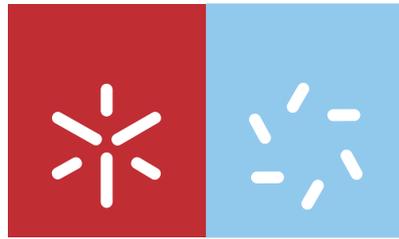


Universidade do Minho
Escola de Ciências

Pedro Gomes da Fonseca

**QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS
DO AQUÍFERO LIVRE DE
ESPOSENDE - VILA DO CONDE
(NW DE PORTUGAL)**



Universidade do Minho
Escola de Ciências

Pedro Gomes da Fonseca

**QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS
DO AQUÍFERO LIVRE DE
ESPOSENDE - VILA DO CONDE
(NW DE PORTUGAL)**

Dissertação de Mestrado
Mestrado em Ordenamento e Valorização
de Recursos Geológicos

Trabalho efectuado sob a orientação do
Doutor Alberto da Silva Lima

Dezembro de 2010

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO PARCIAL DESTA DISSERTAÇÃO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE;

Universidade do Minho, ___/___/_____

Assinatura: _____

Resumo

As regiões costeiras são áreas que têm sido intensamente ocupadas pelos aglomerados populacionais, pela agricultura e pelo turismo, pelo que as solicitações de água nestas zonas são, em geral, elevadas. Do ponto de vista hidrogeológico, estas regiões apresentam algumas peculiaridades, por constituírem áreas predominantemente de descarga aquífera e por se situarem próximas do oceano, onde o equilíbrio da interface água doce/água salgada pode facilmente ser alterado.

O sector que se pretende estudar encontra-se inserido na Zona Vulnerável nº1 (Zona Vulnerável de Esposende – Vila do Conde), uma das oito zonas vulneráveis identificadas em Portugal continental. Estas zonas são definidas como “...aquelas que drenam para águas poluídas ou susceptíveis de serem poluídas por nitratos, se não forem tomadas medidas” (Directiva 91/676/CEE, do Conselho, de 12 de Dezembro de 1991). Na área em estudo, o abastecimento de água de consumo às populações é feito maioritariamente a partir da rede pública, a qual capta água superficial no Rio Cávado. No entanto, as águas subterrâneas constituem importantes recursos hídricos, particularmente para a actividade agrícola, muito intensa na região.

Nesta região, de aquífero livre costeiro temos condutividades eléctricas entre os 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 1200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para a maioria dos pontos, apresenta pH próximo do neutro até ao ligeiramente alcalino, no entanto no seu estado natural seria ácido a neutro. As águas são bicarbonatadas ou sulfatadas cálcicas, no entanto devido à influência marinha, às características geológicas e climáticas, as águas deveriam ser cloretadas sódicas. Apresentam baixo perigo de alcalinização do solo e elevado perigo de salinização.

Abstract

Coastal regions are areas which have been heavily occupied by settlements, agriculture and tourism, so that requests for water in these areas are generally high. From the hydrogeological point of view, these regions have some peculiarities, mainly because they constitute areas of aquifer discharge and are situated near the ocean, where the balance of the interface freshwater / saltwater can easily be changed.

The industry intends to study is inserted in Vulnerable Zone No 1 (Vulnerable Zone Esposende - Vila do Conde), one of eight identified vulnerable areas in mainland Portugal. These areas are defined as "... those that drain into polluted waters or may have been polluted by nitrates, if no measures are taken" (Directive 91/676/EEC, the Council of 12 December 1991). In the study area, the supply of drinking water to the population is mostly done from the public network, which captures surface water in the river Cávado. However, the groundwaters are important water resources, particularly for agriculture, very intense in the region.

In this region, the coastal unconfined aquifers have electrical conductivities between 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ to 1200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ for most points, have a pH near neutral to slightly alkaline to, and however in its natural state would be acidic to neutral. The waters are bicarbonate or calcium sulfated, however due to marine influence of geological and climatic conditions, the water should be chlorinated with sodium. Present a low risk of alkaline soil and high risk of salinization.

Índice

1.Introdução -----	1
2.Caracterização geral da área de estudo -----	3
2.1. Perfil geográfico e administrativo -----	3
2.2. Perfil climático -----	5
2.3. Perfil geológico e geomorfológico -----	6
2.3.1. Geomorfologia -----	6
2.3.2. Geologia-----	7
2.4. Uso do solo -----	9
2.4.1. Caracterização do solo -----	9
2.4.2. Ocupação do solo -----	11
2.5. Hidrogeologia -----	13
2.6. Perfil socioeconómico -----	14
2.6.1. Estrutura socioeconómica -----	15
2.6.2. Actividade agrícola: masseiras -----	16
3. Metodologia -----	18
3.1. Recolha de dados de campo -----	18
3.1.1. Pesquisa de informações da área em estudo-----	18
3.1.2. Inventário dos pontos de água -----	19
3.1.3. Colheita de amostras de água e fertilizantes para análise -----	21
3.1.4. Aplicação do método de resistividade eléctrica -----	22
3.2. Análise laboratorial -----	25
4. Apresentação e discussão dos resultados -----	28
4.1. Parâmetros de campo -----	28
4.1.1. Condutividade eléctrica-----	32
4.1.2. Temperatura -----	35
4.1.3. pH -----	37
4.1.4. Profundidade das captações-----	39
4.1.5. Profundidade do nível freático -----	40
4.1.6. Escoamento subterrâneo-----	41
4.2. Parâmetros laboratoriais -----	43
4.2.1. Caracterização geral dos fertilizantes -----	44
4.2.2. Critérios de verificação da precisão analítica -----	45
4.2.3. Caracterização hidrogeoquímica -----	52
4.2.3 Análise da fácies hidroquímica-----	75
4.2.4 Qualidade da água -----	76
4.3 Análise de perfis de resistividade eléctrica -----	81
Conclusões -----	85
Bibliografia -----	87

1.

Introdução

As regiões costeiras são áreas que têm sido intensamente ocupadas pelos aglomerados populacionais, pela agricultura e pelo turismo, pelo que as solicitações de água nestas zonas são, em geral, elevadas. Do ponto de vista hidrogeológico, estas regiões apresentam algumas peculiaridades, por constituírem áreas predominantemente de descarga aquífera e por se situarem próximas do oceano, onde o equilíbrio da interface água doce/água salgada pode facilmente ser alterado.

O sector em estudo encontra-se inserido na Zona_Vulnerável nº1 (Zona Vulnerável de Esposende – Vila do Conde), uma das seis zonas vulneráveis identificadas em Portugal continental. Estas zonas são definidas como *“...aquelas que drenam para águas poluídas ou susceptíveis de serem poluídas por nitratos, se não forem tomadas medidas”* (Directiva 91/676/CEE, do Conselho, de 12 de Dezembro de 1991). Na área em estudo, o abastecimento de água de consumo às populações é feito maioritariamente a partir da rede pública, a qual capta água superficial no Rio Cávado. No entanto, as águas subterrâneas constituem importantes recursos hídricos, particularmente para a actividade agrícola, muito intensa na região.

De facto, uma boa parte dos produtos agrícolas consumidos nas áreas envolventes provém de explorações agrícolas do sector Póvoa de Varzim – Esposende. Algumas destas explorações são as tradicionais “masseiras”, uma forma de agricultura única no mundo, de concepção muito simples, tirando o máximo proveito dos recursos naturais da região, que surgiu devido à necessidade de grandes quantidades de água para que se pudesse cultivar esses solos. Podem ser caracterizadas como campos escavados em areias de duna até se encontrar o nível freático, envoltas por muros de areia denominados valos, que protegem os campos que vão ser cultivados e que lhes dá a sua forma característica (JFE, 2009). Na actualidade, este tipo de agricultura está a ser substituído por campos abertos e por estufas, em parte devido à pressão urbanística e económica nas áreas dunares, restringindo a área disponível para a prática daquela forma de agricultura tradicional (Melo,

1992). Contudo, tanto as estufas como as “masseiras” e os campos abertos exigem grandes quantidades de água para irrigação.

No presente estudo, como objectivo principal, pretende-se efectuar uma caracterização hidrogeológica da região costeira do sector Póvoa de Varzim – Esposende, dando particular relevo à questão da qualidade das águas subterrâneas e dos mecanismos envolvidos na sua mineralização.

Para a concretização do objectivo geral antes enunciado definem-se os seguintes objectivos operacionais: (i) estudo da dinâmica da interface água doce/água salgada que, dada a proximidade com a zona costeira, afigura-se de extrema importância para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos locais; (ii) identificação dos mecanismos mineralizadores do aquífero livre deste sector que se encontra com forte influência de agricultura intensiva; (iii) avaliação da qualidade das águas subterrâneas locais, tendo em conta o actual uso do solo; (iv) proposta de medidas de mitigação do impacto da actividade agrícola sobre os recursos hídricos subterrâneos locais.

Para além da introdução (capítulo 1), o presente trabalho encontra-se organizado em outros quatro capítulos.

No capítulo 2 faz-se uma caracterização geral da área de estudo, onde se procede a uma descrição das principais características geográficas, climáticas, geológicas, pedológicas, hidrogeológicas e socioeconómicas.

A metodologia aplicada na realização deste trabalho encontra-se descrita no capítulo 3, onde se descrevem os procedimentos efectuados durante os trabalhos de campo e de laboratório.

Apresentam-se e discutem-se no capítulo 4, os resultados obtidos no presente estudo, incluindo resultados de análises físico-químicas de amostras de águas subterrâneas e os perfis de resistividade eléctrica efectuados.

A análise e interpretação dos dados anteriormente referidos, conduziu às conclusões apresentadas no capítulo 5, onde também se incluem sugestões para futuros trabalhos.

2.

Caracterização geral da área de estudo

2.1. Perfil geográfico e administrativo

O presente trabalho enquadra-se geograficamente no concelho da Póvoa de Varzim, em que a área de estudo está definida entre as freguesias da Estela, no lugar de Rio Alto, e de Aguçadoura, no lugar da Barranha. Na figura 2.1 está representado um mapa esquemático do concelho da Póvoa de Varzim e nele pode-se ver o enquadramento geográfico das freguesias anteriormente citadas em relação às restantes freguesias do concelho. Na figura 2.2 apresenta-se um extracto da folha 82 da Carta Militar de Portugal á escala 1:25000, correspondente á área de estudo.



Fig. 2.1: Enquadramento e divisão administrativa do concelho da Póvoa de Varzim (adaptado de <http://www.cm-pvarzim.pt>).

2. Caracterização geral da área de estudo

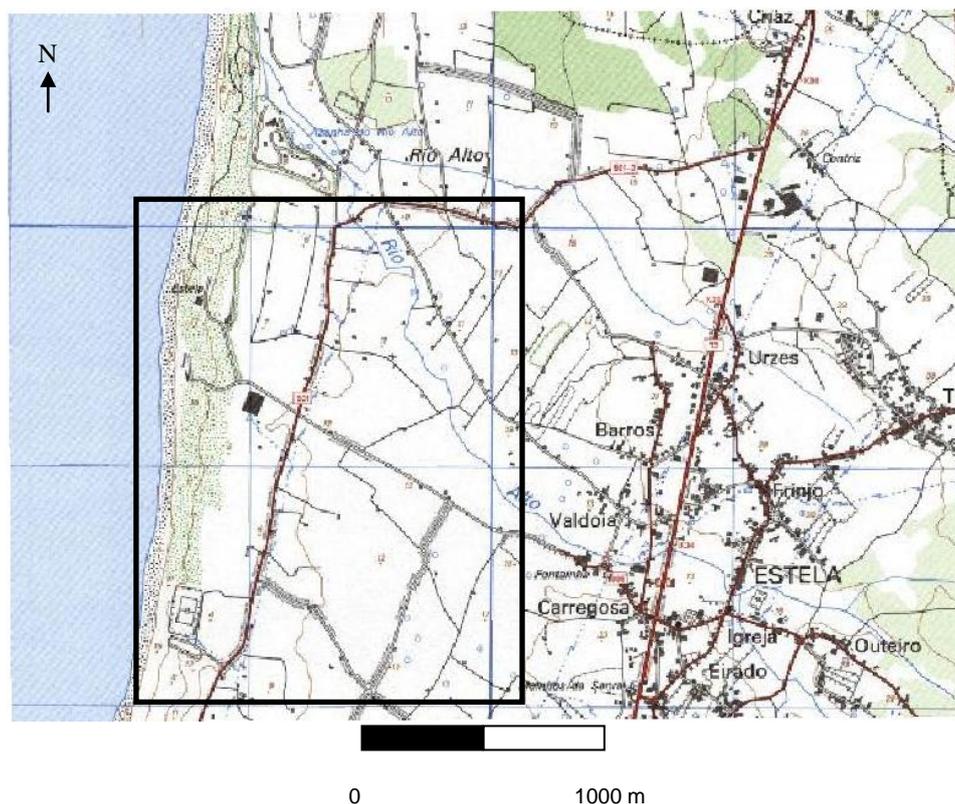


Fig. 2.2: Extracto da folha 82 da Carta Militar de Portugal à escala 1:25000 (IGE, 1997), com indicação da área de trabalho.

A freguesia de Estela encontra-se a cerca de sete quilómetros da Póvoa de Varzim, apresenta uma área aproximada de 11,73 quilómetros quadrados e uma extensão de quase quatro quilómetros de praias. Encontra-se limitada: a norte por Esposende e Barcelos, a este pela freguesia de Laúndos, a sul pelas freguesias de Aguçadoura, Navais e Terroso e a oeste pelo Oceano Atlântico.

Internamente, é constituída pelos seguintes lugares: Baldoia, Barros, Carregosa, Carrascos, Contriz, Estrada, Fontainha, Frinjo, Igreja, Outeiro, Pedrinha, Urzes, Teso e o Rio Alto.

Geograficamente, pode ser dividida em três zonas: a zona alta, constituída por pequenos declives, onde se encontram os lugares de Teso e Barros; a zona intermédia, de relevo plano, constituída pela maioria dos campos de cultivo, englobando os lugares de Baldoia, Carregosa, Carrascos, Contriz, Estrada, Fontainha, Frinjo, Igreja, Outeiro, Pedrinha e Urzes; a zona baixa ou marítima, constituída pela praia e campos dunares, onde se situam os “campos – masseira”, pertence ao lugar de Rio Alto (JFE, 2009).

2. Caracterização geral da área de estudo

Do ponto de vista histórico, a freguesia de Estela remonta aos tempos de D. Afonso Henriques, à qual concedeu a carta de “Couto” aos frades Bentos de Tibães, em 1140, tornando-a assim *uma das terras mais antigas do concelho da Póvoa de Varzim* (JFE, 2009). No entanto, a ocupação do solo deu-se muito antes, durante o Período Castrejo (por volta de 1500 a.C.), seguida de ocupação romana, desde o século I a.C. até ao século VI d.C. (Cardoso, 2007).

A freguesia de Aguçadoura encontra-se a seis quilómetros da cidade da Póvoa de Varzim, com uma área aproximada de 3,63 quilómetros quadrados, limitada a norte pela Estela, a leste por Navais e a sul por Aver-o-Mar. É constituída pelos lugares de Aldeia, Areosa, Barranha, Caturela, Codixeira, Granjeiro, Parau, Santo André de Cima e Santo André de Baixo (CMPV, 2000).

2.2. Perfil climático

As características climáticas que, de certa forma, “moldaram” a paisagem desta faixa litoral, continuam a ter forte impacto nesta região.

De todos os agentes modeladores, o mar é de todos o maior regulador das condições físicas, transporta consigo os ventos de oeste carregados com humidade e geradores de precipitações abundantes, praticamente durante todo o ano. Os ventos de norte também têm uma grande influência na região, sendo sobretudo ventos de grande intensidade e mais frios que os de oeste, daí a designação local para estes ventos de “nortadas”. Estes ventos influenciaram o formato característico dos campos “masseira” (Costa, 1987).

O sector Póvoa de Varzim – Esposende, no qual está enquadrada a área em estudo, é caracterizado por apresentar um clima temperado e húmido, onde apresenta uma humidade relativa média de 80%, com temperaturas médias anuais entre 14 °C e 16 °C, geadas e nevoeiros esporádicos, ventos fortes, precipitações médias anuais entre 1000 mm e 1600 mm, que sugerem uma evapotranspiração alta (M.A., 2005).

2.3. Perfil geológico e geomorfológico

2.3.1. Geomorfologia

De um modo geral, as localidades de Estela e Aguçadoura apresentam relevos fracos ou aplanados (figura 2.3), com declives mínimos de 0,01% e declives máximos que, excepcionalmente, ultrapassam os 15% (figura 2.4). Estes declives máximos restringem-se ao monte S. Félix, uma elevação quartzítica situada no sector SE da área representada na figura 2.3. A região é atravessada por algumas linhas de água secundárias, e é dominada por uma extensa superfície de abrasão marinha, coberta por alguns depósitos de praia antiga, cordões dunares e por pontuais depósitos de aluvião (Teixeira e Medeiros, 1965).

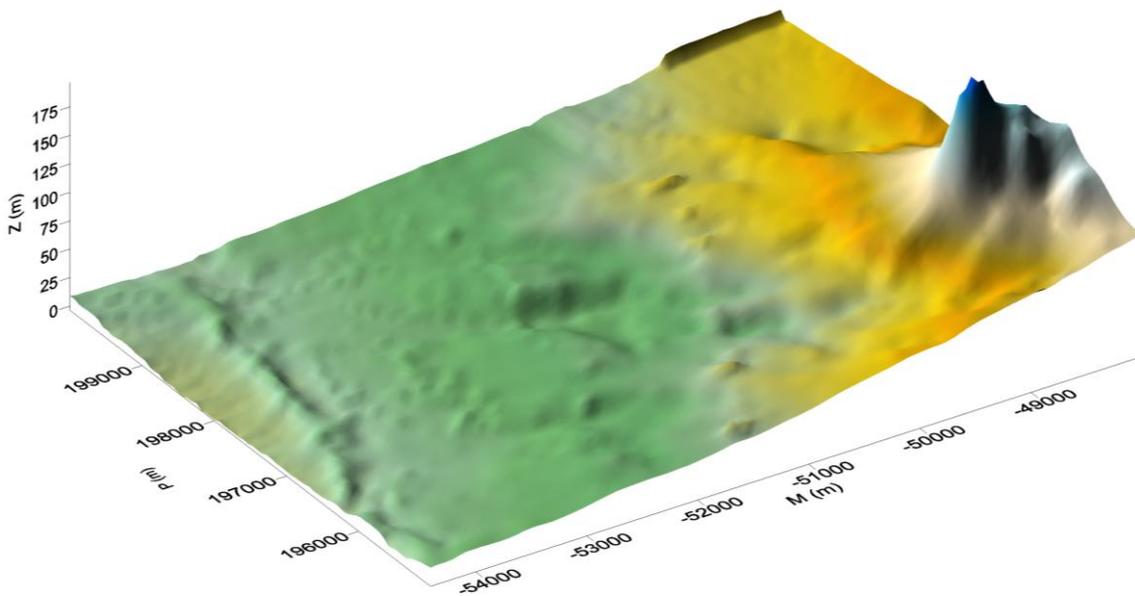


Fig. 2.3: Mapa tridimensional do relevo das freguesias de Aguçadoura, Estela, Terroso e Laúndos. Sistema de georreferenciação: Datum 73, Ponto Central.

2. Caracterização geral da área de estudo

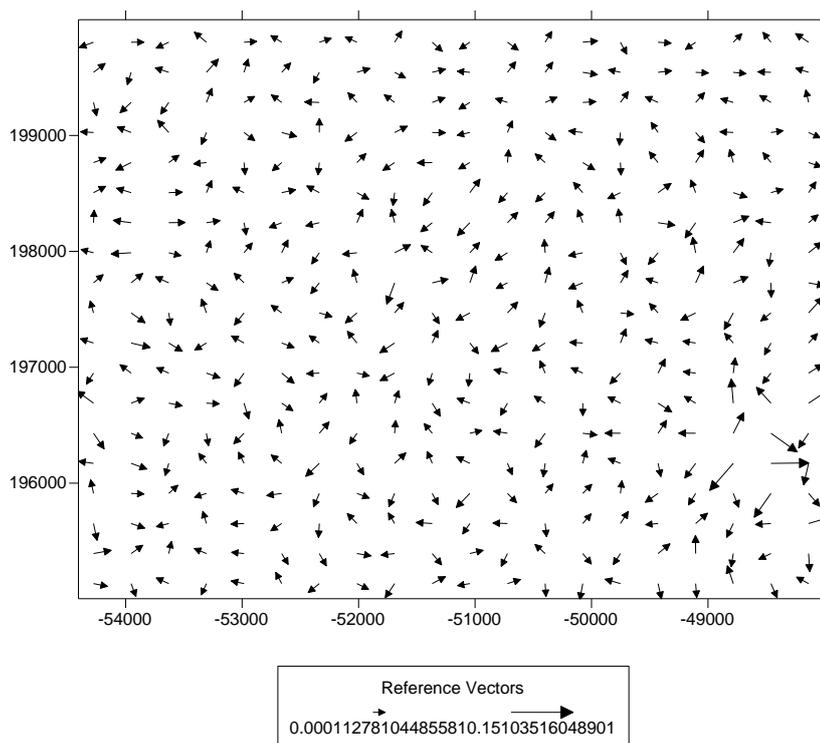


Fig. 2.4: Mapa de vetores dos declives das freguesias de Aguçadoura, Estela, Terroso e Laúndos. Sistema de georreferenciação: Datum 73, Ponto Central.

2.3.2. Geologia

As características geológicas aqui apresentadas têm como base a análise da folha 9-A da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50000 e respectiva notícia explicativa (Teixeira e Medeiros, 1965), tendo especial atenção à ordem crono-estratigráfica das unidades. Na figura 2.5 pode-se ver uma imagem ampliada da carta geológica anteriormente mencionada, enquadrando a área em estudo.

A unidade litostratigráfica mais antiga que se encontra na região é o Complexo Xisto – Grauváquico, pertencente ao período geológico do Câmbrico, na qual se destaca a mancha de Laúndos – Estela, que começa na região de Rates, alarga progressivamente para NW, desaparecendo na região costeira, sob uma espessa cobertura de depósitos de praia e areias de duna. Esta, tal como se pode ver na figura 2.5, encontra-se limitada, a sul, pelo granito do Porto, mais concretamente o granito porfiróide de Santo André, que se encontra parcialmente coberto por depósitos de praia.

2. Caracterização geral da área de estudo

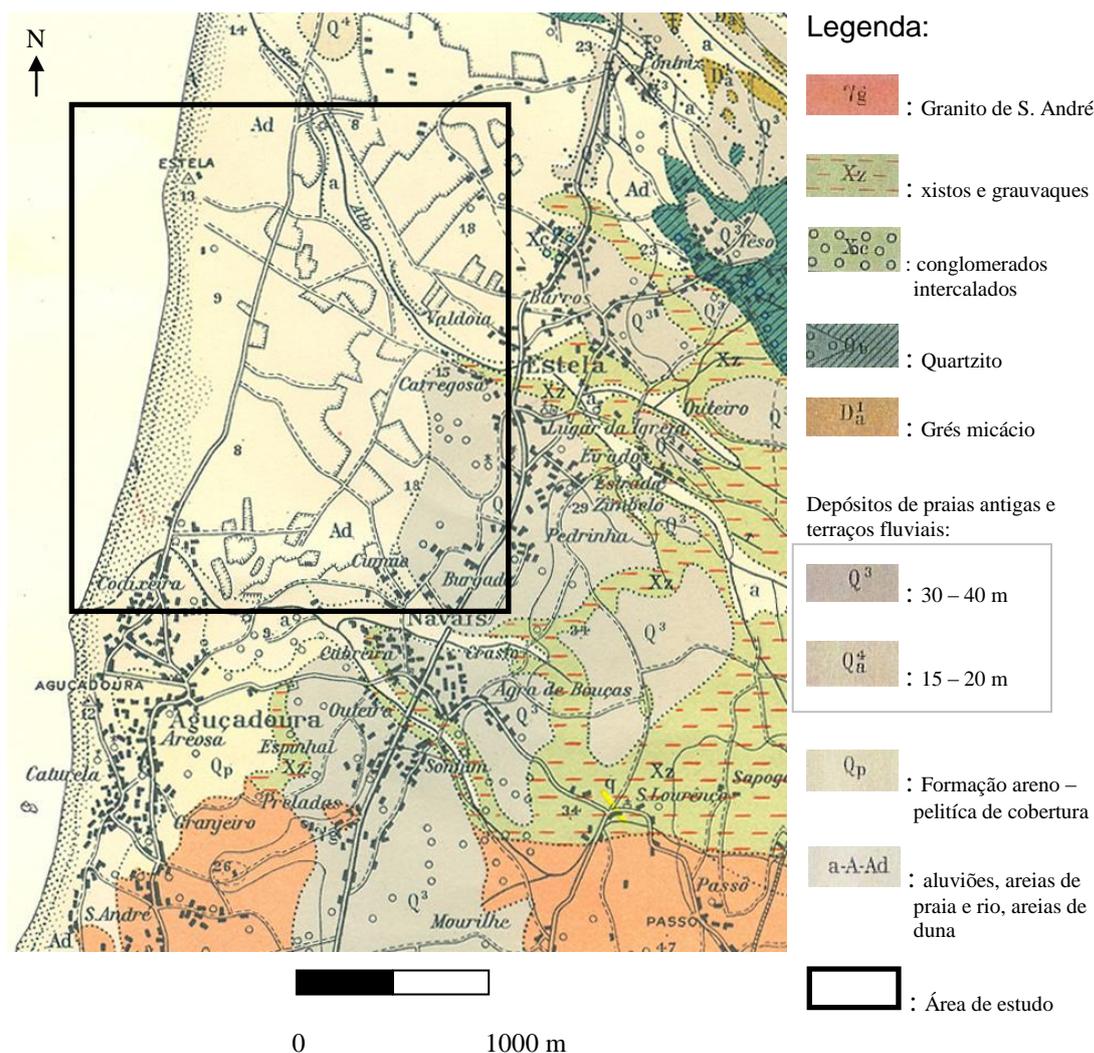


Fig. 2.5: Enquadramento geológico da área em estudo (adaptado de Teixeira e Medeiros, 1965).

As rochas predominantes são os xistos que, nas orlas de contacto com o granito, apresentam-se muito metamorfizados. Além dos xistos estão presentes grauvaques e, por vezes, bancadas compactas de conglomerados silicificados, quartzosos, com elementos de pequenas dimensões.

Seguindo a ordem crono-estratigráfica, temos o Ordovícico, representado pelos quartzitos com bilobites e por conglomerados, que surgem sob a forma de bancadas intercaladas. Esta formação, junto ao litoral, encontra-se, a partir do Teso, coberta por depósitos de praia e areias de duna.

O Silúrico não se encontra representado nos limites da área de estudo. No entanto, o Devónico Inferior já se encontra dentro desses limites. Esta unidade encontra-se pouco representada na área de estudo, sobretudo na

secção NE e é caracterizada por xistos argilo-micáceos, grés finos, micáceos, e por grés quartzíticos, onde poderá ocorrer a presença se alguns fósseis.

Não se observam evidências das restantes unidades crono-estratigráficas até ao Terciário. O Quaternário encontra-se bem representado, sobretudo por depósitos de praias antigas do Plio-Plistocénico, depósitos de aluvião e areias de duna modernas ou Holocénicas. Nas areias, existe predominância do quartzo, mas também poderão conter outros minerais, tais como: feldspato, granada, magnetite, hornoblenda, piroxena, turmalina e micas (Teixeira e Medeiros, 1965).

2.4. Uso do solo

2.4.1. Caracterização do solo

O solo tem um papel de extrema importância nos processos naturais (biológicos e geológicos), servindo de suporte à flora terrestre, onde esta retira a sua fonte de subsistência e representando, na maioria dos casos, a camada mais superficial e instável da superfície terrestre.

Todos os solos, por mais semelhantes que sejam, apresentam características diferentes que os distinguem, variando quer num dado componente quer noutro. No entanto, qualquer solo apresenta os seguintes constituintes: matéria mineral, matéria orgânica, água e ar.

Para além da matéria mineral, a matéria orgânica é de vital importância para um solo, acumula-se á superfície, é a principal fonte de nutrientes para as plantas e nela habitam um grande número de microrganismos, que contribuem para o desenvolvimento e evolução dos solos. Esta fracção é composta, normalmente, por cerca de 95% de azoto, 5 a 60% de fósforo e 10 a 80% de enxofre totais.

A influência do clima, a acção das plantas e animais (principalmente os microrganismos), o relevo, rocha – mãe, o tempo e a interferência humana, influenciam a génese e desenvolvimento de um solo. Como exemplo, temos o efeito acelerado da erosão devido á agricultura, que se não forem tomadas certas medidas compensatórias de conservação do solo, poderá ter consequências indesejáveis no futuro (Costa, 1999).

2. Caracterização geral da área de estudo

Neste trabalho dá-se especial atenção aos solos cultivados, principalmente em zonas de agricultura intensiva que, devido á actuação humana, poderá apresentar diferenças na sua textura, composição e estrutura, em relação aos solos em estado natural.

Do ponto de vista textural, os solos da região em estudo caracterizam-se pela predominância de areias grosseiras com alguma areia fina, classificando-se como arenosos (Quadro 2.1).

Quadro 2.1: Caracterização granulométrica dos solos da região da Estela e Norte de Aguçadoura (dados obtidos em Melo, 1992).

Amostra	Material < 2 mm			
	Areia grossa %	Areia fina %	Limo %	Argila %
A	92,54	6,43	0,78	0,24
B	91,87	5,74	1,29	1,09
C	90,84	5,98	1,67	1,51
D	91,18	5,70	1,13	2,00
E	92,59	4,51	1,48	1,40
F	89,49	7,77	1,81	0,93
G	69,30	24,77	3,60	2,33
H	90,13	5,79	1,79	2,28
I	91,94	5,23	0,98	1,85
J	79,79	8,20	7,15	4,86
Média				
	87,97	8,01	2,17	1,85

Os dados da tabela 2.1 confirmam que este solo, segundo a população residente, apresenta uma camada, por vezes espessa, de areia dunar com uma granulometria grosseira coberta por areias dunares mais finas e na base destas, temos uma camada de argila, provavelmente produto da alteração dos xistos subjacentes.

De modo geral, tendo em conta as características citadas estima-se uma porosidade total por volta dos 35%, uma porosidade efectiva entre os 20 e os 25% (Lencastre e Franco, 1992), uma boa capacidade de retenção de grandes reservas de água e uma boa drenagem (Costa, 1987).

2.4.2. Ocupação do solo

Este sector, que abarca a região da Estela e norte de Aguçadoura, apesar de haver uma grande área de solo ocupado por culturas hortícolas intensivas, quer sob a forma de masseiras ou campos abertos, quer sob a forma de estufas, está incorporado em áreas de RAN (Reserva Agrícola Nacional). Por sua vez, a orla costeira, principalmente as áreas de praia, campos dunares e zonas susceptíveis a riscos de erosão, pertencem às áreas de REN (Reserva Ecológica Nacional), como se pode ver na figura 2.6 (CMPV, 2000). Estas áreas, tal como instituído no Plano de Ordenamento da Orla Costeira (POOC), estão implantadas numa Área de Protecção Costeira, por terem sido consideradas fundamentais para a estabilidade do Litoral Norte, do ponto de vista ambiental e económico (FBO e INAG, 1999).

