



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Engenharia

**Estudo Geoambiental das Águas Subterrâneas na
Zona do Fundão**
(Versão final após defesa pública)

João Miguel Rabaça Fernandes

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Civil
(Ciclo de Estudos Integrado)

Orientador: Prof. Doutor Paulo Eduardo Maia de Carvalho

Covilhã, junho de 2016

Agradecimentos

A realização desta dissertação de mestrado contou com importantes apoios e incentivos sem os quais não teria sido possível terminar.

Ao Professor Doutor Paulo Carvalho, pela sua orientação, apoio e disponibilidade em todo este longo percurso.

Aos docentes e técnicos, pela sua participação e colaboração na realização deste trabalho.

Aos meus amigos que estiveram ao meu lado durante esta fase, pelo companheirismo, apoio e força em certos momentos difíceis.

Um especial Obrigado à minha namorada, Sandra Campos.

Por último, tendo consciência que sozinho nada disto teria sido possível, dirijo um agradecimento especial aos meus familiares, principalmente aos meus pais, por serem modelos de coragem, pelo seu apoio incondicional, incentivo, amizade e paciência demonstrados e total ajuda na superação dos obstáculos que ao longo desta caminhada foram surgindo. A eles dedico este trabalho.

Resumo

A região de implementação do Regadio da Cova da Beira, pela sua situação geográfica e pelo seu desenvolvimento socioeconómico sustentável, impõe a realização de estudos geoambientais, incidindo sobre o comportamento de um conjunto de variáveis com importante significado ecológico.

Este estudo teve como objetivo caracterizar os padrões de distribuição das variáveis em amostras de água subterrânea e a sua caracterização em termos de qualidade química.

Deste modo, numa fase inicial procedeu-se a uma análise exploratória dos dados com o intuito de caracterizar a amostra global, seguida de uma fase em que se procedeu a uma análise multivariada, onde se utilizou uma técnica de redução de dimensionalidade (análise em componentes principais).

Numa fase final procedeu-se à caracterização da qualidade química da água subterrânea em termos de uso agrícola.

O estudo da dinâmica de processos naturais, antrópicos e da sua influência sobre a dispersão, fixação e (re)mobilização de elementos químicos, tem vindo a contribuir de forma decisiva para a otimização de estratégia de diagnóstico e gestão ambiental.

Palavras-chave

Regadio da Cova da Beira, Água Subterrânea, Análise Estatística, Qualidade Química.

Abstract

The area of implementation of the Cova da Beira's irrigation system, due to its geographical situation and its sustainable socio-economic development requires the execution of geo-environmental studies, focusing on the behaviour of a set of variables with important ecological significance.

This study is aimed to characterize the distribution patterns of variables in groundwater samples and their characterization in terms of chemical quality.

Hence, on a primary stage, an exploratory data analysis was performed in order to characterize the overall sample, followed by a stage in which a multivariate analysis was carried out through a dimensionality reduction technique (analysis of main components).

During the final phase, we proceeded with the chemical quality characterization of groundwater in regards to its agricultural use.

The study of the dynamics of natural processes, anthropic and its influence on the dispersion, fixation and (re)mobilization of chemical elements, has contributed decisively to the optimization of the diagnostic strategy and the environmental management as well.

Keywords

Cova da Beira Irrigation System, Groundwater, Statistical Analysis, Chemical Quality.

Índice

	Pág.
Introdução	1
Capítulo 1	3
1. O Regadio da Cova da Beira: sua Caracterização	3
1.1 Retrospectiva Histórica	3
1.2 Objetivo e Breve Descrição do Funcionamento do Regadio da Cova da Beira	9
1.3 Principais Infraestruturas do Regadio da Cova da Beira	9
1.4 Necessidade de Modernização/Reabilitação	13
1.5 Localização Geográfica	13
1.6 Clima	13
1.7 Geologia	14
1.8 Flora e Fauna	16
1.9 Recursos Hídricos	16
1.10 Demografia	18
Capítulo 2	21
2. Caracterização Detalhada da Área de Estudo	21
2.1 Introdução	21
2.2 Localização Geográfica	21
2.3 Geologia	22
2.4 Recursos Minerais	24
2.5 Solos	25
2.6 Clima	26
2.7 Rede Hidrográfica	27
2.8 Rede de Fluxo Subterrâneo	27
2.9 Hidroquímica	27
Capítulo 3	29
3. Amostragem e Técnicas de Análises	29
3.1 Introdução	29
3.2 Águas Subterrâneas: Amostragem, Preparação Física das Amostras e Técnicas Analíticas	29
Capítulo 4	33
4. Águas Subterrâneas: Caracterização Geoambiental	33
4.1 Introdução	33
4.2 Características Amostrais Univariadas	33
4.3 Características Amostrais Bivariadas	34
4.4 Técnicas de Análise Multivariada	35

	Pág.
4.4.1 Análise em Componentes Principais	35
4.4.2 O Modelo Matemático	35
4.5 Análise Exploratória dos Dados	37
4.5.1 Características Amostrais Utilizando a Análise Estatística Univariada	37
4.5.2 Características Amostrais Utilizando a Análise Estatística Bivariada	41
4.5.3 Análise Multivariada	43
Capítulo 5	47
5. Qualidade Química da Água Subterrânea para Uso Agrícola	47
5.1 Introdução	47
5.2 Qualidade das Águas Subterrâneas na Área de Estudo	48
Capítulo 6	53
6. Conclusões	53
Referências Bibliográficas	55

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1.1 - Freguesias abrangidas pela Segunda fase do Projeto do Regadio da Cova da Beira.	7
Figura 1.1 - Principais infraestruturas do Regadio da Cova da Beira.	12
Figura 1.3 - Rede hidrográfica da área do Projeto do Regadio da Cova da Beira.	17
Figura 2.1 - Localização geográfica da área de estudo.	22
Figura 2.2 - Mapa Geológico simplificado da região do Fundão.	23
Figura 3.1 - Área de estudo com o local de recolha das 20 amostras.	29
Figura 3.2 - Fotos de alguns poços de onde se retiraram as amostras de água subterrânea.	30
Figura 3.3 - Método utilizado para recolher as amostras de água subterrânea.	31
Figura 3.4 - Colheita das amostras efetuada através da submersão de frascos de polietileno esterilizados.	32
Figura 4.1 - Diagramas em caixa de bigodes paralelos para as variáveis analisadas.	39
Figura 4.2 - Histogramas para as variáveis analisadas.	40
Figura 4.3 - Projeção das diferentes variáveis no primeiro plano principal.	45

Lista de Quadros

	Pág.
Quadro 1.1 - Primeira fase do Projeto do Regadio da Cova da Beira.	5
Quadro 1.2 - Área atual dos beneficiados pelo regadio.	8
Quadro 1.3 - Aproveitamento Hidroagrícola do Regadio da Cova da Beira.	8
Quadro 1.4 - Algumas características das Barragens.	10
Quadro 1.5 - Estruturas de distribuição secundária de rega.	11
Quadro 2.1 - Solos e área total do aproveitamento hidroagrícola que estes ocupam no Bloco do Fundão.	25
Quadro 2.2 - Solos e área total do aproveitamento hidroagrícola que estes ocupam no Bloco da Fatela.	26
Quadro 4.1 - Características amostrais para as 20 amostras de água subterrânea analisadas.	38
Quadro 4.2 Coeficientes de correlação de Pearson para as variáveis analisadas.	42
Quadro 4.3 - Coordenadas das variáveis ativas nos eixos fatoriais.	43
Quadro 4.4 - Valores próprios e percentagem da variância explicada, para cada um dos eixos fatoriais.	44
Quadro 4.5 - Comunalidades iniciais e as extraídas.	45
Quadro 5.2 - Valores máximos recomendáveis (VRM) e os valores máximos admissíveis (VMA), no que concerne à qualidade química da água de rega para as variáveis Cu, Pb, Zn, Ni, Mn, Fe, Cr, NO_3^- e SO_4^{2-} . (Decreto Lei N.º 236/98 de 1 de Agosto).	48
Quadro 5.3 - Valor Máximo Recomendável para as variáveis Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , P, Ca^{2+} , NH_4^+ e HCO_3^- na água de rega (Ayers and Westcot (1976 e 1991) e Aragués et al. (1979)).	48
Quadro 5.1- Concentrações obtidas para as variáveis Cobre, Chumbo, Zinco, Níquel, Manganês, Ferro, Crómio, Magnésio, Potássio, Sódio, Fósforo, Cálcio, Nitritos, Amónio, Bicarbonatos, Nitratos, e Sulfatos nas águas subterrâneas na área de estudo.	49
Quadro 5.4 - Resultados analíticos para as variáveis Mn, Fe, Mg^{2+} , Na^+ , P, Ca^{2+} , NH_4^+ e HCO_3^- obtidos em 2014 em que o local da colheita foi no Fundão.	51
Quadro 5.5 - Resultados analíticos para as variáveis Manganês, Ferro, Magnésio, Sódio, Cálcio, Bicarbonatos, Nitratos e Sulfatos obtidos em 2010, respetivamente na Reservatório de Belmonte.	51
Quadro 5.6 - Resultados analíticos para as variáveis Manganês, Ferro, Magnésio, Sódio, Cálcio, Bicarbonatos, Nitratos e Sulfatos obtidos em 2010, respetivamente na Reservatório de Escarigo.	51

	Pág.
Quadro 5.7- Resultados analíticos para as variáveis Manganês, Ferro, Magnésio, Sódio, Cálcio, Bicarbonatos, Nitratos e Sulfatos obtidos em 2010, respectivamente na Reservatório de Monte do Bispo.	52

Lista de Acrónimos

ACP	Análise em Componentes Principais
CCG	Canal Condutor Geral
DGHEA	Direção Geral de Hidráulica e Estudos Agrícolas
DGSH	Direção Geral Serviços Hidráulicos
EPA	Environmental Protection Agency
RSB	Regulamento de Segurança de Barragens
VMA	Valor Máximo Admissível
VMR	Valor Máximo Recomendável

Introdução

O presente trabalho engloba-se no âmbito da Geotecnia Ambiental, a qual proporciona uma perspectiva global dos problemas, ao conjugar o estudo global de elementos na litosfera, hidrosfera, biosfera e atmosfera, bem como as suas interações químicas.

O trabalho surge com o intuito de dar resposta a algumas questões relativas a caracterização das águas subterrâneas na região do Fundão, tendo como ponto de partida um conjunto de 20 análises de águas subterrâneas recolhidas especificamente para este trabalho, incidindo sobre o comportamento de um conjunto de elementos químicos incluídos na “Lista de Contaminantes Prioritários” da EPA (Environmental Protection Agency).

A importância quantitativa e qualitativa da água subterrânea é um fator de extrema importância para o desenvolvimento sócio-económico da região na qual se insere este estudo. A água para efeitos de agronomia, está intimamente ligada a processos de infiltração, armazenamento e circulação quer superficial, quer subterrânea.

A contaminação do ambiente por elementos químicos de múltiplas origens implica a ocorrência desses mesmos elementos em forma assimiláveis ou de fácil imobilização em concentrações acima dos níveis recomendáveis ou admissíveis.

Entre os elementos químicos cuja concentração é preocupante, destacam-se os englobados nos pesticidas, adubos, lamas dos esgotos, água de irrigação, etc. As zonas onde geralmente aparece este tipo de contaminação são áreas de grande implantação industrial e elevado desenvolvimento agrícola (Ross, 1994).

O objetivo fundamental é a caracterização geoambiental das águas subterrâneas, a uma escala local, na área do Projeto do Regadio da Cova da Beira.

Para a realização deste trabalho foram ainda definidos alguns objetivos nomeadamente:

- Conhecer as potencialidades da Região da Cova da Beira para fornecer informação, fixar prioridades e suportar políticas de sustentabilidade;
- Calcular, analisar e interpretar as características amostrais;
- Descrever a variabilidade dos dados com um menor número de variáveis não correlacionadas;
- Explicar através de um menor número de fatores as correlações entre as variáveis.

Esta dissertação está dividida em seis capítulos. No capítulo 1 intitulado “O Regadio da Cova da Beira: Sua Caracterização” faz-se a caracterização geral da área do Projeto do Regadio da Cova da Beira, tendo em consideração uma retrospectiva histórica, o objetivo e breve descrição do seu funcionamento, as principais infraestruturas, o enquadramento geográfico e os recursos naturais.

No capítulo 2, “Caracterização Detalhada da Área de Estudo”, caracteriza-se a área em estudo sob o ponto de vista de localização geográfica, geologia, clima, hidrologia, rede subterrânea de fluxo e hidroquímica.

No capítulo 3, que tem por título “Amostragem e Técnicas de Análise” descrevem-se as metodologias utilizadas na amostragem, na preparação das amostras e nas técnicas analíticas. O capítulo 4 intitulado “Águas Subterrâneas: Caracterização Geoambiental” apresentam-se e discutem-se os resultados obtidos com a aplicação de métodos de estatística univariada, bivariada e multivariada ao estudo de mecanismos de dispersão das variáveis.

No capítulo 5 “Qualidade Química da Água Subterrânea para Uso Agrícola” caracteriza-se a qualidade química das águas subterrâneas tendo em conta o consumo para a atividade agrícola. No sexto e último capítulo apresentam-se as principais conclusões.

Capítulo 1

1. O Regadio da Cova da Beira: Sua Caracterização

1.1 Retrospectiva Histórica

A história do Regadio da Cova da Beira começou em meados do século XX, como medida de expansão e melhoria da região. Uma vez que a agricultura é um fator importante, a implementação do regadio como facto de desenvolvimento da região já era há muito tema de discussão.

As primeiras referências surgem em 1937 e 1946, pela então Junta Autónoma das Obras de Hidráulica Agrícola. Estes estudos referem que 6.000ha, dos 20.000ha passíveis de regadio, deveriam ser imediatamente regados. Seriam necessários 46,8 milhões de m³ de água e uma despesa estimada em 45.000.000 escudos.

Em 1946, a extinta Companhia Elétrica das Beiras iniciou o Projeto Hidroelétrico do Alto Zêzere e do Alto Mondego, no qual se realça a importância do seu aproveitamento para o Regadio da Cova da Beira.

Em finais de 1959, foi criada a Brigada de Reconhecimento Agronómico da Cova da Beira, iniciando os trabalhos nesse mesmo ano e publicando três relatórios, o “Estudo do Solo, de Aptidão ao Regadio e das Dotações de Rega. Aspeto Económico Atual” (Tomo I), a “Constituição para o Estudo Climático da Zona Reconhecida” (Tomo II) e a “Carta de Solos, de Aptidão ao Regadio e Carta Agrícola” (Tomo III) (Direção Geral de Serviços Hidráulicos (DGSH), 1961).

No III Plano de Fomento, que contempla o planeamento regional e setorial na área da agricultura, definem-se como objetivos gerais: “a elevação da taxa média de acréscimo do produto agrícola; a elevação do nível de vida da população ligada ao setor; e a melhoria da contribuição da agricultura para a balança comercial, pela satisfação em maior grau da procura intensa de bens alimentares e pelo aumento das exportações”. Para a consecução destes objetivos refere-se, entre outros aspetos, o “estabelecimento de um regadio de cerca de 15.000ha na Cova da Beira” (Presidência do Conselho, 1968).

Em 1969, foram criados dois grupos de trabalho, com sede no Fundão, o grupo da Topografia e o grupo de Estudos Agrários, com o objetivo de contribuírem para o desenvolvimento da agricultura nesta região.

Um ano mais tarde foi criado o Grupo de trabalho da Cova da Beira, também designado de Grupo de trabalho N.º 6, com o objetivo de elaborar estudos de referência para o desenvolvimento integrado da região. Este grupo de trabalho viria a mostrar-se extremamente valioso para o avanço do regadio na Cova da Beira.

Em 1972, surge o Plano Geral do Aproveitamento Agrícola da Cova da Beira, da Direção Geral dos Serviços Hidráulicos. É um estudo minucioso sobre a área a beneficiar do regadio. O projeto abrangia os concelhos do Fundão, Covilhã, Belmonte, Penamacor, Guarda (Valhelhas) e Sabugal (Casteleiro), num total de 30 freguesias e uma área de 16.800ha (DGSH, 1972).

O estudo apresenta um levantamento da necessidade de água, tendo em conta a qualidade dos solos, os diferentes planos de cultura possíveis, as obras necessárias à rega, procurando ter em conta razões de ordem socioeconómica. Contempla a construção de uma barragem no leito do rio Zêzere, com um volume de retenção de 100 milhões de m³ de água; da barragem da Meimoa, a derivação de caudais do Mondego para a bacia do Zêzere; a construção de uma barragem, no sítio da Sra. de Graça (Sabugal), com um volume de cerca de 120 milhões de m³, para transferência de águas da bacia hidrográfica do Côa para o Zêzere, através de duas grandes albufeiras de regularização.

A nível agro-pecuário, o estudo sugere, como orientação geral, a intensificação da exploração pecuária para produção de carne e leite, a expansão de culturas horto-industriais suscetíveis de fornecer matéria-prima às indústrias a criar e, ainda, o desenvolvimento moderado da fruticultura dado existirem condições ecológicas muito favoráveis, mas cuja exagerada intensificação poderia, eventualmente, criar problemas de mercado (DGSH, 1972). Este estudo apresenta algumas diferenças relativamente ao Grupo de Trabalho N^o6, pois prevê um projeto global de aproveitamento do Regadio da Cova da Beira e zonas envolventes, antevendo o tipo de culturas e atividades a desenvolverem.

