



MINISTÉRIO DAS OBRAS PÚBLICAS, TRANSPORTES E COMUNICAÇÕES
Laboratório Nacional de Engenharia Civil, I.P.

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E AMBIENTE

Núcleo de Águas Subterrâneas

Proc. 0607/1/17171

**ANÁLISE E PARECER SOBRE A SITUAÇÃO AMBIENTAL NAS ÁREAS
DE CAPTAÇÃO DOS FUROS DE ABASTECIMENTO DO CONCELHO DE
PRAIA DA VITÓRIA – AÇORES**

Síntese do Relatório Final das Águas Subterrâneas

Lisboa, Janeiro de 2011

Estudo realizado para a Câmara Municipal da Praia da Vitória

I&D HIDRÁULICA E AMBIENTE

RELATÓRIO 1/2011 - NAS

Análise e Parecer sobre a Situação Ambiental nas Áreas de Captação dos Furos de Abastecimento do Concelho de Praia da Vitória – Açores

Relatório Final da Avaliação das Águas Subterrâneas

RESUMO

O presente Estudo foi desenvolvido para a Câmara Municipal da Praia da Vitória pelos Departamentos de Hidráulica e Ambiente e de Geotecnia do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), entre Maio de 2009 e Dezembro de 2010.

Apresentam-se as conclusões do Estudo nessa vertente, nele se definindo o estado actual da qualidade e da quantidade das águas subterrâneas e perspectivas de evolução futura, interligando-os com os resultados e as conclusões dos relatórios finais da avaliação da qualidade dos solos e da prospecção geofísica.

O Relatório Final foi estruturado no seguinte conjunto de capítulos: (1) Objectivos e âmbito do estudo, (2) Área de estudo; (3) Clima; (4) Orografia; (5) Coberto vegetal; (6) Geologia; (7) Hidrografia; (8) Hidrogeologia; (9) Focos de poluição na área de estudo; (10) Modelação numérica do escoamento de águas subterrâneas; (11) Vulnerabilidade dos aquíferos à poluição; (12) Qualidade das águas subterrâneas; (13) Conclusões e recomendações.

Os trabalhos de caracterização da situação ambiental na área do concelho de Praia da Vitória, agora apresentados, tiveram por base a análise e a interpretação de um vasto conjunto de nova informação recolhida ao longo de um ano e meio de intenso trabalho, incluindo novos dados de caracterização litológica de logs (com seis novos furos no aquífero basal e dez novos piezómetros), de prospecção geofísica (40 perfis de resistividade eléctrica em 32 alinhamentos), de medição de características hidráulicas (sete ensaios de caudal e centenas de medições do nível piezométrico) e de qualidade das águas subterrâneas (11 610 análises químicas efectuadas em 54 pontos de água em diversos períodos). A informação foi ainda trabalhada num modelo numérico de escoamento para permitir compreender e justificar os resultados obtidos e para analisar possíveis cenários de evolução da situação actual.

A caracterização do estado ambiental das áreas estudadas permitiu analisar as situações principais de risco, com vista a virem a ser definidas, num futuro estudo, medidas de mitigação e de recuperação apropriadas.

Analysis and Technical Report about the Environmental Situation of *Praia da Vitória* County Supply Wells, Terceira Island, Azores

Final Report

ABSTRACT

This Study was developed for Câmara Municipal da Praia da Vitória by the Hydraulics and Environment Department together with the Geotechnique Department of the Laboratório Nacional de Engenharia Civil – LNEC (National Laboratory for Civil Engineering) between May 2009 and December 2010.

The Final Report is focused on the groundwater situation, presenting the conclusions of the Study, namely the present groundwater quality and quantity status, and their prospective future evolutions, under an integrative framework that incorporates the results and conclusions presented on the final reports dealing with the evaluation of soil quality and geophysical prospection studies.

The Final Report has the following structure: (1) Objectives and scope of the study, (2) Location of the study area, (3) Climate, (4) Orography, (5) Vegetation and land cover, (6) Geology (7) Hydrography, (8) Hydrogeology, (9) Pollution sources in the study area, (10) Mathematical modeling concerning groundwater flow, (11) Aquifer vulnerability to pollution, (12) Groundwater quality, (13) Conclusions and recommendations.

The characterization of Praia da Vitoria municipality environmental conditions, here presented, was built upon the analysis of a wide array of new information, including new data from the lithological interpretation of logs (pertaining to 6 new wells in the basal aquifer and 10 new piezometers), data from the geophysical prospection (40 resistivity profiles in 32 alignments), data from measurements of hydraulic characteristics (7 pumping tests and hundreds of piezometric level measurements) and data concerning groundwater quality (11 610 chemical analysis on 54 monitoring points, spanning over one year time period). The information gathered was also integrated into a numerical groundwater flow model, and interpreted, in order to understand and to validate the field data, and evaluate possible evolution scenarios for the present situation.

The characterization of the environmental conditions of the studied area allowed the analysis of the main risk situations, in order to ascertain, in a future study, the adequate mitigation and recovery measures.

Analyse et Avis Technique sur la Situation Environnementale des Puits de Bombage de la Municipalité de *Praia da Vitória*, Île Terceira, Azores

Rapport Final de l'Évaluation des Eaux Souterraines

SOMMAIRE

Cette étude a été développée pour la Mairie de *Praia da Vitória* par les Départements d'Hydraulique et Environnement et de Géotechnie du Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), entre mai 2009 et Décembre 2010.

Le Rapport Final présente les conclusions de l'étude le long de ces lignes, en définissant l'état actuel de la qualité et la quantité des eaux souterraines et les perspectives de développements futurs, en les reliant avec les résultats et les conclusions des rapports finals de l'évaluation de la qualité des sols et de la prospection géophysique.

Le Rapport Final a été structuré de l'ensemble de chapitres suivantes: (1) Objectifs et portée de l'étude, (2) Zone d'étude, (3) Météo (4); Orographie, (5) Couvert végétal, (6) Géologie, (7) Hydrographie; (8) Hydrogéologie, (9) Aires de pollution dans la zone d'étude (10) Modélisation numérique de l'écoulement des eaux souterraines; (11) Vulnérabilité des aquifères à la pollution; (12) Qualité des eaux souterraines; (13) Conclusions et recommandations.

Les travaux sur la caractérisation de la situation environnementale dans le domaine de la municipalité de Praia da Vitoria, aujourd'hui présenté, étaient fondées sur l'analyse et l'interprétation d'un large éventail de nouvelles informations recueillies au cours d'une année et demi de travail intense, y compris les données de caractérisation de nouveaux lithologiques journaux (avec six nouveaux trous dans l'aquifère de fond et des piézomètres dix), la prospection géophysique (40 profils de résistivité électrique en 32 alignements), la mesure des caractéristiques hydrauliques (sept essais de pompage et des centaines de mesures du niveau piezométrique) et qualité des eaux souterraines (11 610 analyses chimiques effectuées dans 54 points d'eau à différentes périodes). Ces informations ont également été mélangées dans un modèle numérique pour l'écoulement qui a permis de comprendre et de justifier les résultats et d'analyser les scénarios possibles pour l'évolution de la situation actuelle.

La caractérisation de l'état écologique des zones étudiées ont permis d'analyser les principales zones de risque afin d'en arriver à définir dans une future étude, les mesures d'atténuation et de récupération appropriées.

NOTA TÉCNICA

O Relatório intitulado "Análise e Parecer Sobre a Situação Ambiental nas Áreas de Captação dos Furos de Abastecimento do Concelho de Praia da Vitória – Açores - Relatório Final da Avaliação das Águas Subterrâneas", (Lobo-Ferreira *et al.*, 2010), cuja síntese se apresenta no presente documento, faz parte integrante de um conjunto de documentos elaborados para a Câmara Municipal da Praia da Vitória no âmbito do Estudo intitulado "Análise e Parecer Sobre a Situação Ambiental nas Áreas de Captação dos Furos de Abastecimento do Concelho de Praia da Vitória – Açores", desenvolvido pelos Departamentos de Hidráulica e Ambiente e de Geotecnia do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), entre Maio de 2009 e Dezembro de 2010. De acordo com o Plano de Trabalhos foram desenvolvidas diversas componentes tendo sido elaborados o seguinte conjunto de relatórios finais:

1. "Análise e Parecer Sobre a Situação Ambiental nas Áreas de Captação dos Furos de Abastecimento do Concelho de Praia da Vitória – Açores - Relatório Final da Avaliação das Águas Subterrâneas" (Lobo-Ferreira *et al.*, 2010).
2. "Prospecção Geofísica, pelo Método da Resistividade Eléctrica, no Concelho de Praia da Vitória, Açores" (R. Mota e M.E. Novo, 2010).
3. "Análise e Parecer Sobre a Situação Ambiental nas Áreas de Captação dos Furos de Abastecimento do Concelho de Praia da Vitória – Açores - Avaliação da Caracterização da Contaminação de Solos Junto a Potenciais Focos de Poluição" (C. Jorge, 2010).

São, ainda, parte integrante dos documentos finais os seguintes anexos:

- **Anexo 1** – Novo, M.E. (2010) - "Descrição Geológica Detalhada das Colunas Litológicas obtidas nas Carotes dos Novos Piezómetros", Laboratório Nacional de Engenharia Civil, NAS/DHA, 113 p.
- **Anexo 2** – Oliveira, N.P. (2010) - "Realização de Sondagens para Recolha de Amostras de Solos e Posterior Instalação de Piezómetros no Aquífero Superficial da Região do Graben das Lajes - Concelho de Praia da Vitória, Ilha Terceira – Açores". Direcção de Fundações e Geotecnia da Mota-Engil, 91 p.
- **Anexo 3** – Morais, J. (2010a) - "Relatório de Ensaios – Amostragem e Análise de Águas Subterrâneas". AmbiPar Control, L^{da}., 254 p.
- **Anexo 4** – Morais, J. (2010b) - "Relatório de Ensaios – Amostragem e Análise de Solos". AmbiPar Control, L^{da}., 88 p.
- **Anexo 5** – Aqualis (2010) – "Instalação de Furos e Piezómetros no Concelho de Praia da Vitória, Ilha Terceira – Açores". Aqualis L^{da}.