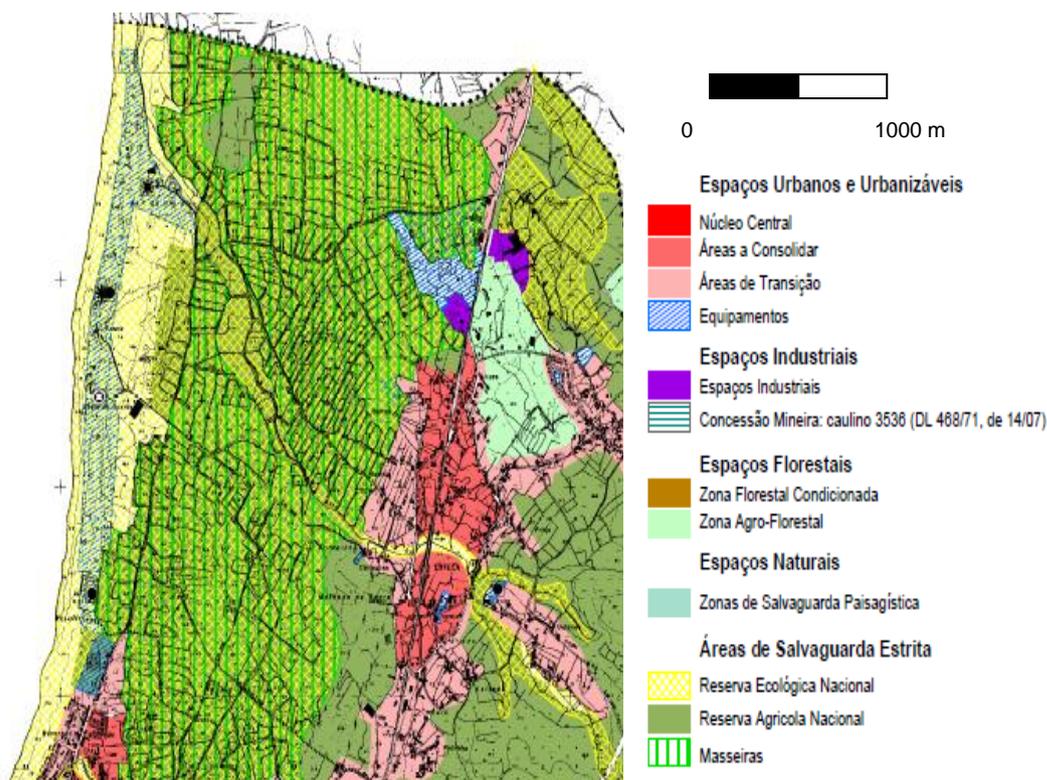


Fig. 2.6: Mapa de ocupação do solo de Aguçadoura e Estela (www.cm-pvarzim.pt).

Apesar das áreas consagradas para a RAN e para a REN, a ocupação urbana é cada vez mais intensa e exerce uma forte pressão nessas áreas protegidas, o que, se não forem tomadas certas medidas, poderá afectar

2. Caracterização geral da área de estudo

economicamente este sector. Segundo o Projecto Agro 35 (M.A., 2005), nos períodos entre 1990 e 2002, verifica-se um aumento da área urbana em detrimento das áreas agrícola e florestal (figura 2.7). No entanto, outro aspecto focado neste projecto é o aumento da área de culturas em estufa, em detrimento das culturas ao ar livre, que se mostraram menos produtivas e mais trabalhosas que as primeiras.

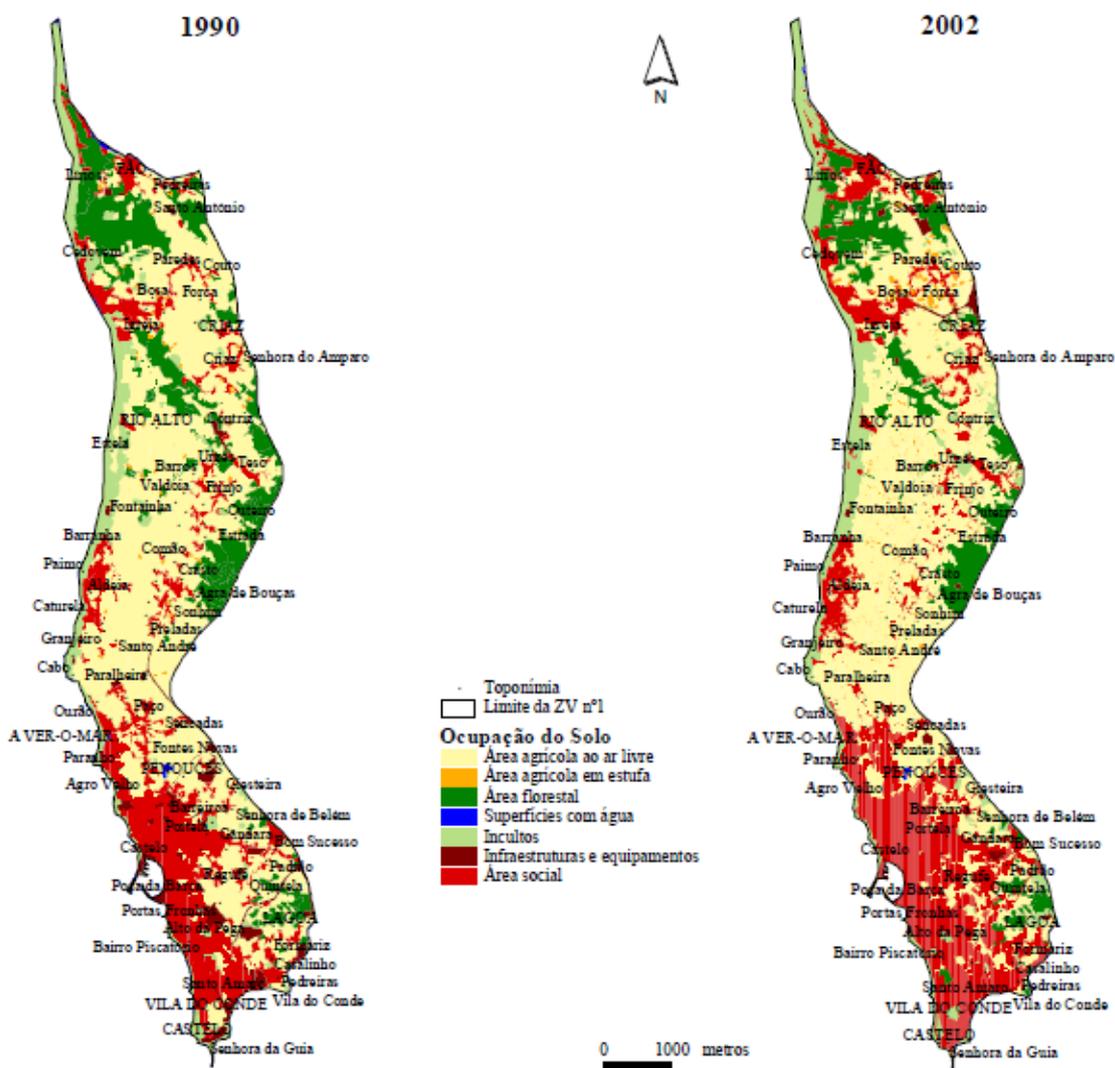


Fig. 2.7: Mapas ilustrativos da ocupação do solo da Zona Vulnerável nº1 em 1990 e em 2002 (M.A., 2005).

2.5. Hidrogeologia

Na área de estudo ocorrem águas superficiais e as subterrâneas, sendo estas últimas, as de maior interesse do ponto de vista económico nesta região.

Nas águas superficiais salienta-se, na região da Estela, o ribeiro do Rio Alto que nasce na freguesia de Laúndos, desaguando na praia de Rio Seco na freguesia de Apúlia. Esta linha de água tem como afluente o ribeiro do Maninho, que nasce na Estela (Melo, 1992). Na zona norte de Aguçadoura, destaca-se apenas a Ribeira da Barranha que nasce na freguesia de Terroso (CMPV, 2000).

A respeito das águas subterrâneas, pode dizer-se que, maioritariamente, ocorrem em aquíferos freáticos ou livres, cuja captação é feita principalmente por poços pouco profundos (entre 3 e 8 metros) e alguns furos, que podem atingir varias dezenas de metros de profundidade (Melo, 1992).

Estes aquíferos associados às areias de duna, encontram-se sob solos permeáveis com boa drenagem e estão assentes na camada xistosa ou argilosa ou, ainda, sobre os quartzitos. A direcção do fluxo é tendencialmente este – oeste (M.A., 2005).

Os níveis freáticos variam sazonalmente. No Inverno podem ascender à superfície inundando os campos mas, em média, o nível encontra-se entre os 50 e os 80 cm de profundidade. No Verão, o nível médio encontra-se a cerca de um a dois metros, dependendo da extracção de água para regas, sendo que, neste caso, os níveis podem diminuir (Melo, 1992).

A principal fonte de recarga destes aquíferos é a precipitação atmosférica. As águas pluviais infiltram-se pela camada arenosa mais superficial até encontrar a camada menos permeável, neste caso, a camada argilosa, que constitui a base do aquífero. No caso da ausência da camada impermeável, as águas de percolação infiltram-se através das fracturas do xisto e do quartzito (M.A., 2005).

2.6. Perfil socioeconómico

2.6.1. Estrutura socioeconómica

Tanto as freguesias de Aguçadoura como a de Estela dependem fortemente da agricultura, sendo esta a sua principal actividade económica. Nos quadros 2.2 e 2.3, apresentam-se dados estatísticos relativos às freguesias de Aguçadoura e Estela, respectivamente.

No caso de Aguçadoura, cerca de 14% da população residente dedica-se directamente à agricultura. No entanto, é de notar que a actividade comercial de produtos hortícolas e alimentares, não estando contabilizada na população agrícola, está, de certa forma relacionada com a actividade agrícola. O tipo de agricultura praticada nesta freguesia é de carácter familiar e de cultura intensiva, sobretudo a horticultura a céu aberto, como é o caso das masseiras, a horticultura em estufas e a floricultura.

Já na Estela, cerca de 46% da população residente dedica-se a este tipo de actividade. A prática agrícola nesta freguesia é muito semelhante à da Aguçadoura, mas inclui ainda as culturas forrageiras, localizadas mais para o interior da freguesia.

Quadro 2.2: Dados estatísticos da freguesia de Aguçadoura (www.cm-pvarzim.pt).

Indicador	Valor	Unidade	Período
Área Total	3,63	Km ²	2001
Densidade populacional	1249,38	Habitantes/km	2001
População Residente (total)	4530	Habitantes	2001
Superfície Agrícola Utilizada (SAU)	108	ha	1999
População agrícola	643	Indivíduos	1999

Quadro 2.3: Dados estatísticos da freguesia da Estela (www.cm-pvarzim.pt)

Indicador	Valor	Unidade	Período
Área Total	11,73	Km ²	2001
Densidade populacional	221,95	Habitantes/km	2001
População residente (total)	2596	Indivíduos	2001
Superfície agrícola utilizada (SAU)	465	ha	1999
Superfície agrícola não utilizada	4	ha	1999
Superfície agrícola utilizada por exploração	1,52	ha/exploração	1999
População agrícola	1189	Indivíduos	1999

2.6.2. Actividade agrícola: masseiras

De acordo com as fontes históricas, as masseiras remontam aos finais do séc. XIX. Devido à pressão populacional crescente em Aguçadoura e um cada vez mais reduzido número de terrenos disponíveis para a prática agrícola, a população viu-se forçada a procurar novos terrenos para cultivo. Deparou-se com os campos dunares a norte e áreas de pinhal plantadas pelos monges de Tibães até ao séc. XIX, que indicavam a existência de solo fértil e água a pouca profundidade.

As masseiras tiveram o seu desenvolvimento no século XX, principalmente durante as décadas de 20, 30 e 40. Nas décadas de 50 e 60 começaram a entrar em declínio, devido a extracção de areias para comercialização. Nos dias de hoje, esse tipo de cultura típica está em vias de desaparecer, sendo substituído pelas mais rentáveis estufas e por campos abertos (JFE, 2009).

A escavação ou descoberta de uma masseira consiste em escavar a areia para os lados, de modo a dar-lhe a forma característica, continuando até encontrar a camada de argila, que se encontra ligeiramente acima do nível freático. Pode-se, de modo sucinto, descrever a sucessão estratigráfica das camadas, sendo a mais superficial a das areias de duna de espessura variável, seguida pelas areias finas com cerca de 1,80 m, logo a seguir 30 cm de areias

2. Caracterização geral da área de estudo

ferruginosas e, por último, a camada das argilas, estas de cor negra, resultantes da alteração dos xistos.

Uma masseira é constituída por vários elementos (figura 2.8). O primeiro, é formado durante o processo de escavação do campo, onde as areias acumuladas dos lados formam uma espécie de barreira protectora contra os ventos e retardam a evaporação da humidade. Estes taludes são designados por valos. Para ajudar a fixar estas areias, antigamente plantavam-se vinhas mas actualmente plantam-se sebes. Os restantes elementos encontram-se na parte inferior da masseira, dividida em talhões, organizados longitudinalmente com cerca de 4 metros de largura e separados por pequenas valas ou regueiros, na qual se faz a drenagem ou “sangração” da água em excesso, para um canal de drenagem principal, denominado por sangradouro principal, que a conduz para fora dos campos (COSTA, 1987).

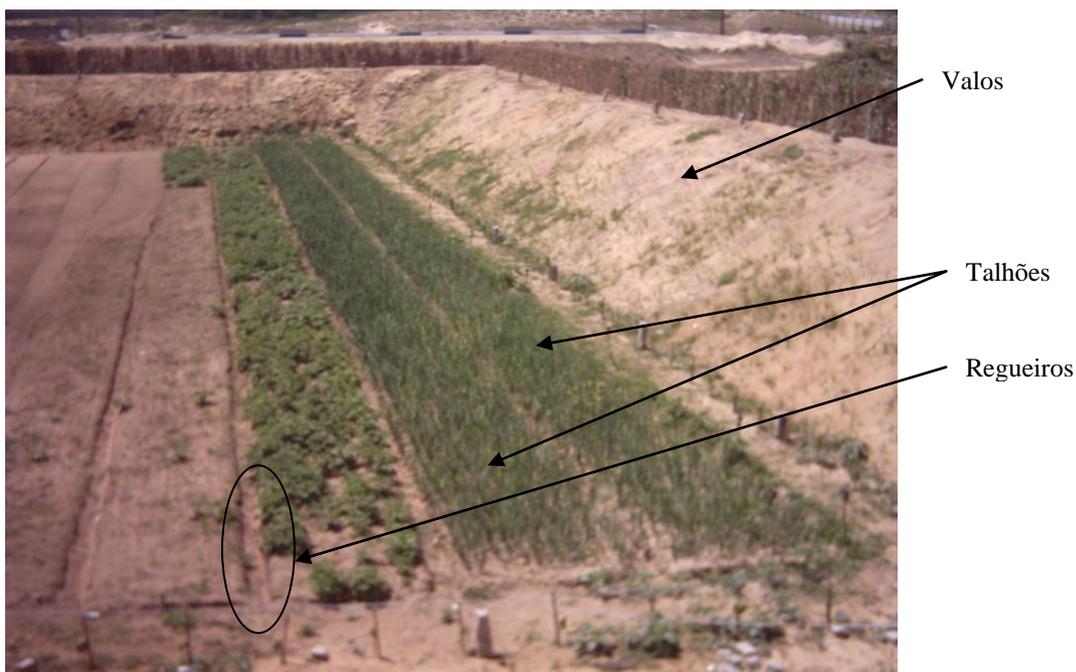


Fig. 2.8: Fotografia de uma masseira na Estela

3.

Metodologia

Neste capítulo descreve-se a metodologia adoptada neste trabalho, que pode ser dividida em duas fases: a primeira resume-se na recolha de dados de campo e a segunda na análise laboratorial desses dados e sua discussão no contexto da área em estudo.

3.1. Recolha de dados de campo

A recolha de dados de campo pode ser dividida em quatro etapas fundamentais, sendo a primeira, a recolha de informações publicadas por fontes oficiais, como instituições científicas e cooperativas agrícolas, mas também de fontes locais como as populações residentes, neste caso os agricultores. A segunda consiste no inventário de pontos de água, como poços e furos, com auxílio de vários instrumentos electrónicos de medição e localização geográfica. Na terceira etapa, procedeu-se à colheita de amostras de água em pontos seleccionados. Por fim, foi aplicado o método de resistividade eléctrica no estudo da interface água doce/água salgada.

3.1.1. Pesquisa de informações da área em estudo

Este ponto é muito importante para qualquer tipo de investigação hidrogeológica, pois antes de qualquer saída de campo é necessário ter algum conhecimento da área que se pretende investigar.

Esse conhecimento consiste, inicialmente, de estudos geológicos publicados, como cartas geológicas, que nos fornecem a primeira impressão das características geológicas, com base na identificação das litologias e estruturas. Através de mapas topográficos, pode-se obter muita informação útil, como a identificação de estradas, caminhos, linhas de água, relevo, povoações, entre outros, que serão de muita utilidade para um planeamento de rotas mais eficiente, poupando tempo e por vezes dinheiro. O contacto com as instituições locais ou regionais e as populações residentes poderá fornecer informações adicionais acerca das características da área em estudo.

Uma vez adquirida informação suficiente, um primeiro reconhecimento da área é essencial para o planeamento de futuras saídas de campo, dando especial atenção às características e dimensões do terreno a cobrir e de possíveis desafios a enfrentar.

Antes de qualquer saída para o terreno, além de algum conhecimento da área, é necessário ter em conta as condições meteorológicas para o dia marcado para a saída. Outro aspecto importante é o equipamento a utilizar, como o vestuário, mantimentos, água e instrumentos electrónicos ou mecânicos. Deve-se ter, pelo menos, noções básicas de funcionamentos dos equipamentos utilizados de forma a se poder operá-los com segurança e eficácia (Brassington, 1988).

No âmbito deste estudo, foram consultados diversos documentos cartográficos, incluindo a Carta Militar de Portugal à escala 1:25 000 e a Carta Geológica de Portugal à 1:50 000. Além disso, recorreu-se também à fotografia de satélite disponibilizada no Google Earth.

Tentou-se obter informação sobre a área em estudo em algumas entidades oficiais, como a Administração da Região Hidrográfica do Norte e a Direcção Regional de Agricultura e Pescas do Norte. Foram contactadas também as Cooperativas Agrícolas de Esposende e Póvoa de Varzim, a Delegação do Laboratório Nacional de Energia e Geologia, a Câmara Municipal da Póvoa de Varzim e a Escola Superior Agrária de Ponte de Lima.

3.1.2. Inventário dos pontos de água

Uma vez, reunida toda a informação necessária e traçado o plano de acção, com as rotas a percorrer e a área de estudo onde será feita a amostragem dos dados, pode-se dar início à etapa seguinte, ou seja, o inventário dos pontos de água.

Este inventário consiste na identificação e registo em mapas das coordenadas geográficas de poços ou furos, com o recurso a GPS e mapas georreferenciados com auxílio de programas informáticos adequados e na medição de alguns parâmetros físico-químicos da água das captações. Nesta fase do inventário foi usado o sistema de coordenadas do Datum WGS 84. os dados obtidos foram posteriormente transformados para o sistema de

3. Metodologia

referenciação do Datum 73, Ponto Central, de forma a compatibilizar a informação de campo com a cartografia digital.

Em cada ponto de água identificado adoptou-se o seguinte procedimento:

- registo das coordenadas do ponto de água;
- medição e registo do nível da água na captação;
- medição e registo da profundidade do poço ou furo com uma sonda de nível;
- medição e registo da condutividade eléctrica, da temperatura e do pH da água com o auxílio de equipamento portátil adequado.

Estes parâmetros físicos são muito importantes, pois dão uma primeira impressão no terreno, das características físicas da captação e da água que é captada.

Seguidamente descrevem-se, de forma sucinta, as características dos equipamentos utilizados.

A sonda de nível consiste numa fita graduada em centímetros, atingindo um comprimento total de 100 metros. É uma sonda da marca SEBA, modelo KLL, dotada de dispositivo de alerta luminoso e com uma sonda metálica na extremidade. Nesta sonda existem dois eléctrodos, em que o revestimento metálico funciona como um eléctrodo e um outro inserido no interior da sonda, visível através de uns pequenos orifícios em volta. Ao entrarem em contacto com a superfície da água, os dois eléctrodos completam o circuito e emitem um sinal luminoso na bobine. O método de utilização deste instrumento de medição é muito simples, consistindo em descer a sonda, lentamente, através da captação, tendo o cuidado de verificar o diâmetro das tubagens, para evitar que a sonda fique presa ou danificada, até atingir a superfície da água, caso se pretenda medir o seu nível ou até embater no fundo, para medir a profundidade da captação.

O condutivímetro utilizado é da marca HANNA, modelo HI 9033, sujeito a uma calibração com uma solução padrão (HI 6031) de 1413 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ele é composto por duas partes: a primeira é o aparelho em si com um pequeno ecrã onde mostra os dados medidos e a segunda consiste numa sonda, contendo uma célula de condutividade ligada ao aparelho por um cabo eléctrico.

Por fim, a medição do pH e da temperatura foi feita através de um aparelho que mede ambos os parâmetros, marca TESTO, modelo 206 – pH1, sujeito a uma calibração com uma solução tampão (Panreac) pH 7,00 ± 0,02 (20°C) ST. Este aparelho é de utilização e composição muito simples, semelhante a um termómetro, com um ecrã, um sensor de temperatura e outro de pH.

3.1.3. Colheita de amostras de água e fertilizantes para análise

Na colheita de amostras de água, o processo inicial é muito semelhante ao do inventário de pontos de água, onde se procede novamente à recolha de dados referentes à condutividade eléctrica e à temperatura dos pontos seleccionados, de modo a analisar possíveis alterações sofridas entre o inventário e a colheita das amostras para análise laboratorial.

Para a colheita das amostras foram utilizados recipientes em polietileno de 500 ml. Durante a colheita teve-se especial cuidado para não ficarem bolhas de ar retidas no interior dos recipientes. Para o transporte das amostras para o laboratório foi utilizada uma mala térmica com gelo, de modo a evitar o aquecimento das amostras, que poderia ter como consequência a exsolução de gases e o crescimento microbiano.

Os fertilizantes classificam-se em adubos e correctivos, podendo ambos ser de origem mineral ou orgânica. Os adubos são compostos, em geral, por três constituintes principais: o azoto, o fósforo e o potássio.

O azoto está normalmente sob a forma de complexos azotados, como o amoníaco, a ureia, nitratos, entre outros. O fósforo e o potássio estão presentes na forma de óxidos.

Para além dos elementos antes referidos, os fertilizantes podem conter também, mas em menores quantidades, outros elementos, tais como magnésio, enxofre, boro, níquel, cobre e ferro.

Os correctivos, como o nome indica, servem para corrigir qualquer deficiência em algum elemento, de forma a alterar o pH e/ou a alcalinidade de um dado solo para uma dada cultura. A sua composição consiste, basicamente, em carbonato de cálcio, mas também poderá apresentar

carbonato de magnésio, bem como outros elementos, como o boro, o cobalto, o cobre, o ferro, o fluoreto, o zinco, entre outros (INIAP - LQARS, 2006).

A colheita de amostras de fertilizante para análise é simples. Após identificado(s) o(s) fertilizante(s) mais usado(s) pelos agricultores de um dado local, recolheu-se uma pequena porção de amostra para frascos devidamente lavados, secos e identificados. Foram recolhidas para análise quatro amostras distintas. Destas, duas eram adubos minerais, uma um adubo orgânico e, por último, um correctivo mineral de pH.

3.1.4. Aplicação do método de resistividade eléctrica

Para a aplicação do método da resistividade eléctrica, tem-se que ter em conta as diferentes características dos materiais geológicos. Portanto, um estudo prévio da zona a investigar é importante, pois se tivermos uma ideia do que vamos encontrar a nível geológico será muito mais fácil analisar e interpretar os dados de resistividade.

O método de resistividade eléctrica consiste na identificação de zonas com propriedades eléctricas diferentes, através da medição da resistividade que é conseguida, injectando uma corrente eléctrica controlada (I) através de dois eléctrodos (C1 e C2) fixados no solo, enquanto se mede a diferença de potencial (V) entre dois eléctrodos de potencial (P1 e P2), tal como se pode ver na figura 3.1 (Loke, 1999).



Fig. 3.1: Disposição mais comum dos eléctrodos de corrente e de potencial na aplicação do método da resistividade eléctrica.

A resistência (R), do ponto de vista teórico, é calculada usando a lei de Ohm definida pela expressão 3.1:

$$R = \frac{V}{I} \quad (3.1)$$

No entanto, na prática, tem-se que ter em conta o factor geométrico (k), que depende da disposição no solo dos quatro eléctrodos. Por isso, incluiu-se

3. Metodologia

esse factor na lei de Ohm, em que o valor calculado será a resistividade aparente (ρ_a), dada pela expressão 3.2:

$$\rho_a = k \frac{V}{I} \quad (3.2)$$

Este valor de resistividade não é o real, mas sim um valor aproximado da resistividade de um solo homogéneo na qual irá dar o mesmo valor para o mesmo arranjo dos eléctrodos. Com o auxílio de software adequado (por exemplo, o programa RES2DINV) pode-se calcular o valor real da resistividade, através da inversão dos valores de resistividade aparente. Na sua interpretação, assume-se que as camadas se encontram na posição horizontal, havendo portanto mudança na resistividade em função da profundidade (Loke, 1999).

Na detecção da interface água doce/água salgada, sendo este o objectivo traçado para este estudo da resistividade, utilizou-se um instrumento de medição da resistividade, o ABEM Terrameter SAS 1000, constituído pelos seguintes componentes: um resistímetro SAS 1000, com um ecrã e um canal de saída e um conector de bateria externa (figura 3.2).



Fig. 3.2: Equipamento de resistividade. (a) resistímetro SAS 1000; (b) bateria externa e cabo conector

Acoplado ao SAS 1000 tem-se o LUND Resistivity Imaging System, que é um sistema de eléctrodos múltiplos para altas resoluções 2D e 3D dos perfis de resistividade, sendo constituído por uma unidade básica, um selector de

3. Metodologia

eléctrodos ES10-64, cabos multi-condutores, eléctrodos metálicos e garras metálicas conectoras entre os cabos (figura 3.3).

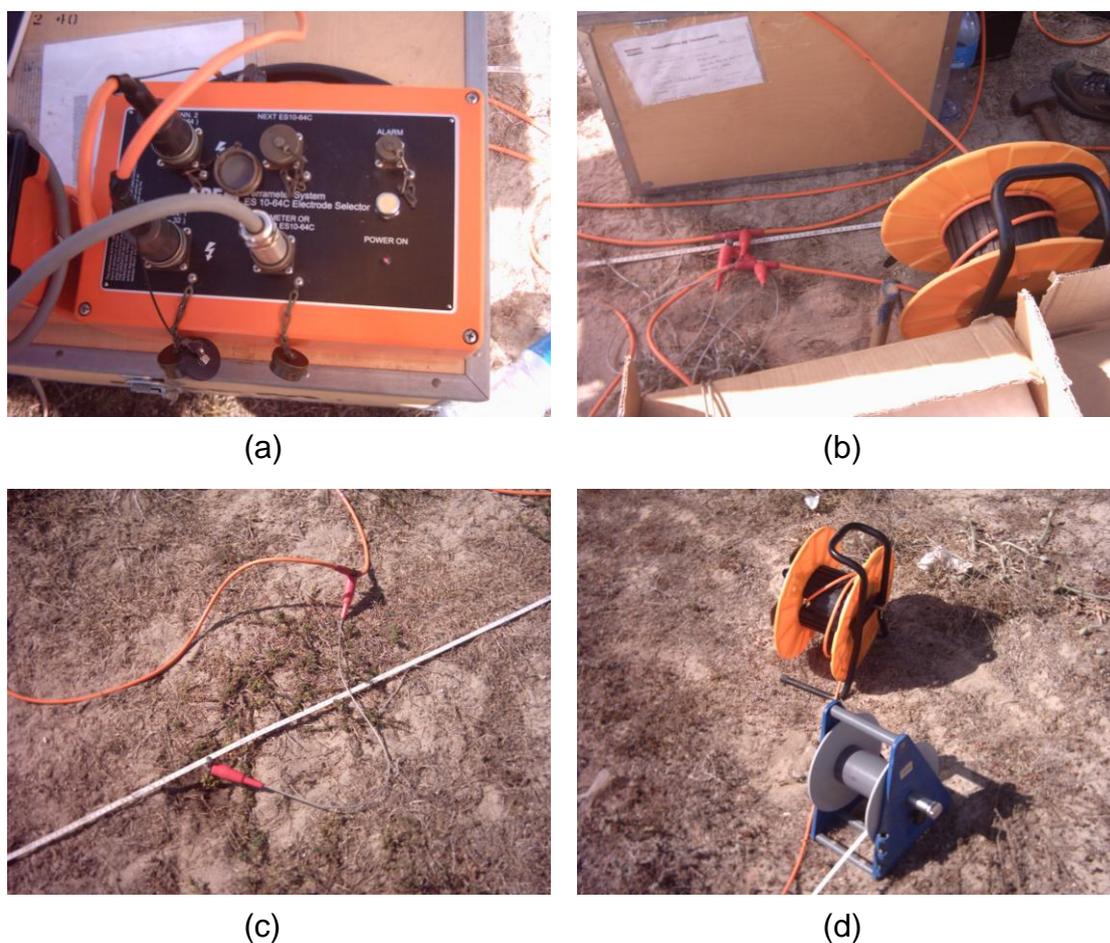


Fig. 3.3: Sistema LUND. (a) conexão da bobine de cabos multi-condutores ao LUND; (b) e (c) garras metálicas conectadas aos cabos multi-condutores e aos electrodos metálicos fixados no solo; (d) bobine de cabos multi-condutores e fita métrica

O protocolo utilizado foi o de WEN32SX, só de um canal para a disposição, preferencial, de Wenner- α (figura 3.4), com apenas dois cabos, (ABEM, 2009), com valores constantes de a (distância entre electrodos).

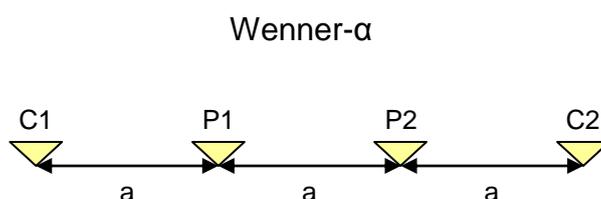


Fig. 3.4: Disposição dos eléctrodos no dispositivo de Wenner- α (Loke, 1999).

O dispositivo de Wenner- α apresenta as seguintes características: é um dispositivo robusto, com profundidades de investigação não muito profundas, com sinal de emissão forte, reduzindo assim o ruído de fundo, de aplicação simples e é relativamente mais sensível às alterações verticais do que horizontais, na sub-superfície de resistividade, abaixo do centro do dispositivo. Portanto, este arranjo é útil quando temos estruturas horizontais mas não tão bom quando temos estruturas verticais, sobretudo se forem estreitas.

A principal desvantagem deste arranjo é ter uma cobertura horizontal fraca com o aumento do espaçamento entre eléctrodos, o que poderá ser uma séria limitação em termos de profundidade de investigação (Loke, 1999).

3.2. Análise laboratorial

Para a colheita das amostras de água, seleccionaram-se 30 dos 101 pontos de água inventariados. Na sua selecção, teve-se o especial cuidado de escolher os mais representativos e que abrangessem a maior área possível. Neste caso, seleccionaram-se aqueles com valores de condutividade eléctrica significativamente distintos.

Após a colheita das amostras, estas foram submetidas a diferentes tratamentos de acordo com os procedimentos que a seguir se descrevem.