Ainda em 1972, surge um outro trabalho, o Relatório de Propostas, da Comissão de Planeamento da Região Centro, no âmbito dos trabalhos preparatórios do IV Plano de Fomento, onde se faz a análise e diagnóstico da situação regional e se apresentam propostas para o desenvolvimento da região. No que concerne ao regadio, este trabalho propõe a construção dos canais e barragens que iriam beneficiar uma área com cerca de 16.771ha.

As áreas a regar iriam permitir o desenvolvimento em especial de certas culturas, como a frutícola, a vinícola, a hortícola, a oliveira, cereais, batata, tomate industrial e forragens e na pecuária a produção de gado bovino e laticínios. Tal permitiria o desenvolvimento florestal e o aproveitamento de atividades agro-silvícolas. O aproveitamento de pequenos regadios de encosta permitiria desenvolver estas últimas atividades.

Neste plano, previa-se que o regadio viria a beneficiar as áreas dos designados Blocos da Meimoa (9.300ha) e o Bloco de Valhelhas (7.600ha), com a construção das barragens do Sabugal (42 milhões m³), da Meimoa (50 milhões m³) e de Valhelhas (52 milhões m³) e de 143Km de canais principais.

Em 1977, o Gabinete de Planeamento do Ministério da Agricultura e Pescas, elabora um diagnóstico de situação e estratégias de desenvolvimento do setor da agricultura, silvicultura e pecuária, onde, uma vez mais, se faz referência à necessidade de implementar o regadio para o desenvolvimento das regiões agrárias.

O projeto de Aproveitamento Agrícola da Cova da Beira surge em 1977 e é assinado em 31 de Dezembro de 1977.

No relatório de aspetos técnicos e socioeconómicos, previa-se que numa primeira fase o regadio iria beneficiar 25 freguesias numa área total de 14.445ha (Quadro 1.1).

Quadro 1.1 - Primeira fase do Projeto do Regadio da Cova da Beira.

Bloco	Área (ha)	Concelhos	Freguesias
Meimoa	3.948	Penamacor	Benquerença Meimoa Vale da Senhora da Póvoa
		Fundão	Capinha Escarigo Salgueiro
Fundão	5.218	Fundão	Alcaide Alcaria Aldeia de Joanes Aldeia Nova do Cabo Donas Fatela Fundão Pêro Viseu Telhado e Valverde
Covilhã	5.190	Belmonte	Belmonte Caria Colmeal da Torre Inguias Maçainhas
		Covilhã	Ferro Peraboa
Sabugal	170	Sabugal	Casteleiro Bendada Quintas de S. Bartolomeu Sabugal

As obras tiveram início em 1978 e previa-se a sua conclusão em 1989. Na primeira fase estava prevista a construção da barragem do Sabugal, no rio Côa, da barragem da Meimoa na ribeira com o mesmo nome, de um canal de ligação entre as duas e das redes primárias e secundárias de rega. Da barragem da Meimoa saíam canais para rega e abastecimento da população dos Blocos da Meimoa, Fundão e Covilhã. O Bloco do Sabugal seria alimentado pela barragem do Sabugal.

Na segunda fase previa-se o aparecimento dos recursos hídricos na zona de Valhelhas para abastecimento de 3.000ha de terrenos na margem direita do rio e a interligação com o sistema Côa- Meimoa.

Devido a alguns incumprimentos a nível financeiro, optou-se por concluir apenas uma parte da primeira fase do regadio: no Bloco da Meimoa - Fundão, construiu-se a barragem da Meimoa, uma parte do canal condutor geral e fez-se a adaptação ao regadio, que apenas beneficiou cerca de 3.600ha.

Em 1983, surge um novo estudo da Direção Geral de Hidráulica e Estudos Agrícolas (DGHEA, 1983) sobre o desenvolvimento agrário da Cova da Beira, com o objetivo de verificar novamente a rentabilidade do projeto devido às alterações relativamente à sua versão original.

Em 1983 encontrava-se já construída a barragem da Capinha, em construção a barragem da Meimoa e lançado o concurso para a construção da rede de rega secundária do Bloco da Meimoa (Direção Geral de Hidráulica e Estudos Agrícolas (DGHEA), 1983).

A barragem da Meimoa foi construída em 1984 e o Bloco da Meimoa beneficia do regadio desde o ano de 1990 (cerca de 3.400ha). Estava assim concluída aquela que hoje se designa de primeira fase do Regadio da Cova da Beira, apesar de não corresponder exatamente à que inicialmente estava prevista.

A segunda fase do projeto foi retomada em 1983 com o refazer dos estudos hidrológicos e da simulação da exportação do sistema Sabugal - Meimoa, com as duas albufeiras e tendo em conta a utilização da água para irrigação, produção de energia e abastecimento de água potável. Os níveis de água das albufeiras foram alterados, exigindo novos cálculos, uma vez que se passou, também, a considerar o abastecimento de água aos concelhos do Sabugal, Pinhel e Almeida, antes não previsto.

Na segunda fase do projeto está prevista a construção da barragem do Sabugal, de um túnel de interligação entre esta e a barragem da Meimoa, com o objetivo de fazer transvase de água para esta última e a partir desta para o regadio. O projeto engloba 25 freguesias, pertencentes a 4 concelhos: Sabugal, Belmonte, Covilhã e Fundão. (Figura 1.1).

As áreas a regar atingem os 35.349,8ha o que corresponde a 60,69% da área total das freguesias integradas na segunda fase do Regadio da Cova da Beira.

A área a beneficiar, tal como foi inicialmente prevista e delimitada, perfazia um total de 14.400ha; tendo vindo a ser reduzida até 12.254ha por via do crescimento urbano e da construção de autoestradas, vias rápidas, alargamento da linha de caminho-de-ferro, expansão de zonas industriais, gasodutos, etc.

Com a decisão política de construção da barragem do Sabugal (1999-2002) foram ainda construídos o reservatório de Belmonte, a barragem de Monte do Bispo e as redes secundárias de rega, viária e de drenagem, de Belmonte e de Caria, com uma área beneficiada total de cerca de 3.177ha. Nesta fase, foram ainda construídos o Circuito Hidráulico Sabugal-Meimoa e o Edifício Sede da Associação de Beneficiários no Fundão e a Zona de Lazer da Benquerença.

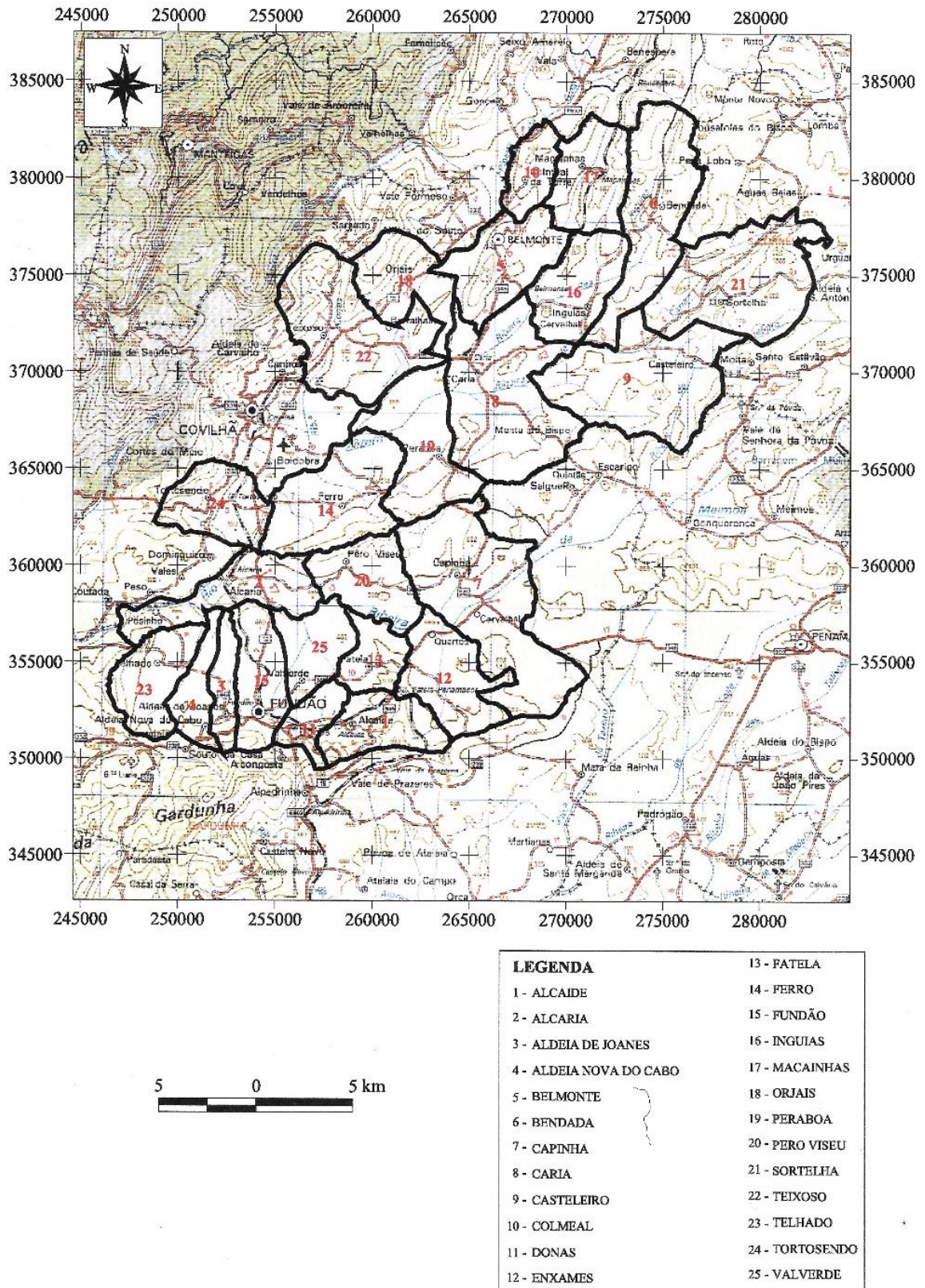


Figura 1.1 - Freguesias abrangidas pela Segunda fase do Projeto do Regadio da Cova da Beira (Carvalho, 2003).

A 3ª e última fase (2009-2013) inclui a construção do 3º e último troço do Canal Condutor Geral, os reservatórios de compensação e as respetivas redes secundárias de rega, viária e de drenagem dos blocos da Covilhã, Fundão e Fatela. Faz ainda parte desta fase, a construção do Bloco do Sabugal, cuja área é cerca de 130ha, e a Central Mini-hídrica do Meimão (Mota, A., C. e Santos, A., M., 2011).

Hoje a área beneficiada pelo regadio é de 12.360ha (Quadro1.2), abastecendo 80.000 habitantes e com uma produção de energia elétrica máxima para 2.000 habitações (6.000 pessoas).

Quadro 1. 2 - Área atual dos beneficiados pelo regadio.

Bloco	Beneficiados (ha)
Meimoa	3400
Belmonte e Caria	3177
Sabugal	121,5
Covilhã	1643
Fundão	2021
Fatela	1133,5
Capinha	864

O Aproveitamento Hidroagrícola abrange parte de 2 distritos, 6 concelhos e 26 freguesias (Quadro 1.3).

Quadro 1. 3 - Aproveitamento Hidroagrícola do Regadio da Cova da Beira.

Distrito	Concelho	Freguesias
Guarda	Sabugal	Casteleiro, Bendada e Sortelha
Castelo Branco	Belmonte	União das Freguesias de Belmonte e Colmeal da Torre, Caria, Inguias e Maçainhas
	Castelo Branco	Salgueiro do Campo
	Covilhã	União das Freguesias de Teixoso e Sarzedo, Orjais, Peraboa, Tortosendo e Ferro
	Fundão	União das Freguesias de Fundão, Valverde, Donas, Aldeia de Joanes e Aldeia Nova do Cabo, Alcaide, Alcária, Fatela, Pêro Viseu, Enxames, Capinha e Telhado
	Penamacor	Meimoa e Benquerença

1.2 Objetivo e Breve Descrição do Funcionamento do Regadio da Cova da Beira

O Aproveitamento Hidráulico da Cova da Beira é de fins múltiplos, destina-se a beneficiar uma área através da rega em pressão, bem como assegurar o fornecimento de água para o serviço ao abastecimento público, tendo ainda uma componente de produção de energia elétrica.

Pode ser assegurado o fornecimento de água a outras atividades económicas que se desenvolvem na região, bem como permitindo o desenvolvimento de atividades que beneficiam da existência dos planos de água criados pelas barragens.

O sistema de captação e armazenamento é constituído pelas albufeiras do Sabugal e da Meimoa, sendo o caudal transferido entre elas através do circuito hidráulico Sabugal-Meimoa. A principal infraestrutura de transporte de caudal tem início na barragem da Meimoa e consiste no Canal Condutor Geral, com um comprimento de cerca de 57km o qual constitui a rede primária de rega do Aproveitamento Hidroagrícola.

Associado ao Canal Condutor Geral encontram-se diversas estruturas de compensação dos volumes transportados, constituídas por reservatórios semi-escavados, barragens de aterro e um canal reservatório (canal da Meimoa).

A partir das tomadas diretas no Canal Condutor Geral, ou associadas a estruturas de compensação (reservatórios ou barragens), desenvolvem-se as redes secundárias de rega que distribuem a água aos prédios beneficiados, integrados nos diferentes que constituem os blocos de rega.

A atividade agrícola na área equipada e a equipar com infraestruturas de rega é beneficiada pela melhoria da rede viária principal, por redes de drenagem e por processos de emparcelamento.

1.3 Principais Infraestruturas do Regadio da Cova da Beira

Em 2013 terminou a fase de construção do Regadio da Cova da Beira, tendo sido construídas várias infraestruturas.

As infraestruturas construídas antes de 2009 englobam: Barragem da Capinha, Barragem da Meimoa, Barragem do Sabugal, Barragem do Escarigo, Bloco da Meimoa, Blocos de Belmonte e Caria e o Bloco do Sabugal.

No Quadro 1.4 apresenta-se a altura máxima acima do leito, o desenvolvimento do coroamento e a capacidade útil da albufeira para as barragens da Capinha, Meimoa, Sabugal e do Escarigo (Mota, A., C. e Santos, A., M., 2011).

Quadro 1.4 - Algumas características das Barragens.

	Altura máxima acima do leito (m)	Desenvolvimento do coroamento (m)	Capacidade útil da albufeira (m ³)
Barragem da Capinha	16	231	340000
Barragem da Meimoa	50	656	27000000
Barragem do Sabugal	56.5	1005	81000000
Barragem do Escarigo	13	110	85400

O Bloco da Meimoa abrange uma área de 3.400ha, o do Sabugal abrange 121,5ha e o de Belmonte e Caria de 3.177ha com ainda 140ha relativos a Colmeal da Torre.

Foram ainda construídos as seguintes infraestruturas:

- Circuito Hidráulico Sabugal-Meimoa com um comprimento de 5.100m;
- Edifício Sede da Associação de Beneficiários;
- Canal Condutor Geral com 61.610m;
- Rede de Rega com 398.482m;
- Rede de Drenagem com 28.700m;
- Rede Viária com 125.529m;
- 2 Reservatórios, o Reservatório de Monte do Bispo com uma capacidade útil da albufeira de 43.100m³ e o Reservatório de Belmonte com um volume útil de regularização de 40.100m³;
- Central de produção de energia elétrica com 6MVA (5.800Kw);
- Emparcelamento na Meimoa com 2.312ha;
- Adaptação de terrenos ao regadio na Meimoa com 1.090ha.

No período de 2009-2013 foram construídas as infraestruturas: Bloco da Covilhã, Bloco da Fatela, Bloco da Capinha, Bloco do Fundão.

O Bloco da Covilhã compreende uma área de 1.643ha, uma rede de rega de 66.642m, uma rede de drenagem de 5.400m e uma rede viária de 30.187m.

O Bloco da Fatela compreende uma área de 1.134ha, uma rede de rega de 35.900m, uma rede de drenagem de 5.700m e uma rede viária de 21.300m.

O Bloco da Capinha compreende uma área de 864ha, uma rede de rega de 32.300m, uma rede de drenagem de 2.600m e uma rede viária de 8.700m.

Ainda durante este período foram construídos:

- Reservatório de Peraboa com volume útil de regularização com 34.700m³;
- Reservatório do Ferro com volume útil de regularização com 20.000m³;
- Reservatório da Fatela com volume útil de regularização com 16.500m³;

- Reservatório da Capinha com volume útil de regularização com 19.600m³;
- Reservatório do Fundão com volume útil de regularização com 32.000m³.

Na Figura 1.2 apresenta-se as principais infraestruturas do Regadio da Cova da Beira.

No Quadro 1.5 apresenta-se as estruturas de distribuição secundária de rega.

Quadro 1.5 - Estruturas de distribuição secundária de rega.