O trabalho foi desenvolvido em articulação com as diferentes equipas de trabalho e contou com o excelente apoio da Câmara Municipal de Praia da Vitória, nas pessoas do seu Presidente Dr. Roberto Monteiro e Vereador Paulo Messias, com a Força Aérea Portuguesa da Base das Lajes, através dos Senhores Tenente-Coronel Sousa Mendes e Capitão Pêva Soares e das Forças Aéreas Americanas da Base, em especial a Eng.^a Susana Simões e o Senhor Twidwell, a quem se agradece.

J.P. Lobo Ferreira
(Coordenador do Projecto)

ÍNDICE DO TEXTO

1. OBJECTIVOS E ÂMBITO DO ESTUDO	1
2. ÁREA DE ESTUDO	3
3. INTERPRETAÇÃO GEOLÓGICA DOS LOGS DE FUROS NA ÁREA DE ESTUDO	4
4. HIDROGEOLOGIA	10
5. MODELAÇÃO NUMÉRICA DO ESCOAMENTO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	18
5.1 Introdução	18
5.2 Conceptualização	18
5.2.1 Considerações iniciais	18
5.2.2 Configuração dos modelos (base e topo)	19
5.2.3 Recarga	19
5.2.4 Condutividade hidráulica	19
5.3 Modelo matemático	20
5.3.1 Considerações gerais	20
5.3.2 Formações hidrogeológicas suspensas	21
5.3.2.1 Limite do modelo matemático	21
5.3.2.2 Dados de entrada	22
5.3.2.3 Resultados	23
5.3.3 Sistema aquífero basal	29
5.3.3.1 Limite do modelo matemático	29
5.3.3.2 Dados de entrada	35
5.3.3.3 Resultados	36
6. QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	38
6.1 Considerações gerais	38
6.2 Caracterização da qualidade das águas subterrâneas nos aquíferos suspensos	43
6.2.1 Porta de Armas (Main Gate, DISCO Site 3001)	43
6.2.2 Poços localizados no concelho de Praia da Vitória	50
6.3 Caracterização da qualidade das águas subterrâneas no aquífero basal	55
6.3.1 Furos de captação para abastecimento ao concelho de Praia da Vitória	55
6.3.2 Furos e piezómetros LNEC_Aqualis e restante conjunto de furos no aquífero basal	69
6.3.3 Síntese da informação do aquífero basal	75
7. SÍNTESE, CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	79
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 – Localização dos pontos de amostragem de águas subterrâneas na área de estudo.....	3
Fig. 2 – Localização dos seis furos e dez piezómetros instalados na área de estudo	6
Fig. 3 - Colunas litológicas simplificadas em corte oblíquo (sobreelevação vertical de 10 vezes) - o furo “pJuncal” corresponde ao piezómetro FP4	7
Fig. 4 - Pormenor das colunas litológicas (sobreelevação vertical de 10 vezes)	8
Fig. 5 - Planta e perfis geológicos oblíquos simplificados (sobreelevação vertical de 10 vezes).....	9
Fig. 6 - Planta e perfil geológico oblíquo simplificado (sobreelevação vertical de 10x).....	10
Fig. 7 – Profundidade ao nível registada no piezómetro FP6B e precipitação diária registada em Praia da Vitória.....	14
Fig. 8 – Profundidade ao nível registada no piezómetro FP6A e precipitação diária registada em Praia da Vitória.....	14
Fig. 9 - Amplitude de maré registada nos diferentes piezómetros (exemplo do período de 10-08-2010 a 14-08-2010 - Lua Nova).....	15
Fig. 10 - Atraso temporal médio em relação à baixa-mar ou preia-mar versus distância à costa SE (período de registo de Julho a Agosto).....	16
Fig. 11 - Atraso temporal médio em relação à baixa-mar ou preia-mar versus distância à costa SE (período de registo de Setembro a Outubro)	16
Fig. 12 - Variação do nível piezométrico (Max-Med) versus distância à costa SE (período de registo de Julho a Agosto).....	17
Fig. 13 - Variação do nível piezométrico (Max-Med) versus distância à costa SE (período de registo de Setembro a Outubro)	17
Fig. 14 – Modelo do sistema aquífero suspenso proposto por Oliveira <i>et al.</i> (2010).....	21
Fig. 15 – Limite do modelo dos sistemas aquíferos suspensos – valores para interpolação (em cota) da base considera para o modelo.....	22
Fig. 16 – Nível piezométrico após corrida do modelo e setas de fluxo (sistemas aquíferos suspensos).....	25
Fig. 17 – Relação entre os valores observados e os valores calculados pelo modelo (sistemas aquíferos suspensos)	27
Fig. 18 – Corrida do programa MODPATH para o trajecto de uma partícula que termina o seu percurso no Juncal (nas formações hidrogeológicas suspensas).....	28
Fig. 19 – Pormenor da Corrida do programa MODPATH para o trajecto de uma partícula que termina o seu percurso no Juncal (nas formações hidrogeológicas suspensas)	28
Fig. 20 – Limites gerais do modelo à escala regional	31
Fig. 21 – Vista em pormenor do limite na zona do Monte Capitão.....	33
Fig. 22 – Vista em pormenor do limite na zona do Pico da Cruz.....	34
Fig. 23 – Vista em pormenor do limite na Serra do Cume	34
Fig. 24 – Malha MODFLOW do modelo do sistema aquífero basal	35
Fig. 25 - Distribuição espacial da piezometria e dos vectores de fluxo da água subterrânea no sistema basal.....	37
Fig. 26 – Localização dos pontos de amostragem de águas na área junto à Porta de Armas.....	44
Fig. 27 – Concentração em hidrocarbonetos diversos em piezómetros superficiais localizados junto à área da Porta de Armas.....	47
Fig. 28 – Concentração em PAHs, TPH e BTEX em dez piezómetros localizados em aquíferos suspensos, na área junto à Porta de Armas	49
Fig. 29 – Localização dos poços amostrados na área de estudo	51
Fig. 30 – Diagrama de Piper para as águas de poços no concelho de Praia da Vitória.....	52

Fig. 31 – Ocupação agro-pecuária na ilha Terceira	55
Fig. 32 – Localização dos furos de abastecimento da CMPV	56
Fig. 33 – Distribuição da concentração do vanádio nos pontos de água amostrados.....	60
Fig. 34 – Diagrama de Piper para as águas de abastecimento público da CMPV	61
Fig. 35 – Concentração em PAHs e TPH nos furos de abastecimento e nos piezómetros da Porta de Armas	61
Fig. 36 – Localização dos pontos de monitorização na área junto à <i>South Tank Farm</i>	62
Fig. 37 – Recolha de amostra com recurso a uma bomba peristáltica de baixo caudal.....	63
Fig. 38 – Fotografia de LNAPL sobrenadante na água do ponto MW08.....	67
Fig. 39 - Concentração em PAHs, TPH e BTEX em 2010, em piezómetros na área junto à <i>South Tank Farm</i>	67
Fig. 40 – Diagrama de Piper das águas do aquífero basal: furos da CMPV (triângulo preto); furos LNEC_Aqualis (bola vermelha); piezómetros LNEC_Aqualis (quadrado preto e azul) e FB6 e FP6 (losango verde).....	73
Fig. 41 – Concentração em hidrocarbonetos nos furos e nos piezómetros LNEC_Aqualis	74
Fig. 42 – Concentração em hidrocarbonetos nos furos e nos piezómetros do aquífero basal	75
Fig. 43 – Distribuição de cloretos nas águas subterrâneas do aquífero basal	77
Fig. 44 – Distribuição de nitratos nas águas subterrâneas do aquífero basal	77
Fig. 45 – Distribuição de magnésio nas águas subterrâneas do aquífero basal	78
Fig. 46 – Distribuição de potássio nas águas subterrâneas do aquífero basal	78

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Características sumárias dos ensaios de bombagem	11
Quadro 2 – Interpretação dos ensaios pelo método de Thiem	13
Quadro 3 – Valores de transmissividade por local ensaiado	13
Quadro 4 – Comparação da média absoluta entre os valores calculados nos diferentes modelos	37
Quadro 5 – Síntese das datas de amostragem e do tipo de amostra recolhida em cada local.....	41
Quadro 6 – Resultados das análises químicas efectuadas em cinco piezómetros AMEC e dois piezómetros LNEC_Mota-Engil junto à Porta de Armas (DISCO Site 3001)	45
Quadro 7 – Resultados das análises químicas efectuadas nos poços do concelho de Praia da Vitória	53
Quadro 8 – Resultados das análises químicas efectuadas nas águas furos de captação para abastecimento do Praia da Vitória	57
Quadro 9 – Concentrações hidroquímicas nos furos de abastecimento de água da CMPV	59
Quadro 10– Resultados das análises químicas efectuadas na área da <i>South Tank Farm</i> (DISCO Site 5001)	65
Quadro 11 – Resultados das análises químicas efectuadas nos furos e piezómetros LNEC_Aqualis ..	71
Quadro 12 – Valores médios, medianos, máximos e acima da norma (em mg/L) para metais pesados em águas do aquífero basal	76

Análise e Parecer sobre a Situação Ambiental nas Áreas de Captação dos Furos de Abastecimento do Concelho de Praia da Vitória – Açores

Síntese do Relatório Final das Águas Subterrâneas

1. Objectivos e Âmbito do Estudo

O Relatório intitulado "Análise e Parecer Sobre a Situação Ambiental nas Áreas de Captação dos Furos de Abastecimento do Concelho de Praia da Vitória – Açores - Relatório Final da Avaliação das Águas Subterrâneas", (Lobo-Ferreira *et al.*, 2010), cuja síntese se apresenta no presente documento, apresenta os trabalhos desenvolvidos e os resultados finais obtidos no Estudo intitulado "Análise e Parecer sobre a Situação Ambiental nas Áreas de Captação dos Furos de Abastecimentos do Concelho da Praia da Vitória", iniciado em Maio de 2009 e terminado em Dezembro de 2010, no que diz respeito à componente de águas subterrâneas.