Após darem entrada no laboratório o conteúdo das amostras foi dividido em três porções distintas. Uma parte foi simplesmente colocada em refrigeração a 4 °C, não tendo sofrido qualquer outro tratamento. Esta parte foi utilizada para a determinação dos seguintes parâmetros: pH, condutividade eléctrica e alcalinidade. Uma outra parte foi submetida a filtração com membranas de 0,45 μ m e colocada em refrigeração a 4 °C. Esta porção foi posteriormente utilizada para a análise de aniões, nomeadamente, o fluoreto, o cloreto, o nitrito, o brometo, o nitrato, o fosfato e o sulfato. Finalmente, a terceira porção foi filtrada em membranas de 0,45 μ m, acidificada a um pH <2 com ácido nítrico (HNO₃) supra puro a 65% e refrigerada a 4°C. Esta porção destinou-se à análise de metais por ICP – MS e ICP – OES, que foi efectuada nos laboratórios da ACTLABS (Activation Laboratories, Ontário, Canadá).

3. Metodologia

O ICP-OES é uma técnica analítica usada para a detecção de metais vestígias. A espectroscopia de massa com plasma indutivo (ICP-MS) é um método muito sensível e capaz de determinar uma gama de metais e não metais com concentrações abaixo de 1 mg/l.

Os aniões foram determinados por cromatografia iónica no laboratório de águas do departamento de ciências da terra da Universidade do Minho.

Por último, a método da análise volumétrica foi aplicado na determinação da alcalinidade das amostras de água.

As amostras de fertilizante foram inicialmente secas num excicador durante três dias para retirar toda a humidade. Seguidamente foram pesadas, dissolvidas em 50 ml de água ultra pura e filtradas em membranas de 0,45 µm. Posteriormente foram analisadas pelos procedimentos descritos em relação às amostras de água.

4.

Apresentação e discussão dos resultados

4.1. Parâmetros de campo

Como já foi mencionado no capítulo 3, o trabalho foi realizado em duas fases. Nesta secção faz-se a interpretação dos dados obtidos durante a primeira fase do trabalho, ou seja, o inventário dos pontos de água.

Os parâmetros físico-químicos recolhidos nos 101 pontos de água inventariados estão apresentados na tabela 4.1. No entanto, nove destes pontos foram excluídos, pelas seguintes razões. Um desses motivos foi de ordem espacial, como o excesso de urbanização que terá um efeito limitante na qualidade e disponibilidade dos dados de campo. Outro motivo seria o de apresentar características geológicas e dos solos pouco adequadas ao estudo em questão.

Por conseguinte, foram considerados 92 pontos que se localizam desde o litoral norte de Aguçadoura até ao limite entre as freguesias de Estela e Apúlia (figura 4.1). Dessas 92 captações, 85 são poços, 4 são furos, duas são linhas de água (uma permanente sob a forma de um ribeiro e outra temporária por resultar do escoamento de águas das masseiras) e uma é uma lagoa, formada por convergência do escoamento subterrâneo numa zona depressionária.

Os 92 pontos foram seleccionados de modo a que representassem o mesmo ambiente geológico, geomorfológico, climático e hidrogeológico. Assim, em termos geológicos, a totalidade dos pontos seleccionados está inserida em areias de duna e, mais raramente, em areias de praia. Trata-se de uma zona topograficamente aplanada, com declives muito pouco acentuados, exceptuando a transição entre as praias e as dunas, que por vezes pode ser mais acentuada. Sendo uma zona litoral, o clima é relativamente homogéneo e é marcadamente influenciado pelo oceano Atlântico, com precipitações abundantes e temperaturas moderadas. A nível hidrogeológico, é uma zona de aquífero livre essencialmente constituído por areias de duna e de praia. Procurou-se ainda que os pontos de água estivessem localizados em áreas

4. Apresentação e discussão dos resultados

agrícolas com pouca ou nenhuma influência urbana. A maioria destes pontos está localizada nos campos tipo “masseira”.

Tabela 4.1: Apresentação dos dados recolhidos no inventário de pontos de água. (Ex. – ponto excluído da análise; BB – captação em bombagem; Inact. – captação inactiva; SD – sem dados).

Ref.	Datum 73 Ponto central		Z (m)	Tipo	Prof. da captação (m)	Prof. do nível freático (m)	C.E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Temp. $^{\circ}\text{C}$	pH	Obs. (*)
	X (m)	Y (m)								
P – 01	-54459,03	194327,58	SD	Poço	7,00	0,20	905	14,5	6,34	Ex.
P – 02	-54310,99	194524,20	SD	Furo	120,00	2,50	518	16,8	7,28	Ex.
P – 03	-53654,11	194479,59	SD	Poço	7,00	0,70	1262	14,9	6,70	Ex.
P – 04	-53483,27	194554,92	SD	Poço	7,00	0,20	823	15,0	6,83	Ex.
P – 05	-53664,84	194606,76	SD	Furo	180,00	1,50	864	14,7	6,67	Ex.
P – 06	-53665,81	194609,77	SD	Poço	8,00	0,50	642	14,9	6,97	Ex.
P – 07	-54321,96	194827,46	SD	Poço	6,50	0,87	540	12,9	7,74	Ex.
P – 08	-54314,25	194797,36	SD	Poço	6,20	0,25	786	12,6	7,99	Ex.
P – 09	-54357,68	194856,83	SD	Poço	5,80	3,00	535	13,9	7,98	Ex.
P – 10	-53562,92	197388,11	7,5	Poço	3,20	0,65	831	11,8	8,24	
P – 11	-53548,22	197456,99	7	Poço	8,20	0,40	853	13,1	8,15	
P – 12	-53376,64	197407,25	9	Poço	12,20	0,50	922	13,2	SD	
P – 13	-53570,35	197645,31	7	Poço	7,80	0,25	1348	13,5	SD	
P – 14	-53651,06	197678,13	5,5	Poço	7,10	1,45	1254	14,6	SD	
P – 15	-53610,16	197466,62	6	Poço	2,00	SD	892	13,2	SD	
P – 16	-53635,94	197489,89	5	Poço	5,80	0,40	587	11,2	SD	
P – 17	-53746,41	197548,02	4	Lagoa	SD	SD	778	14,8	SD	
P – 18	-53530,01	197277,72	8	Poço	3,70	0,30	1066	12,7	SD	
P – 19	-53332,74	197494,85	10,5	Poço	2,40	0,30	1417	12,9	SD	
P – 20	-53256,53	197512,10	10	Poço	4,00	SD	1417	14,0	SD	
P – 21	-53172,26	197534,26	11	Poço	7,00	SD	986	15,4	SD	
P – 22	-53159,28	197532,13	11	Poço	6,30	0,30	1185	14,2	SD	
P – 23	-53358,48	197422,07	9,5	Poço	9,40	2,00	582	14,9	SD	
P – 24	-53274,65	197401,22	11	Poço	6,50	0,30	922	11,7	SD	
P – 25	-53273,99	197367,20	11	Poço	6,00	0,30	731	12,5	SD	
P – 26	-53489,43	197832,59	9	Poço	5,20	0,20	710	14,4	7,88	
P – 27	-53615,71	197411,65	6	Poço	2,20	0,48	772	12,5	SD	
P – 28	-53479,04	197272,21	9	Poço	3,05	0,20	836	13,2	7,82	
P – 29	-53575,18	197761,41	6	Poço	7,90	0,70	849	14,2	SD	
P – 30	-53533,91	197686,96	8	Poço	7,60	0,40	837	14,8	7,83	
P – 31	-53430,49	197823,99	9	Poço	6,70	1,00	958	15,5	SD	
P – 32	-53179,97	197863,50	11	Poço	7,00	0,60	1055	15,5	8,02	
P – 33	-53300,33	198531,03	8,5	Poço	5,00	0,50	1341	15,6	7,64	BB
P – 34	-53556,72	198604,64	8	Poço	0,20	1,00	1124	16,2	8,36	
P – 35	-53334,47	198818,52	7	L. água	5,70	1,00	800	15,1	7,85	
P – 36	-53300,59	199004,27	7,5	Poço	8,20	0,40	1045	15,6	7,64	
P – 37	-53053,95	199155,87	8	Poço	8,30	2,18	956	15,9	7,59	
P – 38	-53042,93	199057,71	9	Poço	4,50	1,10	658	14,2	8,06	Inact.
P – 39	-53038,16	199034,65	9	Poço	5,90	1,20	667	14,3	7,97	
P – 40	-53015,77	198972,40	9	Poço	0,50	1,50	405	14,4	7,76	
P – 41	-52960,01	198945,83	9,5	L. água	3,00	0,20	890	15,3	7,85	
P – 42	-53348,80	198486,50	8,5	Poço	2,70	0,70	670	13,5	7,60	
P – 43	-53314,85	198480,15	9	Poço	2,40	1,00	702	14,5	7,76	Inact.
P – 44	-53199,00	198559,03	9	Poço	3,80	0,20	1001	13,7	7,80	
P – 45	-53197,47	198612,04	9	Poço	5,80	0,70	1095	16,4	7,60	
P – 46	-53200,31	199027,27	8	Poço	10,00	0,90	817	17,1	7,63	
P – 47	-53179,79	198978,04	8	Poço	2,00	1,15	1205	16,8	7,71	
P – 48	-53101,78	198975,26	9	Poço	106,00	1,00	1113	18,5	7,15	
P – 49	-53242,43	198917,64	8	Furo	3,00	0,30	1170	17,5	8,16	
P – 50	-53306,59	198805,23	8	Poço	5,65	1,40	936	17,4	7,84	

4. Apresentação e discussão dos resultados

Ref.	Datum 73 Ponto central		Z (m)	Tipo	Prof. da captação (m)	Prof. do nível freático (m)	C.E. (μS/cm)	Temp. °C	pH	Obs. (*)
	X (m)	Y (m)								
P – 51	-53247,86	198775,63	8,5	Poço	6,50	0,65	519	18,7	8,18	
P – 52	-53240,53	198807,57	8	Poço	6,20	0,20	547	18,3	8,03	
P – 53	-53247,45	198816,64	8	Poço	2,65	0,60	742	19,4	8,36	
P – 54	-53211,08	198253,00	11,5	Poço	8,50	3,85	941	16,9	7,46	
P – 55	-53168,36	198322,61	10,5	Poço	2,00	0,75	753	17,0	7,96	
P – 56	-53206,72	198288,98	11	Poço	8,10	0,62	852	17,1	7,66	
P – 57	-53174,69	198389,71	10	Poço	115,00	0,40	849	18,3	7,52	
P – 58	-53140,85	198372,36	10,5	Furo	3,40	0,80	1064	17,8	8,13	Inact.
P – 59	-53142,85	198372,38	10,5	Poço	2,70	0,85	1060	17,2	8,17	Inact.
P – 60	-53170,88	198270,61	11	Poço	3,30	1,32	928	17,3	8,03	Inact.
P – 61	-53076,72	198182,62	11	Poço	8,00	0,70	936	16,0	7,01	
P – 62	-53079,41	198213,66	11	Poço	2,70	1,00	1047	14,9	7,58	Inact.
P – 63	-53068,33	198220,56	11	Poço	2,70	0,75	1035	15,8	7,63	
P – 64	-53077,69	198285,68	11	Poço	2,25	0,80	760	15,1	7,90	Inact.
P – 65	-53069,95	198258,59	11	Poço	2,10	1,00	809	15,4	8,13	
P – 66	-52982,55	198094,63	12	Poço	5,80	1,15	1227	15,8	7,41	Inact.
P – 67	-53053,13	198140,36	11,5	Poço	4,10	0,75	880	16,7	7,47	
P – 68	-53202,83	198077,83	10,5	Poço	3,00	0,60	1133	18,2	7,50	
P – 69	-53210,35	198025,88	10,5	Poço	8,00	1,00	1262	16,6	7,38	
P – 70	-52913,86	198060,93	13	Poço	10,60	1,90	926	16,3	7,30	
P – 71	-52869,81	198063,49	14	Poço	6,35	2,40	789	17,3	7,32	BB
P – 72	-52875,41	198004,52	13	Poço	3,70	0,20	835	18,8	6,63	Inact.
P – 73	-53107,33	198022,85	11	Poço	7,60	1,00	998	16,8	7,62	
P – 74	-53241,92	198270,32	12	Poço	10,00	3,80	1032	16,3	7,43	
P – 75	-52958,80	197869,29	13	Poço	8,00	0,90	933	17,6	7,77	
P – 76	-52972,70	198478,72	11	Poço	4,00	1,40	1025	17,8	7,55	
P – 77	-52991,00	198548,94	10,5	Poço	4,00	2,00	802	16,6	7,76	
P – 78	-52955,58	198589,61	10,5	Poço	8,00	2,30	920	16,6	7,64	
P – 79	-52917,69	198576,22	11	Poço	6,80	0,90	788	18,4	7,66	
P – 80	-52915,93	198552,19	11	Poço	1,40	0,70	811	17,3	8,33	Inact.
P – 81	-52957,07	198540,60	11	Poço	3,20	1,70	1076	16,6	7,77	BB
P – 82	-53286,84	198180,73	10	Poço	3,50	1,00	945	17,2	7,65	BB
P – 83	-53402,69	198101,85	9	Poço	7,00	3,00	1365	16,5	7,80	
P – 84	-53278,07	197957,53	10,5	Poço	14,50	3,80	1539	17,0	7,39	
P – 85	-53286,71	197794,54	10	Poço	7,00	0,30	1248	18,9	7,49	BB
P – 86	-53277,02	197763,42	10,5	Poço	4,00	1,20	1483	19,5	7,95	
P – 87	-53057,95	198358,52	11	Poço	8,80	0,85	609	18,7	8,15	
P – 88	-53038,19	198433,36	10,5	Poço	3,20	0,50	1009	17,9	7,52	BB
P – 89	-52923,24	197923,96	12,5	Poço	7,00	0,80	1103	17,2	7,90	BB
P – 90	-52895,78	197967,70	12,5	Poço	8,70	0,50	1274	21,0	7,58	
P – 91	-52751,49	197990,27	14	Poço	8,00	0,60	1016	18,1	6,90	
P – 92	-52741,64	197974,16	14	Poço	8,20	1,10	944	18,3	7,36	
P – 93	-52837,80	197963,12	13	Poço	7,70	0,65	1016	21,4	7,51	
P – 94	-53416,11	198160,01	9	Poço	7,60	2,00	1115	17,0	7,56	
P – 95	-53511,11	198164,97	7	Poço	50,00	1,90	146,5	16,8	7,65	Inact.
P – 96	-53495,24	198150,80	7	Furo	75,00	SD	1312	19,2	7,14	
P – 97	-53461,84	198089,44	8	Furo	8,40	7,40	1245	18,4	7,12	
P – 98	-52453,13	197712,14	16,5	Poço	10,60	1,00	680	16,7	6,23	
P – 99	-52255,47	198167,38	17	Poço	6,50	0,50	947	18,0	6,65	
P – 100	-52269,46	198168,52	17	Poço	6,00	0,50	893	17,1	6,63	
P – 101	-53084,57	199095,15	9	Poço	6,00	1,00	853	18,1	SD	BB

4. Apresentação e discussão dos resultados

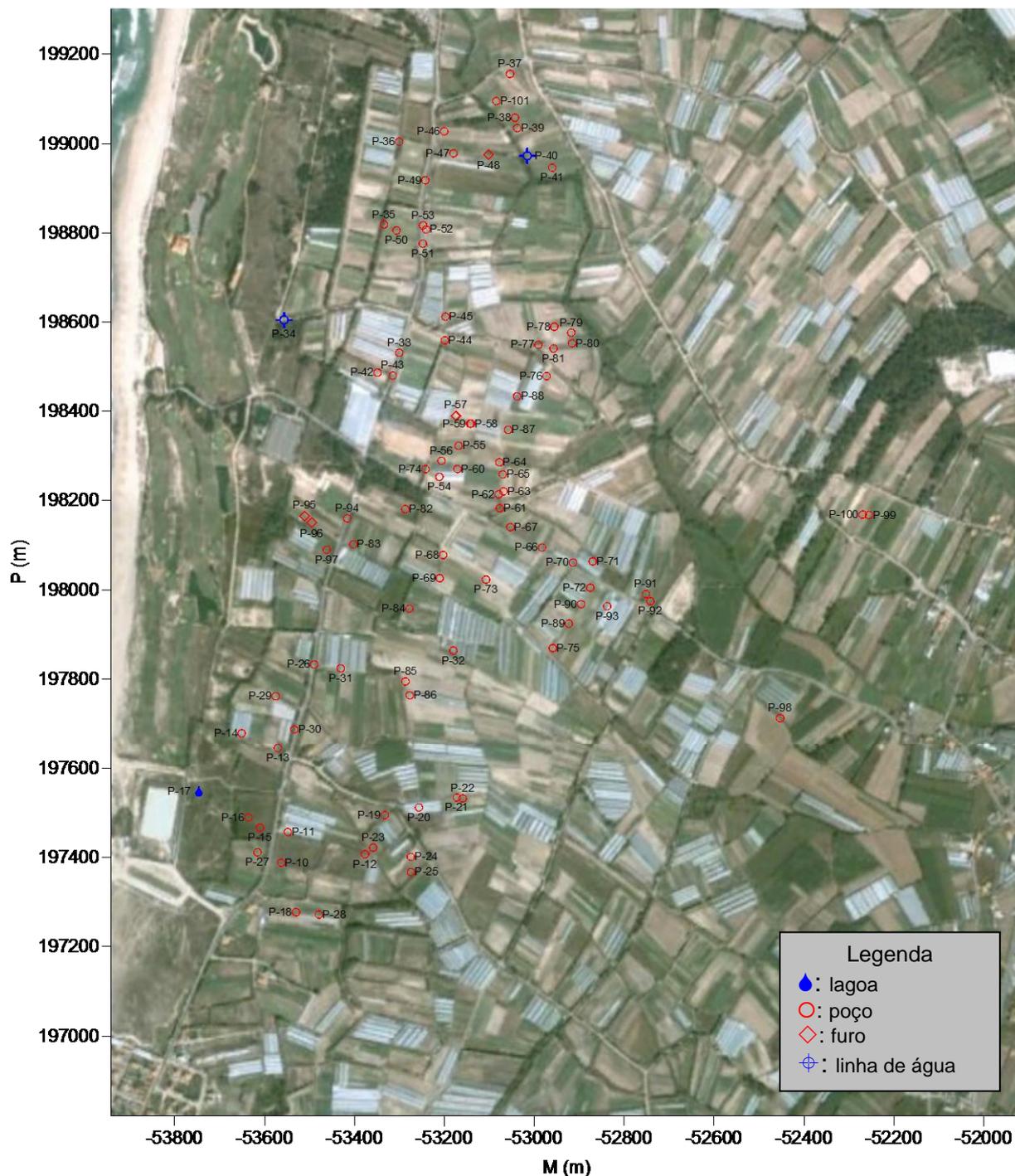


Figura 4.1: Localização dos pontos de água incluídos neste estudo

Para a análise estatística dos parâmetros de campo recolhidos durante o inventário, procedeu-se ao estudo das principais características amostrais calculadas para cada parâmetro. Estas podem ser divididas em medidas de localização, de dispersão ou escala e de forma.

As medidas de localização estudadas foram a média, a mediana, os quartis e a moda amostral.

4. Apresentação e discussão dos resultados

Para as medidas de dispersão ou escala, deu-se atenção à variância, desvio padrão, coeficiente de variação, amplitudes inter-quartis ($a = q_{3/4} - q_{1/4}$) e amostrais ($r_n = x_{(n)} - x_{(1)}$).

Por fim, nas medidas de forma, só se estudou o coeficiente de assimetria.

As medidas antes referidas têm um suporte gráfico a acompanhar os cálculos efectuados. Esse suporte normalmente vem na forma de um histograma e/ou de uma caixa de bigodes.

Raramente uma distribuição é simétrica. Tal deve-se ao facto de que durante uma análise estatística, a maioria dos parâmetros amostrais é sensível a outliers, ou seja, a valores suspeitos que se destacam dos restantes, podendo provocar discrepâncias na distribuição dos dados. Esses outliers podem ser de dois tipos: moderados ou severos. Os outliers moderados ou simplesmente outliers são aqueles que se encontram definidos a partir de valores fora do intervalo $]q_{1/4} - 1,5a, q_{3/4} + 1,5a[$. Os outliers severos encontram-se definidos a partir de valores fora do intervalo $]q_{1/4} - 3a, q_{3/4} + 3a[$.

Normalmente recorre-se ao coeficiente de assimetria (b_1) de forma a determinar com mais precisão o grau de assimetria de uma dada distribuição. No entanto, tal como as restantes medidas, este parâmetro também sofre a influência dos outliers, logo é necessário recorrer-se a outros coeficientes mais resistentes, ou seja, menos sensíveis à interferência dos outliers na análise estatística dos dados. Um desses coeficientes é o coeficiente de assimetria de Yule – Kendall, que mede a assimetria na parte central da distribuição dos dados tendo como base os quartis e poderá corrigir os valores do outro coeficiente de assimetria calculado, aumentando assim a precisão da análise (Athayde, 2005).

4.1.1. Condutividade eléctrica

Dos parâmetros de campo medidos durante o inventário e na amostragem, a condutividade é muito importante, pois fornece informação acerca da mineralização da água num dado momento. No entanto, este valor não é estável, variando consoante o valor de pH, temperatura e da concentração de sais dissolvidos.

4. Apresentação e discussão dos resultados

Do ponto de vista agrónomo, valores altos de condutividade eléctrica indicam teores elevados de sais dissolvidos, dificultando o desenvolvimento e produtividade das culturas. Esses valores podem ter origens naturais, como o caso de solos costeiros, mas também por aplicação excessiva de fertilizantes (INIAP – LQARS, 2006).

Na figura 4.2 pode-se observar a distribuição dos valores da condutividade eléctrica das amostras de água em estudo, representada num histograma e numa caixa de bigodes, para um total de 92 amostras.

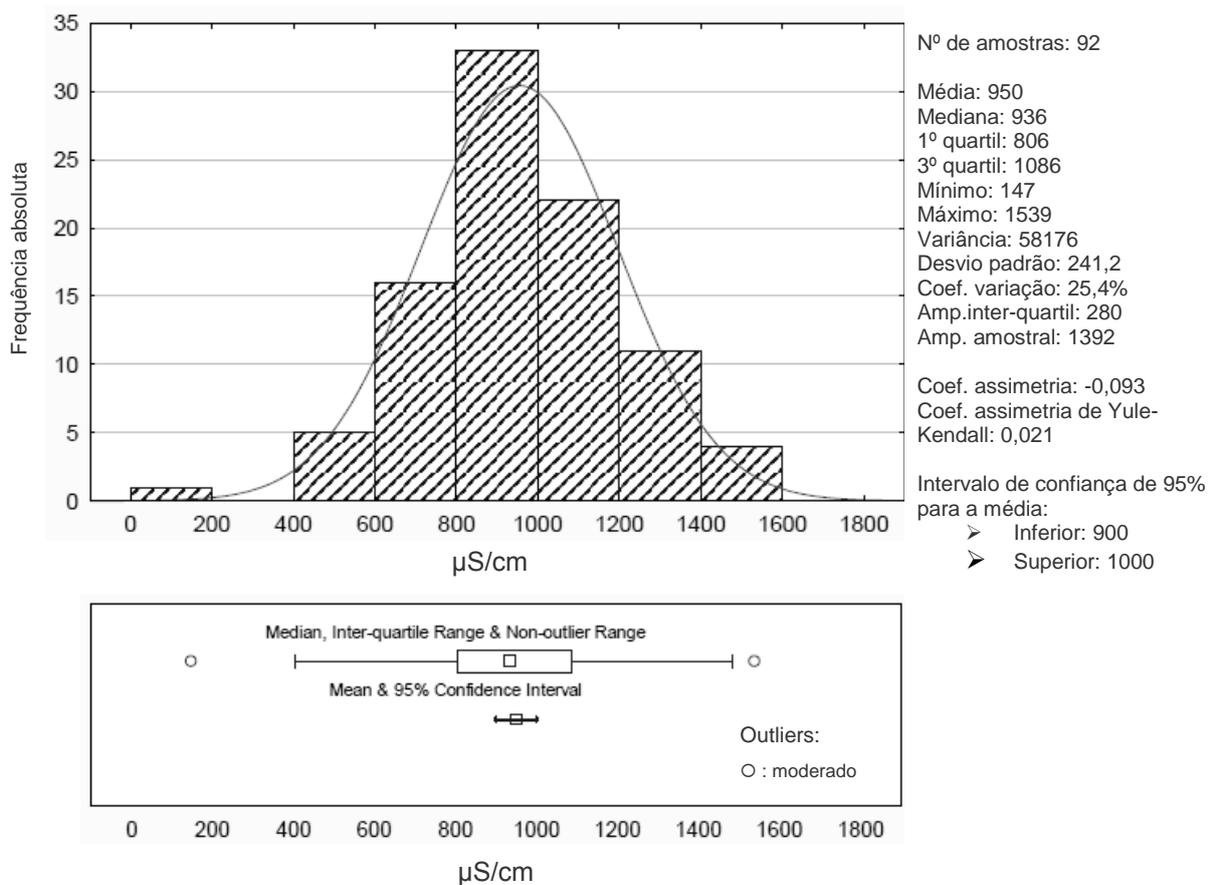


Figura 4.2: Distribuição dos valores da condutividade eléctrica das amostras de água estudadas.

Analisando o histograma da figura 4.2, verifica-se que a classe modal está compreendida entre os 800 $\mu\text{S/cm}$ e os 1000 $\mu\text{S/cm}$, representando 35,9% das 92 amostras. Cerca de 6,5% das amostras apresentam valores inferiores a 600 $\mu\text{S/cm}$. Entre os 600 $\mu\text{S/cm}$ e os 1200 $\mu\text{S/cm}$ situam-se 77,2%, possuindo as restantes 16,3% valores de condutividade compreendidos entre os 1200 $\mu\text{S/cm}$ e os 1600 $\mu\text{S/cm}$.

4. Apresentação e discussão dos resultados

Os dados apresentam um elevado grau de dispersão, com um coeficiente de variação de 25,4%.

Visualizando o histograma da figura 4.2, dá a sensação de uma distribuição próxima do simétrico, mas isso não se verifica. Esta afirmação pode ser confirmada através da relação entre a média e a mediana, onde se verifica que o valor da média é superior ao da mediana. Assim sendo, a distribuição orienta-se para uma assimetria positiva, mas ao calcular-se o coeficiente de assimetria, este apresenta um valor negativo, indicando, pelo contrário, uma ligeira assimetria negativa.

A análise estatística efectuada mostra a presença de dois outliers moderados, sendo um deles correspondente à amostra com o valor mínimo de condutividade ($147 \mu\text{S}/\text{cm}$) e o outro ao valor máximo de $1539 \mu\text{S}/\text{cm}$. Estes dois valores considerados anómalos são identificados como tal, por se encontrarem fora do intervalo $] 386 \mu\text{S}/\text{cm}, 1506 \mu\text{S}/\text{cm} [$, sendo este intervalo o limite onde não existem outliers.

De forma a avaliar o grau de influência dos outliers na distribuição, recorre-se, por exemplo, ao coeficiente de Yule – Kendall, onde se observa um valor positivo, apontando para uma ligeira assimetria positiva. Assim sendo, este valor valida a afirmação inicial estabelecida pela relação entre a média e a mediana.

Conclui-se que os dados de condutividade distribuem-se segundo um modelo normal dado que os valores de assimetria são relativamente baixos.

Nestes 92 pontos de água descritos, os valores obtidos da condutividade eléctrica foram obtidos “in situ” por medição directa, com o condutímetro descrito no capítulo 3. Posteriormente, durante a recolha de amostras para análise química laboratorial das águas subterrâneas em estudo, também se mediu a condutividade eléctrica, para uma temperatura de referência de 25°C . Na figura 4.3 está representado um diagrama de dispersão onde se estabelece uma correlação linear entre os valores de condutividade eléctrica medidos no local da captação e os valores de condutividade eléctrica medidos em laboratório, para um total de 30 amostras de água.

Da observação da figura 4.3 verifica-se uma boa correlação entre os valores de campo e de laboratório.

4. Apresentação e discussão dos resultados

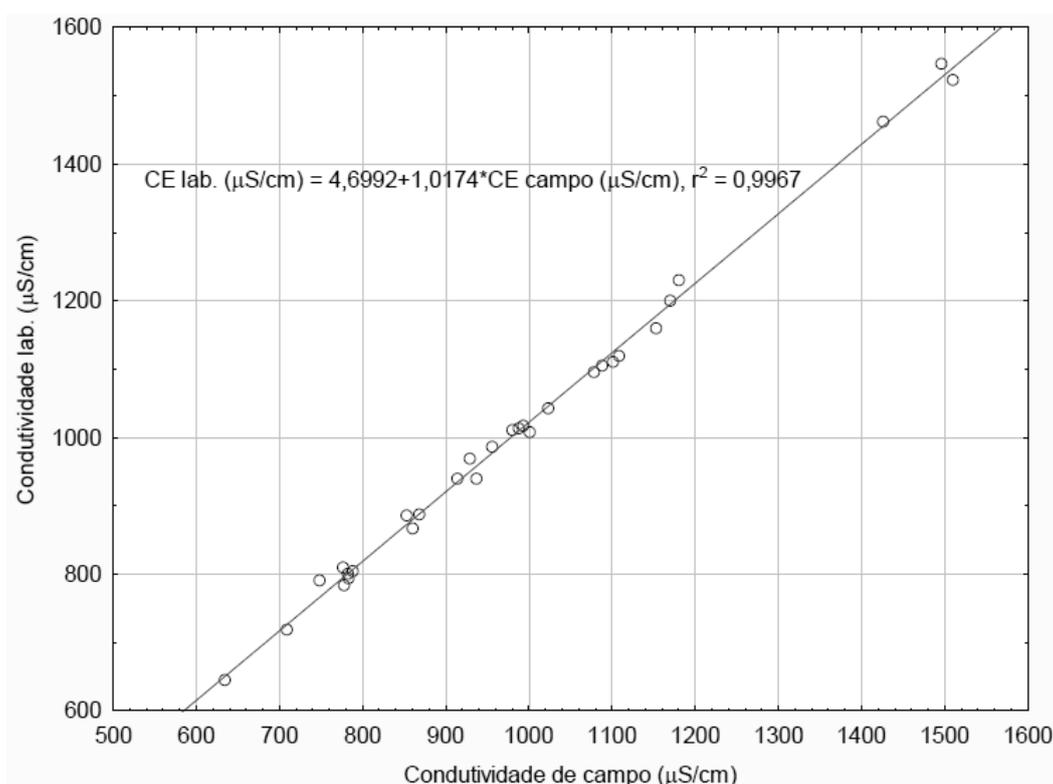


Figura 4.3: Diagrama de dispersão dos valores de condutividade eléctrica de campo e de laboratório.

De um modo geral, os valores de condutividade são muito elevados, considerando o ambiente hidrogeológico regional, pouco favorável à dissolução de minerais. Como tal, a mineralização das águas deverá estar essencialmente dependente de processos não naturais, nomeadamente a prática agrícola intensiva da região.

4.1.2. Temperatura

A temperatura da água, em alguns casos, poderá ser determinante na caracterização e estudo dos recursos hídricos de uma dada região.

A análise estatística das amostras de água em estudo, referentes à temperatura, encontra-se representada na figura 4.4.

