima e definem entre si um alinhamento sub-paralelo à orientação daquele rio. Desta forma, admite-se que estejam associadas à mesma fractura com aquela orientação.



## ***VI. CONCLUSÕES E SUGESTÕES***

Este trabalho ficou de certa forma limitado/dependente da existência de nascentes ou minas, apesar do esforço em colher as amostras em função dos objectivos estipulados.

A determinação dos níveis de radioactividade natural nas águas de mina e nascente foi realizada com a finalidade de se estabelecer um conjunto de dados relativos às concentrações de  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{238}\text{U}$  e  $^{234}\text{U}$ . Assim, baseado nos dados obtidos e tratados neste estudo, é possível chegar às seguintes conclusões:

- a) Os valores médios dos diferentes parâmetros físico-químicos das águas analisadas demonstram uma mineralização baixa, típica de circuitos hidrogeológicos pouco profundos;
- b) Em todas as amostras colhidas nesta área foi detectado radão, embora estes valores apresentem uma variabilidade espacial significativa;
- c) Não se identificam correlações entre os parâmetros físico-químicos e os radiológicos;
- d) Os valores mais elevados de radão registam-se nas amostras PL19 e PL20, ambas associadas a um granito de grão médio ou fino a médio. Os pontos de água associados a este granito apresentam actividade de radão superior às das restantes litologias. Por sua vez as amostras de pontos de água cujo substrato é o granito porfiróide de grão grosseiro ou médio a grosseiro apresentam as menores actividades de radão;
- e) Além do condicionalismo litológico, os níveis de radão nas águas subterrâneas parecem estar controlados estruturalmente, nomeadamente pelas fracturas de orientação ENE-NSW, paralelas ao grande acidente do Rio Lima.

No sentido de desenvolver futuros trabalhos, sugerem-se os seguintes pontos:

- 1º) Ampliar a área de estudo às restantes freguesias do concelho de Ponte de Lima e aumentar o número de amostragens;
- 2º) Realizar mais trabalhos nas proximidades do Rio Lima, principalmente na zona onde foram colhidas as amostras PL19 e PL20 e efectuar campanhas de amostragem em diferentes estações do ano;
- 3º) Além de minas e nascentes, era importante alargar o estudo a poços e furos, embora o número de variáveis seja mais vasto;
- 4º) Por último, era essencial a medição do radão em solos.

## ***REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS***

- AKERBLOM, G. e LINDGREN, J. (1997) – *Mapping of ground water radon potential*. European Geologist, 5, p.13-22.
- APPLETON, J.D. (2005) - Radon in air and water. In Selinus O. *et al.* (eds.). *Essentials of Medical Geology. Impacts of the Natural Environment on public health*, San Diego: Elsevier Academic Press, pp. 227-262.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (1998) – Standard test method for radon in drinking water. ASTM D50721-98.
- BELLONI, P.; CAVAIOLI, M.; INGRAO, G.; MANCINI, C.; NOTARO, M.; SANTORINI, P.; TORRI, G.; VASSELLI, R. (1995) – Sci. Total Environ., 173/174; 61.
- CABRAL, J. (1992) – Geomorfologia. Características Gerais do relevo do Minho Ocidental. In *Carta Geológica de Portugal 1/200 000. Notícia Explicativa da Folha1*, Pereira, E. (coord.), Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- COMISSÃO DAS COMUNIDADE EUROPEIAS (1990). 90/143/Euratom: Recomendação da Comissão, de 21 de Fevereiro de 1990, relativa à protecção da população contra a exposição interior ao radão. Jornal Oficial nº L080 de 27/03/1990, pp. 26-28.
- COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPEIAS (2001). 2001/928/Euratom: Recomendação da Comissão, de 20 Dezembro de 2001, relativa à protecção da população a exposição ao radão no abastecimento de água potável (notificada com o número C (2001)). Jornal Oficial nº L 344 de 28/12/2001, pp. 85-88.
- DAVIS, M. L. & CORNWELL, D. A. (1998) – *Introduction to Environmental Engineering*, McGRAW-HILL, 919 p.
- DECRETO-LEI Nº 79/2006. D. R. Série 67 (04-04-2006), pp. 2416-2468.
- DECRETO-LEI Nº306/2007. D. R. Série 164 (27-08-2007), pp. 5547-5765.

DECRETO REGULAMENTAR Nº 34/92 de 04-12-1992. D. R. Nº 280 Série I - Parte B.

DINIS, M.L.P.A. (2007) - *Modelos Fenomenológicos de Distribuição Intercompartmental de Substâncias Radioactivas*. Dissertação para obtenção do grau de Doutor em Engenharia do Ambiente. Universidade do Porto. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 346p.

EPA (1986) – *A citizen`s guide to radon*, OPA-86-004, 14p.

FERREIRA, A. B. (1986) – *A depressão de Chaves Verin. Novas achegas para o seu conhecimento geomorfológico*. *Est. Hom. M. Feio*, pp. 199-222.

FERREIRA, A. M. S. (2009) – *Radioactividade das águas subterrâneas da região do Minho*. Tese de Mestrado, Universidade do Minho. Braga, 158p.