O principal objectivo deste Estudo foi a avaliação ambiental da qualidade dos recursos hídricos subterrâneos ao longo de toda a área do concelho de Praia da Vitória onde existam captações que estejam a ser ou possam vir a ser afectadas por situações de poluição associadas às infra-estruturas da Base das Lajes, nelas se incluindo algumas importantes estruturas externas à área da base propriamente dita (ex.: *Cinder Pit Pipeline*, *Cinder Pit Fuel Tanks*, *South Tank Farm*). Este Estudo não se debruça, portanto, sobre outras eventuais origens de poluição que possam existir no Concelho.

Com vista a se atingir este objectivo, os trabalhos foram estruturados nas seguintes partes, incluindo componentes de âmbito mais abrangente que auxiliaram a enquadrar a avaliação ambiental da qualidade dos recursos hídricos subterrâneos da área em estudo, bem como a prever a sua evolução:

1. Caracterização com recurso à prospecção geofísica das áreas onde pode ocorrer a migração da poluição para as águas subterrâneas – que incluiu:

- a. Localização das zonas poluídas associadas às estruturas de apoio à actividade da Base das Lajes.
- b. Contribuição para a caracterização das falhas das Fontinhas e de Santiago.
- c. Identificação de eventuais zonas impermeáveis, que poderão funcionar como barreiras de aquíferos suspensos.
- d. Contribuição, conjugando a informação necessária para atingir os objectivos anteriores, para a selecção dos locais para execução das sondagens de amostragem de solos e dos furos para instalação de piezómetros e dos ensaios de bombagem.

2. Avaliação da qualidade dos solos nas áreas focais da poluição – que incluiu:

- a. Análise de estudos anteriores realizados na área sobre a caracterização da qualidade dos solos.
- b. Acompanhamento da realização de novas sondagens de amostragem e da recolha de amostras de solos, a várias profundidades, para análise laboratorial.

- c. Análise da informação obtida e caracterização do presente estado de contaminação dos solos, a diversas profundidades.
- d. Localização de eventuais manchas de contaminação nos solos.
- e. Determinação da sua profundidade, intensidade e tipo.

3. Avaliação da qualidade e quantidade das águas subterrâneas, com ênfase nas zonas de captação e nas áreas entre estas e os focos de poluição – que incluiu:

- a) Actualização do inventário dos pontos de água e identificação das infra-estruturas preexistentes com condições para monitorização de água.
- b) Acompanhamento parcial dos trabalhos de instalação dos novos piezómetros e dos furos de ensaio.
- c) Acompanhamento parcial dos ensaios de caudal realizados.
- d) Descrição da geologia atravessada pelas sondagens para instalação dos novos piezómetros com vista a identificar e caracterizar zonas preferenciais de migração dos poluentes entre os aquíferos superficiais e os mais profundos (ex.: falhas).
- e) Monitorização das águas subterrâneas em vários períodos diferentes, nas formações hidrogeológicas suspensas e no aquífero basal (acompanhamento com sondas e recolha manual de amostras de água).
- f) Análise da informação recolhida para localização das principais manchas de poluição nas águas subterrâneas e sua extensão.
- g) Caracterização dos tipos de contaminantes presentes nos solos e nas águas subterrâneas (com especial destaque para os provenientes de focos de poluição associados à Base das Lajes e suas infra-estruturas de armazenamento e transporte de hidrocarbonetos de petróleo).
- h) Caracterização do funcionamento hidráulico e principais características hidrodinâmicas das formações.

4. Modelação numérica das formações hidrogeológicas presentes – que incluiu:

- a) Análise de estudos hidrogeológicos anteriores realizados na área de estudo.
- b) Elaboração de um modelo de escoamento das formações hidrogeológicas suspensas e do aquífero basal, com incorporação das zonas preferenciais de ligação hidráulica (indiciadas pela prospecção geofísica e resultados das carotes obtidas pela instalação dos piezómetros).
- c) Calibração do modelo, em função dos dados conhecidos de estudos anteriores e dos dados obtidos neste estudo.
- d) Realização de simulações com vista a obter respostas às seguintes questões:
 - d.1) Análise da hidrodinâmica local e regional com vista à definição dos percursos preferenciais de migração da poluição e, assim, de cenários futuros de possíveis situações de risco.
 - d.2) Identificação de captações que possam estar actualmente em risco imediato de contaminação.
 - d.3) Previsão de cenários futuros de evolução e migração das plumas contaminantes para identificar possíveis situações de risco para os furos de abastecimento urbano.
 - d.4) Áreas de acção para a protecção de captações.
 - d.5) Definição de eventuais zonas a necessitar de reabilitação.

5. Estratégias de protecção das águas subterrâneas (eventualmente a desenvolver

numa fase de estudo posterior) – que incluiu uma breve referência a:

- Definição de estratégias de protecção da qualidade das águas subterrâneas, nomeadamente de furos de captação.
- Referência à necessidade de acompanhamento da situação e da reabilitação de áreas específicas dentro das áreas militares poluídas.

As partes 1. e 2. foram tratadas nos dois documentos finais referidos na Nota Técnica (Mota e Novo, 2010 e Jorge, 2010) sendo aqui integrados os aspectos que auxiliam à compreensão e avaliação ambiental da qualidade dos recursos hídricos subterrâneos.

2. Área de Estudo

A área de estudo localiza-se no sector oriental da ilha Terceira, Açores (Fig. 1), numa faixa orientada NW-SE, designada por Graben das Lajes, com cerca de 8,5 a 10 km de extensão e 3,5 a 4 km de largura, estendendo-se entre Praia da Vitória - Cabo da Praia, a sul, e Vila Nova, a norte. Este graben é uma depressão alongada, de origem tectónica, delimitada por duas escarpas de falha: (1) escarpa de Santiago, que delimita o sector da Serra de Santiago a Oeste, ao longo de uma direcção NW-SE e (2) a escarpa das Fontinhas - Pico Celeiro, que define o bordo nordeste da Serra do Cume. O graben das Lajes está assim compreendido entre a Serra de Santiago, a ENE, e a Serra do Cume, a WSW, e o mar respectivamente a norte e a sul.

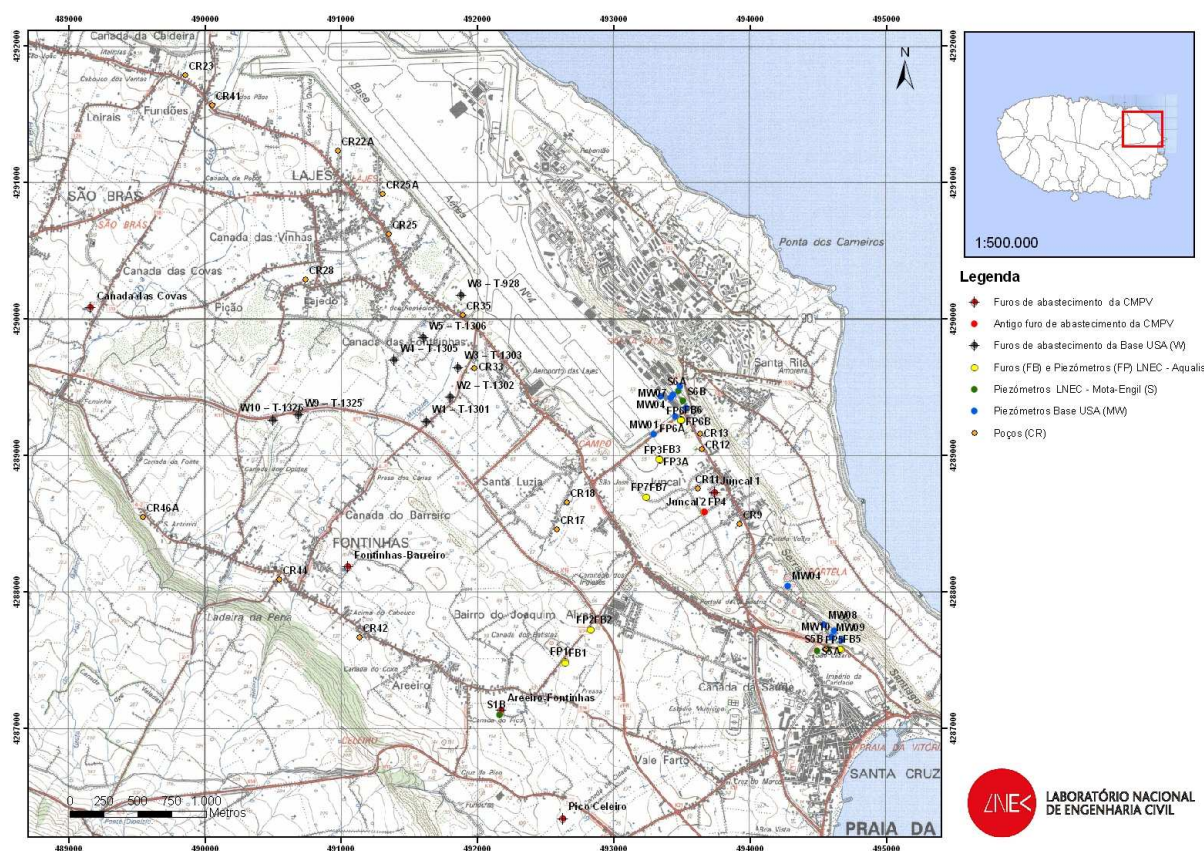


Fig. 1 – Localização dos pontos de amostragem de águas subterrâneas na área de estudo

Alguns dos trabalhos de campo, como a campanha de geofísica (Mota e Novo, 2010), prolongaram-se para além destas áreas iniciais de estudo de pormenor, dada a necessidade de compreender (1) as estruturas geológicas existentes e seu comportamento hidrogeológico, (2) a contribuição de vários locais potencialmente poluentes para a contaminação de solos e águas e definir eventuais plumas de poluição que neles tenham tido origem, como é o caso por exemplo do *pipeline* do Cabrito ou dos locais dos antigos depósitos de combustível da zona de Pico Celeiro.

3. Interpretação geológica dos logs de furos na área de estudo

Na Fig. 2 localizam-se os seis furos e dez piezómetros instalados na área de estudo.