4. Apresentação e discussão dos resultados

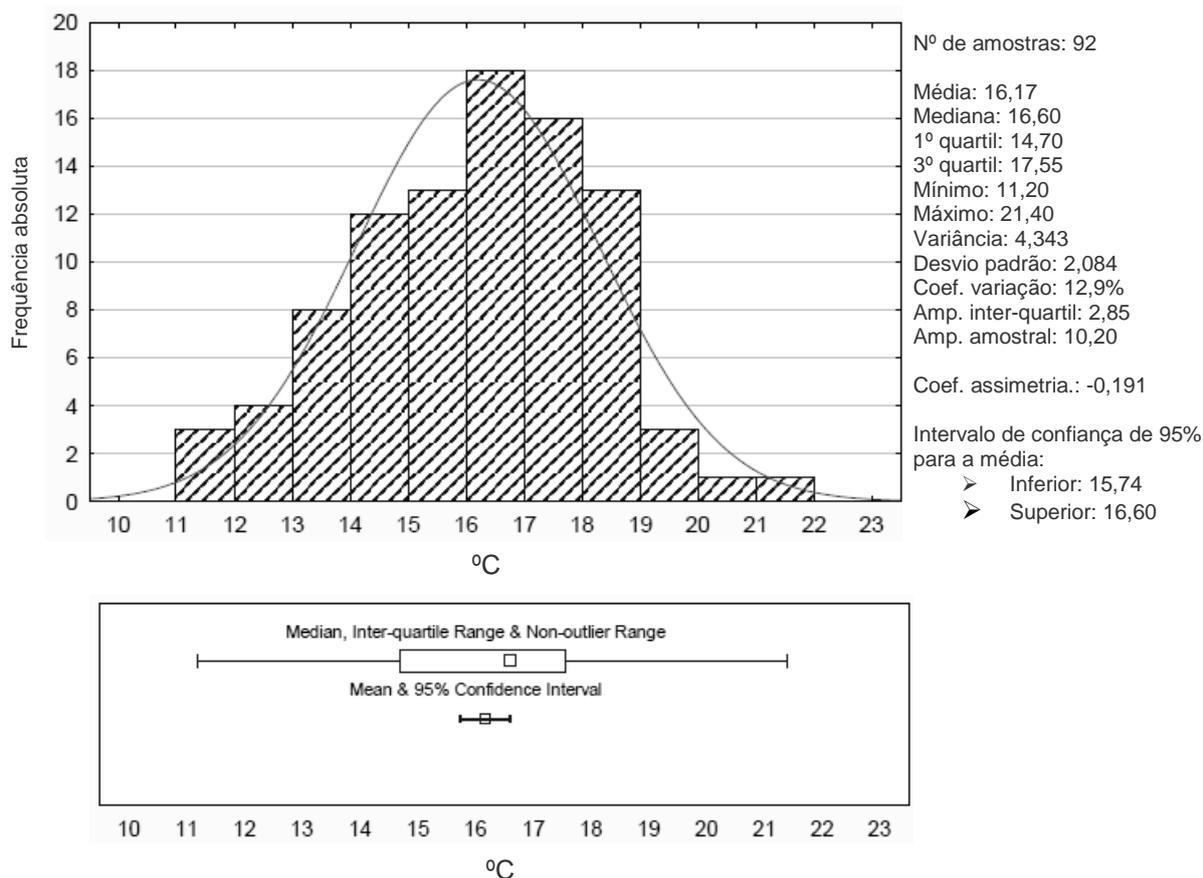


Figura 4.4: Distribuição dos valores da temperatura das amostras de água estudadas.

Na figura 4.4 pode-se identificar uma classe modal entre os 16 °C e os 17 °C, representando cerca de 19,6% do total da amostragem.

O histograma pode ser dividido em três partes: na zona inferior, para valores compreendidos entre 11 °C e os 15 °C, tem-se 29,4% dos dados; a zona central, compreendida entre os 15 °C e os 19 °C, comporta a maioria dos dados, sendo aproximadamente 65,2% e a zona superior, representando 5,4%, encontram-se os valores de temperatura compreendidos entre 19 °C e 22 °C.

A dispersão é relativamente baixa, apresentando um coeficiente de variação de 12,9%.

Tal como descrito para a condutividade eléctrica, a temperatura aparenta ter uma distribuição simétrica. No entanto, como a média é inferior à mediana, haverá uma assimetria negativa. O cálculo do coeficiente de assimetria, confirma o pressuposto anteriormente.

Estes valores de temperatura, devido a condições climáticas pouco comuns para a época, foram na maioria dos casos inflacionados. Nos meses em que se procedeu ao inventário, as temperaturas do ar estavam um pouco altas e, como as medições foram feitas à superfície, a temperatura do ar influenciou a temperatura das amostras. Constituem excepção 27 amostras, que possuem temperaturas iguais ou inferiores a 15 °C, que é a temperatura média anual na região.

4.1.3. pH

Na região em estudo, o pH representa um factor muito importante, sobretudo do ponto de vista agronómico, uma vez que condiciona a produtividade agrícola.

Os solos na região, no seu estado mais natural, são ligeiramente ácidos, devido à presença de rochas pouco alteráveis, tais como granitos e xistos mas também pela elevada pluviosidade que poderá remover algumas bases de troca. Alguns fertilizantes podem também contribuir para a acidificação dos solos (INIAP – LQARS, 2006).

Como normalmente a produtividade dos solos ácidos é baixa, mesmo que as culturas prefiram ambientes ligeiramente ácidos ou neutros, a disponibilidade dos nutrientes minerais será maior em ambientes neutros a ligeiramente alcalinos. Por isso, para contrariar a acidificação recorre-se ao uso de correctivos agrícolas alcalinizantes (INIAP – LQARS, 2006).

Os valores de pH das águas subterrâneas desta região tendem a sofrer influência das substâncias presentes nos solos, as quais, ao sofrerem dissolução, quer por acção da precipitação quer pela rega, são lixiviadas para o aquífero, alterando o equilíbrio químico das águas, modificando por consequência os valores do pH.

Na figura 4.5 está representada a análise estatística dos valores de pH das amostras de água em estudo.

4. Apresentação e discussão dos resultados

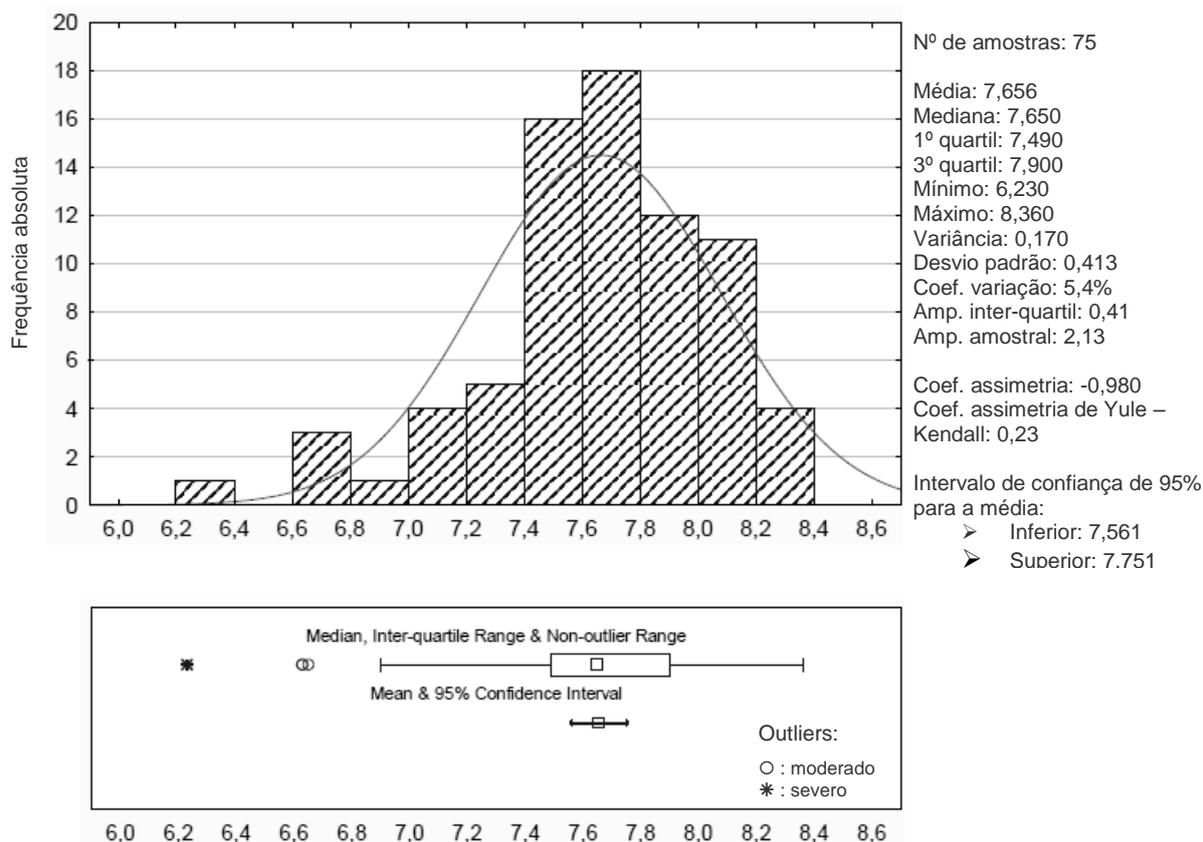


Figura 4.5: Distribuição dos valores de pH das amostras de água estudadas.

Os valores da média e da mediana são praticamente iguais, sugerindo que a distribuição dos valores de pH é relativamente simétrica.

As amostras de água com valores de pH entre 6,2 e 7,4 representam 18,7% do universo amostral; para valores entre 7,4 e 7,8 tem-se 45,3% onde também está inserido a classe modal, esta compreendida entre 7,6 e 7,8. Para valores compreendidos entre 7,8 e 8,4 tem-se 36% das amostras.

Os dados apresentam-se, no geral, muito pouco dispersos, como indica o baixo valor do coeficiente de variação (5,4%).

O valor do coeficiente de assimetria (- 0,98) contraria a ideia de uma provável simetria, deduzida anteriormente a partir da relação entre a média e a mediana. Esta falta de concordância deve-se, provavelmente, à presença dos dois outliers moderados, por se encontrarem fora do intervalo]6,875; 8,515[e de um outlier severo, por se encontrar fora do intervalo]6,26; 9,13[.

Por outro lado, o valor do coeficiente de Yule – Kendall obtido é de carácter positivo, sugerindo uma tendência assimétrica positiva.

4. Apresentação e discussão dos resultados

O pH das águas analisadas é, em média, ligeiramente alcalino (7,7), variando entre 6,2 e 8,4, que para a maioria das plantas é perfeitamente aceitável. À semelhança da condutividade eléctrica, também os valores de pH são genericamente elevados, facto para o qual concorre a adição de fertilizantes e pesticidas.

4.1.4. Profundidade das captações

Dos 92 pontos de água inventariados foram apenas seleccionados os poços, que são 85 no total.

Para esta região, o estudo da profundidade dos poços poderá revelar informações que de outro modo não seriam possíveis, tais como, a identificação de litologias não visíveis à superfície e a espessura da formação aquífera.

A figura 4.6 representa a distribuição estatística dos valores referentes à profundidade das captações.

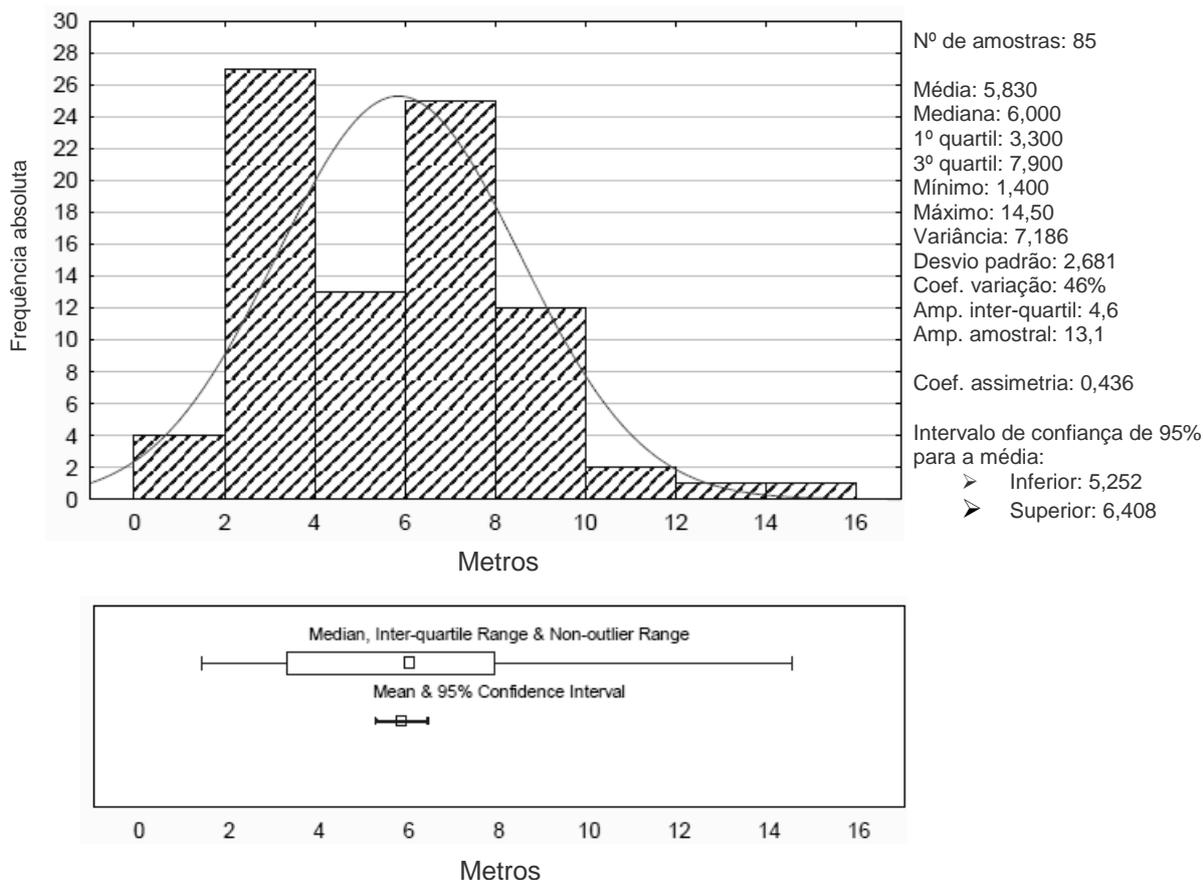


Figura 4.6: Distribuição dos valores da profundidade das captações de água estudadas.

Esta distribuição é bimodal, observando-se duas classes modais bem definidas, uma compreendida entre os 2 metros e os 4 metros e outra para valores entre os 6 metros e os 8 metros, representando 61,2% do total da amostragem. Mais de 90% destes poços possuem uma profundidade variável entre os 2 metros e os 10 metros.

O coeficiente de variação de 46% sugere uma dispersão dos dados bastante acentuada.

Analisando os valores estatísticos obtidos, observou-se que a média é inferior à mediana, o que indica uma possível assimetria negativa. No entanto, o valor do coeficiente de assimetria (0,44) contaria essa ideia.

De um modo geral, os poços da região em estudo são pouco profundos, com um valor médio de 5,8 metros.

Os poços com valores de profundidade abaixo da média poderão estar relacionados com assoreamento das captações por areias, devido à inactividade e à falta de manutenção regular das captações. Também pode ser associado à pouca profundidade do nível freático não havendo, por isso, necessidade de captações mais profundas.

4.1.5. Profundidade do nível freático

A área em estudo apresenta características muito peculiares, nomeadamente o facto do nível freático se encontrar muito próximo da superfície. Tratando-se de um aquífero livre, de elevada permeabilidade, o conhecimento da profundidade do nível freático veio alterar de modo significativo o modo de vida e cultural das populações residentes.

Na figura 4.7 está representada a distribuição dos valores da profundidade do nível freático dos pontos de água inventariados.

A classe modal corresponde ao intervalo]0, 1], que define cerca de 70,5% do total dos dados, significando que na maioria das captações o nível freático estará próximo da superfície topográfica.

A amostra apresenta uma elevada dispersão dos dados, como se pode verificar pelo valor do coeficiente de assimetria (98,7%).

Na questão da assimetria, o respectivo coeficiente indica uma assimetria positiva. A presença de um grande número de outliers deve-se sobretudo ao

4. Apresentação e discussão dos resultados

facto de na altura da recolha dos dados, algumas das captações estarem bombagem. De forma a se verificar o grau de influência desses outliers, determinou-se o coeficiente de Yule – Kendall e este indicou uma quase simetria da distribuição.

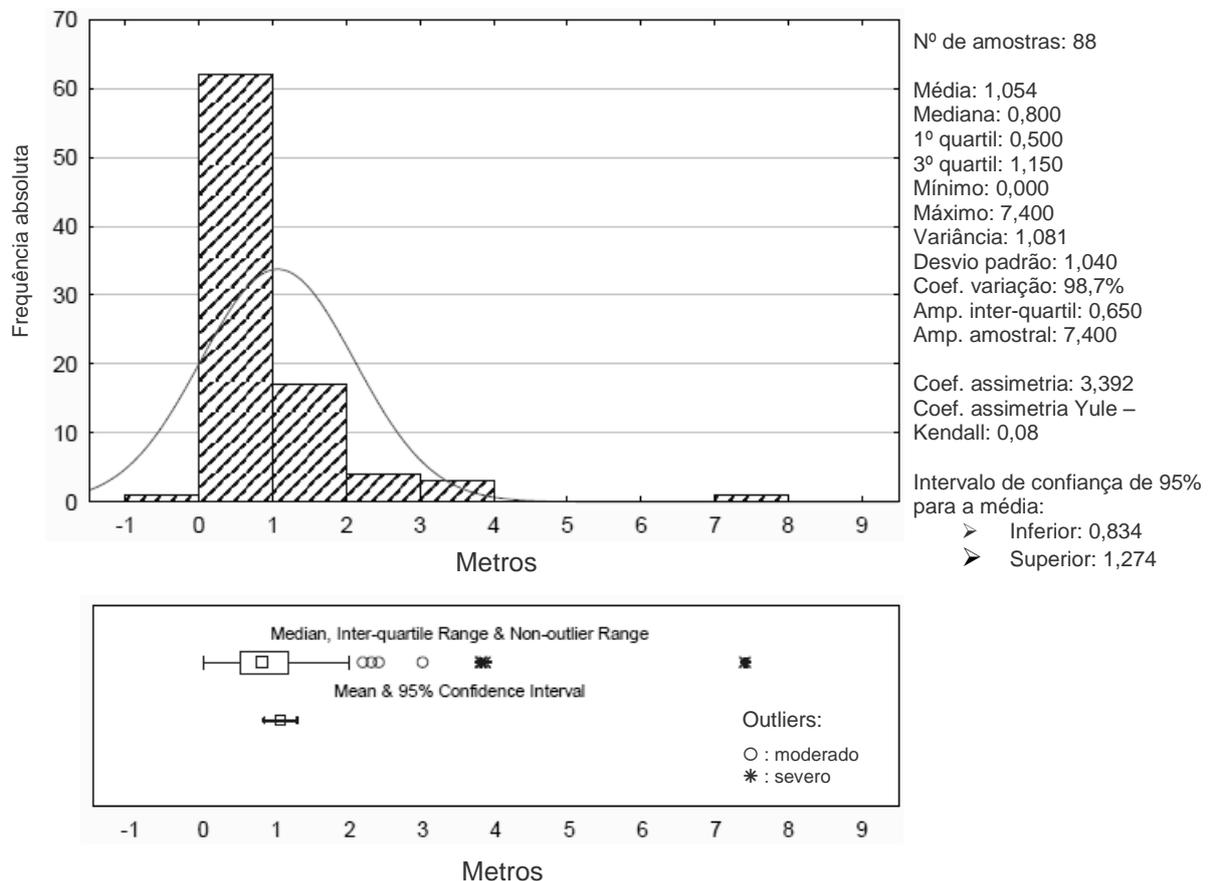


Figura 4.7: Distribuição dos valores da profundidade do nível freático das captações de água estudadas.

Estes valores reflectem o que seria de esperar numa região de aquífero livre, isto é, profundidades do nível freático próximas da superfície, daí não haver necessidade de captações profundas, como se demonstrou na figura 4.6.

4.1.6. Escoamento subterrâneo

Como fora descrito no capítulo 2, a área de estudo apresenta declives pouco acentuados. A figura 4.8 mostra a carta de isopiezas da região em estudo, inserida num modelo tridimensional do relevo. Como se pode observar nesta figura, a zona mais interior é mais elevada, possuindo altitudes entre os 14 metros e os 16 metros. A zona mais baixa localiza-se próxima do litoral,

4. Apresentação e discussão dos resultados

anterior ao cordão dunar, onde se podem encontrar cotas próximas de 4 metros, voltando de novo a aumentar ao longo do cordão dunar.

Observa-se também o vale do Rio Alto, sob a forma de uma suave zona depressionária que se estende no sentido SE – NW.

A respeito do escoamento subterrâneo, observa-se uma direcção tendencialmente E – W, com gradientes hidráulicos variando entre 0,03% e 8,5%. A zona com os maiores valores do gradiente hidráulico é sobretudo o sector W – SW da área de estudo, representada na figura como uma pequena depressão junto ao cordão dunar.

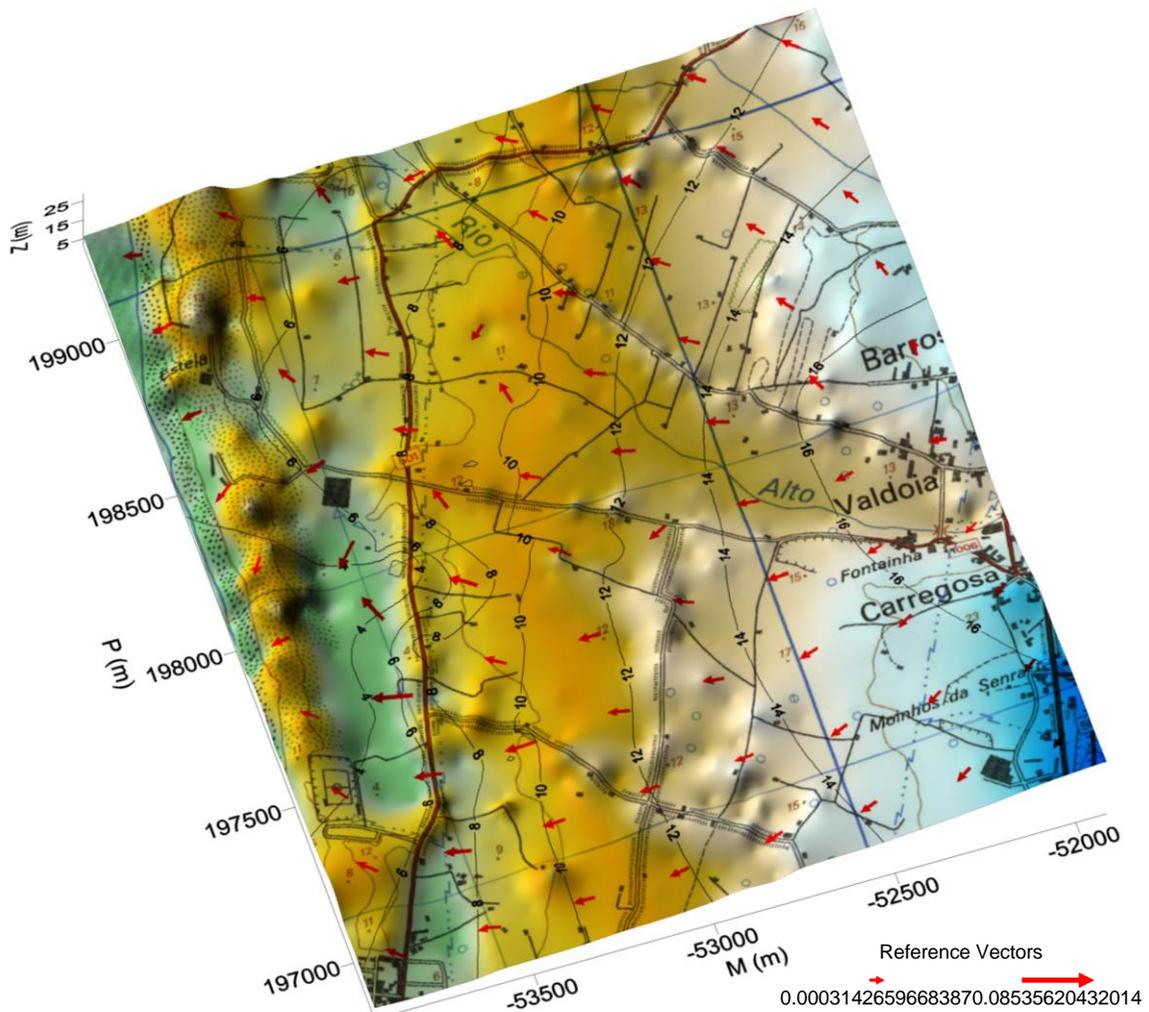


Figura 4.8: Isopiezas e escoamento subterrâneo na área de estudo.

4.2. Parâmetros laboratoriais

Na caracterização físico – química das águas subterrâneas desta região, não é suficiente a recolha de parâmetros físico – químicos de campo, mas é

4. Apresentação e discussão dos resultados

essencial uma análise química laboratorial, onde se identificarão os principais constituintes minerais dissolvidos, no sentido de explicar a origem das diferentes mineralizações à luz de processos naturais e antrópicos.

Dos 92 pontos de água inventariados, apenas 30 foram seleccionados (figura 4.9) para análise laboratorial. A selecção desses pontos seguiu os critérios descritos no capítulo anterior.

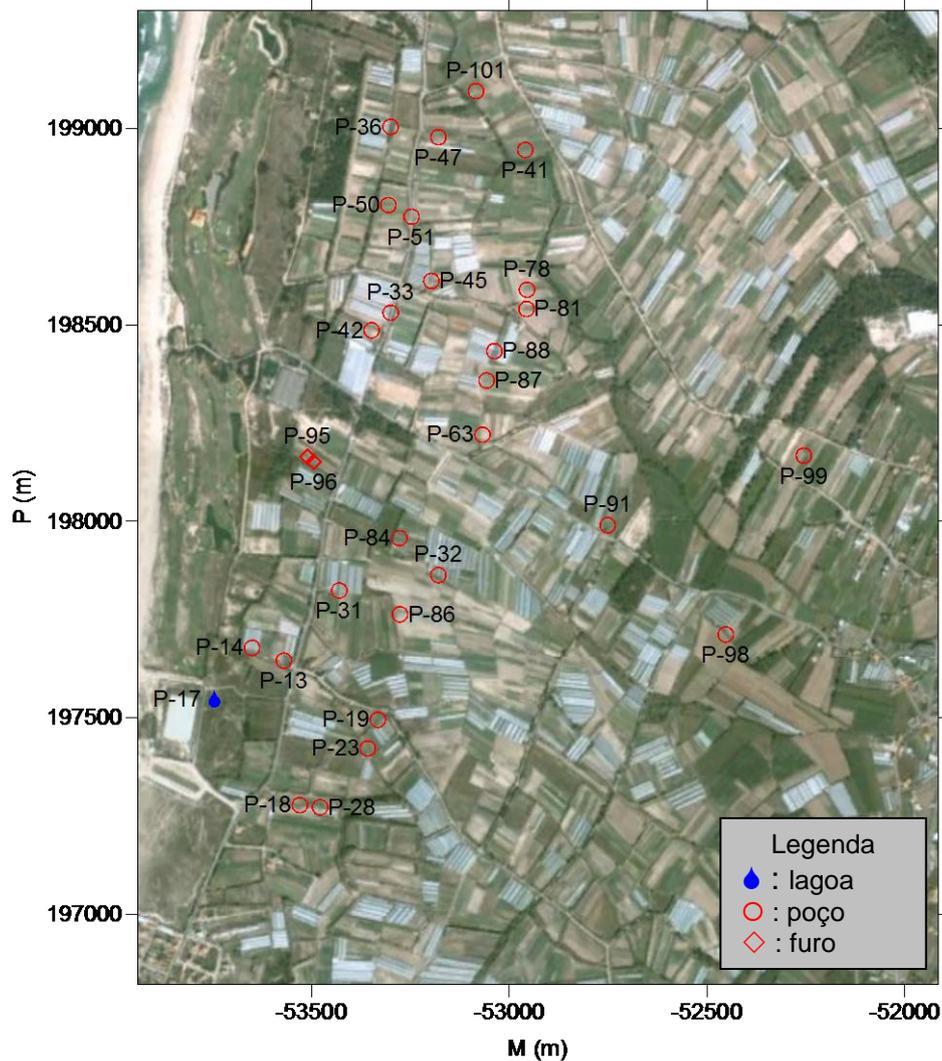


Figura 4.9: Distribuição espacial dos pontos de água seleccionados para análise.

4.2.1. Caracterização geral dos fertilizantes

Comparativamente aos restantes países da União Europeia, a agricultura portuguesa faz um uso bastante moderado de fertilizantes, mas isso não quer dizer que não exista más praticas agrícolas, especialmente a nível

regional, como a aplicação desregrada de fertilizantes, podendo colocar sérios problemas ambientais, devido à poluição das águas superficiais e subterrâneas (INIAP – LQARS, 2006).

Antes de qualquer análise aos dados, deve-se primeiro perceber o conceito de fertilização, que consiste no fornecimento de nutrientes essenciais à planta (INIAP – LQARS, 2006). Segundo Salisbury e Ross (1992), são cerca de 17 os elementos essenciais para as plantas, os quais têm que respeitar os seguintes critérios. Primeiro, um elemento é essencial se a planta não puder completar o seu ciclo de vida (ou seja, formar sementes viáveis) na ausência do elemento. Segundo, um elemento é essencial se formar parte de alguma molécula ou constituinte da planta que é ela própria essencial para a planta. Os elementos essenciais podem ser subdivididos em macronutrientes e micronutrientes. Os primeiros são constituídos pelos elementos em maiores concentrações presentes na planta, sendo o oxigénio e o carbono (na forma de CO_2) os que apresentam maiores concentrações, seguidos do hidrogénio, azoto, potássio, cálcio, magnésio, fósforo e enxofre (na forma de SO_4^{2-}). Os restantes oito elementos continuam a ter uma função importante para o desenvolvimento das plantas, mas em concentrações mais pequenas, por vezes apenas vestígias, sendo o cloreto o que apresenta maior concentração, seguido do ferro, boro, manganês, zinco, cobre, níquel e, por último, o molibdénio.

No entanto, cada cultura tem necessidades nutricionais próprias, retirando do solo quantidades diferentes de um dado elemento, tendo em conta o nível e a finalidade da produção. Assim, para que os elementos anteriormente citados possam assegurar um crescimento e desenvolvimento adequados das culturas, com a obtenção de rendimentos elevados e produtos de qualidade, é necessário que se encontrem no solo em quantidades e proporções adequadas (INIAP – LQARS, 2006).

Como é do conhecimento geral, nem sempre os solos têm os nutrientes necessários para uma produção adequada de uma dada cultura. Desta forma, uma fertilização racional é muito importante, pois a utilização adequada dos diferentes tipos de fertilizantes, que diferem entre si física e quimicamente, irá diminuir os encargos económicos, melhorar a qualidade dos produtos, garantir a saúde do consumidor e diminuir os riscos de poluição. Assim sendo, o

conhecimento das propriedades e comportamento dos fertilizantes no solo é essencial para uma correcta aplicação destes (INIAP – LQARS, 2006).

Uma vez compreendida a importância da fertilização e os cuidados a ter durante este processo, resta agora discutir os vários tipos de fertilizantes, tendo em conta a sua composição, finalidade e aplicação.

Os fertilizantes podem ser divididos em: adubos e correctivos, ambos existindo sob forma mineral ou orgânica. São substâncias utilizadas com o objectivo de manter ou melhorar a fertilidade do solo e, directa ou indirectamente, assegurar a nutrição adequada das culturas. De um modo geral, a composição dos fertilizantes baseia-se nas concentrações em azoto, fósforo e potássio, sendo estes que apresentam os maiores teores no composto fertilizante. No entanto, outros elementos ou compostos, em menores concentrações e por vezes vestígias, estão presentes na matriz do fertilizante, geralmente na forma inerte (INIAP – LQARS, 2006).

4.2.2. Critérios de verificação da precisão analítica

Os critérios que aqui são apresentados têm como principal função a verificação da precisão analítica das análises físico – químicas das amostras de água efectuadas nos laboratórios.