Bloco	Tomadas de água	Área (ha)	Extensão das condutas (m)
Sabugal		121,5	11000
Meimoa	T1,T2.1,T2.2,T3, T4.1,T4.2,T4.3	3400	120000
Belmonte e Caria	T5	265	11630
	T6	1555	73846
	T7	1357	47161
Covilhã	T8 (Peraboa)	973	36210
	T9 (Ferro)	670	66642
Fundão	T10	2021	64600
Fatela	T11	1135,5	35800
Capinha	T12	864	32300
	Total	12360	462979

Em suma, as principais infraestruturas da obra em questão são:

- Barragens do Sabugal e da Meimoa (grandes barragens);
- Circuito Hidráulico Sabugal-Meimoa;
- Central mini-hídrica do Meimão;
- Barragens do Escarigo, Monte do Bispo e Capinha (grandes reservatórios de compensação);
- Canal Condutor Geral;
- Reservatórios de Belmonte, Peraboa, Ferro, Fundão, Fatela e Capinha;
- Canal reservatório da Meimoa e canal do Escarigo;
- Blocos de rega da Meimoa, Belmonte e Caria, Covilhã (Ferro e Peraboa), Fundão, Fatela e Capinha;
- Redes de caminhos agrícolas e de drenagem.

Segundo o Plano de Gestão de Região Hidrográfica vigente até 2015, a obra abrange a Região Hidrográfica 3 e 5 (Agência Portuguesa do Ambiente), onde se encontram as bacias hidrográficas do Douro e do Tejo, e a sub-bacia do Côa e Rio Zêzere. As linhas de água do Rio Côa e Ribeira da Meimoa são também abrangidas pelo regadio. A área total de regadio do projeto é de 12.500ha com um número de beneficiários de 1.078.

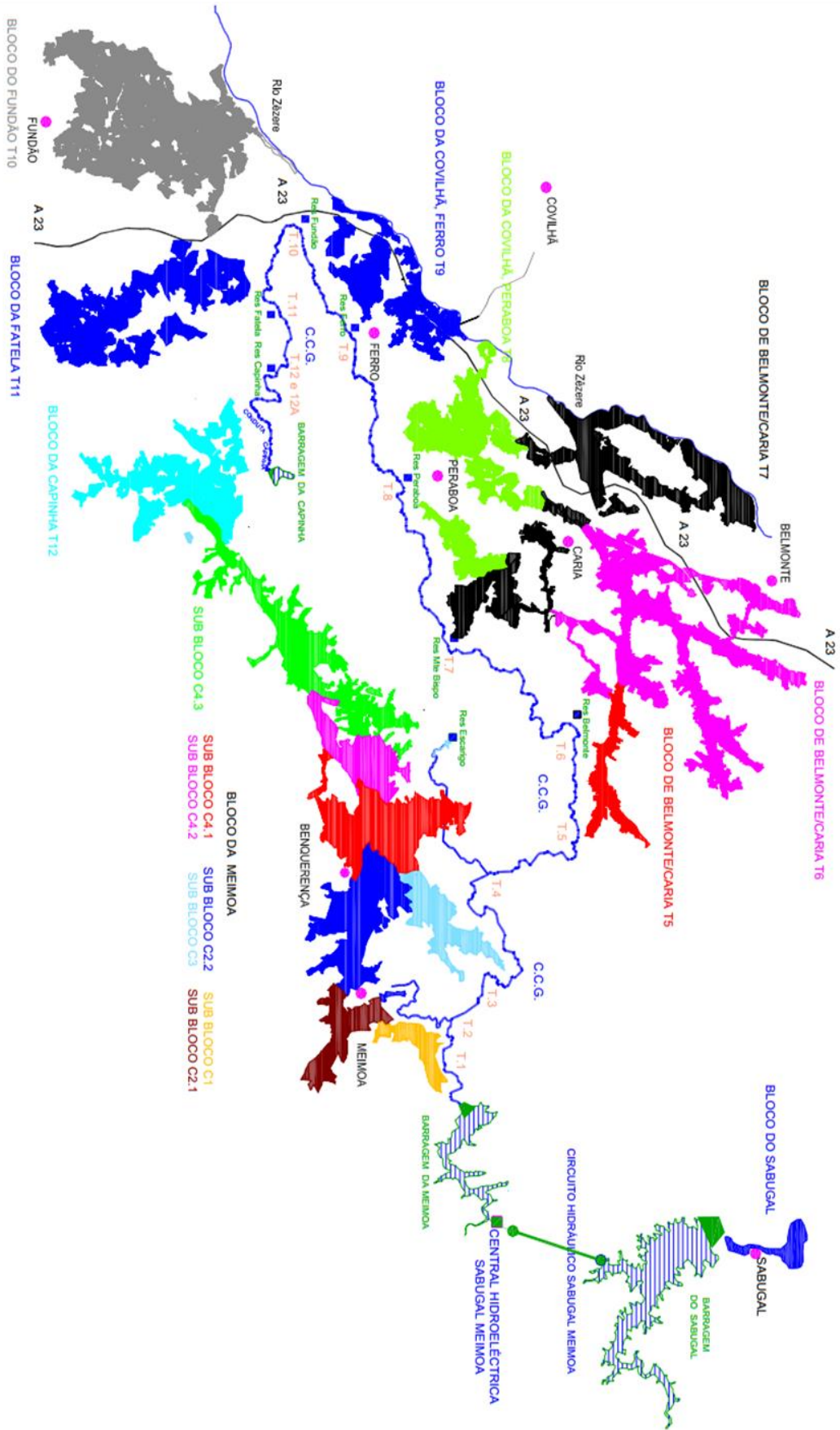


Figura 1. 2 - Principais infraestruturas do Regadio da Cova da Beira (Mota, A., C. e Santos, A., M., 2011).

1.4 Necessidade de Modernização/Reabilitação

Como em qualquer obra de Engenharia a necessidade de modernização e reabilitação são imperativas. No caso da obra do Regadio da Cova da Beira é necessário executar a reabilitação do 1º troço do CCG, a modernização dos hidrantes do Bloco da Meimoa e as estações de filtragem de algumas tomadas. É ainda importante fazer a regularização do leito a jusante da galeria de drenagem da barragem da Meimoa, devido à aplicação do RSB (Regulamento de Segurança de Barragens).

1.5 Localização Geográfica

O Regadio da Cova da Beira situa-se no interior de Portugal, na parte setentrional da Beira Baixa, para norte do paralelo do Fundão. Corresponde a uma bacia tectónica que se desenvolveu entre as Serras da Estrela, Gardunha e Malcata. Em geral é uma zona rebaixada, com altitudes entre os 400 e 500 metros, no entanto existem alguns relevos residuais, como o da Esperança (721m), Caria (581m) e Sobral (555m).

A Cova da Beira é uma zona depressionária que se insere entre a Serra da Estrela, Malcata e Gardunha.

Do ponto de vista físico, destaca-se a presença de três grandes unidades morfológicas (Avaliação Global do Impacto do Regadio da Cova da Beira (AGIR), 2001):

- A depressão encravada da Cova da Beira, com altitudes muito regulares, entre os 400 e os 500m;
- A Cordilheira Central com a Serra da Estrela (1.993m) e a Gardunha (1.226m);
- A Meseta Norte com uma plataforma inclinada cujas altitudes oscilam entre 50 e 500m.

1.6 Clima

A região da Cova da Beira está afastada do oceano, como tal apresenta características climáticas continentais. Contudo, as complexas formas de relevo e a diversidade de altitude que impedem ou facilitam a circulação de massas de ar cujas características se modificam ao longo do seu trajeto, podem criar microclimas na própria região. Com efeito temos:

- Verão quente e inverno frio na depressão da Cova da Beira;
- Verão quente e inverno fresco nos vales encaixados que rodeiam a cordilheira central;
- Verão moderado e inverno muito frio nas montanhas médias e planaltos interiores da Cordilheira Central e da Meseta Norte;

- Verão fresco e inverno muito frio nas montanhas mais elevadas (Estrela e topo da Gardunha) sujeitas às influências Atlânticas.

1.7 Geologia

Em termos geológicos, a área em que se insere o projeto do Regadio da Cova da Beira, é constituída essencialmente por quatro tipos de afloramentos:

- Complexo Xisto-Grauváquico Ante-Ordovícico;
- Rochas eruptivas;
- Rochas filonianas;
- Aluviões.

O Complexo Xisto-Grauváquico situa-se a Norte do Teixoso, a sul do Tortosendo, passando pelo Dominguiso e Pêro Viseu. Existe ainda, um afloramento ao longo da vertente da Serra da Gardunha. Este afloramento encontra-se bastante alterado e metaformizado, originando solos avermelhados, constituídos por xisto quartzo-micáceos e corneanas calco-silicatadas. Segundo Teixeira et al. (1974) as principais componentes destes xistos são quartzo, sericite, moscovite, clorite e grafite. Acessoriamente ocorrem plagióclases, hidróxidos de ferro, turmalinas e óxidos.

Grande parte da área é ocupada por rochas eruptivas, tais como granitos e granodioritos.

As rochas graníticas correspondem a granitos monzoníticos de duas micas, predominantemente biotíticos e de composição mineralógica bastante uniforme. No entanto, apresentam variações no que toca a textura e granularidade, podendo diferenciar-se em dois grupos, granitos porfiróides de grão grosseiro (designado por Granito da Covilhã), e não porfiróide de duas micas e de grão médio/fino.

Os granitos porfiróides possuem megacristais de feldspato, muitas vezes com grande desenvolvimento, atingindo habitualmente os 10cm de comprimento.

Os granitos não porfiróides, possuem predominantemente biotite, apresentando uma tendência granodiorítica (Portugal Ferreira et al., 1985). Os principais minerais destes granitos são o quartzo, oligóclase, microclina, albite, biotite e moscovite. Em relação aos minerais acessórios ocorrem apatite, zircão, andaluzite, silimanite, minerais de ferro, turmalina, rútilo e granada. Dos minerais secundários aprestam-se a caulinite, sericite e clorite (Teixeira et al., 1974).

O granodiorito circunscreve-se ao plutonito do Fundão e aflora numa mancha norte desta cidade. A textura deste granodiorito é porfiróide de grão grosseiro. Macroscopicamente, salienta-se a presença de megacristais de feldspato potássio de grandes dimensões.

Estes afloramentos de granito e granodiorito apresentam-se muito alterados à superfície, dando origem a uma capa de alteração designada por saibros graníticos. A espessura destes mantos

de alteração poderá ser da ordem de algumas dezenas de metros, comprovados em sondagens geofísicas e mecânicas (Cavaleiro, 2001).

As rochas filonianas são constituídas, fundamentalmente, por filões de quartzo e pegmatitos, cuja distribuição pode ser observada na carta geológica. Os filões de rochas básicas, sendo frequentes no afloramento do granodiorito do Fundão, são constituídos por doleritos de cor escura e encontram-se, quase sempre, muito alterados. Embora predominem as direcções NE-SW e E-W, a orientação destes filões é variável.

Os filões de quartzo são os mais representativos e distribuem-se por toda a área da Cova da Beira. Podemos distinguir dois tipos de filões quartzosos: um de quartzo branco e leitoso com impregnações de óxidos de ferro, e outro de quartzo jaspoide. Os primeiros predominam nos afloramentos de xisto e encontram-se associados a mineralizações de volfrâmio e estanho. Os filões jaspoides predominam nos afloramentos graníticos e encontram-se relacionados a mineralizações uraníferas.

A densidade mais elevada de filões é expressa num cortejo filoniano que se estende a partir de Pêro Viseu com a direcção SSW-NNE, passando por Sortelha. Apresentam profundidades e espessuras variáveis e comprimentos que podem atingir alguns quilómetros. O facto de estarem instalados em fracturas com orientação quase constante NE-SW, permite relacioná-los com a existência de um campo de tensões que atingiram o maciço granítico nas últimas fases da orogenia Hercínica.

Os pegmatitos formam um cortejo bastante denso na região da Bendada (Sabugal) e em Gonçalo (Belmonte). A sua instalação aproveitou o sistema de fracturas sub-horizontais, relacionadas com os processos de intrusão e consolidação dos plutonitos durante as fases da tectónica Hercínica tardia.

Os Aluviões que acompanham o rio Zêzere, seus afluentes e subafluentes foram transportados de regiões graníticas onde predominam os granitos calco-alcálicos biotíticos de grão médio.

Os Aluviões da ribeira da Meimoa foram transportados de formações do Complexo-Xisto-Grauváquico.

De um modo geral, a composição dos Aluviões é essencialmente arenosa de granulometria variável, onde se intercalam materiais areno-siltosos ou areno-argilosos e mantos de cascalheiras.

Os depósitos de cascalheiras são constituídos por calhaus rolados ou sub-rolados, de natureza quartzosa ou jaspoide e por uma matriz mais fina de natureza arenosa-siltosa formada por grãos de quartzo pouco rolados, moscovite, feldspato, e acessoriamente biotite e turmalina.

A espessura destes Aluviões varia entre 1 e 2 metros nas linhas de água de ordem superior e atingem espessuras superiores a 5 metros nas linhas de água de ordem inferior.

1.8 Flora e Fauna

Nas margens do rio Zêzere e das ribeiras da Meimoa, Inguias e Caria é de referir o aproveitamento agrícola dos solos de aluvião, dada a sua fertilidade. Porém nas encostas é de salientar a existência de vinhas e olival e nos cabeços e encostas a norte temos como ocupação dominante o pinhal e cerejais.

Com efeito os biótopos mais representativos da área são:

- Terrenos Agrícolas com predominância de sequeiro;
- Terrenos Agrícolas densamente arborizados com árvores de fruto (oliveiras, cerejeiras, macieiras, pessegueiros e vinhas) predominantes junto das povoações;
- Terrenos Agrícolas utilizados em culturas de regadio (milho, batata, girassol e tabaco);
- Pinhais normalmente de pinheiro - bravo com pouca extensão e com estrato arbustivo abundante designadamente na zona de Fatela e Enxames;
- Eucaliptais de plantação recente e pouco representados;
- Galerias ripícolas principalmente ao longo do Zêzere e das várias ribeiras com vegetação da classe Querco-Fagetea e ainda outras que no conjunto possuem elevado valor como corredores ecológicos;
- Carvalhais, de *Quercus pyrenaica* e outros que correspondem a restos de vegetação primitiva e onde é de registar, sobretudo nas áreas de clareira o endemismo da Serra da Gardunha, *Asphodelus bento-rainhae*;
- Sobreirais que correspondem a pequenas manchas de povoamentos mistos sem estrutura de montado;
- Matos que correspondem a formações vegetais diversas associadas à sucessão secundária após incêndios florestais ou abandonos de campos.

A fauna na região da Cova da Beira é diversificada e está associada com o coberto vegetal e o uso do solo. Os diversos habitats existentes proporcionam uma riqueza faunística elevada à região.

1.9 Recursos Hídricos

A Cova da Beira é uma região bastante rica em recursos hídricos. É caracterizada pela nascente e percurso do Rio Zêzere, e ribeiras afluentes.

A área em estudo, embora tenha ligação com três bacias hidrográficas (Tejo, Mondego e Douro), relaciona-se mais diretamente com as sub-bacias dos rios Zêzere, Mondego e Côa e, ainda, com a bacia da ribeira da Meimoa (Figura 1.3).

A sub-bacia hidrográfica do Zêzere é a mais importante da área de influência do Projeto do Regadio da Cova da Beira e abrange os concelhos de Manteigas e Belmonte, com uma área de 730Km².

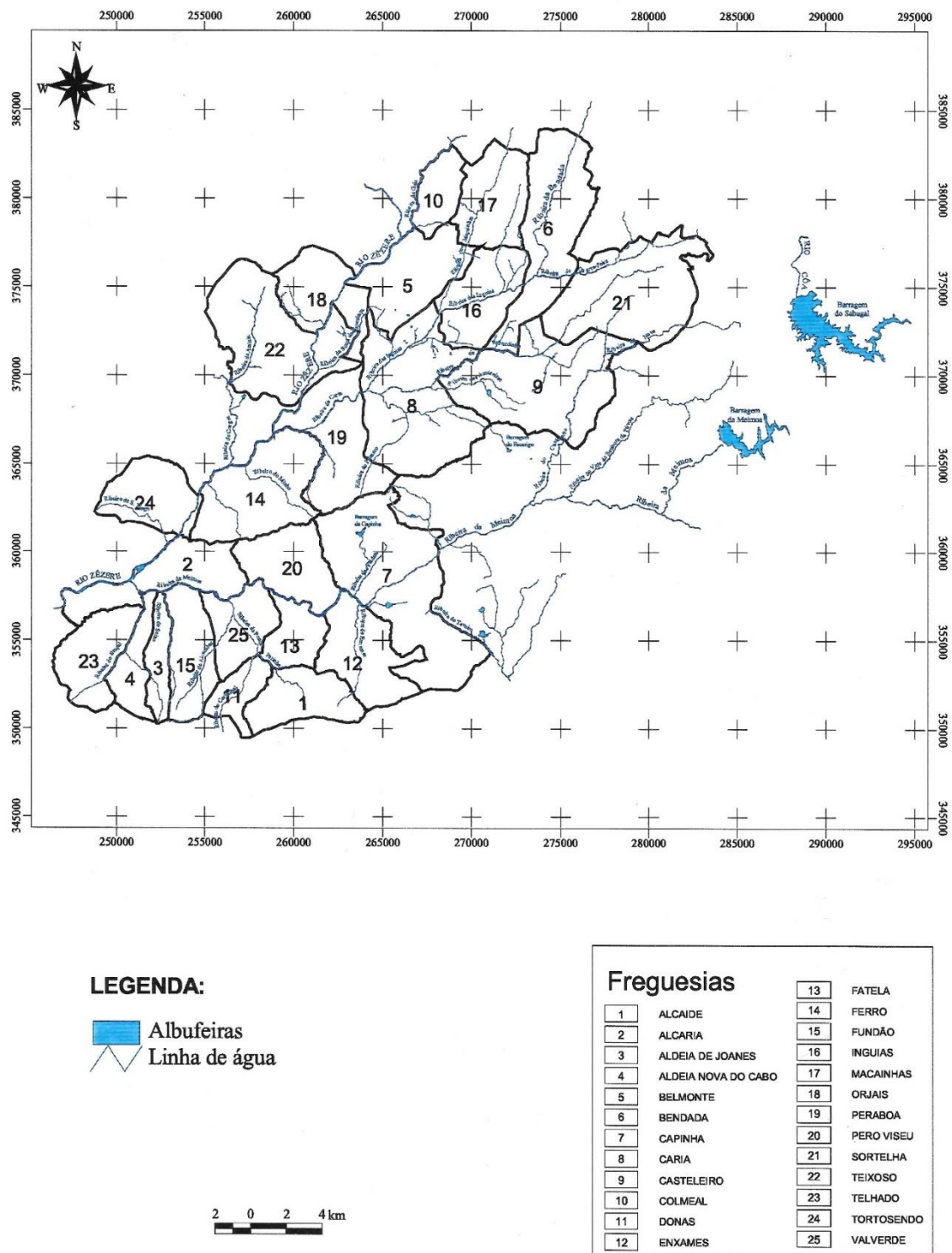


Figura 1. 3 - Rede hidrográfica da área do Projeto do Regadio da Cova da Beira (Carvalho, 2003).