Considerando a informação recolhida pelos novos furos de sondagem (*cf.* Aqualis, 2010 e Novo 2010), obtém-se o seguinte zonamento vertical de pormenor:

- ◇ **FP1** – atravessa uma sucessão de solo (1 m de espessura), argilas mais ou menos siltosas (11,5 m de espessura) com algumas intercalações de materiais basálticos vacuolares. Abaixo destes materiais, e até aos 85 m de profundidade (fim da sondagem), ocorre uma sucessão alternante de brechas e materiais basálticos/traquibasálticos vacuolares em geral fracturados e por vezes intensamente fracturados; ocasionalmente surgem intercalações de argilas.
- ◇ **FB1** – atravessa uma sucessão de solo (1 m de espessura) e argilas arenosas por vezes com intercalações basálticas/traquibasálticas (8 m de espessura, admissivelmente os 2 m finais serão sobretudo material basáltico que poderá corresponder a um tufo). A estes materiais sucedem-se até aos 88 m de profundidade materiais basáltico/traquibasálticos variavelmente alterados, com intercalações de níveis argilosos. Por vezes não há retorno de amostra (*ex.*: profundidades entre os 13 e os 15 m).
- ◇ **FP2** – atravessa uma sucessão de solo (1 m de espessura) e argilas arenosas/areias argilosas (17 m de espessura). A estes materiais sucedem-se alternâncias de brechas e materiais basálticos/traquibasálticos, vacuolares, fracturados a por vezes muito fracturados, com intercalações de alguns níveis de argila sobretudo abaixo dos 50 m de profundidade (espessura total da sequência da ordem dos 35 m). Dos 55 aos 63 m de profundidade predominam os níveis de materiais brechóides. Abaixo dos 63 m até ao final da sondagem (aos 77,35 m de profundidade) ocorrem sucessões de materiais basálticos/traquibasálticos pouco fracturados, com frequência pouco porosos, brechas e basaltos porosos em geral fracturados a muito fracturados.
- ◇ **FP3** – atravessa uma sucessão de solo (2 m de espessura) e argilas arenosas/areias argilosas (17 m de espessura). Abaixo destes materiais, e até aos 60,25 m de profundidade, ocorre uma alternância de brechas e materiais basálticos/traquibasálticos com grau variável de fracturação e de

porosidade, sendo comum que os materiais menos porosos tendam a ser também os menos fracturados.

- ◇ **FP3A** – atravessa um solo com 2 m de espessura, a que se segue uma sequência alternante de argilas arenosas areias finas argilosas até aos 16,50 m de profundidade (fim da sondagem).
- ◇ **FB3** – atravessa um solo com 2 m de espessura, a que se segue uma alternância de argilas arenosas e areias finas argilosas (espessura total de 17 m). Subjacentemente ocorre uma sucessão alternante de brechas e materiais basálticos/traquibasálticos vacuolares e/ou fracturados até ao final da sondagem (aos 65 m de profundidade).
- ◇ **FP4/J2F3** – atravessa um solo (2 m de espessura), a que se sucedem argilas arenosas (5 m de espessura). Segue-se até aos 60 m de profundidade (fim da sondagem) uma alternância de brechas e materiais basálticos/traquibasálticos, em regra vacuolares, por vezes fracturados. De assinalar que na secção entre os 10,65 e os 12,35 m de profundidade não houve recuperação do testemunho.
- ◇ **FP5** – atravessa um solo com 1 m de espessura, a que se segue uma sequência de areias finas, mais argilosas a partir dos 7 m de profundidade. A partir dos 11,5 m e até ao fim da sondagem (aos 12 m) ocorrem materiais basálticos/traquibasálticos pouco fracturados.
- ◇ **FB5** – atravessa um solo com 1 m de espessura, a que se segue uma areia fina argilosa (1 m de espessura), basaltos muito alterados (2 m de espessura), uma sucessão de argilas arenosas e areias argilosas (5 m de espessura). A partir dos 9 m de profundidade ocorrem materiais basálticos a traquibasálticos, por vezes porosos e/ou com intercalações argilosas.
- ◇ **FP6** – atravessa um solo (1 m de espessura), a que se sucede uma alternância de argilas arenosas, areias argilosas e argilas (cerca de 53 m de espessura). A partir dos 54,25 m de profundidade ocorrem materiais basálticos/traquibasálticos mais ou menos vacuolares, fracturados a pouco fracturados e um nível de brechas (que ocorre dos 58,85 m aos 60,35 m, profundidade a que termina a sondagem).
- ◇ **FP6A** – atravessa um solo com 2 m de espessura, a que se segue uma sucessão de argilas arenosas e areias finas argilosas até aos 41,65 m de profundidade (fim da sondagem).
- ◇ **FP6B** – atravessa um solo com 2 m de espessura, a que se seguem argilas arenosas e areias argilosas até aos 12 m de profundidade (fim da sondagem).
- ◇ **FB6** – atravessa um solo (1 m de espessura), a que se sucede uma alternância de argilas arenosas, areias argilosas e argilas até aos 54,25 m de profundidade (cerca de 53 m de espessura). Dos 54,25 m aos 65 m de profundidade (fim da sondagem) ocorrem materiais basálticos a traquibasálticos vacuolares.
- ◇ **FP7** – atravessa um solo com 2 m de espessura, a que se sucede uma

alternância de brechas, materiais basálticos/traquibasálticos e ocasionalmente intercalações de níveis de argilas até aos 67,50 m de profundidade (fim da sondagem). O nível mais profundo de argilas ocorre entre os 38 e os 38,75 m de profundidade.

As Fig. 3 e Fig. 4 representam a visão oblíqua das colunas litológicas simplificadas de alguns furos obtidos no âmbito do estudo¹.

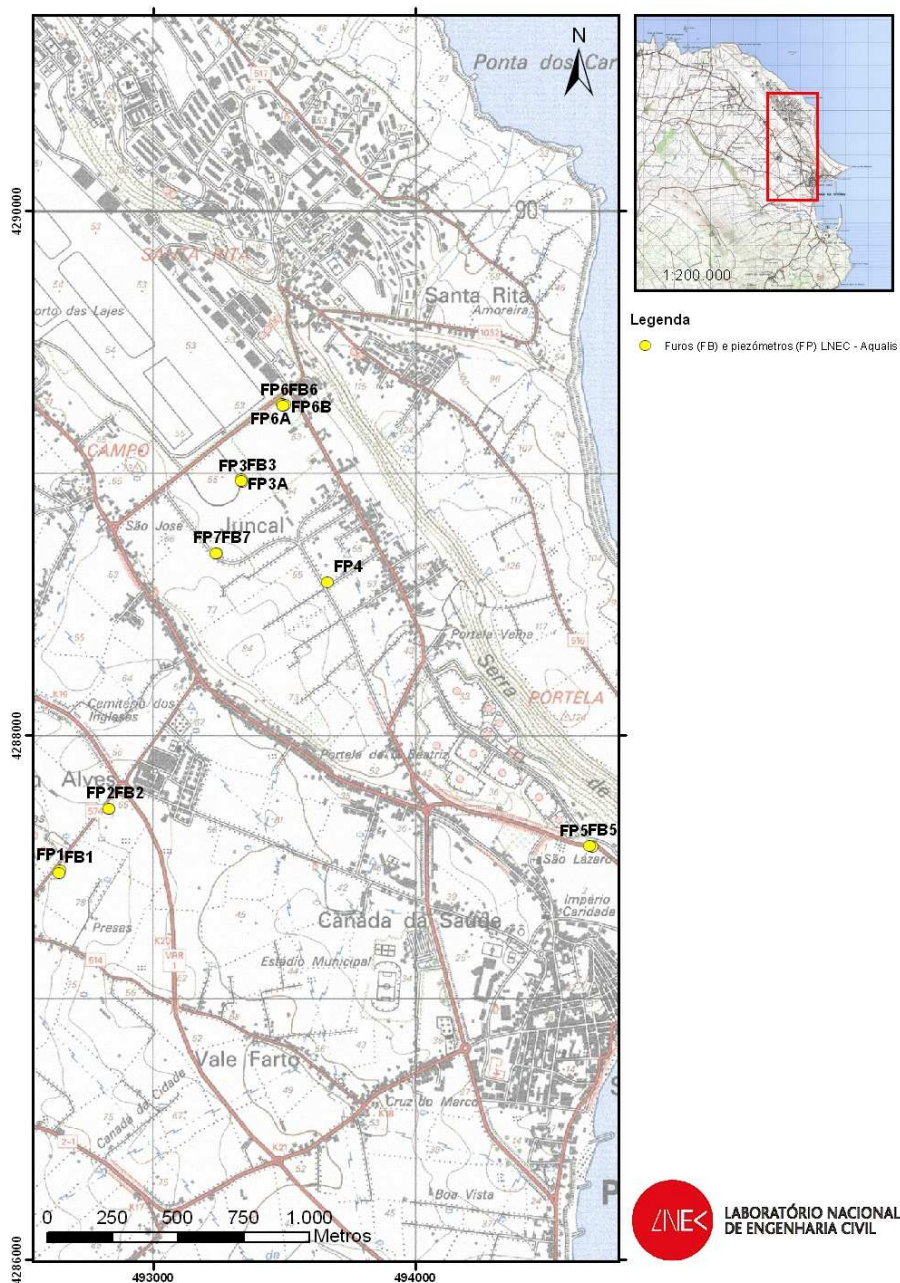


Fig. 2 – Localização dos seis furos e dez piezômetros instalados na área de estudo

¹ Alguns furos (e.g. FP6A) não foram representados devido à escala de representação não permitir uma adequada discretização e conveniente visualização da informação nas figuras aqui apresentadas. Esta informação foi contudo considerada para a elaboração do modelo matemático apresentado no Capítulo 5.