Segundo Oppenheimer e Eaton (1986), a verificação da precisão analítica de amostras de água deve ser feita mediante as seguintes relações interparamétricas:

- a) balanço de cargas;
- b) o total de sólidos dissolvidos (TSD) medido deve ser igual ao calculado;
- c) a condutividade eléctrica medida (C.E.m) deve ser igual á calculada (C.E.calc);
- d) a condutividade eléctrica medida deverá ser aproximadamente igual a 100 vezes a soma dos cations ou dos anions em meq/l;
- e) o total de sólidos dissolvidos medido deverá apresentar uma determinada relação (mais ou menos constante) com a condutividade eléctrica medida;
- f) o total de sólidos dissolvidos calculado deverá apresentar uma relação certa com a condutividade eléctrica medida.

4. Apresentação e discussão dos resultados

Em relação ao balanço de cargas, este é representado através do cálculo do respectivo erro (EBC) e é calculado mediante a expressão 4.1:

$$EBC (\%) = \frac{\sum \text{catiões} - \sum \text{aniões}}{\sum \text{catiões} + \sum \text{aniões}} \times 100 \quad (4.1)$$

Os somatórios dos catiões e aniões deverão ser expressos em meq/l. Estes somatórios deverão apresentar valores próximos uns dos outros, isto é, os mais equilibrados possíveis dado que toda a água é electricamente neutra (Greenberg *et al.*, 1992).

Os critérios de aceitação dos resultados dependem da mineralização total das águas. Assim, para mineralizações até 3,0 meq/l admitem-se diferenças de cerca de 0,2 meq/l entre os somatórios de catiões e aniões. Para valores entre 3,0 meq/l e 10,0 meq/l o EBC deverá ser inferior a 2%. Caso se tenha entre 10,0 meq/l e 800 meq/l, o erro poderá variar entre 2% e 5% (Greenberg *et al.*, 1992).

O total de sólidos dissolvidos medido deverá ser superior ao calculado. Se o valor medido for menor que o calculado, o maior dos somatórios iónicos e o valor medido deverão ser revistos e a amostra reanalisada. Caso o medido seja superior ao calculado em 20% ou mais, o menor dos somatórios iónicos e seus constituintes deverão ser reanalisados. A relação TSD medido/TSD calculado deverá situar-se entre 1,0 e 1,2 (Greenberg *et al.*, 1992).

O cálculo do total de sólidos dissolvidos numa amostra é feito de acordo com a equação 4.2:

$$\begin{aligned} \text{TSD (mg/l)} = & 0,6 (\text{alcalinidade}) + \text{Na} + \text{K} + \text{Ca} + \text{Mg} \\ & + \text{Cl} + \text{SO}_4 + \text{NO}_3 + \text{F} + \text{SiO}_2 \end{aligned} \quad (4.2)$$

A alcalinidade deve ser multiplicada por 0,6 uma vez que é expressa em mg/l de CaCO₃. Por isso apenas o CO₃ deve ser considerado, já que o Ca é determinado separadamente.

Para águas de ocorrência natural que contenham na sua maioria Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, HCO₃⁻, SO₄²⁻ e Cl⁻ com TSD inferior a 2500 mg/l, o cálculo da

4. Apresentação e discussão dos resultados

condutividade eléctrica pode ser efectuado pela expressão 4.3 (Greenberg *et al.*, 1992):

$$K_{\text{calc}} = K^0 y^2 \quad (4.3)$$

onde:

K_{calc} – condutividade eléctrica calculada, em $\mu\text{S/cm}$, a 25°C ;

K^0 – condutividade eléctrica calculada, para uma diluição infinita, em $\mu\text{S/cm}$, a 25°C ;

y – coeficiente de actividade.

No entanto, para se efectuar o cálculo dado pela fórmula 4.3, tem-se que primeiro determinar o parâmetro K^0 , que pode ser calculado através da expressão 4.4:

$$K^0 = \sum |z_i| (\lambda_{+i}^0) (\text{mM } i) + \sum |z_i| (\lambda_{-i}^0) (\text{mM } i) \quad (4.4)$$

onde:

$|z_i|$ – valor absoluto da carga do ião i ;

$\text{mM } i$ – concentração milimolar do ião i ;

$\lambda_{+i}^0, \lambda_{-i}^0$ – condutividade equivalente do ião i .

Os valores da condutividade equivalente dos diferentes iões encontram-se tabelados e podem ser consultados em Greenberg *et al.*, (1992).

O coeficiente de actividade, y , é calculado pela expressão 4.5:

$$y = 10^{-0,5 [IS^{0,5} / (1 + IS^{0,5}) - 0,3IS]} \quad (4.5)$$

A força iónica, IS , é determinada pela equação 4.6:

$$IS = \sum z_i^2 (\text{mM } i) / 2000 \quad (4.6)$$

A precisão da análise é feita através da relação C.E. calculada/C.E. medida e deverá situar-se entre 0,9 e 1,1. Se a C.E. calculada for superior à C.E. medida dever-se-á reanalisar o maior dos somatórios iónicos, caso seja inferior, dever-se-á reanalisar o menor.

Para que o critério que avalia a relação entre C.E. e soma dos catiões ou dos aniões seja válido ambas as somas deverão ser cerca de 1/100 do valor da

4. Apresentação e discussão dos resultados

C.E. e caso uma delas não obedeça ao critério, deverá ser novamente determinada. O intervalo válido deste critério pode ser avaliado através da expressão 4.7 (Greenberg *et al.*, 1992):

$$100 \times \Sigma \text{ aniões ou catiões (meq/l)} = (0,9 - 1,1) \text{ C.E.} \quad (4.7)$$

Segundo Oppenheimer e Eaton (1986), os valores da relação TSD calculado/ condutividade eléctrica estão normalmente compreendidos entre 0,55 e 0,7. Valores inferiores ao mínimo indicam que certos constituintes não doseados, como amónia ou nitrito, estão presentes em concentrações significativas, pelo que deverão ser realizadas as respectivas determinações. Valores superiores a 0,7 sugerem que houve sobreavaliação das concentrações dos diferentes constituintes, pelo que a análise deve ser repetida. Constituem excepção as águas em que o cálcio e o sulfato são os iões dominantes que, pela sua fraca dissociação, conduzem normalmente a valores de TSD calculado seja 0,8 vezes superior à condutividade eléctrica. Da mesma forma, amostras de água em que a sílica representa uma fracção elevada na mineralização total, a relação TSD/C.E. ultrapassa frequentemente o limite superior de 0,7.

No presente estudo, dos critérios acima indicados, apenas a relação entre o total de sólidos dissolvidos medido e o calculado não foi analisado, dado a não existência de dados referentes ao medido. Estes critérios foram aplicados para um total de 30 amostras analisadas e estão descritos como síntese na tabela 4.4.

Tabela 4.4: Síntese dos cálculos dos parâmetros de validação das amostras.

Ref.	EBC %	Σ dos aniões*100/C.E.m	Σ dos catiões*100/C.E.m	C.E. calc./C.E.m	TSD calc./C.E.m
P-13	-1,27	0,92	0,89	0,89	0,70
P-14	-2,13	1,02	0,97	0,95	0,74
P-17	-2,49	0,91	0,86	0,88	0,50
P-18	3,74	0,93	1,00	0,90	0,73
P-19	4,66	0,93	1,03	0,92	0,70
P-23	5,11	0,86	0,95	0,87	0,67
P-28	-0,59	0,94	0,93	0,91	0,56
P-31	-2,06	0,99	0,95	0,93	0,75
P-32	-0,85	0,96	0,95	0,91	0,73
P-33	2,81	0,95	1,01	0,92	0,74
P-36	3,98	0,91	0,99	0,89	0,72
P-41	1,06	0,95	0,97	0,88	0,74
P-42	1,71	0,91	0,94	0,88	0,53
P-45	2,12	0,96	1,00	0,89	0,79

4. Apresentação e discussão dos resultados

Ref.	EBC %	Σ dos aniões*100/C.E.m	Σ dos catiões*100/C.E.m	C.E. calc./C.E.m	TSD calc./C.E.m
P-47	1,01	0,96	0,98	0,88	0,74
P-50	3,06	0,91	0,97	0,88	0,73
P-51	0,96	0,97	0,98	0,92	0,77
P-63	0,46	0,96	0,97	0,89	0,74
P-78	0,94	0,90	0,92	0,85	0,71
P-81	-0,16	0,94	0,94	0,87	0,55
P-84	0,42	0,99	1,00	0,93	0,59
P-86	1,85	0,88	0,91	0,86	0,70
P-87	4,72	0,95	1,05	0,92	0,73
P-88	2,74	0,94	1,00	0,90	0,73
P-91	1,09	0,90	0,91	0,89	0,65
P-95	-1,10	0,93	0,91	0,88	0,70
P-96	-0,13	0,95	0,95	0,90	0,69
P-98	2,88	0,81	0,86	0,87	0,60
P-99	-0,34	0,95	0,94	0,90	0,68
P-101	-1,53	0,93	0,91	0,90	0,70

Assim sendo, com base na tabela 4.4, verifica-se que todos os pontos se encontram abaixo do limite máximo de 5% (Greenberg *et al*, 1992) em relação ao EBC, excepto o ponto P – 23, que se encontra um pouco acima do máximo recomendado, devido a um evidente deficit de aniões.

Na figura 4.10 encontram-se representados os valores dos erros de balanço de cargas.

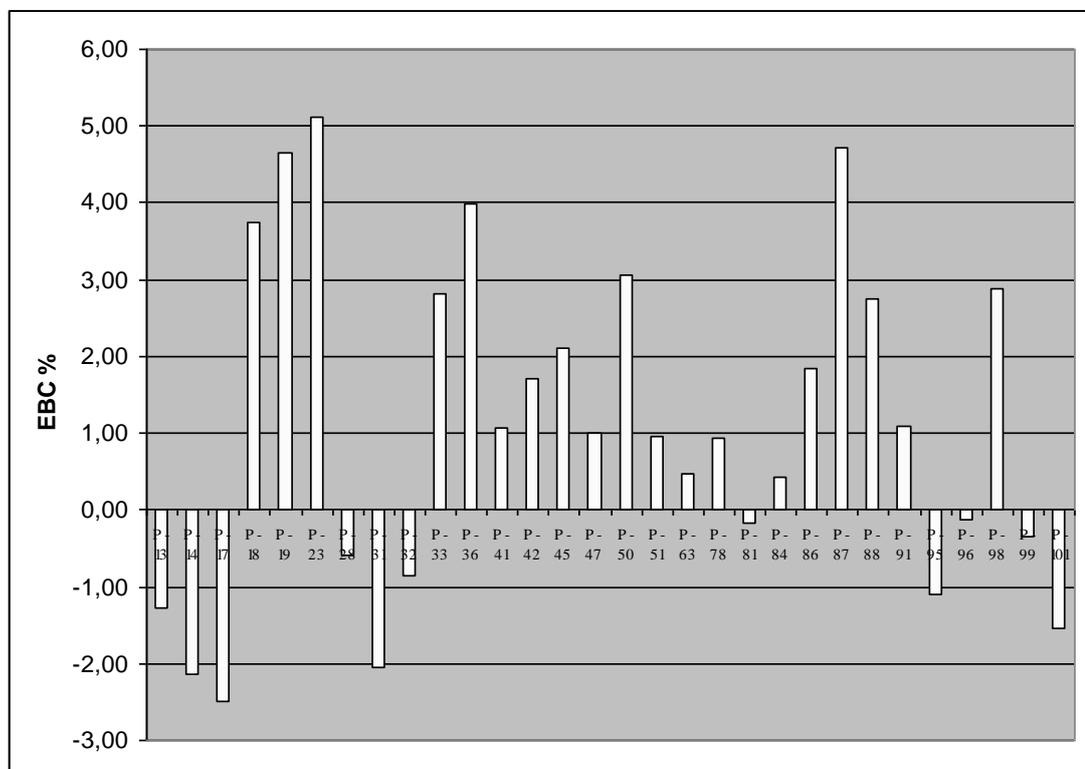


Figura 4.10: Distribuição dos valores do erro de balanço de cargas.

4. Apresentação e discussão dos resultados

O somatório dos aniões e dos catiões, expressos em meq/l, em relação à condutividade eléctrica, está enquadrado dentro dos limites definidos em Greenberg *et al.* (1992), à excepção do ponto P – 98, que apresenta um valor inferior a 0,9 no que respeita aos aniões (figura 4.11). Assim sendo, este ponto apresenta um deficit de aniões. Em relação aos catiões (figura 4.12), as amostras apresentam, na totalidade, valores aceitáveis.

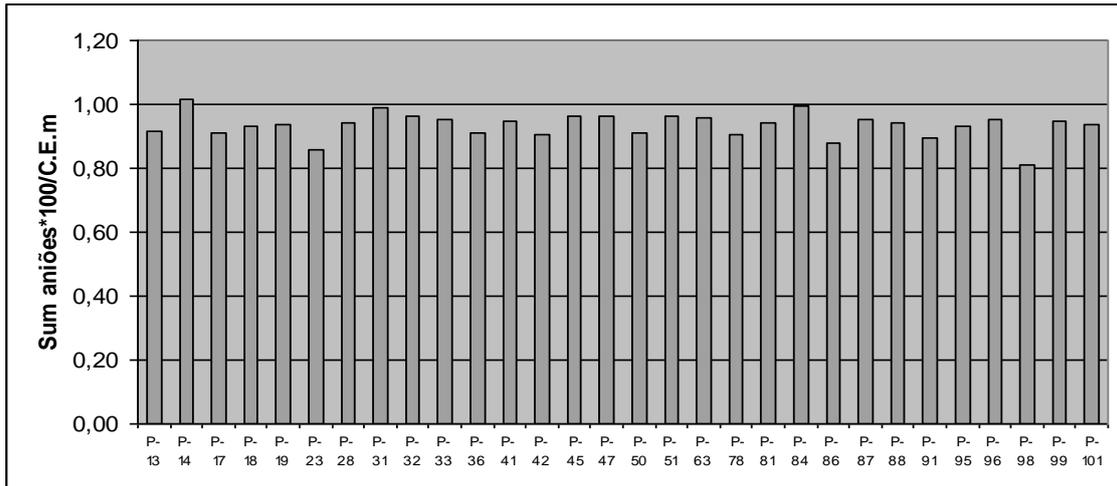


Figura 4.11: Distribuição dos valores da relação Σ aniões (meq/l)*100/C.E.m.

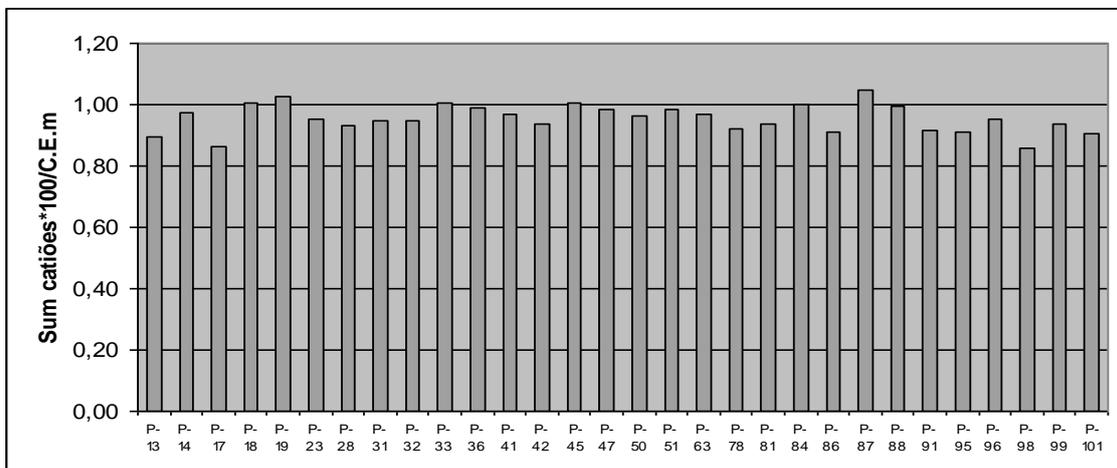


Figura 4.12: Distribuição dos valores da relação Σ catiões (meq/l)*100/C.E.m.

O quociente entre as condutividades eléctricas calculada e medida (figura 4.13) está inserido no intervalo estabelecido entre 0,9 e 1,1 (Greenberg *et al.*, 1992).

4. Apresentação e discussão dos resultados

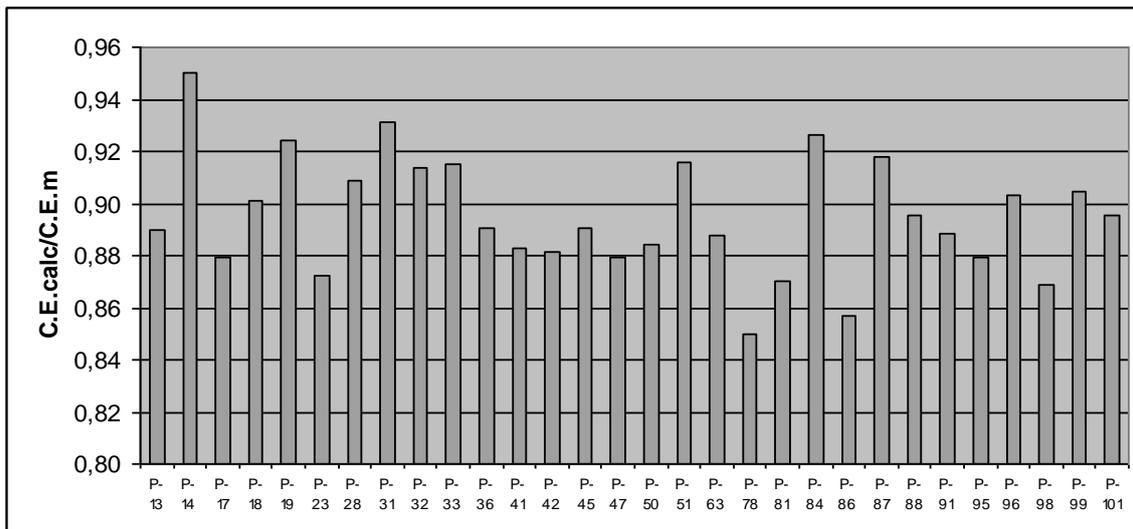


Figura 4.13: Distribuição dos valores da relação C.E.calculada/C.E.medida.

Na relação TSDcalc/C.E.m, tendo em conta os limites estabelecidos entre 0,55 e 0,70 (Greenberg *et al.*, 1992), é de notar o facto de pelo menos metade das amostras ultrapassar ligeiramente o valor máximo de 0,70 (figura 4.14). Este facto pode estar relacionado com os teores elevados de cálcio e sulfato.

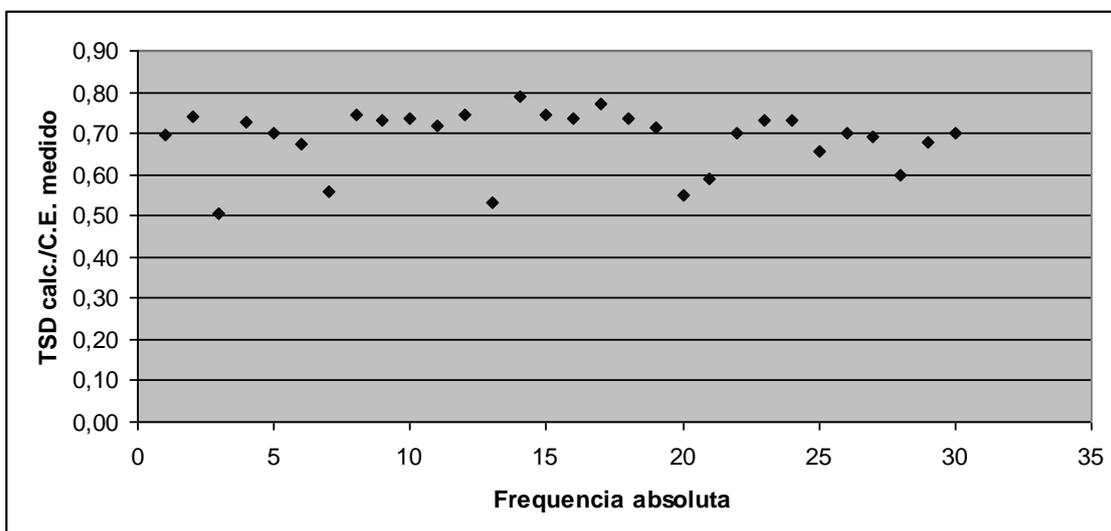


Figura 4.14: Distribuição dos valores da relação TSD calculada/C.E.medido.

4.2.3. Caracterização hidrogeoquímica

Os constituintes maiores das águas analisadas são os seguintes: cálcio, magnésio, sódio, potássio, bicarbonato, carbonato, nitrato, sulfato, cloreto e

sílica. No entanto, os iões nitrato, potássio e carbonato deveriam ser constituintes menores (Domenico e Schwartz, 1990), tendo em conta os seus teores na natureza.

Para além da análise dos constituintes maiores destas águas foram igualmente efectuadas determinações de constituintes menores e vestígias. Dos 65 elementos pesquisados, apenas se consideram 31, que apresentam teores acima do limite de detecção. Os constituintes seleccionados são os seguintes: F, NO₂, PO₄, Sr, Li, Ti, V, Mn, Ni, Cu, Zn, As, Se, Br, Rb, Y, Zr, Mo, Cd, Sb, I, Cs, Ba, La, Ce, Yb, W, Re, Tl, Pb e U.

i. Ião cálcio

O cálcio é um elemento presente no solo sob várias formas, sendo comum ocorrer sob a forma de calcite, caso ocorra naturalmente, ou carbonato de cálcio, se vier associado a fertilizantes (INIAP – LQARS, 2006). Poderá ser constituinte principal de alguns minerais, como gesso, fluorite, plagioclase, anfíbola e piroxena (Reimann e Caritat, 1998). Normalmente é absorvido pelas plantas sob a forma de ião Ca²⁺ (Salisbury e Ross, 1992). Apresenta solubilidade variável, dependendo dos valores de pH e temperatura das águas subterrâneas (Custodio e Llamas, 1983).

Este elemento é importante na absorção, pelas plantas, de alguns elementos igualmente importantes na nutrição delas, como o magnésio, ferro, manganês, zinco, entre outros, sendo por isso um macronutriente. É também essencial ao normal funcionamento da membrana das células. Influencia directamente o valor de pH dos solos e das águas subterrâneas (INIAP – LQARS, 2006), principalmente no caso de solos com tendência ácida e elevada pluviosidade, como é o caso em estudo, onde existe a prática de adicionar fertilizantes com teores elevados de carbonato de cálcio.

Sabe-se ainda que teores elevados de cálcio podem inibir a disponibilidade do ferro para as plantas, causando desequilíbrios nutritivos (Reimann e Caritat, 1998) e aumentando o risco de salinidade dos solos.

A distribuição dos valores de cálcio das águas analisadas está representada na Figura 4.15, onde se incluem também alguns parâmetros estatísticos.

4. Apresentação e discussão dos resultados

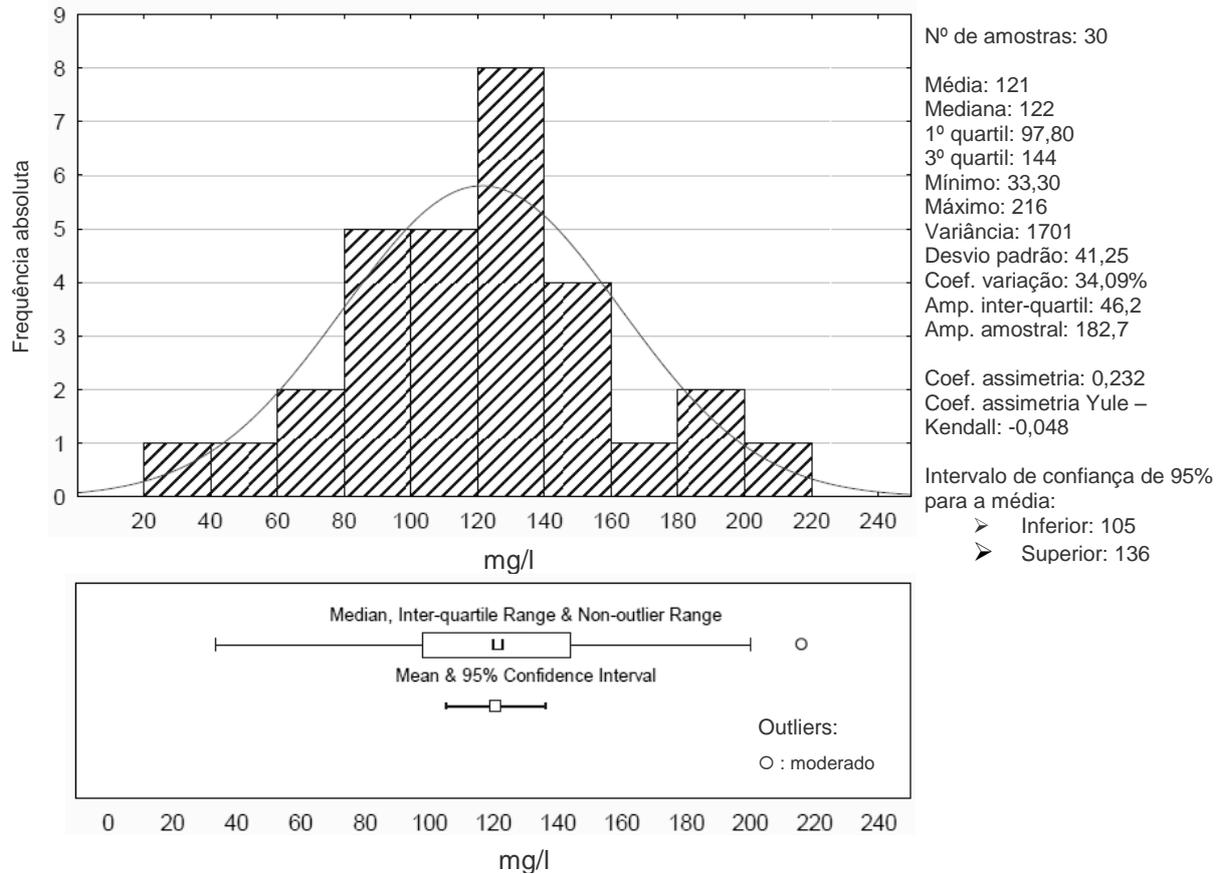


Figura 4.15: Distribuição dos teores de cálcio das amostras de água estudadas.

Os valores distribuem-se segundo um modelo aproximadamente normal, apresentando um valor médio 121 mg/l. Consegue-se identificar uma classe modal bem definida entre os 120 mg/l e os 140 mg/l, que representa cerca de 26,7% do total dos dados. No geral, os dados encontram-se distribuídos quase simetricamente, onde os teores superiores a 120 mg/l representam cerca de 53,3%, o que dá a ideia de haver dois grupos de águas, havendo contudo uma predominância de concentrações medianas.

Os dados apresentam uma grande dispersão, com um coeficiente de variação de 34,09%.

Relativamente à simetria, a relação média/mediana indica uma distribuição quase simétrica. Avaliando o respectivo coeficiente, verifica-se uma ligeira assimetria positiva. Tal pode ser explicado devido ao facto da presença de um outlier moderado, correspondendo ao teor máximo de cálcio de 216 mg/l.

4. Apresentação e discussão dos resultados

Calculando o coeficiente de Yule – Kendall, verifica-se um valor ligeiramente negativo, praticamente nulo, mostrando que a distribuição é simétrica.

Os teores de cálcio nas amostras estudadas apresentam uma certa correlação com os valores de condutividade. Esta correlação é ainda mais expressiva se se considerarem dois conjuntos de amostras, como ilustra a figura 4.16.

Um destes grupos inclui a maioria dos pontos analisados e o outro compreende apenas cinco pontos. A condutividade destes últimos pontos é menos influenciada pelos teores de cálcio que a condutividade dos pontos que definem a primeira tendência.

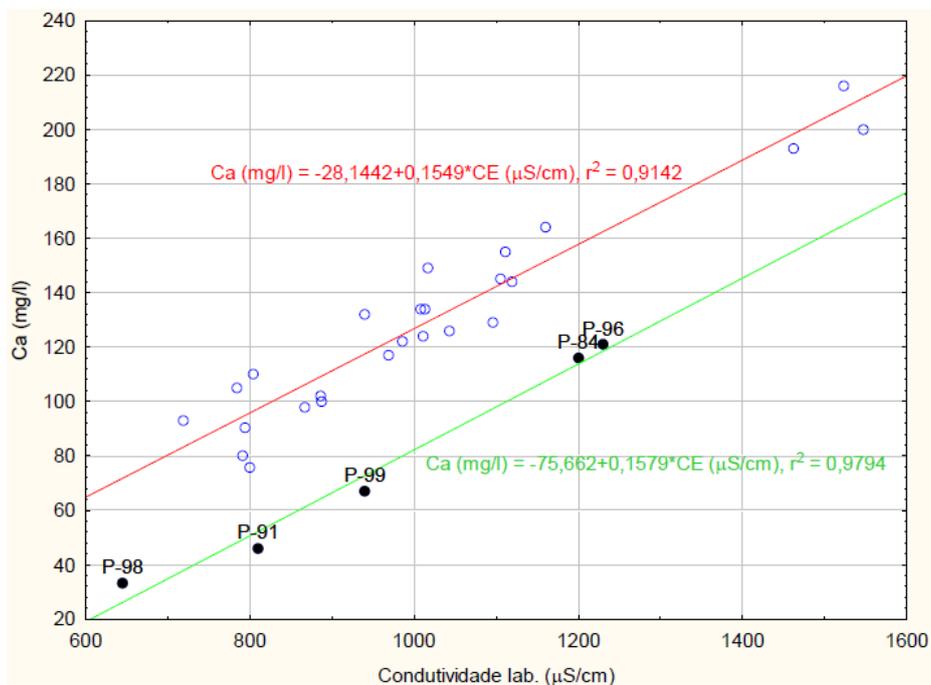


Figura 4.16: Diagrama de dispersão dos teores de cálcio e dos valores de condutividade eléctrica.

É de notar que os três pontos com os maiores valores de condutividade eléctrica são os que apresentam os maiores teores em cálcio.

Na figura 4.17 estão representados espacialmente os teores de cálcio das amostras de água em estudo. A dimensão do símbolo é directamente proporcional ao teor de cálcio.



Figura 4.17: Distribuição espacial dos teores de cálcio das amostras em estudo.

Ao observar-se a distribuição espacial, não há evidências da existência de uma tendência progressiva dos teores, de interior para o litoral. No entanto, os teores mais baixos correspondem aos pontos de água mais afastados do litoral.

ii. **lão magnésio**

O magnésio é um elemento que apresenta um comportamento muito semelhante ao do cálcio (INIAP – LQARS, 2006), apenas é mais solúvel e menos propenso a precipitação (Custodio e Llamas, 1983). É comum a sua

4. Apresentação e discussão dos resultados

presença em fertilizantes, mas também pode ser encontrado em alguns minerais como, a dolomite, a magnesite e a fosterite (Reimann e Caritat, 1998).

Este elemento é um macronutriente importante para o crescimento das plantas, sobretudo no processo da fotossíntese (Salisbury e Ross, 1992). A deficiência em magnésio nas plantas, pode provocar cloroses (Reimann e Caritat, 1998).

Na figura 4.18 está representada a distribuição dos teores de magnésio das amostras de água em estudo.