Está enquadrada a norte pela bacia hidrográfica do Mondego, a sul pela ribeira da Meimoa, a Oeste pela ribeira das Cortes e a Este pelo rio Côa e tem como afluentes, na margem direita, as ribeiras das Cortes e do Paul e, na margem esquerda, as ribeiras de Caria, Ximasses e Meimoa.

A bacia hidrográfica da ribeira da Meimoa abrange os concelhos de Penamacor, Sabugal e Fundão com uma área de 470km² tendo esta ribeira como afluentes, na margem direita, as ribeiras de Vale de Lobos, Casteleiro e Poldras e, na margem esquerda, as ribeiras de Enxames, Pouca Farinha, Seixo e Braçal.

A cerca de 17km da nascente da ribeira da Meimoa encontra-se construída a barragem do mesmo nome, à qual corresponde uma área de inundação com cerca de 50km².

De referir ainda que, de um modo geral, a adaptação dos cursos de água à rede de fraturas é um fenómeno vulgar, como é demonstrado pelo paralelismo e mudança brusca de sentido de algumas linhas de água.

Os cursos de água, no seu troço mais a montante correm em vales progressivamente mais encaixados. Contudo, a maior parte dos afluentes corre por vales largos, de fundo plano e pouco caudalosos, embora de cariz torrencial durante os meses mais pluviosos (dezembro e janeiro). Como recurso de inegável valor são de considerar algumas águas de nascentes existentes na região (AGIR), nomeadamente:

- Água do Limite;
- Sete Fontes;
- Água da Gardunha;
- Alardo;
- Água de S. Gonçalo;
- Ribeiro Frio.

Refiram-se ainda, as cerca de 400 nascentes hidrotermais qualificadas. Destas 89 estão concessionadas, 48 em atividade e 32 com apenas utilização termal (Vieira, 1997).

1.10 Demografia

A Cova da Beira é uma região caracterizada por povoamento misto, concentrado na generalidade nos espaços urbanos, e bastante disperso em algumas áreas rurais, nomeadamente através de inúmeras quintas, como é o caso das Freguesias de Alcaria, Ferro, Orjais e Vila do Carvalho.

A Cova da Beira tem sido uma região marcada pelo fenómeno migratório pese embora o desenvolvimento da atividade industrial e dos serviços de proximidade. Porém, a evolução favorável das condições de vida nos últimos anos nesta região, tem sido o primeiro passo para a inversão deste fenómeno social.

Mesmo assim, a densidade populacional ainda evidencia, alguma disparidade social que acentua a pressão demográfica nos centros urbanos em detrimento das zonas rurais envolventes.

Considerando alguns fatores internos, a verdade é que nesta região nos últimos anos tem havido um retrocesso desta situação, pelo que verificámos com agrado que a população residente da Cova da Beira aumentou 0,52% e a população residente da zona de intervenção da RUDE - Associação de Desenvolvimento Rural aumentou 3,5%, cujo impacto se reflete na população residente (RUDE - Associação de Desenvolvimento Rural).

Capítulo 2

2. Caracterização Detalhada da Área de Estudo

2.1 Introdução

O concelho do Fundão situa-se no Distrito de Castelo Branco, na região centro e na sub-região da Beira Baixa designada por Cova da Beira.

É nesta área que se implanta a própria cidade do Fundão, no sopé norte da Serra da Gardunha, encostada ao Monte de S. Brás à altitude de 497 metros.

Dos concelhos que constituem a área da Cova da Beira, o concelho do Fundão é aquele que apresenta um valor de desempenho ambiental mais baixo (Vieira 1999). Assim, o concelho do Fundão constitui, um excelente caso de estudo geoambiental.

O uso sustentado dos sistemas fluviais, solos e dos aquíferos obriga a uma identificação dos problemas e à sua avaliação, com vista à criação de desenvolvimento de fundamentos científicos de apoio à gestão adequada dos impactos ambientais provocados pelas intervenções humanas.

Para a caracterização detalhada da zona de estudo é imprescindível obter dados relativos à geologia, climatologia, hidrologia e às possíveis influências antrópicas, com o objetivo de estimar a variabilidade natural e diferenciar concentrações naturais de níveis de contaminação/poluição (Dassenakis et al., 1998).

A água para efeitos de agronomia e silvicultura, está intimamente ligada a processos de infiltração, armazenamento e circulação quer superficial, quer subterrânea. Assim, a sua importância quantitativa e qualitativa é um fator de extrema importância para o desenvolvimento socioeconómico da região na qual se insere este trabalho.

Este capítulo é dedicado à descrição de algumas características geo-ecológicas da área em estudo: geologia, recursos minerais, solo, clima, rede hidrográfica, rede de fluxo subterrâneo e hidroquímica.

2.2 Localização Geográfica

A área de estudo situa-se na região centro de Portugal e encontra-se limitada pelas coordenadas militares M=251000 a 259000 e P=352000 a 358000. Insere-se entre as Serras da Estrela a noroeste e da Gardunha, a sul (Figura 2.1).

Topograficamente é uma planície ligeiramente ondulada, com cotas que varia entre os 400 e 500 metros (Ribeiro, 1949 e Van der Weijden et al, 1983).

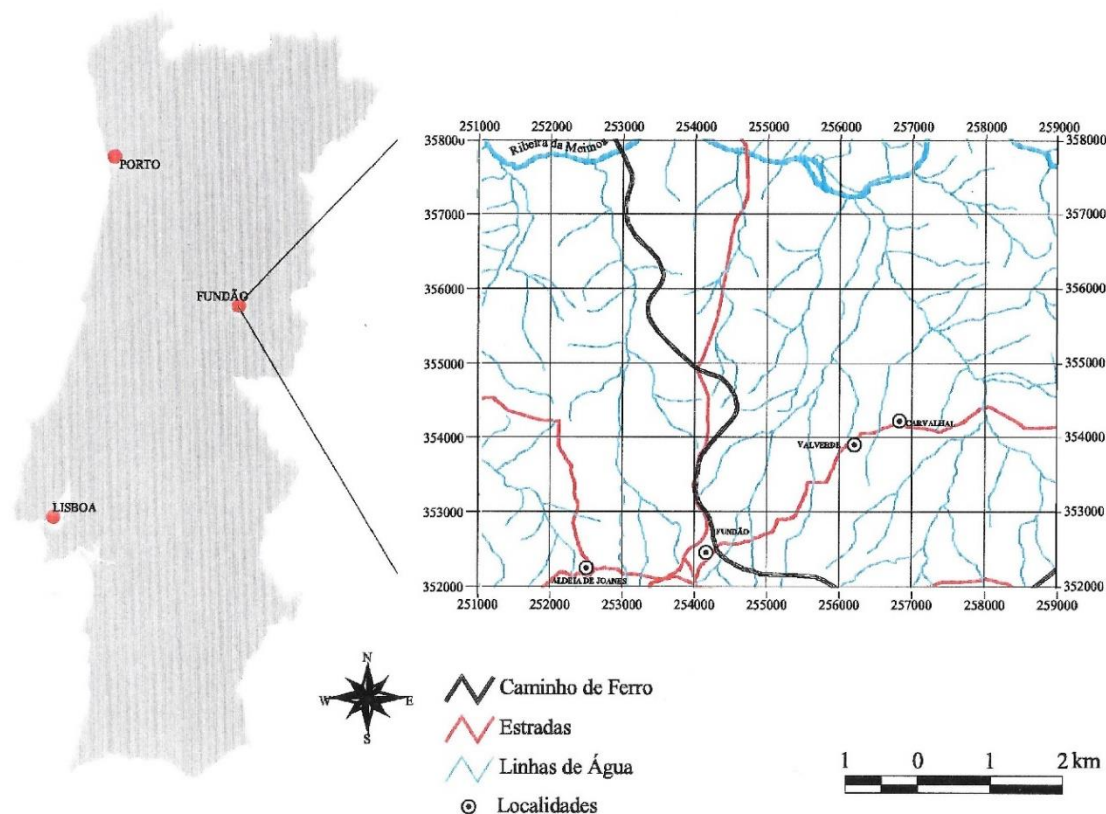


Figura 2.1 - Localização geográfica da área de estudo (Adaptado da Carta Topográfica 1:25000, N°246 dos Serviços Cartográficos do Exército).

2.3 Geologia

De acordo com a divisão geotectónica, a área situa-se na Zona Centro Ibérica. É caracterizada pela existência do plutonito hercínico do Fundão entre os batólitos herínicos mais recentes de Castelo Branco e Guarda (Figura 2.2).

O plutonito do Fundão encontra-se intruído numa faixa do Complexo Xisto-Grauváquico, constituída por alternância de xistos e grauvaques, de tonalidades diversas conforme o grau de alteração e orientados predominantemente na direção NW-SE, ou próximo dela. A auréola metamórfica envolve o plutão, logo é discordante em relação aos xistos.

O plutonito apresenta cisalhamento e milonitização nos contactos NW e NE. É formado por granitos monzoníticos (γ_3), por quartzo-dioritos biotíticos (γ_0 e γ_2) e por granodioritos biotíticos (γ_1). As diferenciações aplíticas são muito raras e as diferenciações pegmatíticas estão quase ausentes. A distribuição destas rochas no plutonito não é aleatória, formando zonas aproximadamente concêntricas e intercaladas, seguindo a sequência do exterior para o interior $\gamma_3 \rightarrow \gamma_2 \rightarrow \gamma_1 \rightarrow \gamma_0 \rightarrow$ transição entre γ_0 e $\gamma_5 \rightarrow \gamma_5$ (Costa et al, 1971).

A NE encontra-se uma formação granítica albitico-moscovítica ($\gamma 8$). De acordo com Costa et al, (1971), a estes granitos estão ligados geneticamente os aplitos, que nesta zona cortam o granito monzonítico ($\gamma 3$) do anel externo.

A formação ($\gamma 8$), designada por Plutonito de Atalaia, (Portugal Ferreira et al, (1977)), possui, segundo os referidos autores, as seguintes características gerais:

- a) É formado por granitos feldspáticos alcalino moscovíticos;
- b) São frequentes as diferenciações aplíticas com tendências estaníferas;
- c) É intrusivo no plutonito do Fundão;
- d) A intrusão foi bastante fluida, mas controlada pelas estruturas pré-existentes.

Na zona E do plutonito do Fundão surge um afloramento de xisto, em forma de arco, entre as formações ($\gamma 2$) e ($\gamma 3$), com a convexidade virada para o Fundão. Na região W o arco não se encontra completo, existindo apenas alguns fragmentos (Teixeira, C., 1983).

Apesar da pequena representatividade dos batólitos de Castelo Branco e da Covilhã na área de estudo convém referir algumas das suas características.

De acordo com Portugal Ferreira et al (1977), estes granitos são caracterizados da seguinte forma:

- a) Predominam os granitos porfiróides biotíticos na cartografia, são evidentes as estruturas anelares correspondentes essencialmente a variações texturais;
- b) São frequentes as diferenciações pegmatíticas e aplíticas cogenéticas, sendo muito acentuada a diferenciação aplítico - moscovítica no bordo N do plutonito de Castelo Branco o qual se adapta à curvatura do bordo S da estrutura anelar do Fundão.

2.4 Recursos Minerais

Em termos de mineralizações são de referir as minas de Pêro Viseu, situadas aproximadamente a NE da área de estudo.

De acordo com Bebiano (1940), a área das minas é predominantemente constituída pelo xisto sílico-argiloso do Complexo Xisto-Grauváquico. Existem igualmente nesta área dois tipos principais de granitos: granitos biotíticos porfiróides e granitos de grão médio. Estão presentes, nesta região, filões de granito pegmatítico que cortam as formações xistentas. Estes filões são constituídos por grandes cristais principalmente de quartzo, micas e ainda por feldspatos e turmalinas. Segundo o autor existe a possibilidade de estes filões pegmatíticos conterem cassiterite.

Quando aos filões metalíferos são em geral volframíticos, apresentando, com algumas exceções, orientações NW-SE e E-W. Ainda de acordo com o mesmo autor existem filões acompanhados de pirites arsenicais. O estanho em algumas regiões tem tendência para ocorrer

no granito ao passo que o volfrâmio no xisto. No caso das minas de Pêro Viseu, os filões de volframite têm pouca pirite tendo como rocha encaixante o xisto amarelo micácio pouco duro. Os filões com muita pirite encontram-se encaixados no xisto duro (Bebiano, 1940).

De acordo com Costa et al (1971), o jazigo de Sn-W de Pêro Viseu encontra-se espacial e geneticamente associado ao granito, bem como muitos outros índices de mineralizações intra graníticas (Sn-W) e as ocorrências de Fatela.

De referir ainda a existência do jazigo de Sn da Argenda, que apresenta uma grande tonelagem e baixo teor, a oeste do plutão do Fundão.

Sobre os jazigos de Pb e Zn na Beira Baixa, Thadeu (1951), refere que as ocorrências de Pb e Zn (sob a forma de galena e blenda) são do tipo filoniano com ganga de quartzo, barita e carbonatos. Algumas destas ocorrências constituem stockworks. Outro tipo é constituído por bolsadas com ganga de carbonatos dispersos no interior de caixas de falha.

Ainda de acordo com o mesmo autor são de referir na proximidade da área de estudo os jazigos de Pb e Zn de Telhado e Castelejo.

2.5 Solos

O solo é um recurso natural renovável que, de uma forma simplificada pode-se definir como a camada superficial da crosta terrestre, formada por partículas minerais de vários tamanhos, composição química diversa e matéria orgânica em diferentes fases de composição. As diferentes proporções destes componentes, o modo como se distribuem no solo e a composição da rocha mãe determinam a sua natureza.

A área do Regadio da Cova da Beira é caracterizada pela presença de vários tipos de solos (Direção Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural (2015)).

Nos Quadros 2.1 e 2.2, estão caracterizados os solos, a área total do aproveitamento hidroagrícola que estes ocupam respetivamente no Bloco do Fundão e no Bloco da Fatela.

Quadro 2.1 - Solos e área total do aproveitamento hidroagrícola que estes ocupam no Bloco do Fundão.

Bloco do Fundão		
Solos Dominantes	81,93% da área total do aproveitamento hidroagrícola	Classificação
Pgm	27,90	Solos litólicos, não húmicos, pouco insaturados, normais, de granitos em transição para quartzodioritos
Pg	26,55	Solos litólicos, não húmicos pouco insaturados, normais, de granitos
Al	14,17	Solos incipientes - aluviosolos modernos, não calcários, de textura ligeira
A	13,31	Solos incipientes - aluviosolos modernos, não calcários, de textura mediana

Quadro 2.2 - Solos e área total do aproveitamento hidroagrícola que estes ocupam no Bloco da Fatela.

Bloco da Fatela		
Solos Dominantes	82,68% da área total do aproveitamento hidroagrícola	Classificação
Al	27,74	Solos incipientes - aluviosolos modernos, não calcários, de textura ligeira
Pg	12,39	Solos litólicos, não húmicos pouco insaturados, normais, de granitos
Pgm	12,09	Solos litólicos, não húmicos, pouco insaturados, normais, de granitos em transição para quartzodioritos
Vmg	8,03	Solos argiluvitados pouco insaturados - solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais não calcários normais de quartzodioritos ou rochas cristalofílicas afins
Pgn	7,68	Solos argiluvitados pouco insaturados - solos mediterrâneos, pardos, de materiais não calcários, normais, de gnaisses ou rochas afins
Sbl	7,57	Solos incipientes - Solos de baixas (coluviosolos), não calcários, de textura ligeira
Vgn	7,18	Solos argiluvitados pouco insaturados - solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais não calcários, normais, de gnaisses ou rochas afins

2.6 Clima

O clima atual da área de estudo, apresenta características de um clima temperado, com características mediterrâneas, sendo designado, segundo a classificação de Koppen (1930), por Csa (C - clima temperado, s - seco no verão, a - temperatura do mês mais quente > 22°C). A classificação enquadra-se perfeitamente nos dois grandes domínios climáticos do território nacional, calculados por Mendes e Bettencourt (1980).