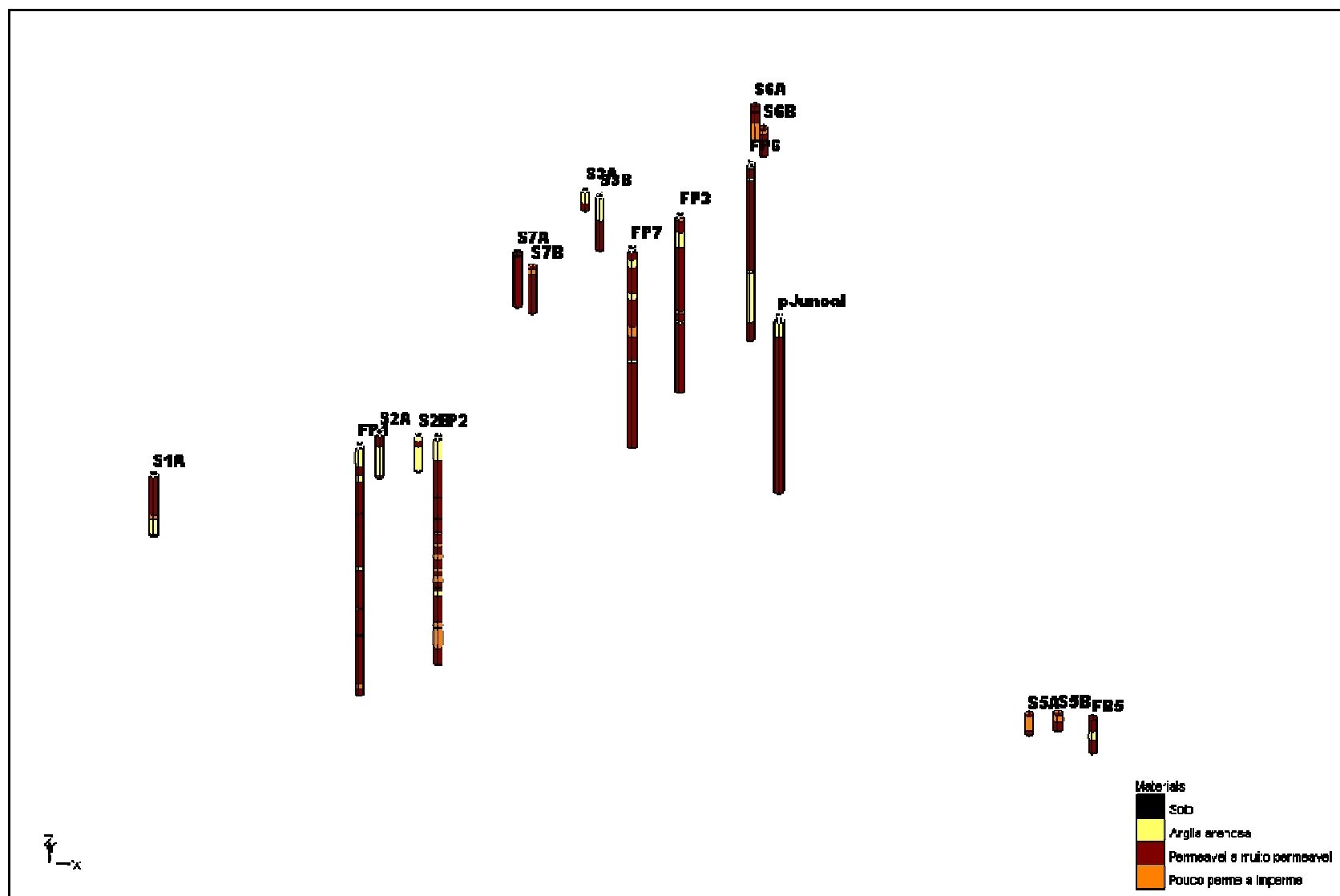


Fig. 3 - Colunas litológicas simplificadas em corte oblíquo (sobreelevação vertical de 10 vezes) - o furo “pJuncal” corresponde ao piezômetro FP4

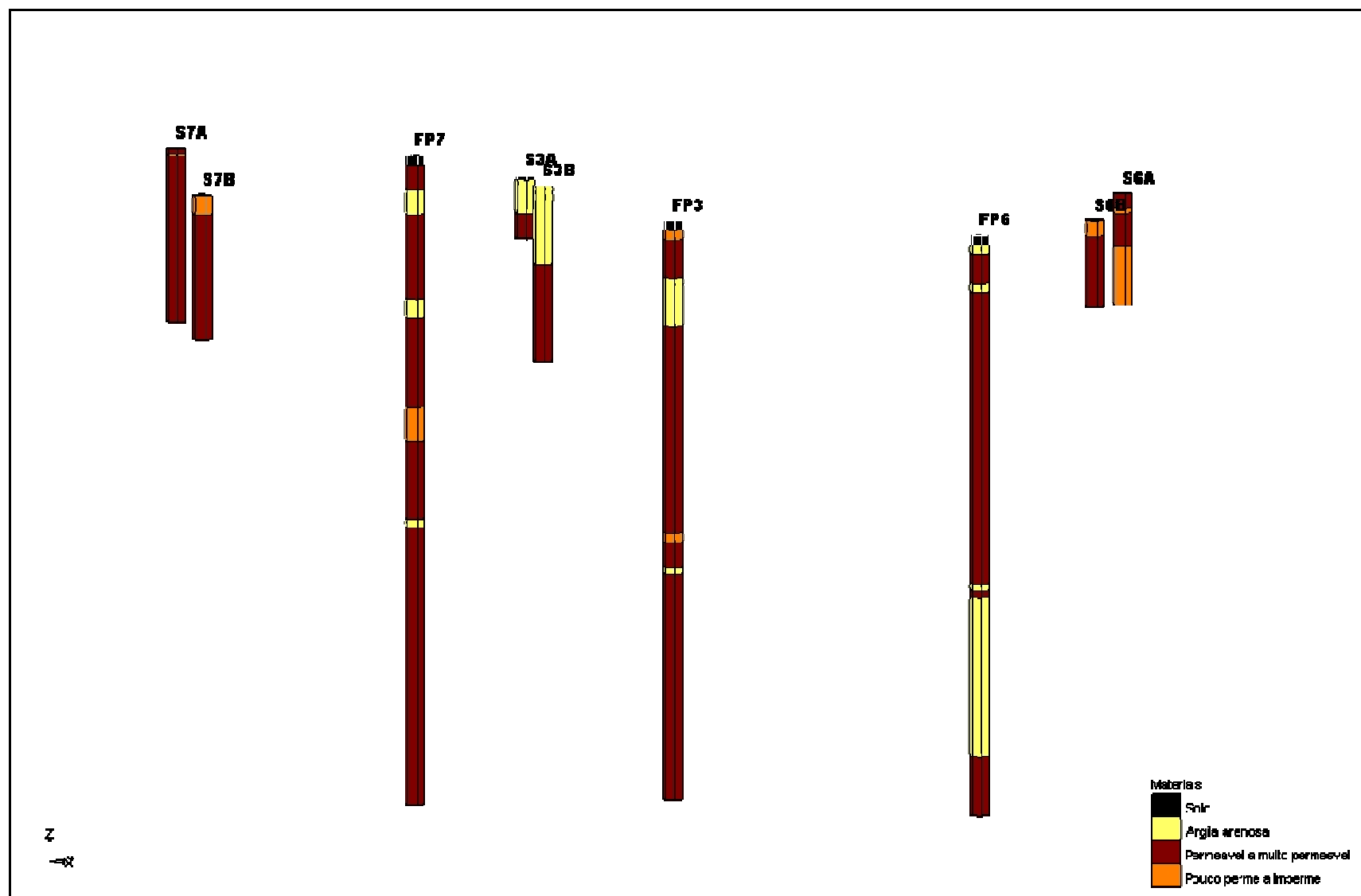


Fig. 4 - Pormenor das colunas litológicas (sobreelevação vertical de 10 vezes)

Estas colunas litológicas constituem os dados de base através dos quais foram construídos os perfis geológicos no programa *Groundwater Modeling System* (GMS) 6.5. Os perfis apresentados nas Fig. 5 e Fig. 6, permitem distinguir níveis de argilas de espessura e continuidade variáveis, possibilitando a transição vertical da água desde os níveis de água mais superficiais para os níveis aquíferos inferiores e de base.

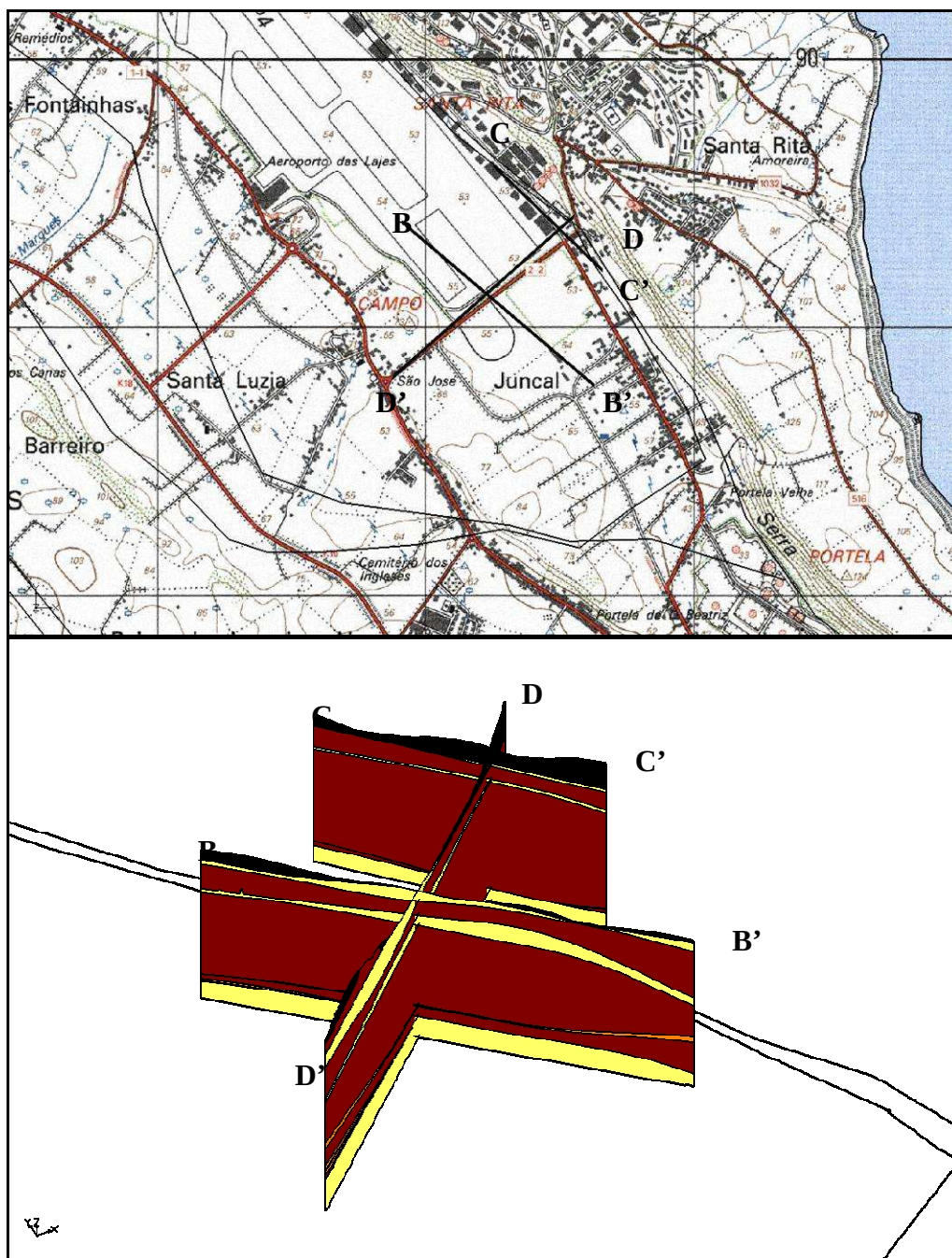


Fig. 5 - Planta e perfis geológicos oblíquos simplificados (sobreelevação vertical de 10 vezes)