FERREIRA, A.; LIMA, A. & PEREIRA, A. (2010) - *Radioactividade das águas subterrâneas da região do Minho*. GEOTIC – Sociedade Geológica de Portugal, VIII Congresso Nacional de Geologia, Braga.

FORTE, M.; RUSCONI, R.; BADALAMENTI, P.; BELLINZONA, S.; GOLLINI, R.; MALTESE, S; ROMEO, C.; SGORBATI, G. (2004) – *The monitoring of tap waters in Milan: planning methods and results*. *Radiation Protection Dosimetry* 111 (4), 373-376.

GODINHO, M. M.; NEVES, L.J.P.F.; PEREIRA, A.J.S.C. (1999) – *O gás radão – um inimigo público...mas não na cidade de Coimbra*. *Cadernos de geografia*, nº especial (Actas do II Colóquio de Geografia de Coimbra), Coimbra.

GONÇALVES, V.M. & PEREIRA, A.J.S.C. (2007) – *Radionuclides in groundwater of the Serra Buçaco region (Portugal)*.

INSTITUTO DO AMBIENTE – Atlas do ambiente (2010). Disponível em: [www.iambiente.pt/atlas](http://www.iambiente.pt/atlas)

- INSTITUTO TENOLÓGICO e NUCLEAR (2010) - Departamento de Protecção Radiológica e Segurança Nuclear. Disponível em *www.itn.pt*.
- LAO, K.Q. (1990) Controlling indoor Radon – Measurement, Mitigation and Prevention. Van Nostrand Reinhold, New York, 2720.
- LIMA, A. S. (2001) – *Hidrogeologia de Terrenos Graníticos*. Tese de Doutoramento, Universidade do Minho. Braga, 451p.
- NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES (1998) – *Risk Assessment of Radon in Drinking Water*. NAS Report on Radon in Drinking Water. Disponível em: <http://water.epa.gov/lawsregs/rulesregs/sdwa/radon/nas.cfm>
- NEVES, L.F.; PEREIRA, A. C. (2004) - *Radioactividade natural e ordenamento do território: o contributo das Ciências da Terra*. Geonovas nº 18, pp. 103 - 114. Associação portuguesa de geólogos.
- PEREIRA, E. (1989) – Notícia explicativa da Carta Geológica de Portugal – Folha 1, 1/200000 – Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- PEREIRA, A.J.S.C., ABRANTES, L.M.C.B.L., NEVES, L.J.P.F. & GODINHO (1999) – *Distribuição do radão em áreas anómalas da região na região de Oliveira do Hospital (Portugal Central)*. II Congresso Ibérico de Geoquímica – XI Semana de Geoquímica, Lisboa, Actas, 127-130.
- PEREIRA, A.J.S.C.; DIAS, J.M.M. & NERO, E.J.M.G. (2008) - *Avaliação dos impactes radiológicos da escombreira dos rejeitados da Urgeiriça (Portugal Central) e previsão da evolução futura com base em Técnicas de Modelação Numérica*. III Seminário Recursos Geológicos, Ambiente e Ordenamento do Território, pp. 101-109.
- PEREIRA, A.J.S.C.; NEVES, L.J.P.F. & ABRANTES, L.M.C.B.L. (2003) – *O Gás Radão em Águas Subterrâneas: o caso da Região de Oliveira do*

*Hospital (Portugal Central)*. IV Congresso Ibérico de Geoquímica e XIII Semana de Geoquímica, Coimbra, Resumos, pp. 304-306.

PEREIRA, A.J.S.C.; NEVES, L.J.P.F.; SALGADO, A.L.V. & GODINHO, M.M. (2001) – *Concentração do radão em habitações da área urbana de Tondela (Portugal Central)*. IV Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa e XII Semana de Geoquímica, Actas, pp. 711-714.

PEREIRA, A.J.S.C.; PINTO, P.G.N.; NEVES, L.J.P.F. & COSTA, M.R.M. (2010) - *Avaliação dos níveis de radioactividade natural em águas subterrâneas da região da Horta da Vilariça (Norte de Portugal)*. VIII Congresso Nacional de Geologia, Braga, pp. 1 -4.

SAMPA, M. H. O. (1979) – *Estudo e Desenvolvimento de Métodos Analíticos para determinação da radioactividade Natural em Águas*. Dissertação e Tese, Instituto de Energia Atómica, São Paulo - Brasil, 91 p.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS (2010). Boletim de precipitação: estação de Ponte de Lima. Disponível em: <http://snirh.pt/index.php?idMain=1&idItem=1.1>.

TEIXEIRA, C.; MEDEIROS, A.; COELHO, A. (1972) – Notícia explicativa e Carta Geológica 5A – Viana do Castelo (Carta Geológica de Portugal 1/50000) – Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.

TEIXEIRA, M.M.R. & FAISCA, M.C. (1992) – *Concentração de radão em habitações a nível nacional*. III Conferência Nacional sobre a Qualidade do Ambiente, Vol. II, 552-531.

WALTON, W. C. (1970) - Groundwater resource evaluation, New York, McGraw-Hill.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (2004) - *Guidelines for drinking-water quality*, Geneva, World Health Organization.