Os meses de maior precipitação e humidade relativa do ar são os de novembro, dezembro, janeiro e fevereiro, enquanto os meses de julho e agosto registam a menor precipitação.

As temperaturas médias mensais mais baixas ocorrem no mês de janeiro e as mais altas nos meses de julho e agosto.

2.7 Rede Hidrográfica

Na área de estudo destaca-se pela sua importância relativa a Ribeira da Meimoa. Em toda a área, a rede hidrográfica apresenta-se bem desenvolvida, de tipo dendrítico e com uma densidade de drenagem elevada. Do ponto de vista geológico o substrato é essencialmente constituído por rochas graníticas xistos e grauvaques, aos quais são atribuídos valores de infiltração baixos e consequentes taxas de escorrência superficial elevadas (Carvalho, 2003).

2.8 Rede de Fluxo Subterrâneo

Segundo Carvalho (2003), a superfície piezométrica é do tipo hiperbólica radial (Castany 1975). Sendo o fluxo um vetor perpendicular em cada ponto à superfície equipotencial, a rede de fluxo apresenta uma distribuição em leque, aparecendo como zonas nucleares de dispersão os pontos topograficamente mais elevados. O nível freático acompanha a topografia do local.

2.9 Hidroquímica

De acordo com Carvalho (2003), do ponto de vista hidroquímico, as águas subterrâneas da área de estudo podem ser classificadas em dois grupos, um com características intermédias clorosulfatadas predominantemente cálcicas e outro com características intermédias bicarbonatadas predominantemente sódico/potássicas.

Capítulo 3

3. Amostragem e Técnicas de Análise

3.1 Introdução

Num estudo geoambiental estão obrigatoriamente envolvidas metodologias de identificação e quantificação de contaminantes/poluentes, de que são exemplos os métodos de amostragem, a preparação das amostras, assim como os métodos instrumentais de análise química.

Neste capítulo descrevem-se as metodologias utilizadas no que concerne à amostragem, à preparação das amostras e ao método de análise química utilizada.

3.2 Águas Subterrâneas: Amostragem, Preparação Física das Amostras e Técnicas Analíticas

Na área de estudo, colheram-se 20 amostras de água durante os meses de setembro e outubro. A amostragem foi realizada em poços de grande diâmetro (Galofré e Batista, 1988), espalhados pela área de estudo (Figura 3.1 e 3.2).

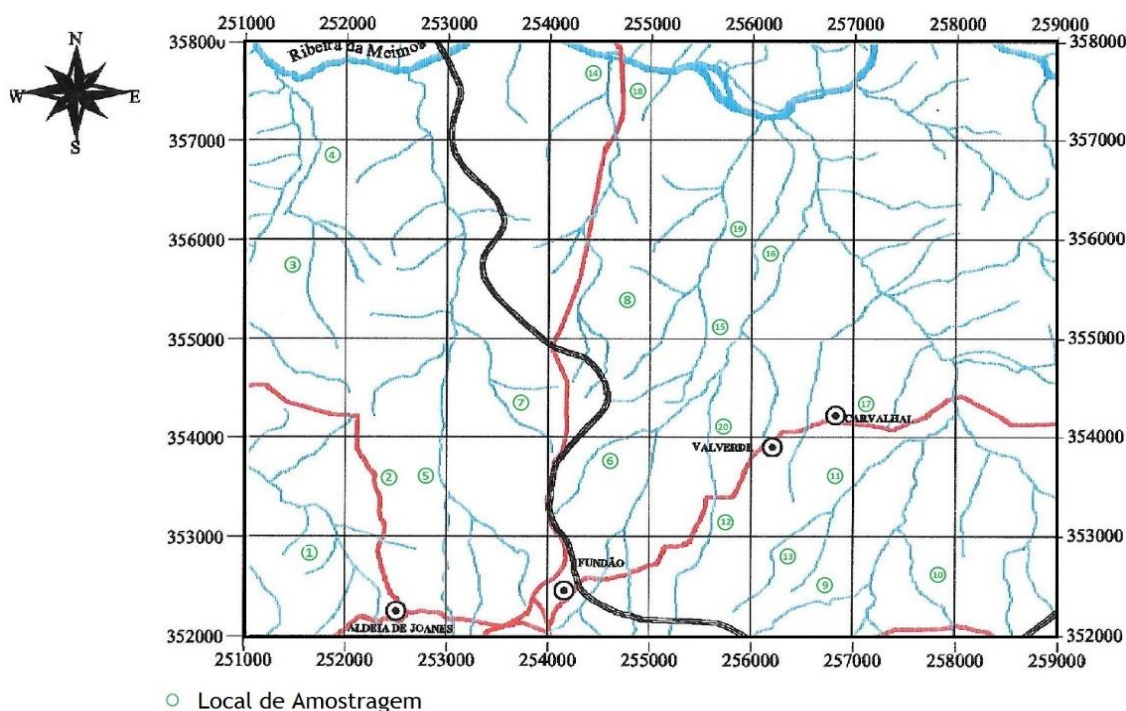


Figura 3.1 - Área de estudo com o local da recolha das 20 amostras (Adaptado da Carta Topográfica 1:25000, N^o246 dos Serviços Cartográficos do Exército).

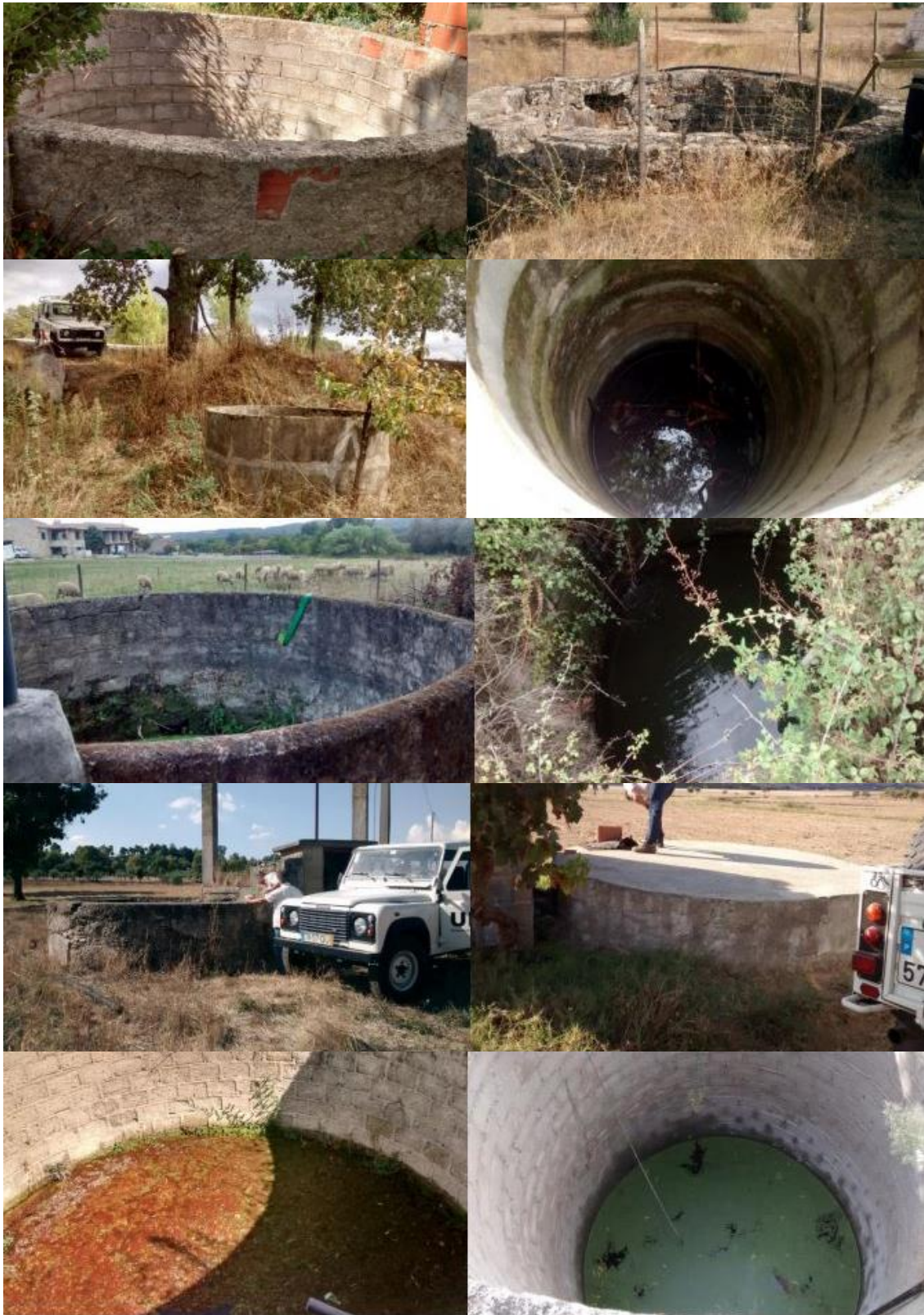


Figura 3.2 - Fotos de alguns poços de onde se retiraram as amostras de água subterrânea.

A colheita das amostras foi efetuada através da submersão de frascos de polietileno esterilizados (Figura 3.3 e 3.4). Efetuou-se a lavagem prévia dos frascos de recolha com água a amostrar a fim de se evitar possíveis contaminações.

Tomaram-se medidas adicionais de preservação das amostras de acordo com as normas propostas pela EPA (United States Environmental Agency, 1982), ASTM (American Society for Testing and Materials, 1984) e pelo Working Party on Stabilization of Samples from the Hydrochemistry Team of the German Chemists Association (1980), assim como a conservação das amostras a uma temperatura de 4°C. Scalf (in Coletto Fiano, 1988) considera que a refrigeração a temperaturas inferiores ou próximas da congelação é o melhor método de preservação.

As amostras foram analisadas no Laboratório Análises Ambientais e Alimentares, LDA. na cidade da Covilhã para os seguintes parâmetros: Cobre, Chumbo, Zinco, Níquel, Manganês, Ferro, Crómio, Magnésio, Potássio, Sódio, Fósforo, Cálcio, Nitritos, Amónio, Bicarbonatos, Nitratos, e Sulfatos.

Nas determinações laboratoriais foi utilizado o método SMEWW (Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater) e a norma 3113-B para os parâmetros: Cobre, Chumbo, Zinco, Níquel, Manganês, Crómio, Magnésio, Potássio, Sódio e Cálcio. Para os parâmetros Fósforo, Bicarbonatos, e Nitratos usou-se o mesmo método mas aplicaram-se as normas 4500 - B/C, 2320-B e 4500 NO3-E respetivamente.

Nos restantes parâmetros aplicou-se o mesmo método PT-FQ (Procedimento Técnico Físico-Química) apenas diferindo a norma, no parâmetro Ferro utilizou-se a norma 59, no Nitrito a norma 107, no Amónio a norma 10 e nos Sulfatos a norma 137.



Figura 3.3 - Método utilizado para recolher as amostras de água subterrânea.



Figura 3.4 - Colheita das amostras efetuada através da submersão de frascos de polietileno esterilizados.

Capítulo 4

4. Águas Subterrâneas: Caracterização Geoambiental

4.1 Introdução

A presença dos teores dos elementos químicos num dado ambiente geológico representa o produto “final” de uma série de processos naturais no decurso dos quais pode ocorrer “depleção” e/ou enriquecimento. A introdução de quantidades variáveis destes e dos seus compostos pelas atividades económicas vai, por sua vez, afetar mais ou menos drasticamente os padrões naturais de migração e no ambiente superficial (Moreno, 2000).

Existem atualmente muitos locais onde a contaminação/poluição se alastra a massas de água, demasiado vastas para serem reabilitadas com a tecnologia disponível e/ou a custos aceitáveis. Neste capítulo, pretende-se avaliar o comportamento das variáveis na área de estudo, utilizando como ferramentas técnicas estatísticas de análise univariada, bivariada e multivariada.

4.2 Características Amostrais Univariadas

Para se caracterizar um conjunto de dados, começa-se por calcular algumas características amostrais, de localização e de dispersão. Definem-se algumas dessas características amostrais. Mais precisamente, a média, o desvio padrão, os extremos, a mediana e os quartis (Murteira, 2007).

Dado um conjunto de observações (x_1, \dots, x_n) , diz-se que $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ é a média amostral e que $S_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$ é a variância amostral. O desvio padrão amostral é dado pela raiz quadrada positiva da variância, ou seja, $S_x = \sqrt{S_x^2}$.

A média amostral é uma medida de localização, a variância e o desvio padrão amostrais são medidas de dispersão. Estas permitem medir a variabilidade em torno da média amostral.

Um conjunto de observações (x_1, x_2, \dots, x_n) pode ser ordenado de modo ascendente, tal que $x_{1:n} \leq x_{2:n} \leq \dots \leq x_{n:n}$, sendo $x_{1:n}$ o mínimo e $x_{n:n}$ o máximo.

Tendo um conjunto ordenado de observações, pode-se calcular a mediana do seguinte modo

$$\tilde{x} = \begin{cases} x_{\frac{n+1}{2}:n} & \text{se } n \text{ é ímpar} \\ \frac{x_{\frac{n}{2}:n} + x_{\frac{n}{2}+1:n}}{2} & \text{se } n \text{ é par} \end{cases}$$

Define-se quantil de ordem p por:

$$Q_p = \begin{cases} x_{[np]+1:n} & \text{se } np \text{ é um número não inteiro} \\ \frac{x_{np:n} + x_{np+1:n}}{2} & \text{se } np \text{ é um número inteiro} \end{cases}$$

onde $[np]$ designa a parte inteira de np .

Observações:

- 1) O quantil de ordem 0,5 designa-se por mediana;
- 2) Os quantis de ordem 0,25 e 0,75 designam-se por primeiro quartil e terceiro quartil respetivamente;
- 3) Os quantis de ordem 0,1; ... ; 0,9 designam-se por decis;
- 4) Os quantis de ordem 0,01; ... ; 0,99 designam-se por percentis.

Uma representação gráfica usual para representar os extremos, os quartis e a mediana é o diagrama em caixa de bigodes.

4.3 Características Amostrais Bivariadas

Definem-se as características amostrais para o caso bivariado, ou seja, características que permitem comparar as variáveis duas a duas, de forma a avaliar o grau de associação entre as duas variáveis. Neste caso, calculam-se as covariâncias e correlações amostrais.

Considere-se um par de observações (x_i, y_i) , com $i, j = 1, \dots, n$. Pode-se proceder à sua representação gráfica num referencial cartesiano. Esse gráfico designa-se por diagrama de dispersão.

Esta representação gráfica permite avaliar o grau de associação entre duas variáveis.

Para quantificar essa associação podem usar-se duas medidas: a covariância amostral e o coeficiente de correlação linear.

A covariância amostral é dada por $cov(x, y) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$. Também pode ser denotada por S_{xy} .

A covariância é uma estatística bivariada utilizada para quantificar a associação linear entre duas variáveis. Porém, é influenciada pelas unidades de medida. Neste caso, teria de se proceder à standardização do conjunto de dados, ou por outro lado, calcular-se o coeficiente de correlação amostral.

O coeficiente de correlação ou coeficiente de correlação de Pearson é dado por $r = \frac{S_{xy}}{S_x S_y}$, ou

$$\text{seja, } r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

O coeficiente de correlação varia entre -1 e 1 e é usado para variáveis quantitativas.

4.4 Técnicas de Análise Multivariada

Procede-se ao desenvolvimento teórico das técnicas de análise multivariada a utilizar neste estudo, nomeadamente, a análise em componentes principais (ACP).

Com esta técnica pretende-se resumir a informação contida nos dados, de forma a tornar mais fácil a sua interpretação.

4.4.1 Análise em Componentes Principais

A análise em componentes principais é uma técnica de análise multivariada introduzida pelo estatístico Karl Pearson em 1901 e mais tarde desenvolvida por Hotelling em 1933.

Trata-se de um método de análise multivariada que consiste em transformar um conjunto de variáveis originais correlacionadas num conjunto de novas variáveis não correlacionadas: as componentes principais. As variáveis originais e as componentes principais têm a mesma dimensão.

O principal objetivo da Análise em Componentes Principais é a redução da dimensionalidade, ou seja, a diminuição do número de componentes, de forma a explicar a variabilidade dos dados. Esta redução consegue-se uma vez que as variáveis originais estão correlacionadas, sendo algumas delas redundantes, ao passo que as componentes principais são não correlacionadas, podendo explicar a informação dada pelas variáveis originais com um menor número de componentes. Caso as variáveis originais estejam fracamente correlacionadas, as componentes principais vão coincidir com as variáveis originais.

Estas novas variáveis (as componentes principais) são uma combinação linear das variáveis originais, com uma ordem decrescente de importância. A primeira componente principal é a mais importante, uma vez que descreve a maior parte da variabilidade dos dados.

Pretende-se que este número de componentes principais seja o menor possível, ou seja, parte-se de p variáveis originais para k componentes principais, com k muito inferior a p , de modo que a perda de informação seja a menor possível.

Assim sendo, se as variáveis originais estiverem muito correlacionadas, o número de componentes principais que expliquem a variabilidade é reduzido. Caso as variáveis originais estejam pouco correlacionadas essa redução é pouco significativa.