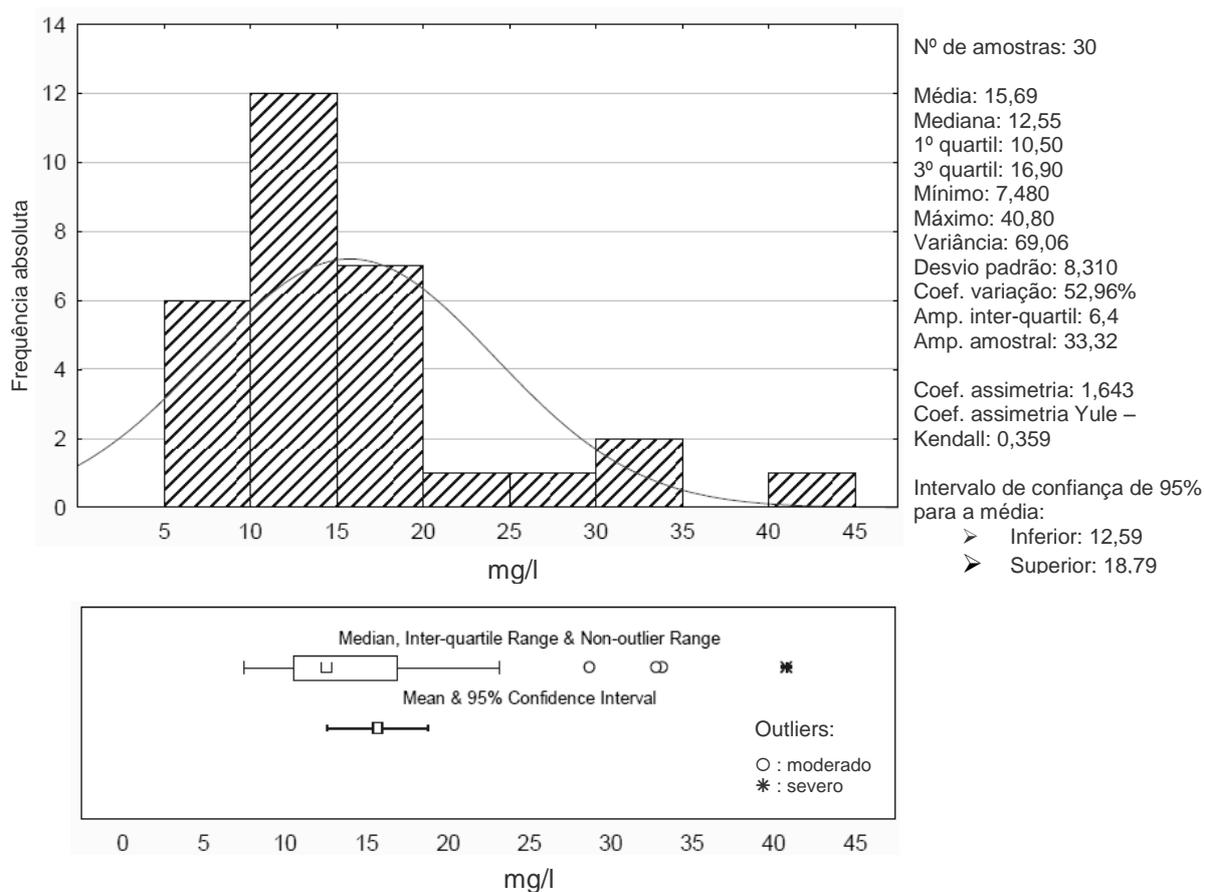


Figura 4.18: Distribuição dos teores de magnésio das amostras de água estudadas.

Esta distribuição apresenta um valor médio de 15,69 mg/l e uma classe modal compreendida entre 10 mg/l e 15 mg/l, que representa 40% do total da amostragem. Teores entre os 5 mg/l e os 20 mg/l representam cerca de 83,3%, ou seja, a grande maioria das amostras de água analisadas estão neste intervalo.

Com um coeficiente de variação de 52,96%, esta amostra apresenta-se bastante dispersa.

Relativamente à simetria, a média é superior à mediana e o coeficiente de assimetria é 1,643, logo esta amostra é assimétrica positiva. A presença de três outliers moderados e de um severo poderão estar a influenciar a distribuição dos dados. O valor do coeficiente de Yule – Kendall, apenas vem confirmar que a amostragem foi pouco afectada pelos outliers, mantendo a tendência da assimetria positiva.

Os teores encontrados nas amostras, sugerem que estas águas foram influenciadas pela actividade agrícola, sobretudo pela adição de fertilizantes. Pois estas concentrações são relativamente altas para uma origem, exclusivamente, natural.

iii. **lão sódio**

O sódio é um elemento muito comum em ambientes marinhos, é muito solúvel e pode vir associado a sedimentos desses mesmos ambientes (Custodio e Llamas, 1983). Este elemento, não sendo comum em fertilizantes, pode ter origem na dissolução de minerais como, a plagioclases, micas, anfíbolos e piroxenas (Reimann e Caritat, 1998). No âmbito do desenvolvimento das plantas, o sódio não é considerado um elemento essencial e as suas funções ainda são fruto de debate entre a comunidade científica (Salisbury e Ross, 1992).

A distribuição estatística dos teores de sódio nas amostras estudadas encontra-se representada na figura 4.19.

4. Apresentação e discussão dos resultados

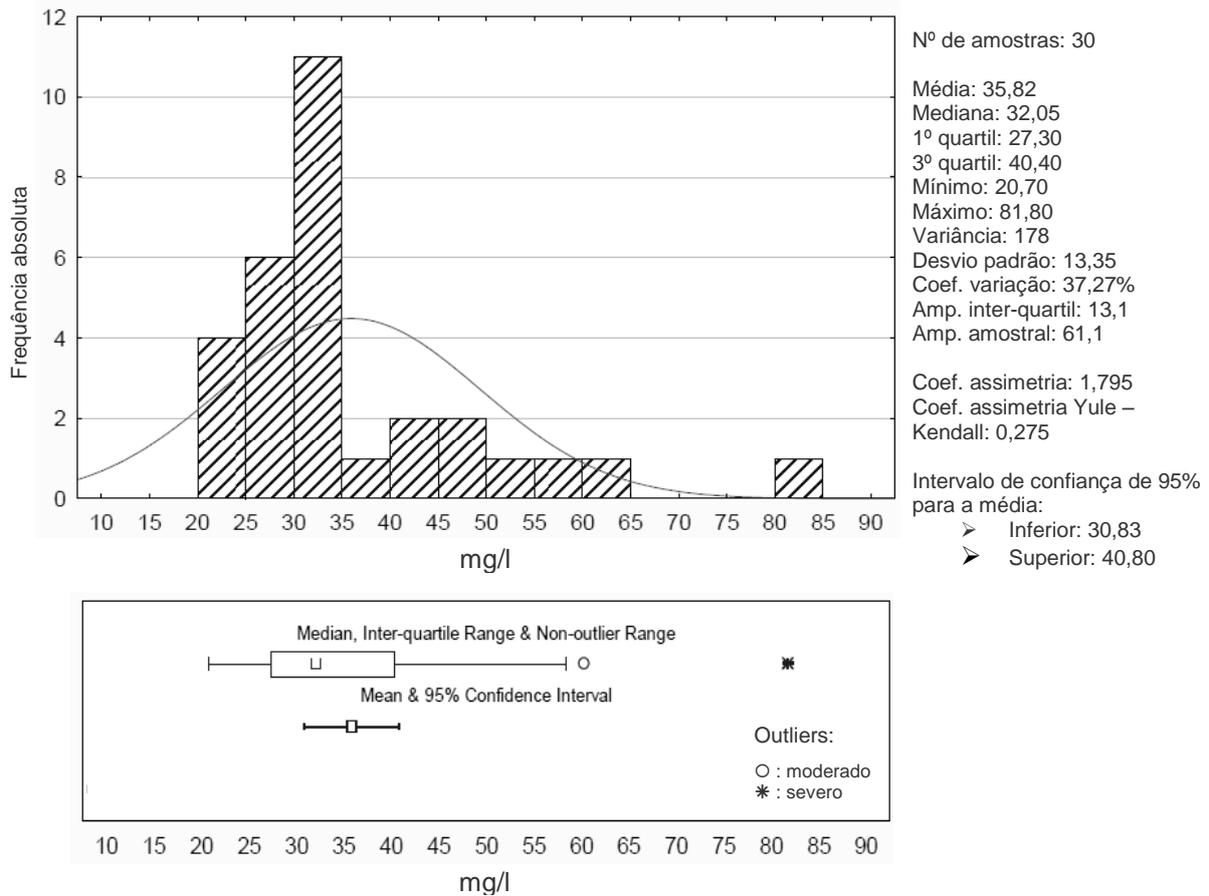


Figura 4.19: Distribuição dos teores de sódio das amostras de água estudadas.

Do ponto de vista estatístico, esta distribuição apresenta um valor médio de 35,82 mg/l e uma classe modal entre os 30 mg/l e os 35 mg/l, representando cerca de um terço das amostras, ou seja, 36,7%. Para teores compreendidos entre 20 mg/l e 35 mg/l tem-se 70% das amostras.

Os dados encontram-se bastante dispersos, com um coeficiente de variação de 37,27%.

Um coeficiente de assimetria (1,795) e uma média superior à mediana, tudo aponta para uma assimetria positiva. A presença de um outlier moderado e de outro severo, teve pouca influência na distribuição, como se pode verificar pelo valor do coeficiente de assimetria Yule – Kendall (0,275).

Conclui-se que, os altos teores de sódio presentes nas amostras de água, não provêm dos fertilizantes, logo só resta o factor natural. Assim sendo, a origem destas concentrações é sobretudo marinha.

iv. lão potássio

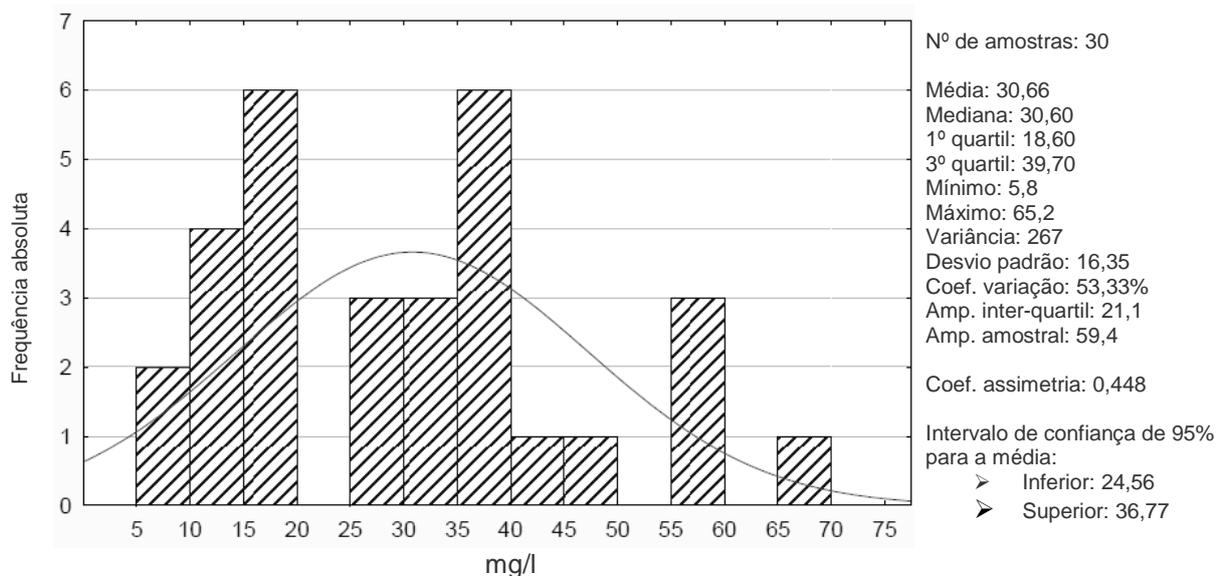
Os solos cultivados apresentam naturalmente teores elevados de potássio, excepto aqueles derivados de areias e arenitos, em que o mineral dominante é o quartzo (INIAP – LQARS, 2006).

Grande parte do potássio presente no solo encontra-se sob formas não assimiláveis pelas plantas, fazendo parte de minerais primários e secundários, que constituem a grande reserva de potássio do solo. Uma pequena percentagem encontra-se adsorvida no complexo de troca e outra, ainda menor, dissolvida na solução do solo (INIAP – LQARS, 2006).

O potássio é normalmente muito solúvel, difícil de precipitar e é frequentemente absorvido de forma pouco reversível por argilas em formação (Custodio e Llamas, 1983), mas também apresenta alguma resistência á lixiviação havendo por isso alguma retenção deste elemento nos solos.

É um activador de muitas enzimas essenciais para a fotossíntese e para a respiração das plantas (Salisbury e Ross, 1992). Caso exista excesso de potássio no solo, poderá conduzir a desequilíbrios com outros nutrientes, nomeadamente com o magnésio (INIAP – LQARS, 2006).

Na figura 4.20 está representada a distribuição estatística dos teores de potássio das amostras de água em estudo.



4. Apresentação e discussão dos resultados

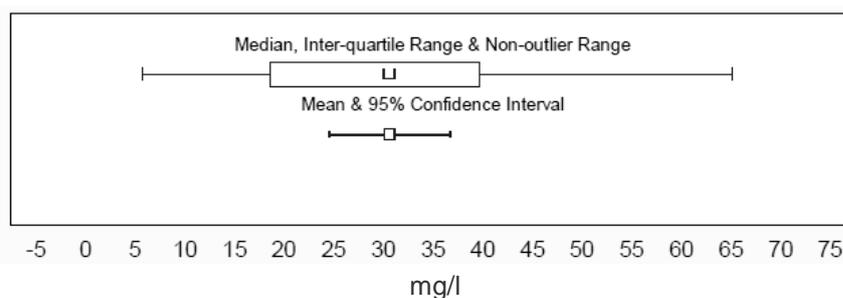


Figura 4.20: Distribuição dos teores de potássio das amostras de água estudadas.

A distribuição referente ao potássio apresenta um teor médio de 30,66 mg/l. Trata-se de uma distribuição bimodal, para os intervalos compreendidos entre 15 mg/l e 20 mg/l e entre 35 mg/l e 40 mg/l, representando 40% do total da amostra.

Avaliando a relação média/mediana verifica-se uma quase simetria dos dados, no entanto, o coeficiente de variação (0,448) sugere uma assimetria positiva.

Nesta distribuição os dados estão bastante dispersos, como indicado pelo coeficiente de variação (53,33%).

Na figura 4.21 estão representados espacialmente os teores de potássio das amostras de água em estudo. Tal como na figura 4.17, a dimensão do símbolo é directamente proporcional ao respectivo teor.

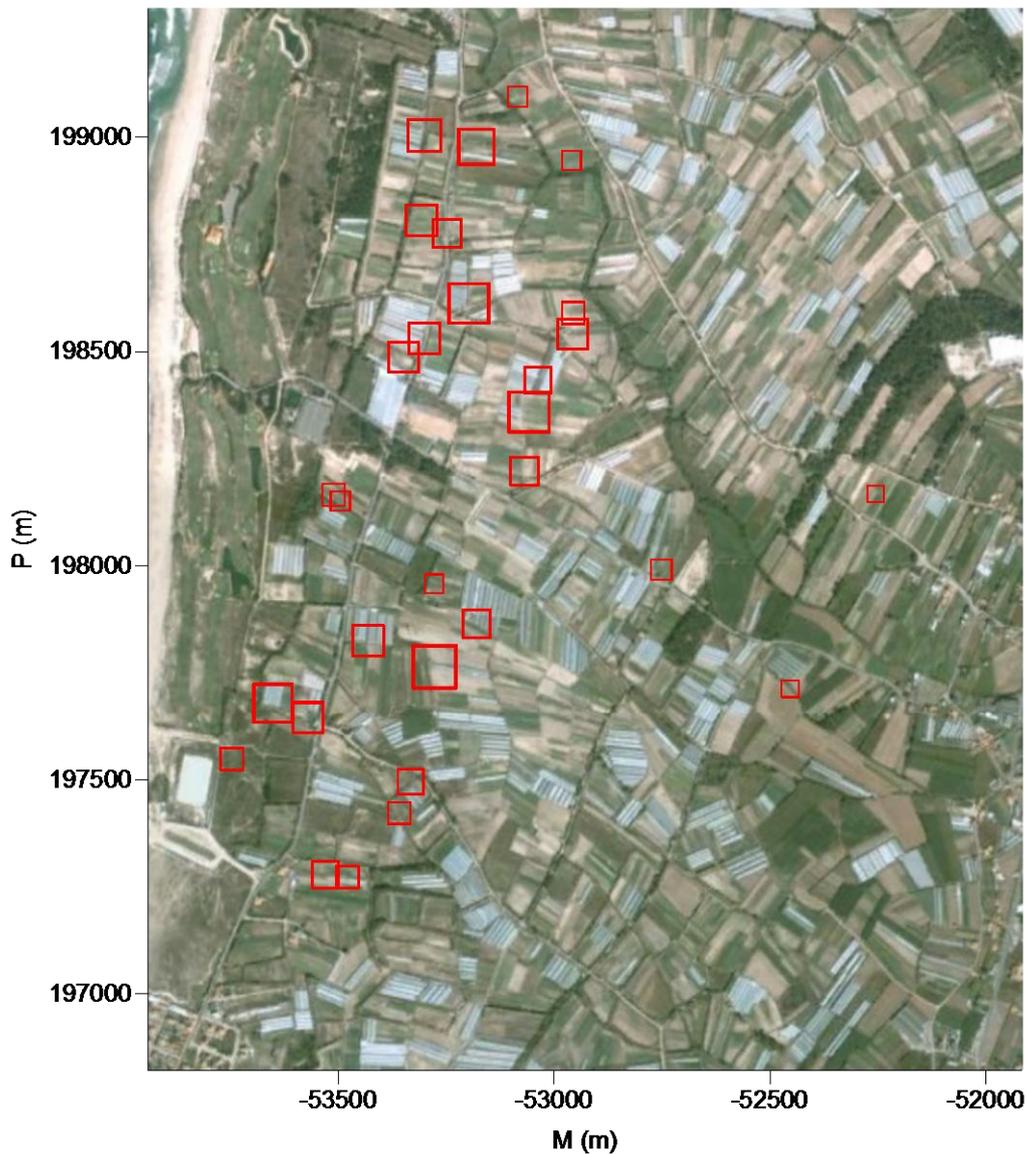


Figura 4.21: Distribuição espacial dos teores de potássio das amostras em estudo.

Ao observar-se a distribuição espacial do potássio, verifica-se que na zona central da figura, estabelecendo-se uma faixa transversal com teores mais baixos.

Concluindo, estas concentrações não podem ser explicadas por processos naturais, nomeadamente a interacção água – rocha. Assim, tratando-se de um elemento essencial ao desenvolvimento vegetal, o potássio faz parte de diversos fertilizantes, sendo utilizado com muita frequência na produção agrícola da região. Desta forma, não obstante a sua fixação quase irreversível em minerais argilosos, o potássio ocorre nas águas subterrâneas

4. Apresentação e discussão dos resultados

da região em concentrações anormalmente elevadas, até porque os solos são predominantemente arenosos, com uma fracção argilosa diminuta.

v. Ião bicarbonato e carbonato

O carbono encontra-se, normalmente, disponível para as plantas sob a forma de CO_2 , obtido sobretudo da atmosfera, tendo uma importante função na actividade respiratória das plantas. Algum desse CO_2 , dissolvido na precipitação torna-se ácido carbónico que contribui para a meteorização e dissolução de carbonatos de cálcio e magnésio, mas também de silicatos como, os feldspatos (Salisbury e Ross, 1992). O ião bicarbonato tem um importante papel nas reacções geoquímicas das águas naturais, quer nas subterrâneas quer nas superficiais (Reimann e Caritat, 1998).

Na figura 4.22 está representada a distribuição dos teores conjuntos do bicarbonato e carbonato das amostras de água estudadas.

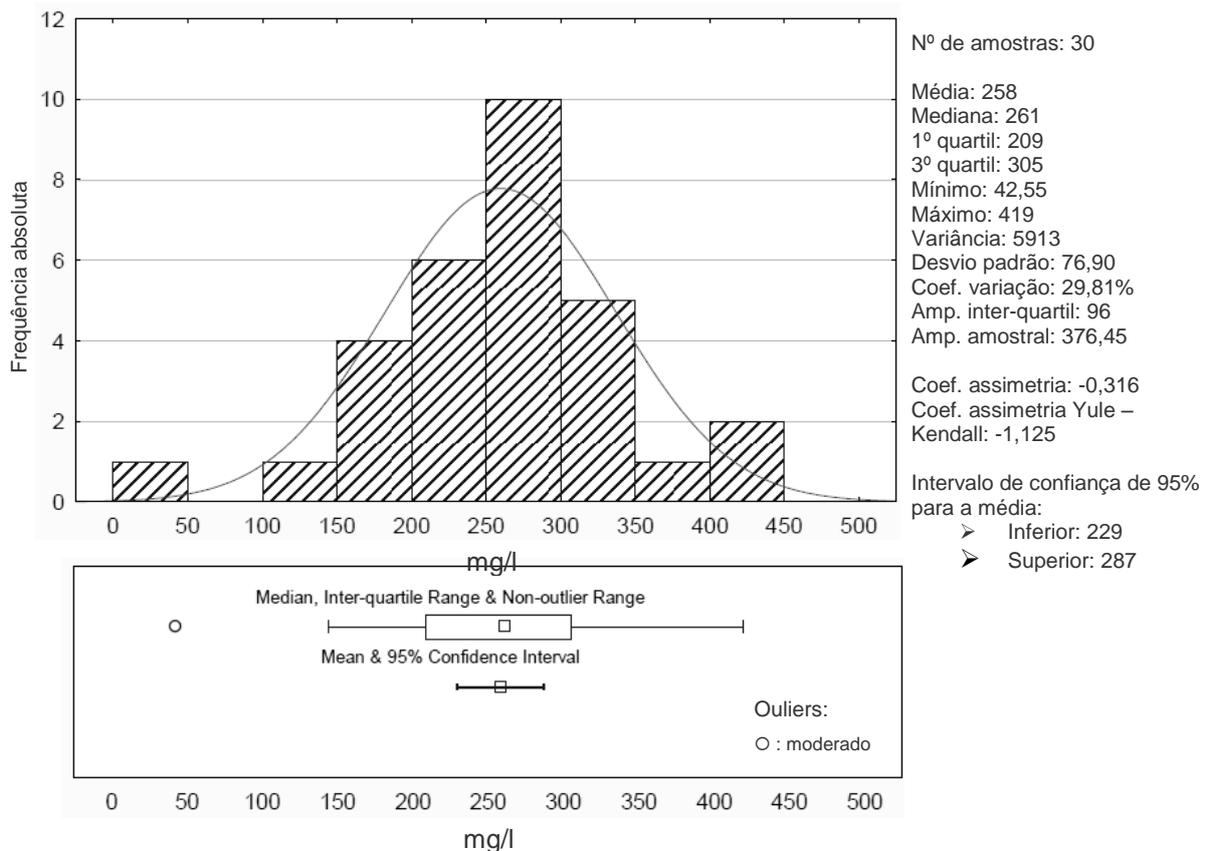


Figura 4.22: Distribuição dos teores do bicarbonato e carbonato das amostras de água estudadas.

Esta distribuição apresenta um valor médio de 258 mg/l e uma classe modal bem definida, compreendida entre 250 mg/l e 300 mg/l, representando cerca de 33,3% da amostragem.

Estes dados encontram-se bastante dispersos, tendo em conta o coeficiente de variação.

Comparando os valores da média e da mediana, verifica-se que é quase simétrica. No entanto, o coeficiente de assimetria sugere uma tendência para a assimetria negativa. Dado a presença de um outlier moderado, determinou-se o coeficiente de assimetria Yule – Kendall. Este valor (-1,125) acentua a tendência para a assimetria negativa.

Tendo em consideração a prática da actividade agrícola na região em estudo, conclui-se que os teores altos, sobretudo em bicarbonato são, devido ao incremento de fertilizantes ricos em carbonatos. Cujas finalidades são, o de controlar o pH dos solos cultivados, de forma a se maximizar as produções.

vi. **lão nitrato**

O azoto pode existir na natureza sob varias formas ou compostos, dependendo do seu estado de oxidação, que por sua vez é influenciado pelo pH e temperatura, onde o movimento e transformação desses compostos obedecem ao ciclo do azoto. O movimento dá-se sobretudo através da precipitação, fixando-se no solo onde por vezes, por processos de lixiviação alcançam as águas subterrâneas. Existem vários mecanismos de transformação de compostos azotados, destacando-se a fixação, a amonificação, a assimilação, a nitrificação e a desnitrificação (Canter, 1997).

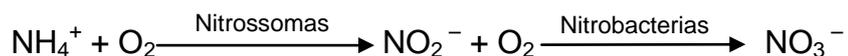
A maior parte do azoto iónico, provem da atmosfera sob a forma de gás, em que, para ser assimilado pelas plantas é necessário que se combine com o oxigénio ou hidrogénio, formando com isso compostos azotados mais estáveis (Canter, 1997).

Uma vez no solo, segundo Canter (1997), ocorrem os mecanismos mencionados anteriormente. O primeiro desses mecanismos é a fixação do azoto, que consiste na transformação do azoto gasoso inerte em compostos orgânicos azotados, que poderão ser usados pelas plantas e animais. Estes compostos poderão ter outras origens, entre as quais, através de fertilizantes

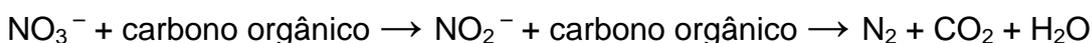
orgânicos ou químicos e também através da matéria orgânica. O mecanismo seguinte é a amonificação, que consiste na alteração do azoto orgânico em compostos amoniacais, através da decomposição da matéria orgânica animal ou vegetal, segundo o seguinte esquema:



Alguns do amoníaco poderão ser afectados pelo mecanismo da assimilação, que consiste na transformação de compostos amoniacais e nitrados em substâncias, tais como proteínas, essenciais para as plantas. No entanto, o amoníaco poderá sofrer uma oxidação com o auxílio de algumas bactérias específicas, ocorrendo assim uma nitrificação, onde o ião amoníaco é oxidado, tornando-se inicialmente no ião nitrito que evolui para ião nitrato, sendo esta a sua forma final. Este processo de nitrificação pode ser resumido pela seguinte reacção:



O ciclo do azoto é encerrado com a desnitrificação, onde o ião nitrato é reduzido. Esta redução dá-se com o auxílio de certas bactérias, que requerem como fonte de energia o carbono orgânico, reduzindo o nitrato para nitrito e depois para azoto gasoso, onde a maioria regressa á atmosfera. Uma outra parte deste azoto gasoso poderá ser fixada pelas plantas. Este mecanismo pode ser resumido pela reacção:



Tendo em vista a área de estudo deste trabalho, verifica-se que o azoto é o nutriente que mais frequentemente limita a produção das culturas. Este elemento é muito móvel e solúvel na forma de nitrato, sendo esta a forma em que é principalmente absorvido pelas plantas. As formas não assimiláveis encontram-se fundamentalmente ligadas à matéria orgânica (INIAP – LQARS, 2006).

Devido á sua elevada mobilidade, este composto apresenta um alto risco de migração para as águas subterrâneas (Reimann e Caritat, 1998), podendo

4. Apresentação e discussão dos resultados

por vezes ser um dos potenciais contaminantes, que mais problemas tem provocado para as águas subterrâneas (Canter, 1997). No entanto, tanto é essencial para as plantas como poderá ser muito tóxico para elas e o meio envolvente. Portanto, uma correcta aplicação dos fertilizantes contendo azoto é, essencial para se prevenir contaminações por nitratos de origem agrícola.

Na natureza, os teores de nitrato no solo tendem a ser baixos, pois poderão ser assimilados pelas plantas, sofrer lixiviação ou ser alvo da desnitrificação. No caso de se adicionar fertilizantes, os processos anteriormente citados, raramente removem todo o nitrato do solo. Esta remoção de nitrato, principalmente por lixiviação, poderá provocar problemas sérios na qualidade das águas subterrâneas (Canter, 1997).

A distribuição estatística dos teores de nitrato das amostras de água está representada na figura 4.23.

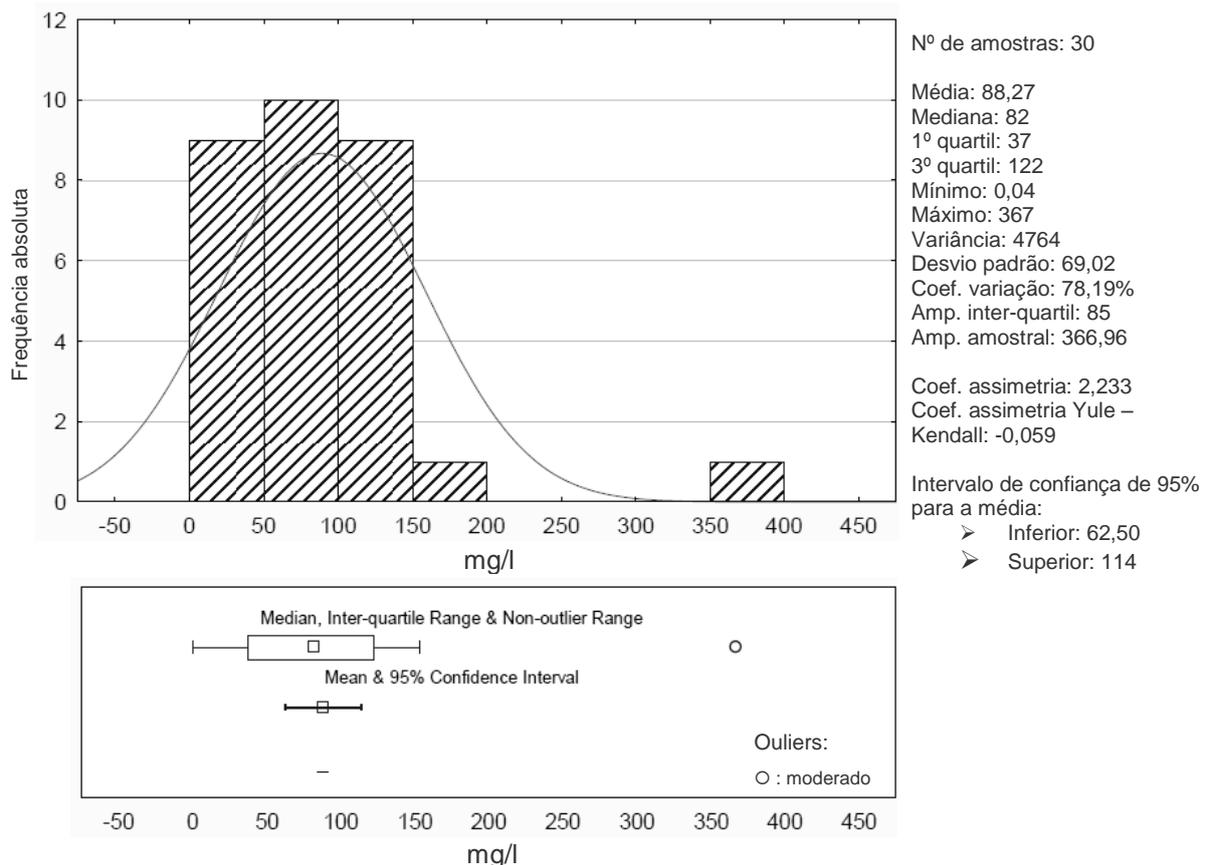


Figura 4.23: Distribuição dos teores de nitrato das amostras de água estudadas.

4. Apresentação e discussão dos resultados

A distribuição do nitrato apresenta um valor médio de 88,27 mg/l e uma classe modal compreendida entre 50 mg/l e 100 mg/l, pouco definida, representando 33% das amostras.

Relativamente ao coeficiente de variação, este apresenta uma elevada dispersão dos dados.

A média é superior à mediana, sugerindo uma assimetria positiva e o coeficiente de assimetria (2,233) corrobora com essa hipótese.