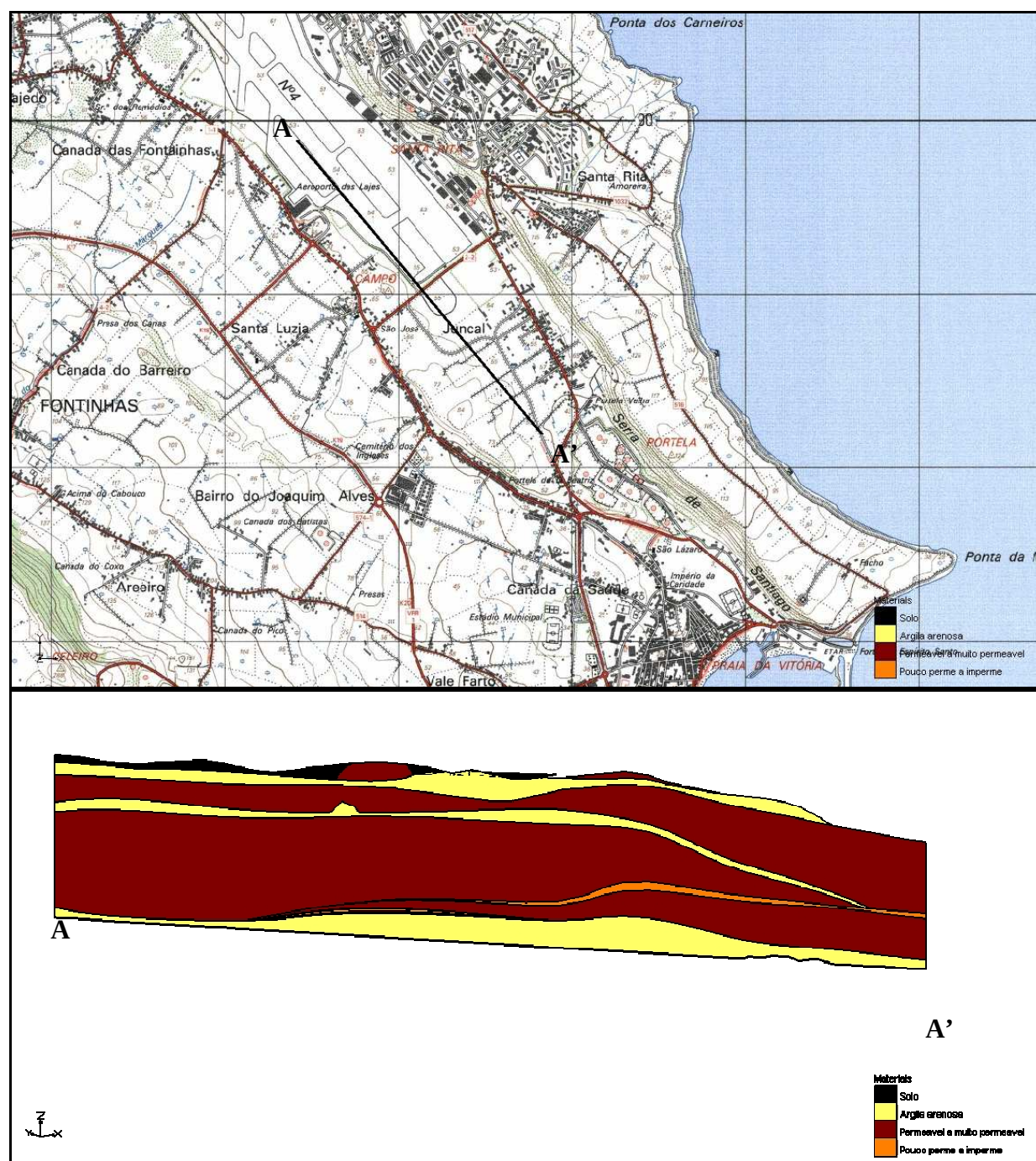


Fig. 6 - Planta e perfil geológico oblíquo simplificado (sobreelevação vertical de 10x)

4. Hidrogeologia

Para a concretização dos objectivos do presente Estudo foi necessário efectuar uma ampla e abrangente caracterização da qualidade e da quantidade das águas subterrâneas presentes na área em análise. Para esse efeito foi inicialmente efectuado um levantamento das diversas infra-estruturas presentes na região e foi equacionado um plano de trabalhos e especificações tendo em vista complementar infra-estruturas existentes através da instalação de furos de ensaio, de piezómetros, de sondagens de amostragem na região (Leitão *et al.*, 2009), tendo

sido efectuados alguns reajustes das áreas alvo em função dos resultados da prospecção geofísica entretanto obtidos (Mota e Novo, 2010) face aos objectivos deste Estudo.

O trabalho foi desenvolvido com base num extenso programa de perfuração, realizado entre Maio e Dezembro de 2010 (Oliveira, 2010 e Aqualis, 2010), a que se juntaram um conjunto de infra-estruturas pré-existent no concelho de Praia da Vitória, num total de 54 pontos de água. A descrição pormenorizada dos trabalhos efectuados, bem como a descrição das formações litológicas atravessadas e demais informação geológica e hidrogeológica são apresentadas em Oliveira (2010), Aqualis (2010) e Novo (2010), desenvolvidos no âmbito deste Estudo.

Os pontos de água interessados são:

- cinco captações para abastecimento público da Câmara Municipal da Praia da Vitória (CMPV) e o furo do Juncal 2;
- 21 poços de largo diâmetro;
- seis furos no aquífero basal (instalados pela firma Aqualis no decurso deste Estudo);
- dez piezómetros (instalados pela firma Aqualis no decurso deste Estudo), sete dos quais no aquífero basal e os restantes em formações hidrogeológicas suspensas localizados durante as perfurações;
- cinco piezómetros (instalados pela firma Mota-Engil no decurso deste Estudo) em formações hidrogeológicas suspensas encontradas durante os trabalhos de recolha de solos para amostragem;
- dez piezómetros de monitorização, cinco localizados nas áreas contaminadas de *South Tank Farm* e os restantes junto à Porta de Armas.

Foram, ainda, analisados o *North Sewage Lajes* e a fonte da Caldeira das Lajes.

Foram realizados sete ensaios de caudal com as características descritas no Quadro 1. Os dados completos dos ensaios de bombagem podem ser encontrados em Aqualis (2010).

Quadro 1 – Características sumárias dos ensaios de bombagem

Furo bombeado	Data de início do ensaio	Raio de perfuração (m)	Piezómetro	Distância ao limite exterior do furo de bombagem (m)	Caudal ensaiado (l/s)	Tempos de ensaio por escalões (min)
FB1	28-09-2010 9:00	0,156	FP1	9,84	3	60
					6	60
					8,3	600
					0	60
FB2	01-12-2010 17:00:00	0,156	FP2	2,34	3	60
					6	60
					9,1	1320
					0	60
FB3	23-07-2010 15:00:00	0,156	FP3	4,84	5	30
					7,5	30
					10	30

					0	30
					10	900
					0	60
Juncal 2	15-09-2010 11:00:00	0,191 (assumido)	FP4	5,96	4,6	600
					0	120
FB5	24-06-2010 18:45:00	0,156	FP5	9,84	13,3	1200
					12,5	240
					0	30
FB6	22-09-2010 14:00:00	0,156	FP6	4,84	5	240
					7,5	240
					10	600
					0	60
FB7	23-10-2010 14:30:00	0,156	FP7	2,34	6	60
					8	60
					10	1320
					0	60

Todos os ensaios, excepto o do furo de bombagem FB5, foram escalonados, sendo que os rebaixamentos estabilizaram muito rapidamente. As características dos furos, pelo seu diâmetro, a baixa profundidade de penetração no sistema aquífero (devido à necessidade de prevenir a subida de água salgada) e a profundidade dos níveis freáticos, não permitiram fazer ensaios de bombagem com caudais de extracção superiores.

Para os caudais maiores, ensaiados durante um tempo mais extenso, foi possível detectar efeitos de maré. Contudo, qualquer tentativa de correcção deste efeito utilizando informação sobre o atraso dos picos dos piezómetros em relação aos picos das marés oceânicas e as amplitudes dos níveis piezométricos no piezómetro foram infrutíferas. Por esse motivo, fez-se a interpretação dos ensaios como se os níveis piezométricos não estivessem sob o efeito de marés, tendo-se normalmente utilizado tempos de ensaio num determinado escalão até uma hora. Note-se que, como se poderá ver na secção 0, as amplitudes das marés nos piezómetros² são no máximo da ordem dos 2 cm, excepto para o piezómetro FP5, mais próximo da linha de costa, onde atinge cerca de 5 cm.

A resposta do meio aos ensaios de bombagem realizados - com a estabilização dos níveis piezométricos durante o ensaio após os primeiros instantes de ensaio, não permitindo, para os caudais ensaiados definir curvas de rebaixamento/tempo interpretáveis em regime transitório, excepto eventualmente para o ensaio no furo FB5 - reuniu as condições para se fazer a sua interpretação pelo método de Thiem.