4.4.2 O Modelo Matemático

Considere-se o modelo matemático para as componentes principais

$$Y_j = a_{1j}X_1 + a_{2j}X_2 + \dots + a_{pj}X_p$$

$Y = AX$, em que X_1, \dots, X_p são as variáveis originais, Y_1, \dots, Y_p são as componentes principais não correlacionadas e de variância decrescente e a_{ij} é o peso da j -ésima variável com a i -ésima componente principal, representados na matriz A de ordem p (Chatfield, 1980).

Para a determinação das componentes principais tem de se utilizar a matriz de covariâncias amostral ou a matriz de correlações amostral. Quando as escalas de medida das variáveis são diferentes usa-se a matriz de correlações amostral. Desta forma torna-se possível a comparação.

De salientar que, pelo facto de não existir invariância de escala na Análise em Componentes Principais, as componentes obtidas são diferentes quando se usa a matriz de covariâncias e quando se usa a matriz de correlações. As componentes principais obtidas também são diferentes quando a unidade de medida das variáveis originais é alterada (Gnanadesikan, 1997). Para determinar as componentes principais, começa-se por calcular os valores próprios da matriz de correlações amostral, seguidamente determinam-se os vetores próprios associados a cada valor próprio.

Desta forma, cada componente principal é um vetor próprio associado a cada um dos valores próprios. Mais precisamente, a primeira componente principal corresponde ao vetor próprio associado ao maior valor próprio. A segunda componente principal corresponde ao vetor próprio associado ao segundo maior valor próprio e, assim por diante, de modo que as componentes principais sejam ortogonais entre si.

Designam-se os valores próprios da matriz de correlações amostral por $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_p$ e tem-se que $\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3 > \dots > \lambda_p \geq 0$. Estes valores próprios representam a variância das componentes principais, ou seja, $var(Y_j) = \lambda_j$. A ordenação das componentes principais é feita através da ordenação dos valores próprios, de modo que à i -ésima componente principal corresponda o i -ésimo maior valor próprio. No modelo matemático para as componentes principais

$$Y_j = \sum_{i=1}^p a_{ij} X_i$$

com $j = 1, \dots, p$, os a_{ij} são estimados de modo que a primeira componente contenha a maior variância (maior valor próprio) e assim por diante. Esses pesos são dados pelos vetores próprios associados a cada valor próprio. Tem-se que,

$$\begin{aligned} a_{i1}^2 + \dots + a_{ip}^2 &= 1 \quad \text{com } i = 1, \dots, p \text{ e,} \\ a_{i1} a_{j1} + \dots + a_{ip} a_{jp} &= 0 \quad \text{para todo o } i \text{ diferente de } j. \end{aligned}$$

Os pesos das componentes principais (a_{ij}) representam a importância relativa das variáveis originais em cada componente principal.

Os y_j observados designam-se por scores das componentes principais.

A correlação entre as variáveis originais e as componentes principais designa-se por *loading*. Estes fornecem a indicação de como as variáveis originais são importantes para a formação das componentes principais. Assim sendo, *loadings* próximos de um indicam que essa variável é importante na formação da componente principal, enquanto *loadings* próximos de zero indicam que a variável não é importante na formação da componente principal. Os *loadings* são significantes se forem maiores que 0,3 em valor absoluto. O *loading* da j-ésima variável com a i-ésima componente principal é dado por:

$$l_{ij} = \frac{a_{ij}}{s_j} \sqrt{\lambda_i}$$

em que a_{ij} é o peso da j-ésima variável com a i-ésima componente principal, λ_i é o valor próprio da i-ésima componente principal e s_j é o desvio padrão da j-ésima variável.

A comunalidade da j-ésima variável é dada por $c_j = \sum_{i=1}^p a_{ij}^2$, que se refere à proporção de variância das variáveis que são explicadas pelas componentes principais.

Neste processo, a variância é preservada, uma vez que a soma das variâncias das variáveis originais é igual à soma das variâncias das componentes principais.

4.5 Análise Exploratória dos Dados

4.5.1 Características Amostrais Utilizando a Análise Estatística Univariada

No Quadro 4.1 apresentam-se algumas características amostrais para as 20 amostras de água subterrânea analisadas.

Da análise do Quadro 4.1 pode-se observar que para o caso do Cobre, Chumbo, Zinco, Níquel e Crómio estatisticamente não apresentam qualquer característica amostral válida, uma vez que os valores que resultaram das análises químicas estão todos abaixo do limite de quantificação. Na Figura 4.1 apresentam-se os diagramas em caixa de bigodes paralelos para as variáveis analisadas.

Na Figura 4.2 apresentam-se os histogramas para as variáveis analisadas.

Da análise do Quadro 4.1, Figura 4.1 e Figura 4.2 pode-se observar:

- As concentrações de Manganês variam entre 0,07 e 0,44. Esta variável apresenta uma média de 0,1830 superior à mediana (0,1550). No que diz respeito à assimetria apresenta um valor positivo;

Quadro 4. 1 - Características amostrais para as 20 amostras de água subterrânea analisadas.

	Cu	Pb	Zn	Ni	Mn	Fe	Cr	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	P	Ca ²⁺	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
Média	0,5	0,1	0,5	0,05	0,1830	0,0115	0,5	15,5930	0,1795	11,7110	2,12	7,607	0,034	0,182	30,2	2,264	16,65
Mediana	0,5	0,1	0,5	0,05	0,1550	0,0100	0,5	12,7650	0,1850	11,2800	2,00	5,2350	0,0300	0,0500	12,5000	2,2200	16,0000
Moda	0,5	0,1	0,5	0,05	0,09	0,01	0,5	1,34	0,07	4,90	1,50	3,53	0,03	0,03	1,00	2,22	6,00
Desvio Padrão	0	0	0	0	0,09879	0,00489	0	9,84862	0,09627	2,81054	0,72446	5,75202	0,01231	0,27422	37,68233	0,13543	11,12737
Variancia	0	0	0	0	0,010	0	0	96,995	0,009	7,899	0,525	33,086	0	0,075	1419,958	0,018	123,818
Amplitude	0	0	0	0	0,37	0,02	0	31,88	0,34	11,45	2,50	18,30	0,04	0,92	145,00	0,44	39,00
Mínimo	0,5	0,1	0,5	0,05	0,07	0,01	0,5	1,34	0,02	4,90	1,50	1,62	0,03	0,03	1,00	2,22	2,00
Máximo	0,5	0,1	0,5	0,05	0,44	0,03	0,5	33,22	0,36	16,35	4,00	19,92	0,07	0,95	146,00	2,66	41,00
Percentis	25	0,5	0,1	0,5	0,05	0,1025	0,5	7,8550	0,0950	9,8650	1,50	3,2150	0,0300	0,0300	1,0000	2,2200	6,7500
	50	0,5	0,1	0,5	0,05	0,1550	0,5	12,7650	0,1850	11,2800	2,00	5,2350	0,0300	0,0500	12,5000	2,2200	16,0000
	75	0,5	0,1	0,5	0,05	0,2375	0,5	25,4725	0,2450	14,0425	2,80	11,5100	0,0300	0,2900	55,7500	2,2200	23,5000
Assimetria	0	0	0	0	1,090	3,436	0	0,305	0,193	-0,357	1,187	1,035	2,888	1,950	1,688	2,888	0,821

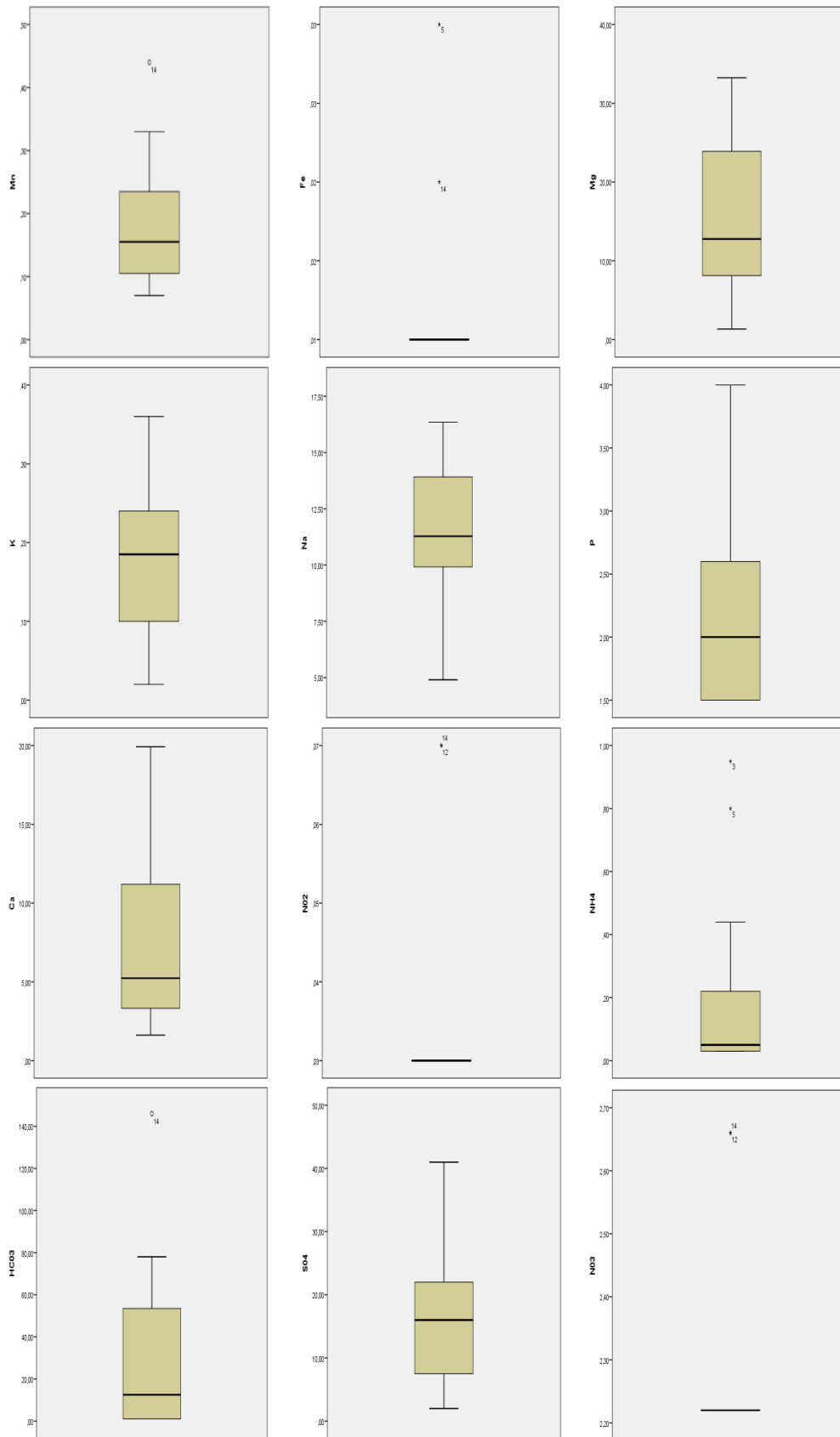


Figura 4.1 - Diagramas em caixa de bigodes paralelos para as variáveis analisadas.



Figura 4.2 - Histogramas para as variáveis analisadas.

- Para a variável Ferro, as concentrações variam num intervalo entre 0,01 e 0,03 e apresentam uma pequena variabilidade em torno da média (0,0115);
- O Magnésio apresenta uma assimetria ligeiramente positiva com uma amplitude de valores de 31,88;
- As concentrações de Potássio nas amostras analisadas apresentam um mínimo de 0,02 e um máximo de 0,36, apresentando uma média de 0,1795 inferior à mediana (0,1850);
- O Sódio é a única variável analisada que apresenta uma assimetria negativa. A média (11,7110) é ligeiramente superior à mediana (11,2800);
- O Fósforo apresenta numa amplitude de valores de 2,50 com uma pequena variabilidade de valores em relação à média;
- Para a variável Cálcio observa-se um valor médio de 7,6070, apresentando um desvio padrão de 5,75202. Apresenta uma assimetria ligeiramente positiva;
- Os Nitritos apresentam os mesmos valores para o 1º quartil, 2º quartil e 3º quartil (0,03). Tal motivo deve-se ao facto de que na população amostral apenas duas amostras apresentam um valor diferente de 0,03 nomeadamente as amostras n.º12 e n.º14;
- No caso da variável Amónio as concentrações variam entre 0,03 e 0,95. Apresenta uma assimetria positiva (1,950) e uma ligeira variabilidade de valores em torno do valor médio;
- Os Bicarbonatos apresentam um valor médio 30,2 e uma assimetria positiva (1,688);
- A variável Nitratos apresenta uma assimetria positiva (2,888). Apresenta os mesmos valores nos 3 quartis uma vez que apenas 2 amostras possuem valores diferentes de 22,200, nomeadamente as amostras número 12 e 14;
- No que concerne à variável Sulfatos apresenta um valor mínimo de 2,00 e um valor máximo 41,00. A variabilidade dos valores é baixa em torno do valor médio (16,6500);
- Todas as variáveis apresentam uma assimetria positiva com a exceção da variável Sódio;
- Em todas as variáveis observa-se que a variabilidade dos valores em torno da média é pequena.

4.5.2 Características Amostrais Utilizando a Análise Estatística Bivariada

No sentido de se identificarem as correlações entre as diferentes variáveis analisadas utilizou-se o método de correlação de Pearson.

No Quadro 4.2 apresentam-se os valores de correlação de Pearson para uma correlação significativa no nível 0,05.

Quadro 4.2 Coeficientes de correlação de Pearson para as variáveis analisadas.

Correlação de Pearson	Mn	Fe	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	P	Ca ²⁺	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
Mn	1	0,469	-0,005	0,512	-0,230	0,664	0,019	0,284	0,251	0,488	0,284	-0,331
Fe	0,469	1	0,228	0,516	-0,032	0,243	0,515	0,245	0,586	0,438	0,245	-0,193
Mg ²⁺	-0,005	0,228	1	0,458	0,826	0,395	0,826	0,505	0,233	0,579	0,505	0,745
K ⁺	0,512	0,516	0,458	1	0,275	0,500	0,500	0,126	-0,035	0,675	0,126	0,162
Na ⁺	-0,230	-0,032	0,826	0,275	1	0,154	0,545	0,356	0,077	0,370	0,356	0,743
P	0,664	0,243	0,395	0,500	0,154	1	0,207	0,415	-0,038	0,571	0,415	0,213
Ca ²⁺	0,019	0,515	0,826	0,500	0,545	0,207	1	0,333	0,312	0,509	0,333	0,433
NO ₂ ⁻	0,284	0,245	0,505	0,126	0,356	0,415	0,333	1	0,322	0,652	1,000	0,364
NH ₄ ⁺	0,251	0,586	0,233	-0,035	0,077	-0,038	0,312	0,322	1	0,205	0,322	0,022
HCO ₃ ⁻	0,488	0,438	0,579	0,675	0,370	0,571	0,509	0,652	0,205	1	0,652	0,354
NO ₃ ⁻	0,284	0,245	0,505	0,126	0,356	0,415	0,333	1,000	0,322	0,652	1	0,364
SO ₄ ²⁻	-0,331	-0,193	0,745	0,162	0,743	0,213	0,433	0,364	0,022	0,354	0,364	1

Da análise do Quadro 4.2 pode-se observar que:

- A variável Mn apresenta valores de correlação baixos, inferiores a 0,664 em módulo. Está ligeiramente correlacionada positivamente com as variáveis K⁺ e P e apresenta uma correlação nula com as variáveis Mg²⁺ e Ca²⁺;
- A variável Fe está ligeiramente correlacionada positivamente com as variáveis K⁺, Ca²⁺ e NH₄⁺;
- A variável Mg²⁺ está correlacionada positivamente com as variáveis Na⁺, Ca²⁺ e SO₄²⁻ e apresenta uma correlação nula com a variável Mn;
- A variável K⁺ está ligeiramente correlacionada positivamente com a variável HCO₃⁻;
- A variável Na⁺ encontra-se correlacionada com as variáveis Mg²⁺ e SO₄²⁻;
- No caso da variável P, apresenta valores de correlação superiores a 0,5 para as variáveis Mn e HCO₃⁻;
- A variável Ca²⁺ está correlacionada com a variável Mg²⁺ e apresenta uma correlação nula com a variável Mn;
- A variável NO₂⁻ está ligeiramente correlacionada positivamente com a variável HCO₃⁻;
- A variável NH₄⁺ não está correlacionada com nenhuma variável, apresentando no entanto o valor de 0,586 com a variável Fe;
- A variável HCO₃⁻ está ligeiramente correlacionada positivamente com as variáveis Mg²⁺, K⁺, P, NO₂⁻ e NO₃⁻;
- A variável NO₃⁻ está ligeiramente correlacionada positivamente com a variável HCO₃⁻;
- A variável SO₄²⁻ apresenta uma correlação positiva com as variáveis Mg²⁺ e Na⁺;
- Da observação do Quadro 4.2 podemos ainda observar que na amostra global as correlações apresentam valores baixos, inferiores a 0,826.

4.5.3 Análise Multivariada

No sentido da exploração dos dados utilizando a análise multivariada, utilizou-se o método da análise em componentes principais (ACP).

Este estudo tem por base 20 amostras e 12 variáveis. Excluíram-se as variáveis Cu, Pb, Zn, Ni e Cr em virtude de estas apresentarem uma variabilidade nula em torno da média.