Verifica-se que, o outlier moderado presente nesta amostragem coincide com o teor máximo observado de 367 mg/l. Este outlier influenciou a distribuição dos dados, como se pode verificar pelo coeficiente de Yule – Kendall (-0,059), passando de uma assimetria positiva para uma situação próxima do simétrico.

No geral, esta amostra apresenta teores elevados em nitratos, que poderão ter como origem as práticas agrícolas intensivas, através da adição excessiva de fertilizantes azotados.

vii. **lão sulfato**

O enxofre utilizado pelas plantas vem muitas vezes sob a forma de sulfatos, sendo geralmente associada à matéria orgânica e aos fertilizantes (INIAP – LQARS, 2006). A sua principal função reside, sobretudo, ao nível do crescimento das plantas, podendo ser encontrado em proteínas e em algumas vitaminas (Salisbury e Ross, 1992). Este constituinte é normalmente bem tolerado pelas plantas, caso exista grandes concentrações no solo (Reimann e Caritat, 1998).

A distribuição estatística das concentrações de sulfato das amostras de água em estudo está representada na figura 4.24.

4. Apresentação e discussão dos resultados

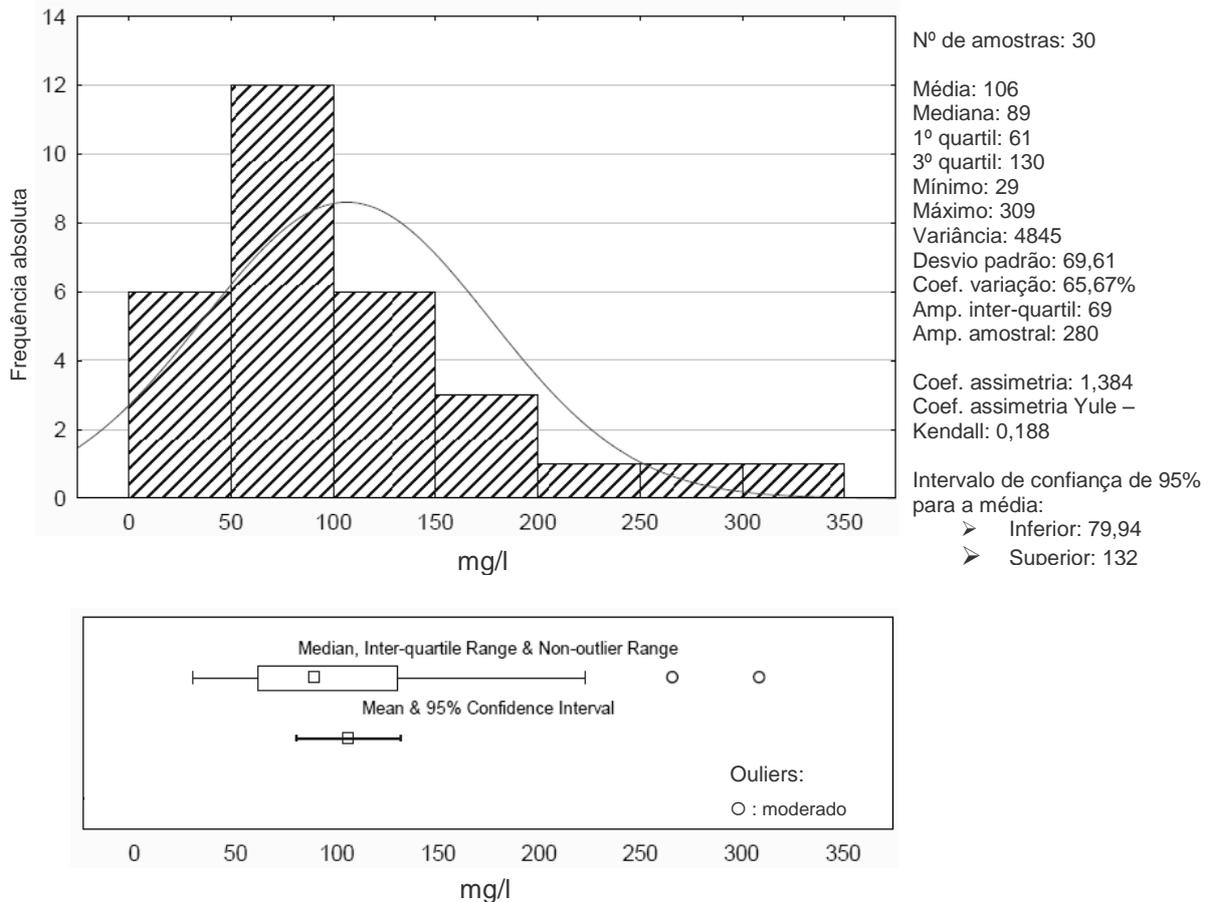


Figura 4.24: Distribuição dos teores de sulfato das amostras de água estudadas.

Esta distribuição tem uma classe modal definida pelo intervalo compreendido entre 50 mg/l e 100 mg/l, representando 40% do total da amostragem. Apresenta também um valor médio de 106 mg/l.

Através do coeficiente de variação (65,67%), verifica-se uma elevada dispersão dos dados.

Tanto a relação média/mediana como o coeficiente de assimetria indicam uma assimetria positiva da distribuição.

Os dois outliers, moderados, presentes nesta amostragem estão representados pelos dois teores mais elevados de sulfato. Com a determinação do coeficiente de Yule – Kendall, verificou-se que estes outliers tiveram um certo grau de influência na assimetria. No entanto não foi suficiente para alterar significativamente a assimetria da distribuição.

Os elevados teores do sulfato nas águas analisadas, é devido ao incremento excessivo de material fertilizante nos solos.

viii. **lão cloreto**

O cloreto é um nutriente essencial para muitas plantas e pode vir associado a alguns minerais como a biotite, a anfíbola e apatite, mas a sua principal proveniência é o oceano, normalmente associado ao sódio (Reimann e Caritat, 1998). Os seus sais são geralmente muito solúveis, estáveis na dissolução e dificilmente precipitáveis. O seu conteúdo em excesso pode ser prejudicial para muitas plantas (Custodio e Llamas, 1983).

A distribuição estatística dos teores de cloreto nas amostras de água estudadas está representada na figura 4.25.

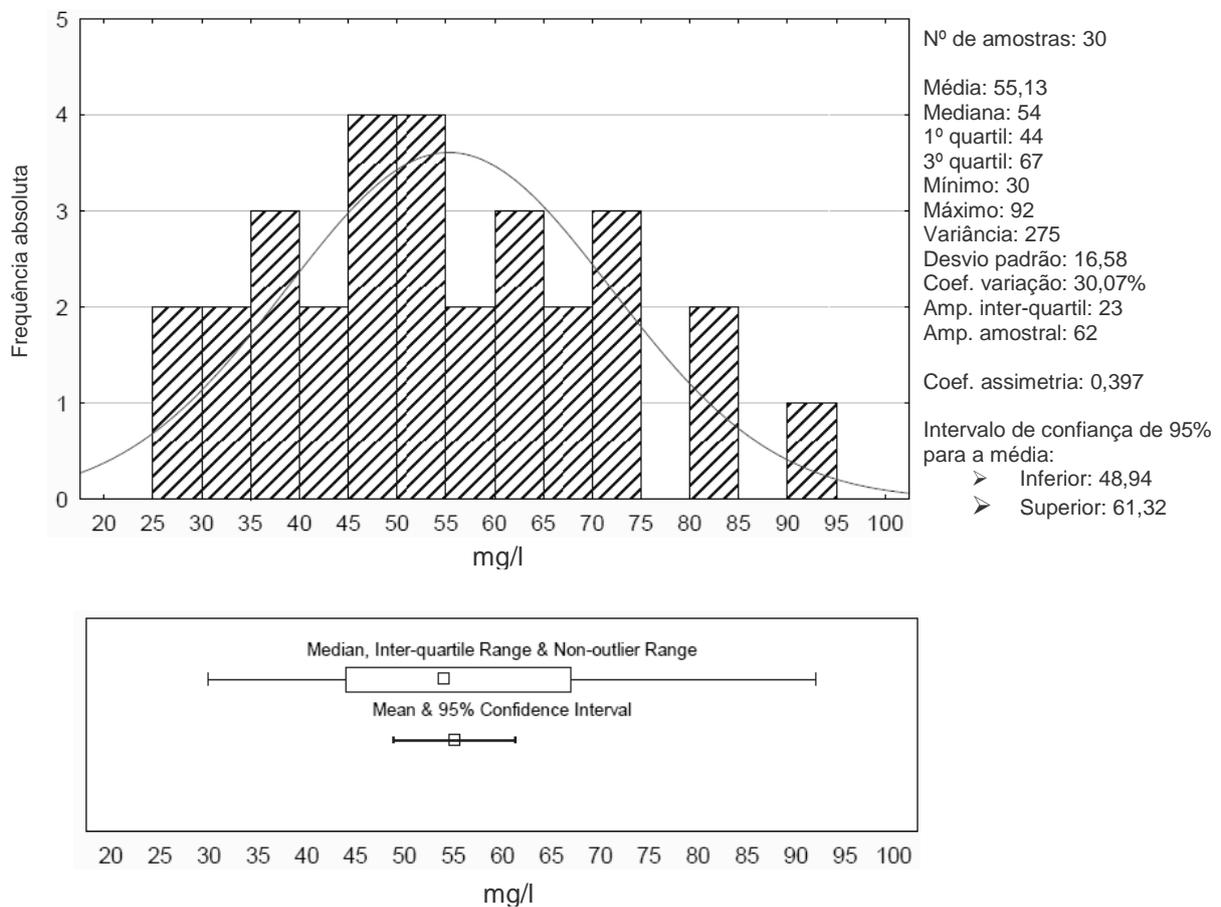


Figura 4.25: Distribuição dos teores de cloreto das amostras de água estudadas.

A distribuição é bimodal definida pelos intervalos [45, 50] e [50, 55], representando cerca de 26,7%. Apresenta um teor médio de 55,13 mg/l.

4. Apresentação e discussão dos resultados

Os dados estão bastante dispersos, como indicado pelo coeficiente de variação (30,07%). Avaliando a assimetria verifica-se uma tendência para uma assimetria positiva.

Os teores de cloreto encontrados nas amostras têm, sobretudo, origem em factores naturais como a água da chuva carregada com cloreto devido à proximidade com o oceano. Ao contrário dos outros constituintes analisados, o cloreto não se encontra presente nos fertilizantes usados na região.

ix. **Sílica**

A sílica é um dos constituintes mais abundantes e frequentes na maioria das rochas. Os minerais de sílica são mais susceptíveis a alterações físicas do que químicas. Nas águas subterrâneas tende a ter uma postura neutra, influenciando sobretudo os teores de sais dissolvidos.

Os diagramas da figura 4.26 representam a distribuição dos teores de sílica nas águas em estudo.

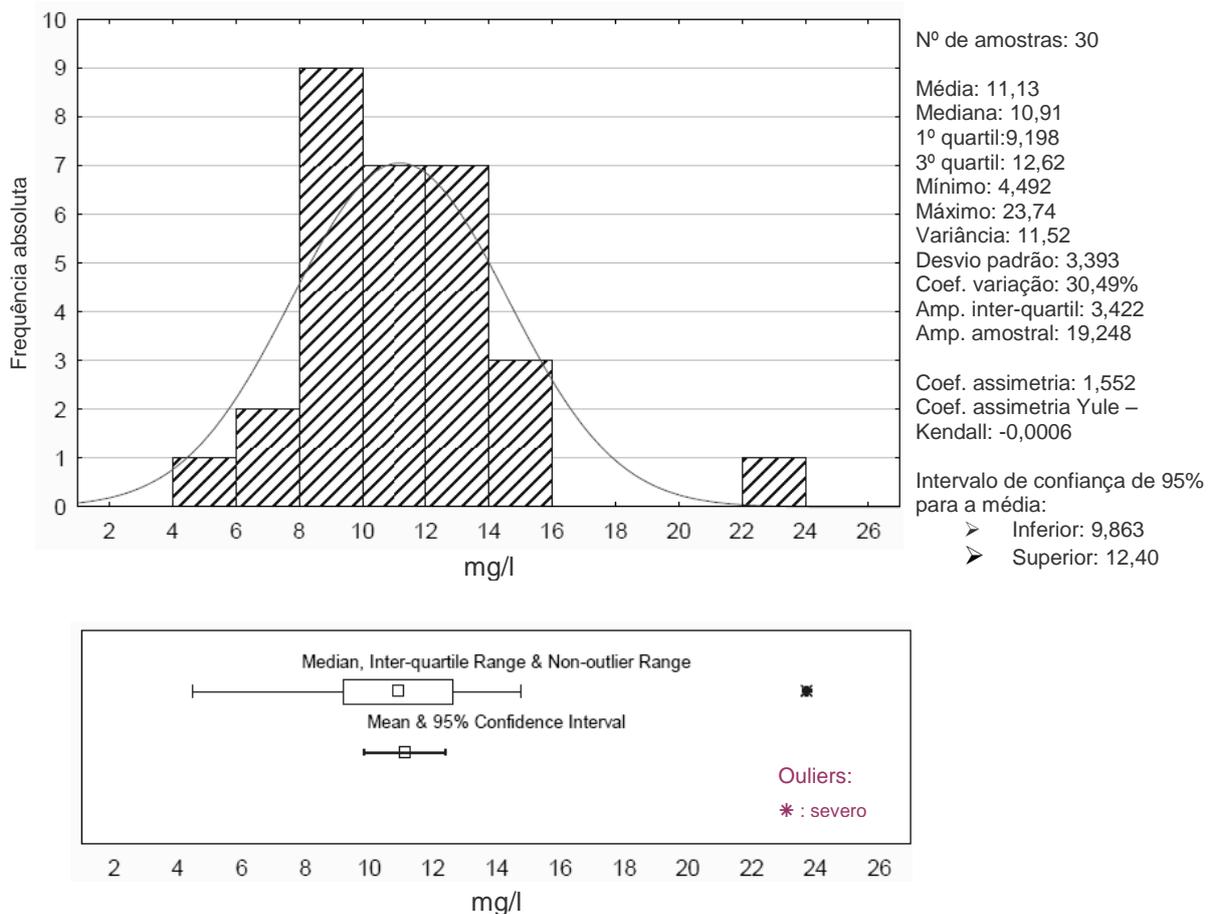


Figura 4.26: Distribuição dos teores de sílica das amostras de água estudadas.

4. Apresentação e discussão dos resultados

A distribuição dos teores de sílica apresenta uma classe modal bem definida entre 8 mg/l e 10 mg/l e uma média com o valor de 11,13 mg/l.

Tal como se verificou para os outros constituintes, a dispersão dos dados de sílica, também são bastante dispersos.

Os dados sugerem uma assimetria positiva, mas a presença de um outlier severo, vem por em causa essa hipótese. Este outlier corresponde ao valor do máximo (23,74 mg/l) e ao se calcular o coeficiente de Yule – Kendall, identifica-se que a amostra aproxima-se de uma distribuição normal.

Os teores de sílica encontrados poderão ter como origem os sedimentos arenosos como, as areias de praia e de duna que cobrem a zona em estudo, mas também através dos fertilizantes.

x. Elementos menores e vestígias

Os constituintes maiores são fundamentais para a avaliação da qualidade da água e constituem macronutrientes para as plantas. No entanto, outros constituintes, ditos menores ou vestígias, são também de extrema importância, não só porque alguns são micronutrientes para as plantas, mas também porque, mesmo em concentrações reduzidas podem limitar o desenvolvimento vegetal.

Para se ter um panorama mais geral dos dados apresenta-se a tabela 4.5, onde se faz uma síntese estatística dos 31 elementos menores e vestígias analisados.

Tabela 4.5: Principais parâmetros estatísticos relativos aos elementos menores e vestígias (valores em µg/l).

Símbolo	Máximo	Mínimo	Média	Mediana
F	200	< 10	63	65
NO ₂	900	< 10	242,67	200
PO ₄	4300	< 30	577,33	60
Sr	1630	290	830,67	790
Br	1220	178	497,37	432,5
I	867	16	83,77	49,5
Ti	16	0,6	3,44	1,75
V	19,3	<0,1	2,29	1,55
Mn	138	1,2	30,19	10,95
Ni	9	0,8	2,21	1,8
Cu	72,4	0,9	11,22	8,7
Zn	92,2	3,6	10,29	5,85
As	89,3	0,25	12,61	4,77

4. Apresentação e discussão dos resultados

Símbolo	Máximo	Mínimo	Média	Mediana
Se	2,4	< 0,2	0,75	0,6
Rb	24,3	3,75	10,57	8,65
Y	0,199	0,017	0,05	0,035
Zr	0,45	< 0,01	0,09	0,055
Mo	6,7	< 0,1	3,20	2,95
Cd	0,19	< 0,01	0,036	0,03
Sb	5,44	0,03	1,02	0,855
Li	10	<1	4.43	4
Cs	0,114	0,013	0,04	0,03
Ba	56,5	11,2	27,72	26,8
La	0,075	0,003	0,015	0,007
Ce	0,035	0,004	0,012	0,01
Yb	0,032	0,003	0,010	0,008
W	0,39	< 0,02	0,061	0,04
Re	0,032	0,002	0,007	0,006
Tl	0,085	< 0,001	0,02	0,015
Pb	0,13	0,03	0,077	0,07
U	5,99	0,014	1,68	1,12

Dos elementos menores, os que apresentam valores médios mais elevados são o fosfato, o nitrito, o estrôncio e o brometo, cuja proveniência será fundamentalmente dos fertilizantes usados na prática agrícola. Para além da origem nos fertilizantes, o fosfato poderá surgir em alguns minerais presentes na área em estudo, como nos minerais ferro – magnésianos e nos silicatos. O nitrito provem, sobretudo, da oxidação do amoníaco e é menos solúvel e móvel que o nitrato. O estrôncio poderá surgir, também, em minerais como os feldspatos, a calcite, a dolomite e as micas. Para o brometo a sua proveniência na natureza pode vir associado às anfíbolas e às biotites.

Seguem-se o fluoreto, o iodeto, o manganês, o bário, o arsénio, o cobre, o rubídio e o zinco, todos com concentrações ponderais médias superiores a 10 µg/l. O fluoreto para além dos fertilizantes também pode ser encontrado em alguns minerais, como as micas, as anfíbolas e as turmalinas (Reimann e Caritat, 1998).

O iodeto, não apresenta uma função evidente mas a sua proveniência é, principalmente, o oceano ou mais propriamente a água do mar. O manganês é um elemento com alguma importância para assegurar produções boas e de qualidade afectando a fertilidade dos solos e a sua carência pode trazer consequências para as produções, sobretudo ao nível do crescimento (INIAP – LQARS, 2006). Este elemento pode vir associado em alguns minerais como, a calcite, a dolomite, a olivina, a piroxena e a rodocrosite (Reimann e Caritat,

1998). O bário é relativamente móvel na maioria dos solos, podendo migrar para as águas subterrâneas, onde poderá precipitar e pode vir associado à barite. O arsénio é relativamente tóxico, constituinte de muitos pesticidas e herbicidas, também pode surgir em alguns tipos de fertilizantes, sobretudo nos fosfatados. O cobre é essencial para a activação de algumas enzimas nas plantas e para teores elevados, pode se tornar tóxico para algumas plantas menos tolerantes. O rubídio aparentemente tem pouca expressividade na natureza, é considerado não essencial para o sistema biológico em geral e não é tóxico para os seres vivos e ambiente. Por último, o zinco é considerado um elemento essencial para as plantas e surge em alguns fertilizantes, sobretudo nos fosfatados (Reimann e Caritat, 1998).

Com concentrações entre 10 µg/l e 1 µg/l estão o titânio, o vanádio, o níquel, o molibdénio, o antimónio, o lítio e o urânio. Finalmente, os restantes elementos surgem nas águas com concentrações médias inferiores a 1 µg/l, sendo que o valor médio mais baixo é relativo ao rénio.

xi. Equilíbrio água – rocha

A alteração química dos minerais constituintes das rochas ocorre, essencialmente, pelo facto das águas de infiltração se encontrarem subsaturadas nos diversos elementos.

Mas no caso em estudo, o solo apresenta uma grande importância na alteração química dos elementos. Como a região em estudo apresenta níveis freáticos muito próximos da superfície, as águas subterrâneas estão em contacto directo com os solos e com a atmosfera, podendo causar alguma alteração química. Também a acção antrópica, através da adição de novas substâncias, têm uma influência, por vezes significativa, nos estados de equilíbrio naturais.

A determinação destes estados de equilíbrio foi feita através do programa informático AquaChem 3.70 com recurso ao aplicativo PHREEQC. Foi através deste aplicativo que se procedeu à análise de possíveis espécies dissolvidas e ao cálculo do índice de saturação (IS). Este índice é frequente aparecer sob a forma de Log de IS, quando os minerais possuem constantes

4. Apresentação e discussão dos resultados

de dissolução muito baixas, caracterizando o equilíbrio de uma solução em relação a uma determinada fase sólida.

Uma água está em equilíbrio com um dado mineral quando o respectivo índice de saturação é aproximadamente igual a um.

Na tabela 4.5 está representada o cálculo do Log de IS onde se define estados equilíbrio de algumas espécies minerais presentes nas amostras de água em estudo.

Tabela 4.5: Estados de equilíbrio das amostras de água subterrâneas relativamente a 12 espécies minerais (**Arag.** – aragonite; **Bar.** – barite; **Cal.** – calcite; **Calc.** – calcedônia; **Dol.** – dolomite; **Qz.** – quartzo; **Estron.** – estroncionite; **Talc.** – talco; **Cris.** – crisotilo; **Ges.** – gesso; **Rod.** – rodocrosite; **Sep.** – sepiolite; **valores negativos:** subsaturação; **0:** equilíbrio; **valores positivos:** sobressaturação).

Ponto	Arag.	Bar.	Cal.	Calc.	Dol.	Qz.	Estron.	Talc.	Cris.	Ges.	Rod.	Sep.
P – 13	0,77	- 0,50	0,91	- 0,37	1,05	0,07	- 0,78	0,40	-2,50	- 1,69	-1,55	-2,35
P – 14	1,15	0,24	1,30	- 0,27	1,88	0,18	- 0,38	2,36	-0,72	- 0,89	-0,17	-0,92
P – 17	0,47	- 0,28	0,62	- 0,67	0,67	- 0,23	- 0,96	- 1,32	-3,65	- 1,47	-1,25	-3,68
P – 18	1,44	- 0,54	1,59	- 0,39	2,39	0,06	- 0,07	3,28	0,42	- 1,44	-0,94	-0,39
P – 19	0,98	0,31	1,13	- 0,30	1,55	0,15	- 0,52	0,96	-2,05	- 1,04	0,12	-1,80
P – 23	0,72	- 0,15	0,87	0,09	1,36	0,53	- 0,80	3,65	-0,15	- 1,64	0,26	0,03
P – 28	1,13	- 0,54	1,28	- 0,50	1,81	- 0,07	- 0,45	2,43	-0,27	- 1,57	-1,43	-1,22
P – 31	1,29	- 0,14	1,44	- 0,24	2,10	0,21	- 0,22	3,43	0,27	- 1,21	-0,82	-0,23
P – 32	1,23	- 0,19	1,38	- 0,21	2,14	0,24	- 0,32	3,72	0,51	- 1,36	0,03	-0,01
P – 33	1,20	0,05	1,35	- 0,30	1,84	0,15	- 0,28	1,56	-1,42	- 1,25	0,10	-1,41
P – 36	1,38	- 0,24	1,53	- 0,26	2,17	0,19	- 0,18	3,21	0,13	- 1,60	-1,39	-0,29
P – 41	1,35	- 0,92	1,50	- 0,13	2,34	0,32	- 0,25	4,43	1,07	- 2,01	-1,03	0,49
P – 42	1,15	- 0,25	1,30	- 0,43	1,80	0,02	- 0,34	1,97	-0,77	- 1,80	-1,13	-1,18
P – 45	1,52	- 0,58	1,66	- 0,20	2,55	0,25	- 0,03	3,72	0,49	- 1,81	-0,04	0,00
P – 47	1,62	- 0,97	1,77	- 0,13	2,75	0,33	0,02	4,50	1,14	- 1,85	-0,61	0,59
P – 50	0,97	- 0,32	1,12	- 0,27	1,43	0,18	- 0,59	0,83	-2,24	- 1,59	-0,51	-1,90
P – 51	1,22	- 0,67	1,37	- 0,30	1,87	0,15	- 0,35	2,23	-0,79	- 1,89	-1,62	-1,03
P – 63	0,59	- 0,49	0,74	- 0,29	0,87	0,15	- 0,98	-1,46	-4,50	- 1,66	-0,69	-3,49
P – 78	1,07	- 0,67	1,21	- 0,16	1,73	0,29	- 0,46	2,20	-1,08	- 1,93	-0,63	-0,95
P – 81	0,57	- 0,25	0,72	- 0,20	0,67	0,25	- 0,96	-1,60	-4,81	- 1,51	-0,75	-3,53
P – 84	0,50	0,00	0,64	- 0,16	0,96	0,29	- 1,00	-0,01	-3,32	- 1,24	-1,65	-2,48
P – 86	1,11	- 0,39	1,26	- 0,15	1,60	0,29	- 0,41	2,26	-1,07	- 1,21	-1,38	-0,98
P – 87	1,37	0,38	1,52	- 0,37	2,19	0,08	- 0,11	1,80	-1,09	- 0,92	0,37	-1,35
P – 88	1,15	- 0,15	1,30	- 0,34	1,66	0,11	- 0,36	0,69	-2,25	- 1,35	-0,40	-2,06
P – 91	0,27	- 0,27	0,42	- 0,20	0,97	0,25	- 1,17	2,60	-0,62	- 1,97	-1,68	-0,72
P – 95	0,89	- 0,25	1,04	- 0,17	1,56	0,29	- 0,64	2,37	-0,90	- 1,64	-1,47	-0,82
P – 96	0,64	0,11	0,79	- 0,13	1,29	0,32	- 0,85	1,72	-1,65	- 1,28	0,14	-1,30
P – 98	-0,93	- 0,19	- 0,78	- 0,18	- 1,46	0,27	- 2,35	-1,24	-4,49	- 2,24	-1,99	-3,25
P – 99	0,45	0,08	0,60	- 0,22	1,25	0,23	- 1,12	2,36	-0,81	- 1,67	-0,51	-0,90
P – 101	0,08	- 0,17	0,23	- 0,29	-0,11	0,17	- 1,40	-2,79	-5,83	- 1,58	-1,31	-4,31

Na análise de soluções de equilíbrios apenas se considerou as espécies minerais mais comuns tendo em conta os elementos dominantes nas águas e possíveis reacções químicas. Como a região em estudo apresenta uma dominância carbonatos ricos em cálcio, considera-se possíveis associações de equilíbrio com a aragonite, a calcite e a dolomite, para as quais se verificou alguma tendência para a sobresaturação. Ainda nos carbonatos tem-se a rodocrosite e a estroncionite, ambas subsaturadas, podendo em algumas amostras estarem próximas do equilíbrio.

Também temos alguns minerais de sílica, tais como o quartzo, que se encontra praticamente em equilíbrio e a calcedónia que se apresenta tendencialmente no estado de subsaturação, mas em algumas amostras poderá estar próxima do equilíbrio.

Relativamente a possíveis estados de equilíbrio com o magnésio, tem-se o talco sobressaturado, o crisótilo está fundamentalmente subsaturado podendo em alguns casos estar sobressaturado e a sepiolite está subsaturada, apresentando pelo menos um caso em que se encontra em equilíbrio.

Em relação aos sulfatos, os possíveis estados de equilíbrio calculados, destacou-se a barite e o gesso, ambos subsaturados.

4.2.3 Análise da fácies hidroquímica

Como já foi referido no capítulo 2, a área de estudo encontra-se sob forte influência antrópica, principalmente devido á prática da actividade agrícola concentrada junto ao litoral.

As águas desta região são tendencialmente bicarbonatadas cálcicas ou sulfatadas cálcicas (figura 4.27), mas deveriam ser cloretadas sódicas, mas isso não se verifica. Esta alteração da fácies é devida aos fertilizantes adicionados ao solo, influenciando as características químicas das águas subterrâneas.

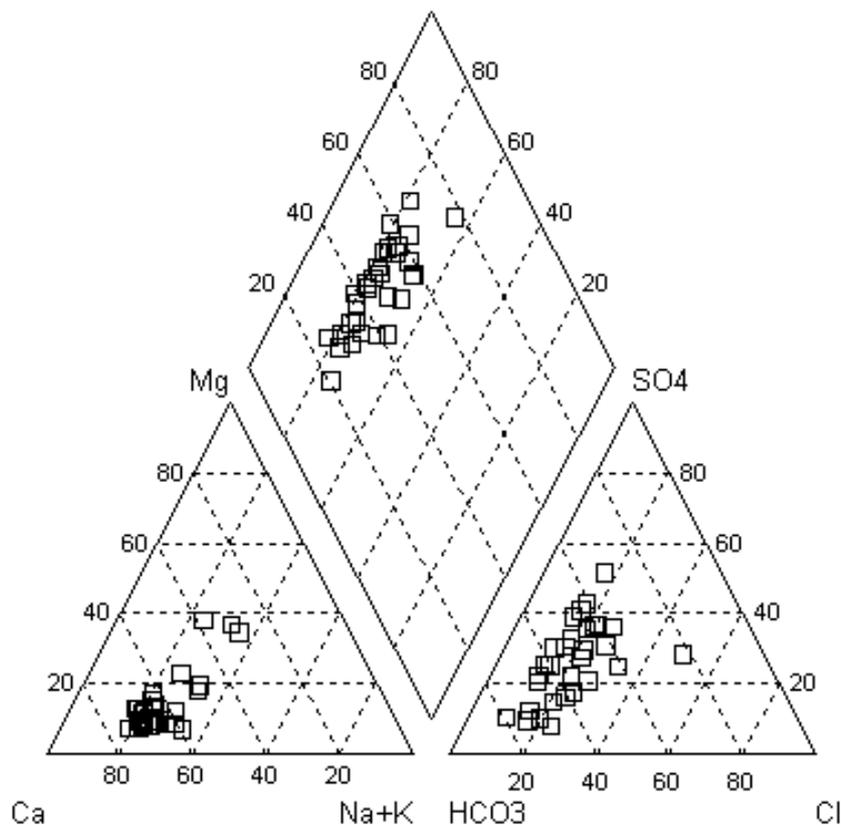


Figura 4.27: Diagrama triangular representando a fácies hidroquímica.

4.2.4 Qualidade da água

Da avaliação da qualidade das águas destinadas à rega mediante os teores das substâncias dissolvidas na água (Anexo XVI do Decreto-Lei nº 236/98 de 1 de Agosto), verifica-se que, de um modo geral, as concentrações identificadas não colocam problemas, à exceção do nitrato. De acordo com aquele diploma legal, o valor máximo recomendado (VMR) é de 50 mg/l.

Em relação à qualidade das águas para uso agrícola, os critérios de classificação dependem do tipo de planta, do volume de rega, da qualidade do solo e do clima local (Davis e De Wiest, 1971). Entre as várias classificações existentes, adopta-se a do “U.S. Salinity Laboratory Staff”, que utiliza as seguintes variáveis (Custódio e Llamas, 1983):

- concentração total de sólidos dissolvidos, expressa em termos de condutividade eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25 °C);

4. Apresentação e discussão dos resultados

- concentração de sódio relativamente ao cálcio e ao magnésio (taxa de adsorção de sódio – TAS) definida pela expressão:

$$TAS = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}} \quad (4.8)$$

sendo as concentrações dos diferentes constituintes expressa em meq/l.

Os efeitos nocivos produzidos pelo sódio são essencialmente a redução da permeabilidade e o aumento da dureza do solo. Estes efeitos resultam da troca de iões cálcio e magnésio com o sódio. A intensidade desta troca é avaliada pelo índice TAS (expressão 4.8).