² amplitude = absoluto de (nível piezométrico de um pico – nível piezométrico do pico seguinte) / 2

Quadro 2 – Interpretação dos ensaios pelo método de Thiem

Furo bombeado	Caudal ensaiado (l/s)	Rebaixamento observado no furo bombeado (m)	Rebaixamento observado no piezômetro (m)	Transmissividade (m ² /d)	Caudal específico (l/(s.m))
FB1	3	0,07	0	2444	42,9
	6	0,18	0,02	2139	33,3
	8,3	0,28	0,03	1893	29,6
FB2	3	0,02	0,005	7460	150,0
	6	0,05	0,015	6395	120,0
	9,1	0,095	0,02	4526	95,8
FB3 (*)	5	0,365	0	648	13,7
	7,5	0,845	0	420	8,9
	10	1,41	0	335	7,1
	10	1,57	0	301	6,4
Juncal 2	4,6	0,25	0,1	1452	18,4
FB5 (*)	13,3	5,6	0,03	190	2,4
FB6	5	0,74	0,02	328	6,8
	7,5	1,5	0,03	241	5,0
	10	2,11	0,06	231	4,7
FB7	6	0,05	0	4476	120,0
	8	0,07	0	4263	114,3
	10	0,08	0	4662	125,0

(*) Rebaixamentos foram corrigidos com correção de Jacob, tendo-se considerado uma espessura saturada de 10 m.

Quadro 3 – Valores de transmissividade por local ensaiado

Furo bombado	Transmissividade (m ² /d)
FB1	2290
FB2	6927
FB3	533
Juncal 2	1452
FB5	190
FB6	285
FB7	4370

Nos trabalhos desenvolvidos para este Estudo quantificou-se a influência da precipitação nos níveis piezométricos das duas formações suspensas da área onde foram instaladas sondas de nível.

Verificou-se, durante a monitorização de Setembro a Outubro de 2010 com sondas automáticas, a correlação entre a precipitação e os níveis de água subterrânea na formação mais superficial e na intermédia. Essa correlação é evidente nas Fig. 7 e Fig. 8, onde se compara a profundidade ao nível no piezômetro FP6B e FP6A e a precipitação diária entre 26 de Setembro e 21 de Outubro de 2010.

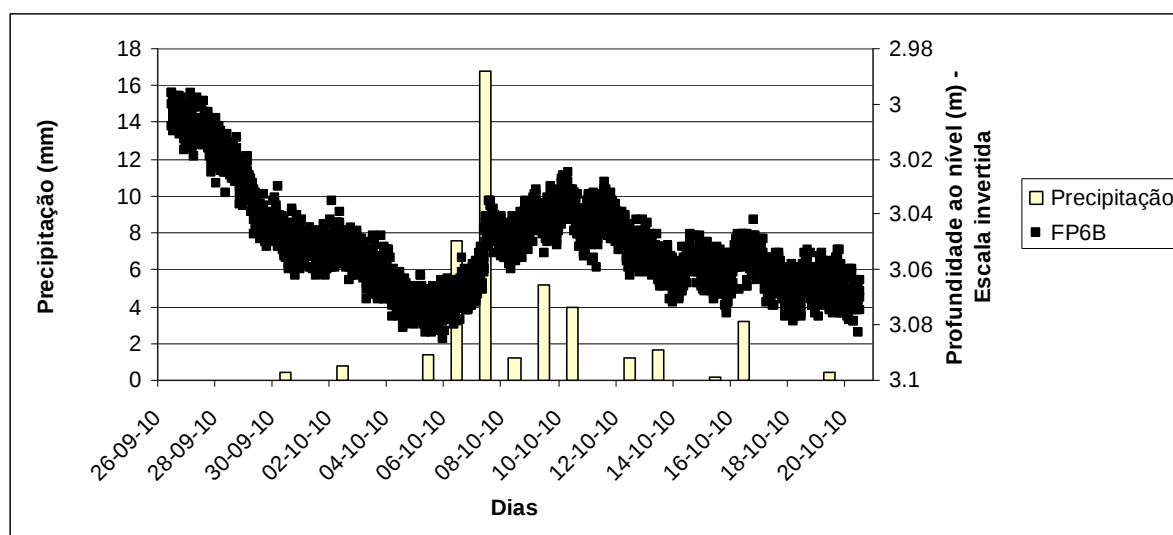


Fig. 7 – Profundidade ao nível registada no piezómetro FP6B e precipitação diária registada em Praia da Vitória

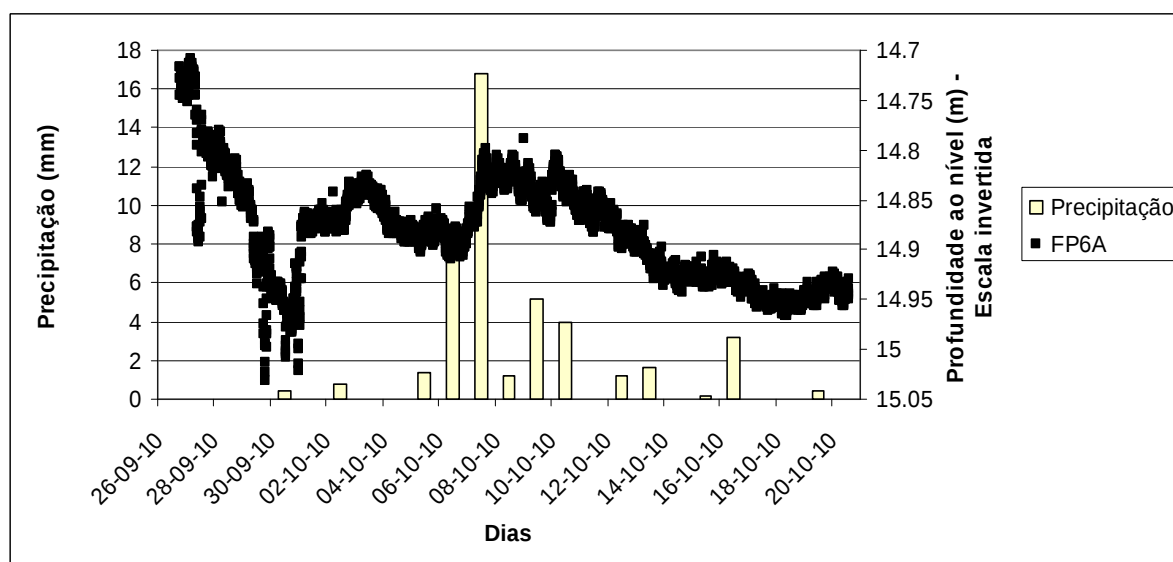


Fig. 8 – Profundidade ao nível registada no piezómetro FP6A e precipitação diária registada em Praia da Vitória

É possível verificar uma forte correlação entre o andamento das duas curvas, o que demonstra o claro efeito da precipitação na recarga e permite uma avaliação preliminar da drenância, entre estas formações e entre a intermédia e o aquífero basal, da ordem de grandeza de 1 a 1,5 cm/dia.

O efeito da oscilação da maré no aquífero de base é um fenómeno bem conhecido em quase todas as ilhas. Tratando-se de uma questão de interesse para o estudo do escoamento subterrâneo, nomeadamente para a análise do sentido e da direcção de fluxo, as variações do nível piezométrico impostas pela amplitude da maré oceânica foram medidas neste Estudo por meio de sondas colocadas nos piezómetros FP1, FP2, FP3, FP4, FP5, FB5 e FP7, em duas

épocas distintas: Lua Nova, em que se regista maior amplitude de maré e Quarto Minguante, em que se regista menor amplitude de maré. A monitorização foi feita entre o dia 24 de Junho de 2010 e o dia 23 de Outubro de 2010, tendo sido analisado em maior pormenor os dados relativos à Lua Nova, uma vez que correspondem ao período de maior oscilação. A Fig. 9 apresenta um período restrito dessa análise.

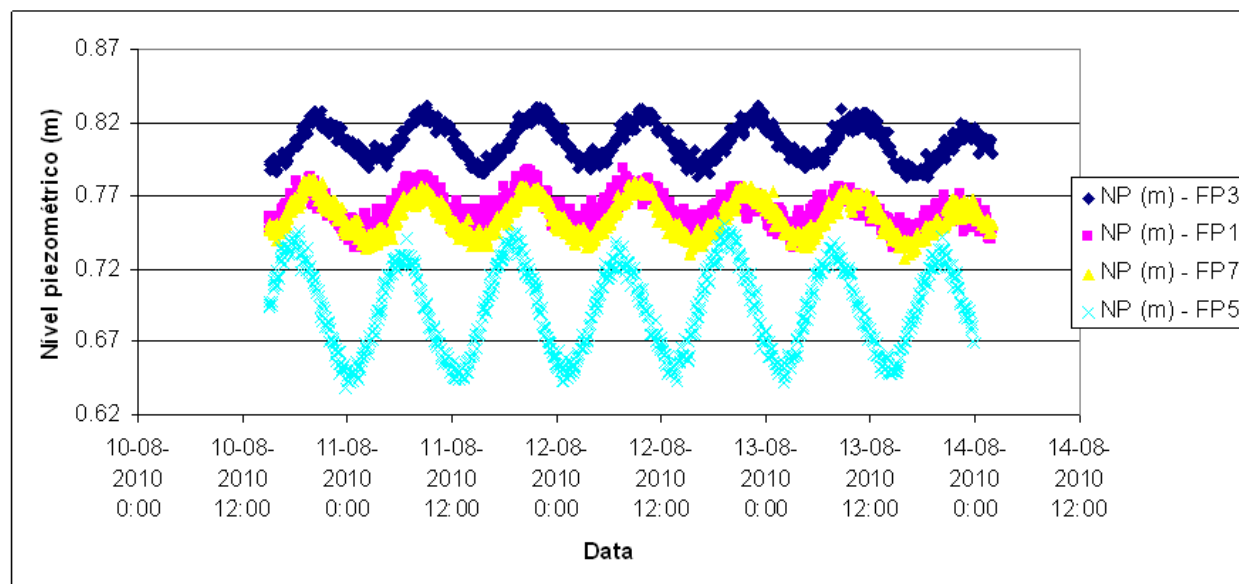


Fig. 9 - Amplitude de maré registada nos diferentes piezómetros (exemplo do período de 10-08-2010 a 14-08-2010 - Lua Nova)

A análise da influência da maré da costa SE para o interior permite observar que existe um atraso natural que aumenta para o interior da ilha e diminui junto à costa (Fig. 10), ou seja, os piezómetros mais próximos da costa respondem mais depressa ao efeito oscilatório da maré (FP5 e FP1). Verifica-se ainda que a influência da maré é tanto menor quanto mais distante estiver o piezómetro da costa SE (Fig. 12).