Com o objetivo de tentar esclarecer as relações entre as variáveis, criou-se uma matriz gerada a partir do binômio número total de amostras versus variáveis (20 x12).

Parte-se de um conjunto de 12 variáveis e pretende-se encontrar um novo conjunto de variáveis não correlacionadas, as componentes principais. Estas são uma combinação linear das variáveis originais. Deste modo, um menor número destas variáveis poderá explicar uma percentagem significativa da variabilidade dos dados. Caso a explicação fosse total, teríamos de usar as 12 componentes principais e o estudo seria desnecessário.

A determinação das componentes principais a reter obedece, em geral, a um critério empírico na base dos valores próprios superiores a 1 (Davis, 1986).

Nos Quadros 4.3 e 4.4 apresentam-se, respetivamente as coordenadas das variáveis ativas nos eixos fatoriais, os valores próprios e percentagem da variância explicada, para cada um dos eixos fatoriais resultantes da análise em componentes principais das 20 amostras de água subterrânea.

Quadro 4.3 - Coordenadas das variáveis ativas nos eixos fatoriais.

	1	2	3	4
Mn	0,382	0,828	-0,059	-0,222
Fe	0,498	0,572	-0,6	0,563
Mg²⁺	0,855	-0,421	-0,156	0,113
K⁺	0,616	0,308	-0,65	-0,017
Na⁺	0,623	-0,643	-0,132	0,038
P	0,606	0,35	-0,191	-0,511
Ca²⁺	0,738	-0,189	-0,246	0,452
NO₂⁻	0,752	0,018	0,0583	-0,233
NH₄⁺	0,363	0,24	0,464	0,651
HCO₃⁻	0,856	0,208	-0,061	-0,169
NO₃⁻	0,752	0,018	0,583	-0,233
SO₄²⁻	0,556	-0,711	-0,047	-0,127

Quadro 4.4 - Valores próprios e percentagem da variância explicada, para cada um dos eixos fatoriais.

Eixo	Valor Próprio	Percentagem da Variância Explicada	Percentagem da Variância Cumulativa
1	5,109	42,574	42,574
2	2,464	20,531	63,105
3	1,471	12,257	75,362
4	1,424	11,868	87,229
5	0,520	4,330	91,560
6	0,358	2,982	94,541
7	0,721	2,262	96,803
8	0,197	1,638	98,441
9	0,123	1,027	99,469
10	0,044	0,366	99,835
11	0,020	0,165	100,00
12	2,082E-16	1,735E-15	100,00

Da observação dos Quadros 4.3 e 4.4 verifica-se:

- A retenção dos quatro primeiros eixos fatoriais que explicam 87,229% da variância total. (Utilizando este método reduziu-se a “dimensionalidade” do problema, 12 variáveis originais, para 4 variáveis “latentes”);
- O eixo fatorial 1 explica as variáveis Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , P , Ca^{2+} , NO_2^- , HCO_3^- , NO_3^- e SO_4^{2-} ;
- O eixo fatorial 2 explica as variáveis Mn , Fe , em oposição às variáveis Na^+ e SO_4^{2-} ;
- O eixo fatorial 3 explica a variável K^+ ;
- O eixo fatorial 4 explica a variável NH_4^+ .

As comunalidades são quantidades das variâncias (correlações) de cada variável explicada pelos fatores. Quanto maior a comunalidade, maior será o poder de explicação daquela variável pelo fator.

No Quadro 4.5. apresentam-se as comunalidades iniciais (com todos os fatores) e as extraídas (com 4 fatores). Todas as comunalidades têm um valor alto. Deste modo, as variáveis são bem explicadas pelos fatores.

Quadro 4.5 - Comunalidades iniciais e as extraídas.

	Inicial	Extracção
Mn	1,000	0,884
Fe	1,000	0,896
Mg²⁺	1,000	0,945
K⁺	1,000	0,898
Na⁺	1,000	0,821
P	1,000	0,787
Ca²⁺	1,000	0,846
NO₂⁻	1,000	0,960
NH₄⁺	1,000	0,829
HCO₃⁻	1,000	0,809
NO₃⁻	1,000	0,960
SO₄²⁻	1,000	0,833

Na Figura 4.3 apresenta-se a projeção das diferentes variáveis no primeiro plano principal, não tendo sido projetadas as variáveis que apresentam um coeficiente de correlação com este inferior a 0,5.

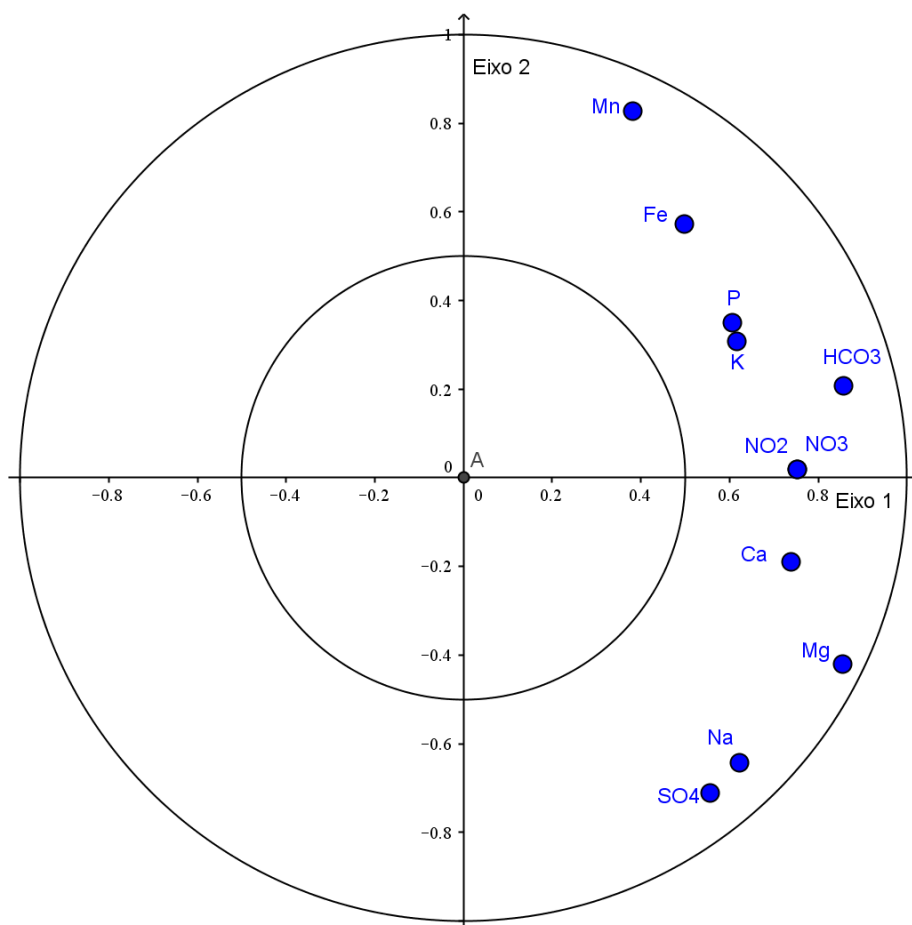


Figura 4.3 - Projeção das diferentes variáveis no primeiro plano principal.

Da análise dos Quadros 4.3 e 4.4 e da Figura 4.3 podemos concluir:

- O primeiro plano principal constituído pelos eixos principais 1 e 2 contém 63,105% da informação contida na matriz de correlação;
- O eixo 1 explica a associação (P e K⁺), cuja origem deverá ser imputada à atividade agrícola da região e a associação (NO₂⁻-e NO₃⁻), cuja origem se deve à atividade agropecuária praticada na região. Este eixo ainda explica as variáveis SO₄²⁻, Na⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ que evidencia o quimismo natural da água subterrânea da região;
- O eixo 2 separa a componente agrícola e agropecuária da componente que evidencia a matriz química natural da água subterrânea da área de estudo;
- O eixo 2 explica a associação (Mn e Fe), cuja origem deverá ser encontrada na complexidade geológica da região.

Capítulo 5

5. Qualidade Química da Água Subterrânea para Uso Agrícola

5.1 Introdução

Os critérios e normas de qualidade da água para uso agrícola e humano visam proteger a saúde pública, a qualidade das águas superficiais e subterrâneas, as culturas que podem ser afetadas pela má qualidade da água e o solo, cuja aptidão para a prática da agricultura, pode ser degradado pelo uso sistemático de água de má qualidade.

A avaliação genérica da qualidade da água engloba a verificação de um conjunto alargado de características químicas, físicas e biológicas.

Quando o objetivo é a utilização da água para rega, os parâmetros determinantes na avaliação da qualidade são, entre outros, a quantidade total de sais (salinidade) e a concentração e proporção de alguns iões.

A avaliação da qualidade da água de rega nas explorações agrícolas é muito importante, dado que o excesso de sais ou o seu desequilíbrio além de causar danos às culturas, pode acelerar processos de degradação física e química do solo e, conseqüentemente, diminuir a sua fertilidade.

Por outro lado, a água de rega pode veicular nutrientes necessários às culturas que, devidamente contabilizados, podem diminuir a quantidade de adubos a aplicar significando, assim, uma poupança nos custos de produção.

O controlo da qualidade da água de rega é, pois, um dos objetivos da boa gestão da rega, de forma a permitir que se encontre em condições que favoreçam o desenvolvimento de culturas, e como consequência a obtenção de produções mais elevadas.

A boa gestão da rega deverá, também, conduzir à redução do desperdício de água, aspeto particularmente importante nas nossas condições climáticas, dado tratar-se de um recurso natural escasso que importa preservar.

O Decreto Lei N.º 236/98 de 1 de Agosto estabelece normas, critérios e objetivos de qualidade com a finalidade de proteger o meio aquático e melhorar a qualidade das águas em função dos seus principais usos, definindo os requisitos a observar na utilização das águas para os seguintes fins: águas para consumo humano, águas para suporte da vida aquícola, águas balneares e águas de rega; assim como as normas de descarga das águas residuais na água e no solo. Atribui competências a diversas entidades relativa e especificamente a cada um daqueles domínios, no que respeita ao licenciamento, inspeção, fiscalização, vigilância e classificação e inventário das águas.

5.2 Qualidade das Águas Subterrâneas na Área de Estudo

No Quadro 5.1 apresentam-se as concentrações obtidas para as variáveis Cobre, Chumbo, Zinco, Níquel, Manganês, Ferro, Crómio, Magnésio, Potássio, Sódio, Fósforo, Cálcio, Nitritos, Amónio, Bicarbonatos, Nitratos, e Sulfatos nas águas subterrâneas na área de estudo.

No Quadro 5.2, apresentam-se os valores máximos recomendáveis (VRM) e os valores máximos admissíveis (VMA), no que concerne à qualidade química da água de rega para as seguintes variáveis Cu, Pb, Zn, Ni, Mn, Fe, Cr, NO_3^- e SO_4^{2-} . (Decreto Lei N.º 236/98 de 1 de Agosto).

Quadro 5.2 - Valores máximos recomendáveis (VRM) e os valores máximos admissíveis (VMA), no que concerne à qualidade química da água de rega para as variáveis Cu, Pb, Zn, Ni, Mn, Fe, Cr, NO_3^- e SO_4^{2-} . (Decreto Lei N.º 236/98 de 1 de Agosto).

Variável	VMR (mg/l)	VMA (mg/l)
Cu	0.20	5.0
Pb	5.0	20.0
Zn	2.0	10.0
Ni	0.5	2.0
Mn	0.20	10.0
Fe	5.0	
Cr	0.10	20.0
NO_3^-	50.0	
SO_4^{2-}	575.0	

No caso do Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , P, Ca^{2+} , NH_4^+ e HCO_3^- , a legislação Portuguesa não contempla qualquer informação sobre estas variáveis no que concerne à qualidade química da água para rega. Neste sentido optou-se por utilizar os valores propostos por Ayers and Westcot (1976 e 1991) e Aragués et al. (1979).

No quadro 5.3 apresentam-se os Valor Máximo Recomendável da concentração das variáveis Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , P, Ca^{2+} , NH_4^+ e HCO_3^- na água de rega (Ayers and Westcot (1976 e 1991) e Aragués et al. (1979)).

Quadro 5.3 - Valor Máximo Recomendável para as variáveis Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , P, Ca^{2+} , NH_4^+ e HCO_3^- na água de rega (Ayers and Westcot (1976 e 1991) e Aragués et al. (1979)).

Variável	VMR (mg/l)
Mg^{2+}	60.0
K^+	2.0
Na^+	920.0
P	2.0
Ca^{2+}	400.0
NH_4^+	5.0
HCO_3^-	610.0

Quadro 5.1- Concentrações obtidas para as variáveis Cobre, Chumbo, Zinco, Níquel, Manganês, Ferro, Crômio, Magnésio, Potássio, Sódio, Fósforo, Cálcio, Nitritos, Amônio, Bicarbonatos, Nitratos, e Sulfatos nas águas subterrâneas na área de estudo.

Amostra	Cu [mg/L]	Pb [mg/L]	Zn [mg/L]	Ni [µg/L]	Mn [mg/L]	Fe [mg/L]	Cr [µg/L]	Mg ²⁺ [mg/L]	K ⁺ [mg/L]	Na ⁺ [mg/L]	P [mg/L]	Ca ²⁺ [mg/L]	NO ₂ ⁻ [mg/L]	NH ₄ ⁺ [mg/L]	HCO ₃ ⁻ [mg/L]	NO ₃ ⁻ [mg/L]	SO ₄ ²⁻ [mg/L]
1	0,5	0,1	0,5	0,05	0,10	0,01	0,5	1,34	0,06	8,56	1,5	1,62	0,03	0,05	1	2,22	6
2	0,5	0,1	0,5	0,05	0,12	0,01	0,5	3,10	0,12	11,16	1,5	1,83	0,03	0,08	1	2,22	19
3	0,5	0,1	0,5	0,05	0,23	0,01	0,5	13,07	0,07	11,40	1,5	4,17	0,03	0,95	7	2,22	18
4	0,5	0,1	0,5	0,05	0,07	0,01	0,5	12,34	0,02	12,52	1,5	3,11	0,03	0,36	1	2,22	9
5	0,5	0,1	0,5	0,05	0,27	0,03	0,5	20,32	0,32	10,03	2,0	19,92	0,03	0,80	49	2,22	6
6	0,5	0,1	0,5	0,05	0,13	0,01	0,5	16,19	0,19	13,21	1,5	8,43	0,03	0,05	1	2,22	19
7	0,5	0,1	0,5	0,05	0,11	0,01	0,5	20,77	0,22	12,78	3,0	6,09	0,03	0,07	18	2,22	31
8	0,5	0,1	0,5	0,05	0,08	0,01	0,5	27,10	0,23	13,66	2,1	19,49	0,03	0,06	60	2,22	25
9	0,5	0,1	0,5	0,05	0,09	0,01	0,5	11,59	0,09	10,66	1,5	4,38	0,03	0,03	1	2,22	15
10	0,5	0,1	0,5	0,05	0,18	0,01	0,5	27,52	0,25	16,35	2,0	13,11	0,03	0,03	1	2,22	14
11	0,5	0,1	0,5	0,05	0,13	0,01	0,5	2,43	0,11	9,32	1,5	2,26	0,03	0,03	1	2,22	2
12	0,5	0,1	0,5	0,05	0,09	0,01	0,5	33,22	0,07	15,04	2,0	15,87	0,07	0,44	58	2,66	39
13	0,5	0,1	0,5	0,05	0,14	0,01	0,5	31,16	0,22	15,98	3,0	11,83	0,03	0,05	47	2,22	41
14	0,5	0,1	0,5	0,05	0,44	0,02	0,5	27,04	0,36	14,24	4,0	10,55	0,07	0,44	146	2,66	18
15	0,5	0,1	0,5	0,05	0,17	0,01	0,5	10,74	0,27	10,81	1,5	3,53	0,03	0,03	34	2,22	17
16	0,5	0,1	0,5	0,05	0,21	0,01	0,5	19,89	0,32	14,17	2,2	8,00	0,03	0,03	78	2,22	25
17	0,5	0,1	0,5	0,05	0,32	0,01	0,5	7,59	0,12	10,50	3,1	3,53	0,03	0,03	7	2,22	6
18	0,5	0,1	0,5	0,05	0,33	0,01	0,5	5,34	0,18	4,90	3,0	2,89	0,03	0,04	6	2,22	3
19	0,5	0,1	0,5	0,05	0,21	0,01	0,5	8,65	0,16	9,12	2,0	4,17	0,03	0,04	23	2,22	9
20	0,5	0,1	0,5	0,05	0,24	0,01	0,5	12,46	0,21	9,81	2,0	7,36	0,03	0,03	64	2,22	11

A observação dos Quadros 5.1, 5.2 e 5.3, permite-nos concluir que apenas as variáveis Mn e P apresentam amostras com valores superiores ao Valor Máximo Recomendável. No caso da variável Mn, 40% das amostras possuem uma concentração superior a 0.20 mg/l e no caso da variável P, 35% das amostras possuem uma concentração superior a 2.0 mg/l.

Podemos ainda concluir que nenhuma das variáveis apresenta valores superiores ao Valor Máximo Admissível.