A projecção dos valores relativos àqueles parâmetros (condutividade eléctrica e TAS) em diagrama semilogarítmico (figura 4.28) permite avaliar a qualidade das águas para utilização agrícola e os perigos subjacentes à salinização e alcalinização dos solos.

4. Apresentação e discussão dos resultados

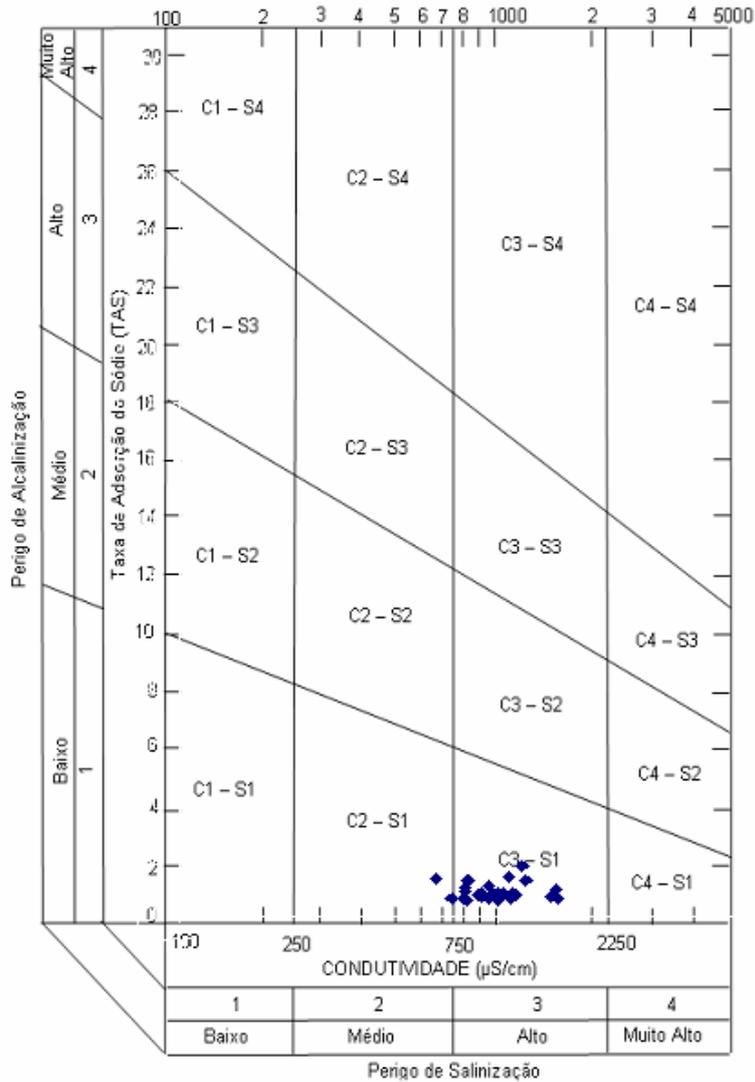


Figura 4.28: Qualidade química das águas para uso agrícola.

Como se observa, os pontos representativos das amostras com condutividade eléctrica superior a 100 µS/cm distribuem-se por dois sectores (C2 – S1 e C3 – S1), mas a grande maioria das amostras encontram-se no sector C3 – S1. O significado da simbologia utilizada é a seguinte:

C2: água de salinidade média com valores de condutividade eléctrica entre 250 µS/cm e 750 µS/cm. Estas águas podem ser utilizadas para rega de culturas moderadamente tolerantes aos sais e apresentam um perigo moderado de salinização dos solos;

C3: água de salinidade alta ou elevada com valores de condutividade eléctrica entre 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 2250 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Estas águas podem ser utilizadas para rega de culturas com alta tolerância aos sais e apresentam em perigo elevado de salinização dos solos;

S1: água com baixa concentração de sódio, podendo ser usada na maioria dos solos por apresentar poucas possibilidades de alcançar elevadas concentrações de sódio por troca catiónica. No entanto, as culturas sensíveis podem acumular quantidades prejudiciais de sódio.

Assim, as águas da região apresentam baixo perigo de alcalinização do solo e alto perigo de salinização, pelo que podem apenas ser utilizadas para rega de culturas com alta tolerância aos sais.

Para além dos parâmetros antes referidos, procedeu-se à avaliação da qualidade das águas para uso agrícola com base no Decreto-Lei nº 236/98 de 1 de Agosto. Na figura 4.29 apresentam-se os valores relativos aos parâmetros, condutividade eléctrica, cloreto e nitrato, uma vez que é nestes parâmetros que algumas amostras apresentam valores acima dos máximos recomendáveis (VMR). Além disso, verifica-se que algumas amostras apresentam teores de molibdénio superiores ao VMR (5 $\mu\text{g}/\text{L}$). Em relação à condutividade eléctrica, o VMR (1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) é ultrapassado em 50% das amostras. No nitrato, é ainda maior a proporção de amostras que estão acima do VMR (50 mg/L), uma vez que 21 das 30 amostras analisadas, ou seja, 70% ultrapassam aquele valor. Relativamente ao cloreto, o panorama é mais favorável já que apenas 6 amostras (20%) apresentam teores superiores ao respectivo VMR (70 mg/L).

4. Apresentação e discussão dos resultados

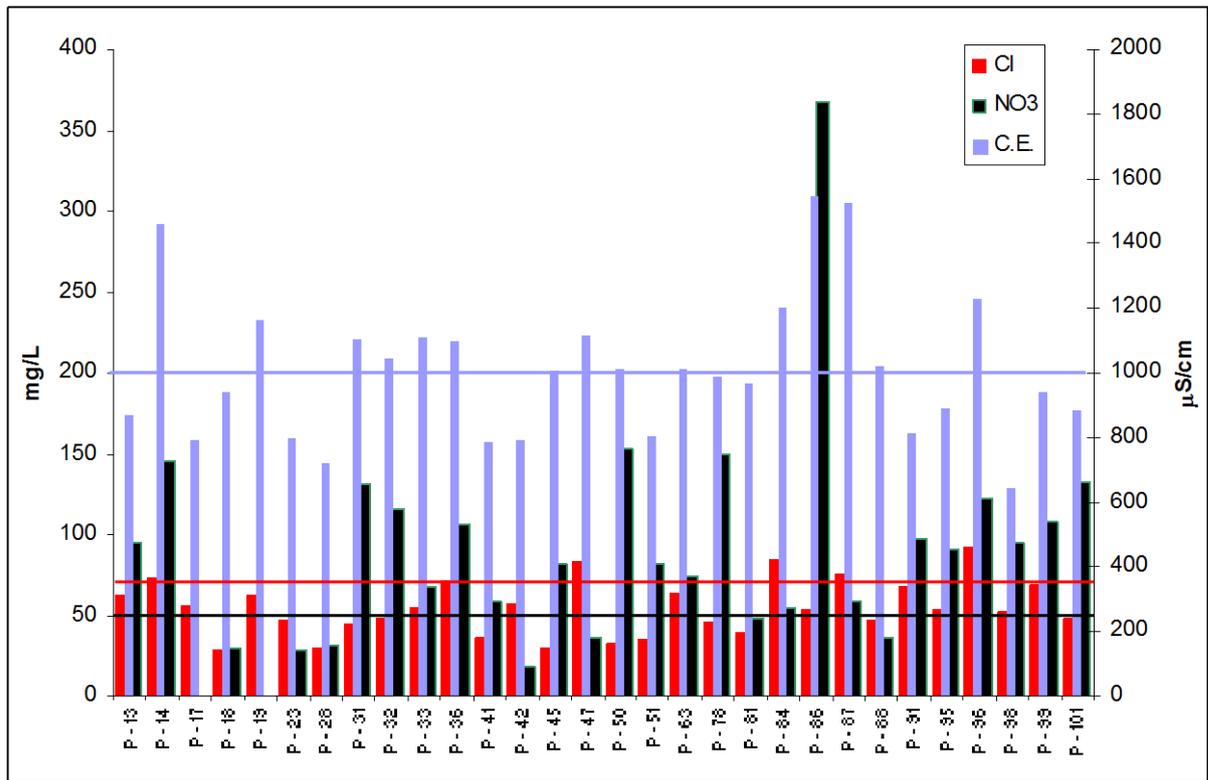


Figura 4.29: Teores de cloreto (Cl) e nitrato (NO₃) e valores de condutividade eléctrica (C.E.) das amostras analisadas. As linhas horizontais assinalam os respectivos valores máximos recomendáveis.

Em relação ao molibdénio (figura 4.30), o valor VMR (5 µg/l) é ultrapassado apenas em 7 amostras (23%), muito próximo do verificado para o cloreto.

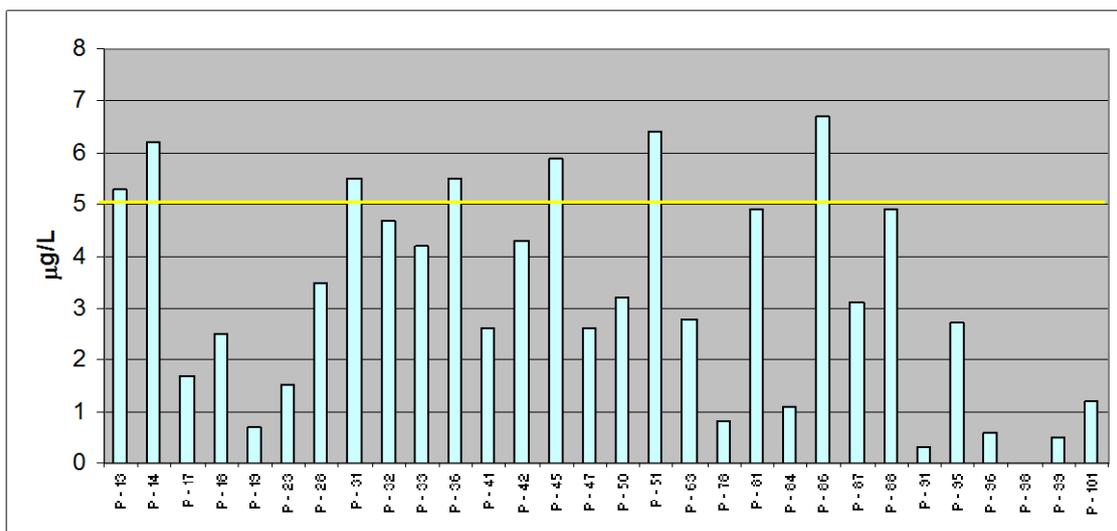


Figura 4.30: Teores de molibdénio (Mo) das amostras analisadas. A linha horizontal assinala o respectivo valor máximo recomendável.

4.3 Análise de perfis de resistividade eléctrica

Na realização dos perfis de resistividade para a detecção da interface água doce/água salgada, procurou-se um local próximo da linha de costa, relevo o mais aplanado possível e afastado de habitações ou explorações agrícolas. A zona escolhida para o efeito foi a secção NW de Aguçadoura.

A localização dos pontos onde se realizaram os perfis de resistividade está marcada na figura 4.31.

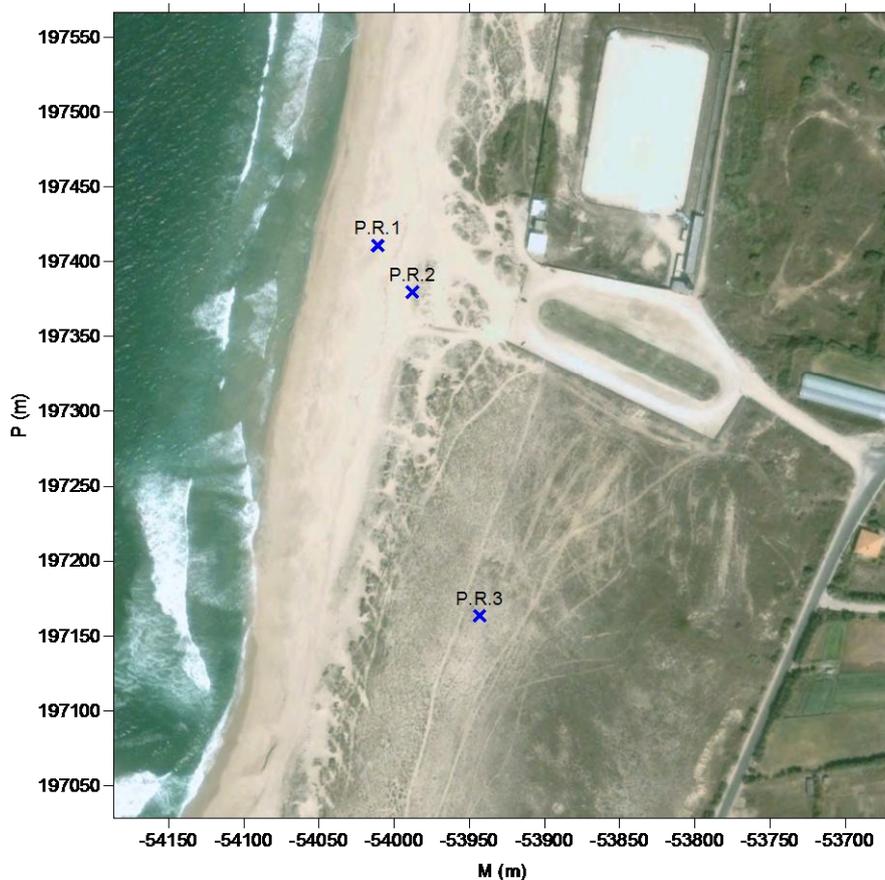


Figura 4.31: Localização dos pontos onde se realizaram os perfis de resistividade.

No ponto P.R.1 realizou-se um perfil de resistividade com um espaçamento, entre os electrodos, de 1 metro. Avançando alguns metros para interior, tem-se o ponto P.R.2 com um espaçamento entre os electrodos de 2 metros. Por último o ponto P.R.3, onde se realizou -se um perfil de resistividade, para espaçamentos entre os electrodos de 2 metros, 4 metros e 5 metros, respectivamente.

4. Apresentação e discussão dos resultados

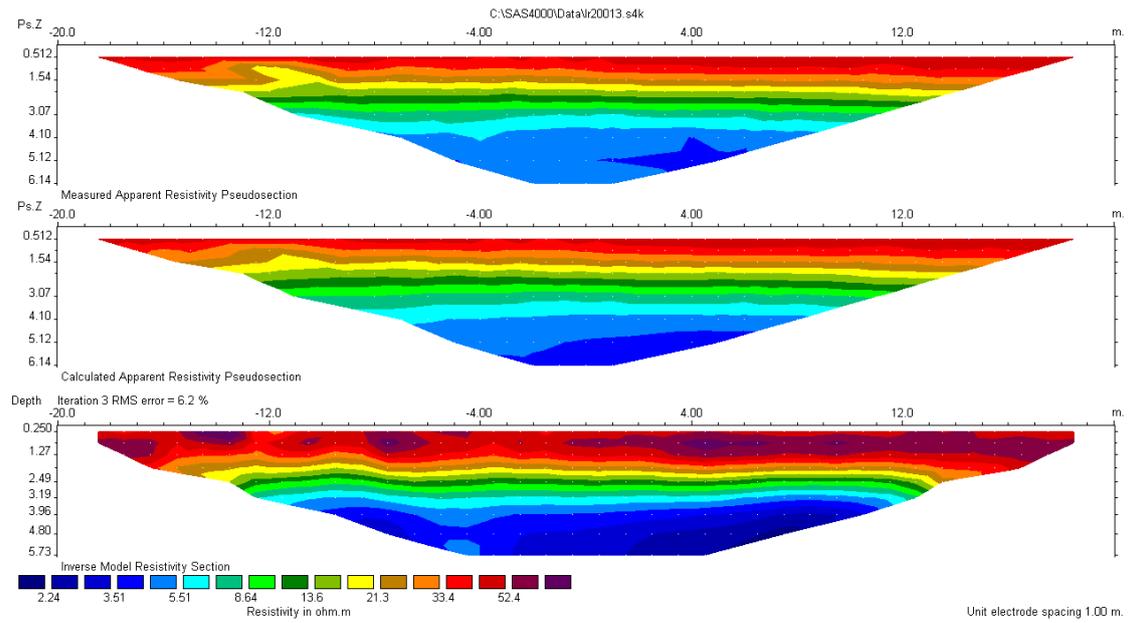


Figura 4.32: Perfil de resistividade aparente 1 (P.R.1).

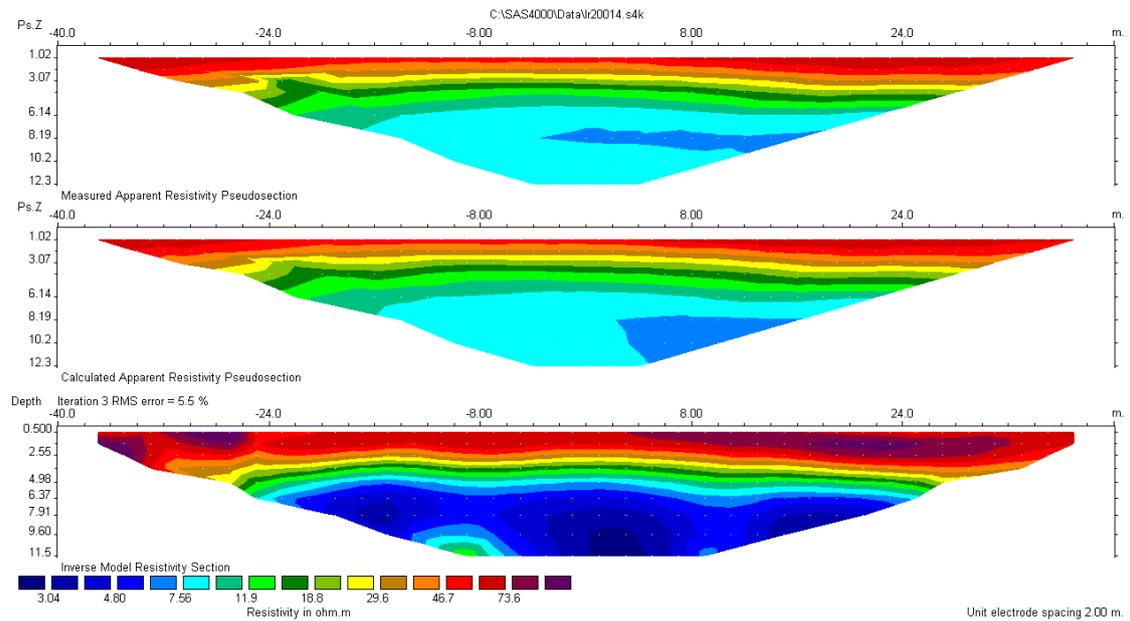


Figura 4.33: Perfil de resistividade aparente 2 (P.R.2).

4. Apresentação e discussão dos resultados

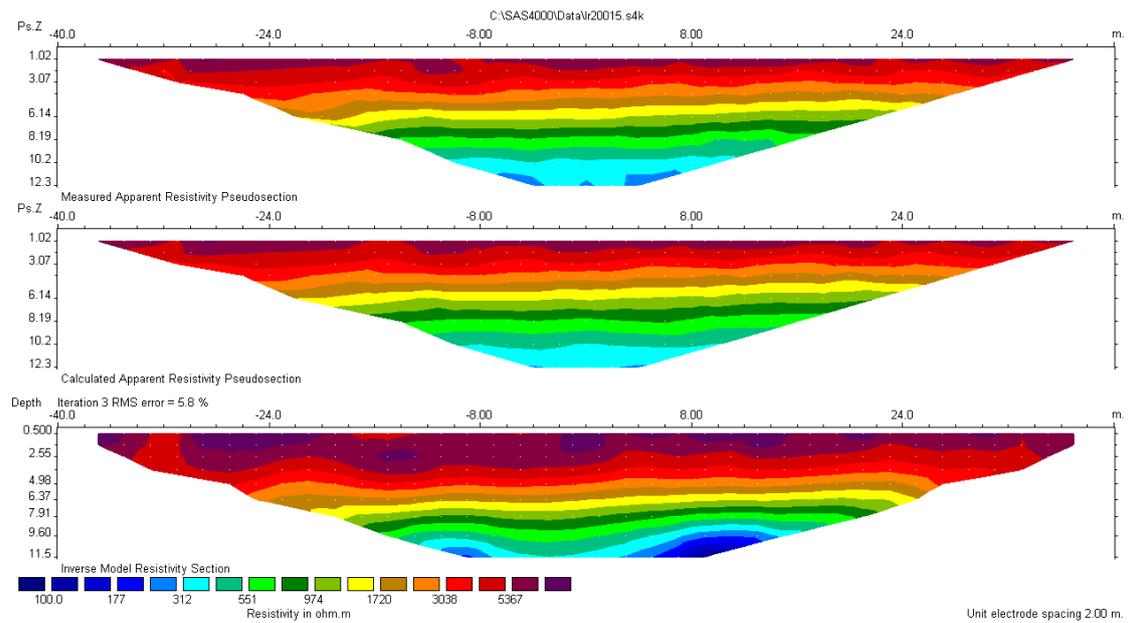


Figura 4.34: Perfil de resistividade aparente 3 (P.R.3) com espaçamento de 2 metros.

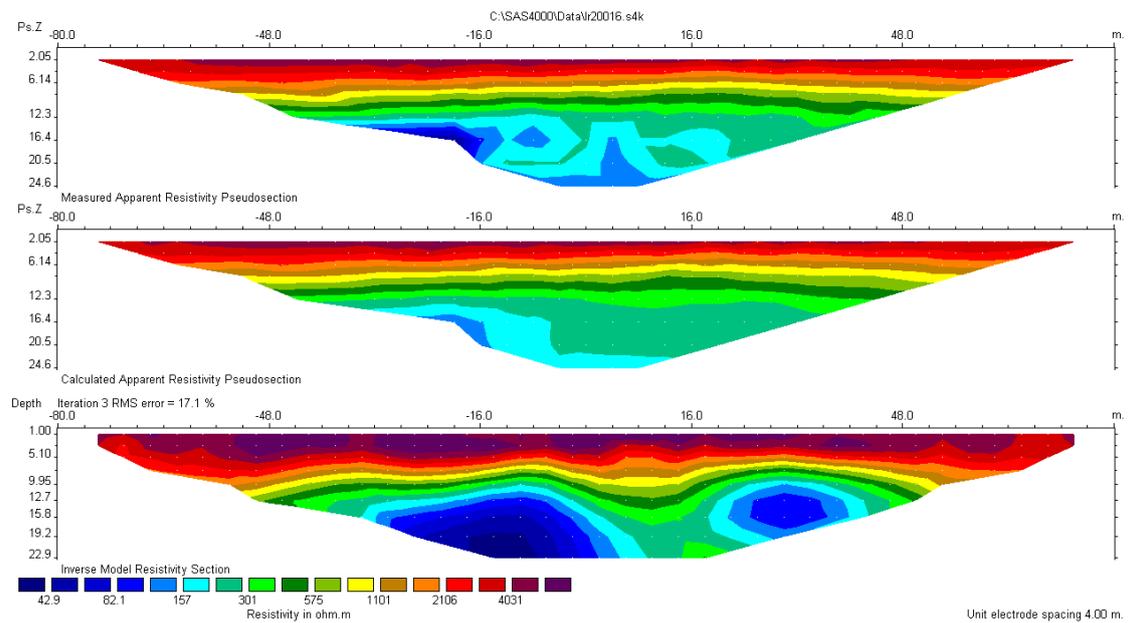


Figura 4.35: Perfil de resistividade aparente 3 (P.R.3) com espaçamento de 4 metros.

4. Apresentação e discussão dos resultados

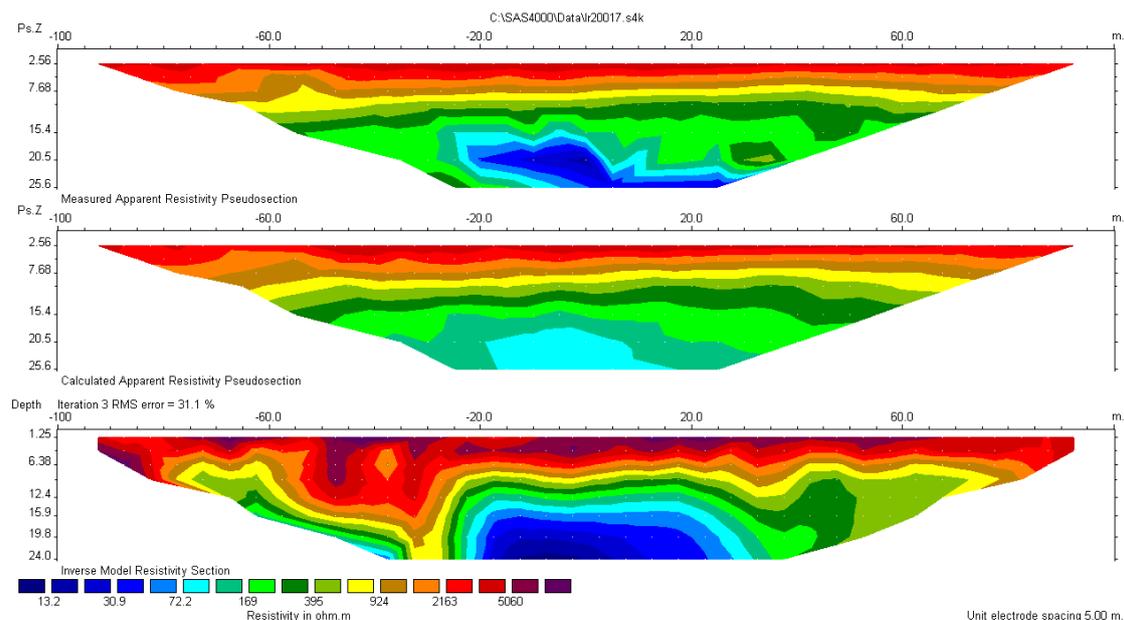


Figura 4.36: Perfil de resistividade aparente 3 (P.R.3) com espaçamento de 5 metros.

Analisando estes perfis, conclui-se que à medida que se avança para interior, a água salgada deverá ocorrer para profundidades superiores a 24 metros, logo o mecanismo de intrusão salina não parece um caso importante.

Conclusões

O estudo da qualidade das águas subterrâneas do aquífero livre da Zona Vulnerável nº 1 (Esposende – Vila do Conde) pôs em destaque a contaminação destas águas resultante, pelo menos em parte, da agricultura intensiva que aí se pratica. A textura dos solos agrícolas da região proporciona permeabilidades elevadas que favorecem a percolação das águas de rega até à zona saturada, arrastando consigo os fertilizantes adicionados aos solos. Nestas condições, a composição das águas subterrâneas está essencialmente controlada pela prática agrícola, acabando por apresentarem mineralizações muito superiores ao que seria espectável, tendo em conta o contexto geológico em que ocorrem. Teores anormalmente elevados de alguns constituintes como o cálcio, o magnésio, os sulfatos e os nitratos, não podem ser explicados por processos naturais, nomeadamente a interacção água – rocha, havendo necessidade de considerar influências antropicas. Não obstante a proximidade ao mar, a mineralização das águas subterrâneas em estudo não parece estar condicionada de forma significativa pelos sais marinhos, quer através de aerossóis atmosféricos, quer por meio da intrusão salina.

Em síntese, as águas do aquífero livre em estudo apresentam, de um modo geral, elevado perigo de salinização dos solos e mostram-se pouco adequadas à prática agrícola. A situação apresentada pode-se agravar com o prolongar do tempo se a situação, não for investigada com mais pormenor em futuros estudos.

De forma a salvaguardar os recursos hídricos e a continuidade da prática agrícola na região em estudo, propõe-se as seguintes sugestões de mitigação para a região em estudo:

- a adopção de boas práticas agrícolas, concretamente as relacionadas com a fertilização dos solos, minimizando o impacto já verificável ou na melhor das hipóteses, reverter o processo de degradação da qualidade das águas subterrâneas, sem impacto significativo sobre a produtividade agrícola;

- a alteração da textura quase exclusivamente arenosa dos solos, pela adição de componentes mais finos, aumentaria a capacidade da reserva utilizável, diminuindo a frequência da rega e a quantidade de água gravítica;
- a aplicação no sistema de rega do método gota a gota, havendo com isso poupança no consumo de água e energia, prevenindo desperdícios e aumentando a eficácia na produção;
- a monitorização periódica das captações e solos subjacentes;
- a realização de campanhas de sensibilização entre a comunidade agrícola e estudantil, para que haja uma maior compreensão e conhecimento acerca do problema apresentado na região em estudo.

Bibliografia

ABEM (2009) – *Instruction Manual Terrameter SAS 4000/SAS 1000*. ABEM Instrument AB. Sundbyberg. Sweden. 136 p.

Athayde, Maria Emília (2005) – *Estatística. R*. Primeira edição. Universidade do Minho, Departamento de matemática. Braga. 166p.

Brassington, R. (1988) – *Field Hydrogeology*. Geological Society of London Professional Handbook. 169 p.

Câmara Municipal da Póvoa de Varzim, Departamento de Desenvolvimento Local, Divisão de Educação e Acção Social (2000) – *Plano de Urbanização de Aguçadoura*. Relatório do Estudo Prévio. Póvoa de Varzim. Maio de 2000.

Cardoso, Alexandre (2007) – *Litoral Poveiro: perspectiva ambiental*. Colecção “Na linha do horizonte – Biblioteca Poveira” 15. Câmara Municipal da Póvoa de Varzim. Setembro de 2007. 158p.

Costa, Joaquim Botelho (1999) – *Caracterização e constituição do solo*. 6ª Edição. Serviço de Educação. Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa. Dezembro de 1999. 527p.

Costa, Maria Adelina (1987) – *Aguçadoura e campos em masseira: dinâmica da relação entre o sistema de habitat e o sistema produtivo*. Seminário de Pré – Profissionalização. Tema 4. “Paisagem e o Povoamento rural na região norte”. FAUP.

Custodio, Emilio; Llamas, Manuel Ramón (1983) – *Hidrologia Subterrânea*. Segunda edição. Ediciones Ómega, S.A., 1095 p.

Davis, S.N.; De Wiest, R. (1971). *Hidrogeologia*. Ed. Ariel, Barcelona, 563 p.

FBO; INAG (1999) – *Plano de Ordenamento da Orla Costeira Caminha – Espinho*. Elementos complementares. Fevereiro de 1999.

INIAP – LQARS (2006) – *Manual de fertilização das culturas*. INIAP – Laboratório Químico Agrícola Rebelo da Silva. Lisboa. 282p.

Instituto Geográfico do Exército (1997). *Carta Militar de Portugal, 1:25 000, folha nº 82 (Póvoa de Varzim)*.

Junta de Freguesia da Estela (2009) – *Estela, Terra e Mar*. Junta de freguesia da Estela.

Lencastre, A; Franco, F. M. (1992) – *Lições de Hidrologia*. 2ª Edição revista. Universidade Nova de Lisboa. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Abril de 1992. 451p.

Loke, M.H. (1999) – *Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies. A practical guide to 2-D and 3-D surveys*. October 2000. 61 p.

Melo, M. M. (1992) – *Masseiras: um sistema agrícola criado em areias de duna*. Trabalho de fim de curso, Universidade de Évora.

Ministério da Agricultura (2005) – *Aplicação de práticas agrícolas para redução da lixiviação de nitratos na Zona Vulnerável do aquífero livre de Esposende e Vila do Conde*. Projecto AGRO 35. Relatório Geral. Parte 1. Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento local e das Pescas. Abril de 2005. 152p.

Reimann, Clemens; De Caritat, Patrice (1998) – *Chemical elements in the environment: factsheets for the geochemist and environmental scientist*. Springer – Verlag Berlin Heidelberg. 398 p.

Teixeira, C.; Medeiros, A. C.(1965) – Noticia explicativa da folha 9 – A (Póvoa de Varzim) da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000. Direcção Geral de Minas e Serviços Geológicos. Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa. 47p.

www.cm-pvarzim.pt