O fósforo é um dos elementos essenciais às plantas. Possui uma distribuição muito irregular na natureza. A presença deste elemento em baixas concentrações limita a produção agrícola. Neste sentido é largamente utilizado em áreas de cultivo (Novais; Smyth, 1999). Quando aplicado ao solo em excesso é um potencial poluidor especialmente em águas superficiais e subterrâneas.

A mobilidade do fósforo na maioria dos solos é baixa, permanecendo assim onde é colocado, seja por meteorização dos minerais, seja por adubação. Raramente é perdido por lixiviação. A sua presença em concentrações elevadas nas águas subterrâneas pode ser um indicador de uma utilização excessiva na prática agrícola.

Na zona de estudo 35% das amostras de água subterrânea apresentam concentrações de fósforo superiores ao Valor Máximo Recomendável, o que implica que se deverá ter uma especial atenção à utilização deste elemento na prática agrícola.

A presença do Manganês nas águas subterrâneas deve-se principalmente a meteorização dos minerais presentes no solo. A sua presença em concentrações elevadas na água subterrânea é prejudicial à prática agrícola. Este elemento é tóxico para algumas culturas em concentrações desde algumas décimas até poucos mg/l.

Os nitritos são produto da oxidação do amónio ou da redução dos nitratos. Na água, em condições de oxidação normais, a conversão dos nitritos em nitratos é quase imediata. A sua presença na água deverá, por isso ser pontual e temporária. Qualquer acumulação reflete a existência de processos inibitórios da formação dos nitratos. As suas concentrações são, em regra, relativamente reduzidas. A sua origem pode ser biológica, resultante da redução microbiana dos nitratos, ou química, por oxidação do amónio/amoniaco.

Na área de estudo, verifica-se que a presença de nitritos na água subterrânea é muito reduzida, refletindo assim que a prática agropecuária da região não está a afetar a qualidade das águas subterrâneas.

No que concerne ao controle químico da água utilizada para rega proveniente do Regadio da Cova da Beira a informação é escassa. No Quadro 5.4, apresentam-se os resultados analíticos para as variáveis Mn, Fe, Mg^{2+} , Na^+ , Ca^{2+} , NH_4^+ , e HCO_3^- , obtidos em 2014 em que o local da colheita foi no Fundão.

Quadro 5.4 - Resultados analíticos para as variáveis Mn, Fe, Mg²⁺, Na⁺, P, Ca²⁺, NH₄⁺ e HCO₃⁻ obtidos em 2014 em que o local da colheita foi no Fundão.

Variável	Concentração (mg/l)
Mn	0.01
Fe	0.05
Mg ²⁺	0.70
Na ⁺	16.80
Ca ²⁺	2.00
NH ₄ ⁺	0.32
HCO ₃ ⁻	4.25

Nos Quadros 5.5, 5.6 e 5.7, apresentam-se os resultados analíticos para as variáveis Manganês, Ferro, Magnésio, Sódio, Cálcio, Bicarbonatos, Nitratos e Sulfatos obtidos em 2010, respetivamente na Reservatório de Belmonte, Reservatório de Escarigo e Reservatório Monte do Bispo.

Quadro 5.5 - Resultados analíticos para as variáveis Manganês, Ferro, Magnésio, Sódio, Cálcio, Bicarbonatos, Nitratos e Sulfatos obtidos em 2010, respetivamente na Reservatório de Belmonte.

Variável	Concentração (mg/l)
Mn	0.031
Fe	0.05
Mg ²⁺	1.05
Na ⁺	2.9
Ca ²⁺	2.2
HCO ₃ ⁻	12.2
NO ₃ ⁻	0.1
SO ₄ ²⁻	44

Quadro 5.6 - Resultados analíticos para as variáveis Manganês, Ferro, Magnésio, Sódio, Cálcio, Bicarbonatos, Nitratos e Sulfatos obtidos em 2010, respetivamente na Reservatório de Escarigo.

Variável	Concentração (mg/l)
Mn	0.044
Fe	0.2
Mg ²⁺	1.04
Na ⁺	3.1
Ca ²⁺	2.0
HCO ₃ ⁻	10.7
NO ₃ ⁻	0.1
SO ₄ ²⁻	1.9

Quadro 5.7- Resultados analíticos para as variáveis Manganês, Ferro, Magnésio, Sódio, Cálcio, Bicarbonatos, Nitratos e Sulfatos obtidos em 2010, respectivamente na Reservatório de Monte do Bispo.

Variável	Concentração (mg/l)
Mn	0.017
Fe	0.05
Mg ²⁺	1.01
Na ⁺	2.9
Ca ²⁺	2.1
HCO ₃ ⁻	11.4
NO ₃ ⁻	0.1
SO ₄ ²⁻	1.8

A observação dos Quadros 5.2, 5.3, 5.4, 5.5, 5.6 e 5.7, permite-nos concluir que os valores das concentrações das variáveis analisadas estão todos abaixo do Valor Máximo Recomendável para água de rega.

Capítulo 6

6. Conclusões

Neste capítulo apresentam-se as principais conclusões adquiridas no âmbito dos trabalhos de pesquisa e investigação, utilizando uma metodologia que permitiu a caracterização geoambiental das águas subterrâneas da área de estudo.

Numa primeira abordagem a compilação, adaptação e tratamento das informações permitiu a caracterização do Projeto do Regadio da Cova da Beira.

Localmente a área de estudo é caracterizada pela existência do plutónio Hercínico do Fundão intruído numa faixa do Complexo Xisto-Grauváquico. O substrato rochoso é constituído essencialmente por rochas graníticas, xistos e grauvaques aos quais são atribuídos valores de infiltração baixos.

A caracterização hidrológica permitiu verificar que o tipo de rede hidrológica está intimamente ligado à natureza litológica dos terrenos condicionando o binómio infiltração-escorrência superficial e que a área apresenta num clima com características de clima temperado mediterrâneo. O estudo da circulação subterrânea permitiu verificar que esta acompanha a topografia local e é do tipo hiperbólica radial.

Com o objetivo de determinar os principais parâmetros estatísticos da população de dados utilizou-se uma metodologia estatística que permitiu caracterizar e comparar os resultados obtidos. A aplicação da estatística univariada permitiu caracterizar o “comportamento” das variáveis em estudo. Em todas as variáveis verifica-se que a variabilidade dos valores em torno da média é pequena e que com a exceção da variável Sódio, todas as variáveis apresentam uma assimetria positiva.

O método de correlação de Pearson permitiu definir as correlações entre as diferentes variáveis. Na amostra global estas correlações apresentam de um modo geral valores baixos.

A aplicação da técnica estatística de Análise de Componentes Principais à globalidade dos dados permitiu estudar a intercorrelação entre as variáveis analisadas e estabelecer a estrutura de distribuição destas. A projeção das variáveis no primeiro plano fatorial, permitiu testar a ligação das variáveis e separar as de carácter essencialmente litológico (Mn e Fe), as de carácter essencialmente hidroquímico (SO_4^{2-} , Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+}) e as de cariz essencialmente

antropogénico (P , K^+ , NO_2^- e NO_3^-). A aplicação do ACP permitiu ainda identificar a imagem hidrogeoquímica de componente agrícola (P e K^+) e da componente agropecuária (NO_2^- e NO_3^-) praticadas na área de estudo.

No que concerne à qualidade química da água para uso agrícola verificou-se que todas as amostras possuem teores abaixo do VMR para as variáveis (Cobre, Chumbo, Zinco, Níquel, Ferro, Crómio, Magnésio, Potássio, Sódio, Cálcio, Nitritos, Amónio, Bicarbonatos, Nitratos, e Sulfatos). No caso da variável Manganês, verificou-se que 40% das amostras possuem teores acima do VMR e no caso da variável Fósforo, 35% das amostras possuem teores acima do VMR.

A baixa concentração dos teores das variáveis nas amostras analisadas poderá ser imputada a vários fatores nomeadamente:

- A época de amostragem ter sido realizada no fim do período seco (setembro e outubro);
- Valores de infiltração baixos, característicos da área de estudo;
- A não utilização da água subterrânea para rega, o que poderá aumentar a diluição das concentrações;
- Práticas ambientalmente sustentáveis da atividade agrícola e agropecuária na região de estudo.

Referências Bibliográficas

Agência Portuguesa do Ambiente, disponível em <http://www.apambiente.pt>, consultado em 5/5/2016.

Aragüés, R.; Alberto, F.; Cuchí, J.A.; Machín, J. Calidad de agua para riego. I: Criterios Generales. Zaragoza: ITEA, 1979.p.3-17 (ITEA, 37).

ASTM (1984) - American Society for Testing Materials, Annual Book of ASTM Standarts, Water Environmental Techonology, Vol. 11.01.

Avaliação Global do Impacto do Regadio da Cova da Beira (2001), Universidade da Beira Interior, 145pp.

Ayers, R. S. ; Westcot, D.W. A qualidade de água na agricultura. Tradução de H.R. Gheyi; J.F. de Medeiros; F.A.V. Damasceno. Campina Grande: UFPB,1991. 208p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29.).

Ayers, R. S. ; Westcot, D.W. Calidad del agua para la agricultura. Roma: FAO, 1976. 174p (Estudios FAO; Riegos y Drenajes, 29).

Bebiano, J. B. - “Minas de Pêro Viseu: estudo geológico”, Direcção Geral de Geologia de Minas e Serviços Geológicos, 1940.

Carvalho, P.,E.,M. (2003) - “Contribuição para a Caracterização Geo-ambiental da Zona Sul da Cova da Beira”. Tese de Doutoramento, Universidade da Beira Interior, 195pp.

Castany, G. (1975) - “Prospección y Explotación de las Aguas Subterraneas”. Ediciones Omega. Barcelona.

Cavaleiro, V. (2001) - “Condicionantes Geotécnicos à Expansão do Núcleo Urbano da Covilhã”. Tese de Doutoramento, Univeridade da Beira Interior, 291pp.

Chatfield, C. e Collins, A. J., (1980), Introduction to Multivariate Analysis, Science Paperbacks, Londres.

Coleto Fiano, I. y Maestro Salmeron, M. T. (1988) - "Recogida y Conservation de Muestras (in Águas Subterrâneas; Instrumentation, medida e toma de muestras)". Curso Internacional de Hidrologia Subterrânea. Prensa XXI SA; 378pp.

Costa, C. V., Pereira, L. G., Portugal Ferreira, M., Santos Oliveira, J. M. (1971) - "Distribuição de oligoelementos nas rochas e solos da região do Fundão.", Mem. Not. Mus. Lab. Min. Geol. Da Universidade de Coimbra, nº 71, p. 3-37.

Dassenakis M., Scoullou M., Foufa E., Krasakopoulou E., Pavlidou A. & Kloukiniotou M. (1998) - "Effects of multiple source pollution on a small mediterranean river". Appl. Geochem., 13: 197-211.

Davis (1986) - "Statistics and Data Analysis in Geology". 2ª edição, John Wiley & Sons, New York, 646pp.

Decreto-lei N.º 236/98 - Diário da República n.º I Série de 1 de agosto.

Direção Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural (2015). Disponível em <http://sir.dgadr.pt> consultado em 24/02/2015.

Direção Geral de Hidráulica e Estudos Agrícolas (1983) - "Projeto de Desenvolvimento Agrário Territorial da Cova da Beira - Estudo de Viabilidade".

Direção Geral Serviços Hidráulicos (1961) - "Estudo do solo, da aptidão ao regadio e das dotações de rega. Aspeto económico atual", Tomo I de "Reconhecimento agronómico da Cova da Beira", DGSH - Ministério das Obras Públicas.

Direção Geral Serviços Hidráulicos (1972) - "Plano Geral de Aproveitamento Hidroagrícola da Cova da Beira", Vol. I, Ministério das Obras Públicas.

Eaton, Andrew D., «et all» (2012), "Standard Methods for the examination of Water & Wastewater"- 22st edition; Washington, D.C.; American Public Health Association; chapter 3113-B.

Eaton, Andrew D., «et all» (2012), "Standard Methods for the examination of Water & Wastewater"- 22st edition; Washington, D.C.; American Public Health Association; chapter 4500 - B/C.

Eaton, Andrew D., «et all» (2012), “Standard Methods for the examination of Water & Wastewater”- 22st edition; Washington, D.C.; American Public Health Association; chapter 2320-B.

Eaton, Andrew D., «et all» (2012), “Standard Methods for the examination of Water & Wastewater”- 22st edition; Washington, D.C.; American Public Health Association; chapter 4500 NO₃-E.

Eaton, Andrew D., «et all» (2012), “Standard Methods for the examination of Water & Wastewater”- 22st edition; Washington, D.C.; American Public Health Association; chapter 3500 Fe.

Eaton, Andrew D., «et all» (2012), “Standard Methods for the examination of Water & Wastewater”- 22st edition; Washington, D.C.; American Public Health Association; chapter 4500-SO₄²⁻.

EPA-Environmental Protection Agency (1982) - “Handbook for Sampling and Simple Preservation of Water and Wastewater”. (EPA/604/4-82/029). United Sates Environmental Agency; 402pp.

Galofré, A. e Batista, E. (1988) - “Medição y Registro de Níveis de Água em Pozos e Sondagens, Águas Subterrâneas, Instrumentação, Medida e Toma de Muestras”. Pressa XXI, S. A.: 23-55.

Gnanadesikan, R., (1997), “Methods for Statical Data Analysis of Multivariate Observations, Wiley”, 2ª edição, Nova Iorque.

Grupo de Trabalho para a Cova da Beira (1977) - “Aproveitamento Hidroagrícola da Cova da Beira - Aspetos Técnicos e Económico-Sociais, Lisboa.

Hotelling, H., (1933), Simplified Calculation of Principal Components, Psychometrika, vol. 1, N.º1, p27-35.

<http://www1.ipq.pt/PT/site/clientes/pages/Norma.aspx?docId=IPQDOC-185-79789>

http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=13742

Koppen, W., and Gerger, R. (1930) - “Handbuck der Klimatologie”, Vol. 5., Gebruder Borntraeger, Berlin, Véare Vol I, parte (c) (1936) para um análise general del sistema de climatologia de Koppen.

Mendes, J. C. & Bettencourt, M. L. (1980) - “Contribuição para o estudo do balanço climatológico de água no solo e classificação climática de Portugal continental”. Facs. XXIV. Lisboa INMG.

Moreno, F. S. B. A. (2000) - “Estudo dos mecanismos de dispersão de elementos vestigiais em sedimentos de corrente e águas superficiais na bacia hidrográfica do rio Antuã. Avaliação dos riscos e classificação de vulnerabilidades”. Tese de Doutoramento, Universidade de Aveiro, 243pp.

Mota, A., C. e Santos, A., M. (2011) - “Aproveitamento Hidroagrícola da Cova da Beira. Eficiência como garantia de futuro”. Engenharia dos Aproveitamentos Hidroagrícolas: atualidade e desafios futuros. Jornadas Técnicas APRH, 16pp.

Murteira, B et al, (2007), “Introdução à Estatística, 2ª edição, McGraw-Hill, Lisboa.

Novais, F. R.; Smyth, T. J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa: UFV, 1999. 399p.

Portugal Ferreira, M., Costa, V., Macedo, C. M. & Pereira, L. G. (1977) - “Datações K-Ar em biotite das rochas granitoides da Cova da Beira (Portugal Central).”, Mem. Not. Mus. Lab. Min. Geol. Univ. Coimbra, nº84, p. 39-48.

Portugal Ferreira, M. et al. (1985) - “A zonalidade interna de um Plutonito: Estruturas condicionantes e idades de evolução (Plutonito do Fundão, Portugal Central)”, Memórias e Notícias, Pub. Mus. Lab. Mineral. Geol. Univ. Coimbra, nº99.

Presidência do Conselho (1968) - “III Plano de Fomento para 1968-1970”, Vol. I e II, Ed. Imprensa Nacional de Lisboa.

Ribeiro, O (1949) - “A Cova da Beira, Controvérsia de Geomorfologia.”, Com. Ser. Geol., Lisboa, T.XXX, p.23-41.

Ross, S. M. (1994)-“Toxic Metals in Soil - Plant Systems”. Wiley; 469pp.

RUDE - Associação de Desenvolvimento Rural, disponível em <http://www.rude-adr.pt>, consultado em 3/4/2016.

Van der Weijden, C. H., Oosterom, M. G., Beil, J., Walen, C. G., Wriend, S. P., Zuurdeeg, B.W. (1983) - “Geochemical Controls of Transport and Deposition of Uranium from Solution. Case

study: Fundão (Portugal).”, State University of Utrecht, Institute of Earth Sciences, Contract 007.79.3 EXU NL.

Vieira, J. M., (1997) - A Economia do Turismo em Portugal”. Publicações Dom Quixote, Lisboa, 89pp.

Teixeira, C. (1983) - “Geologia de Portugal”, Vol. 1 - Pré-Câmbrico, Paleozóico. Fundação Calouste Gubenkian, p. 126-131.

Teixeira, C., Santos, J.P., Carvalho, H.F., Fernandes, A.P. e Vairinho, M. M. (1974) - “Carta Geológica de Portugal, Notícia explicativa da folha 20-B (Covilhã). Serv. Geol. de Portugal, Lisboa.

Thadeu, D. (1951) - “Geologia de jazigos de Pb e Zn da Beira Baixa”, Bol. Soc. Geol. Port., Porto, Vol. IX (I-II), p.144.

Working Party on Stabilization of Samples from the Hydrochemistry Team of German Chemists Association (1980) - Preservation of Water Samples. Water Research, Vol. 15;pp 233-241.