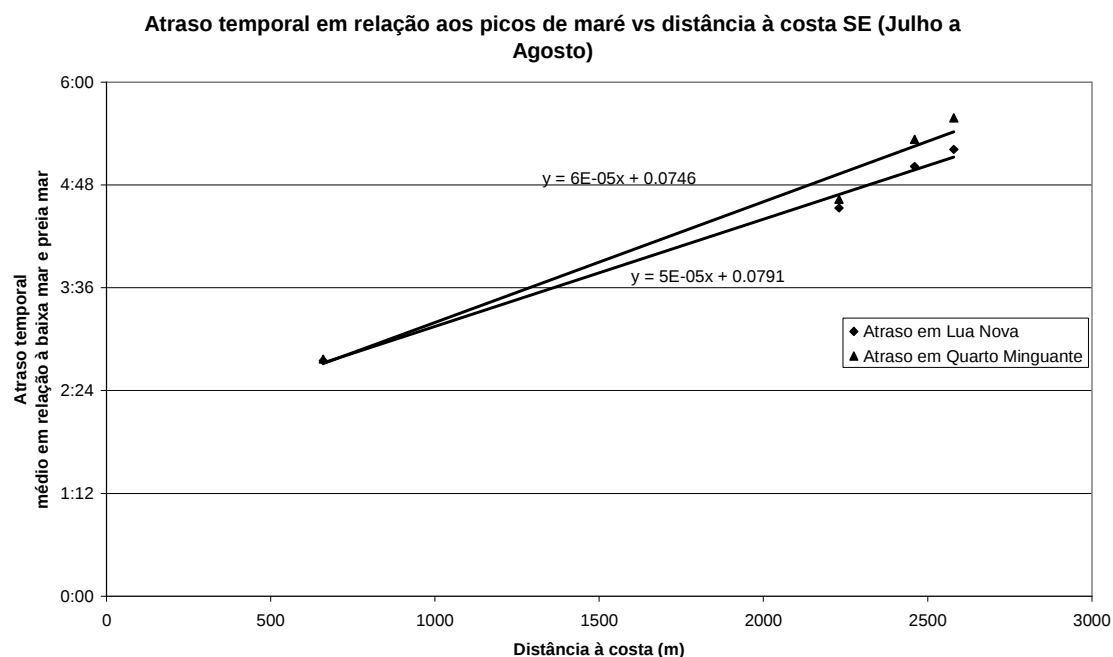


Fig. 10 - Atraso temporal médio em relação à baixa-mar ou preia-mar versus distância à costa SE (período de registo de Julho a Agosto)

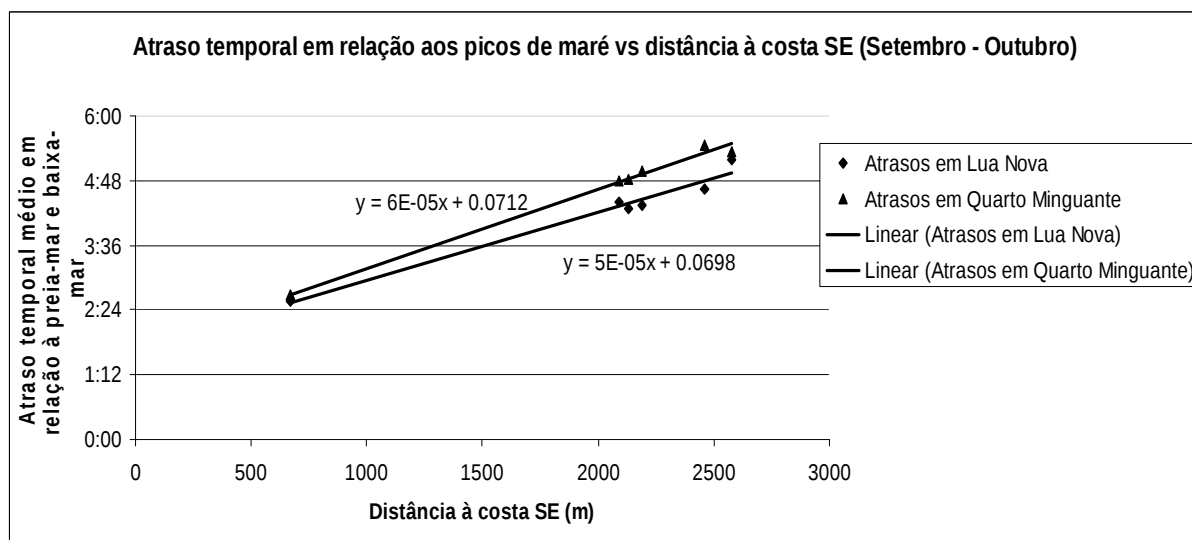


Fig. 11 - Atraso temporal médio em relação à baixa-mar ou preia-mar versus distância à costa SE (período de registo de Setembro a Outubro)

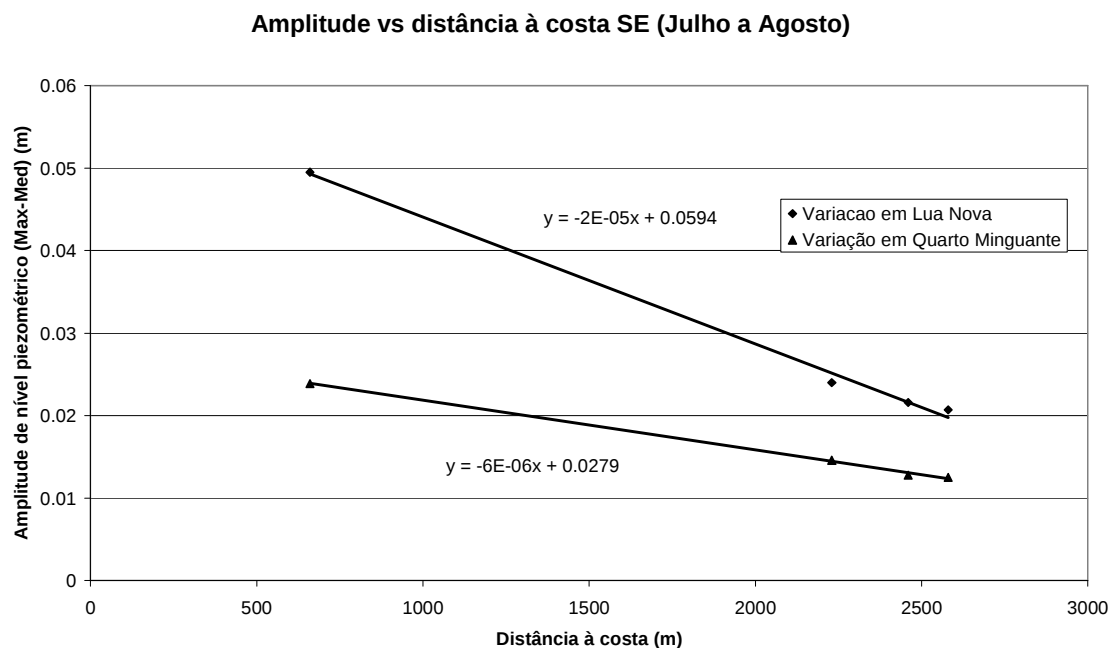


Fig. 12 - Variação do nível piezométrico (Max-Med) versus distância à costa SE (período de registo de Julho a Agosto)

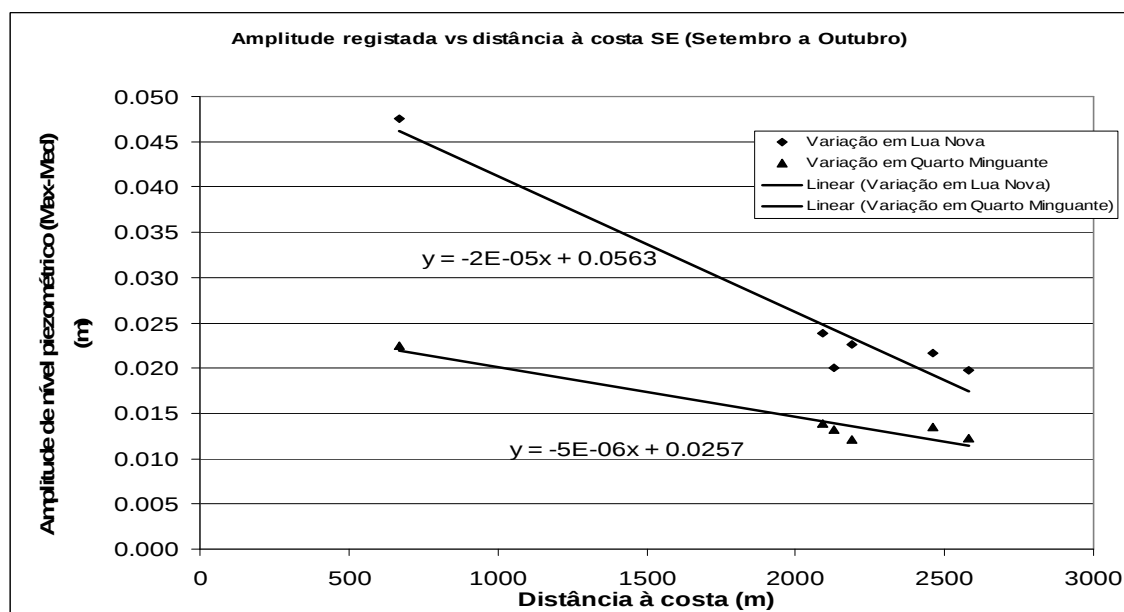


Fig. 13 - Variação do nível piezométrico (Max-Med) versus distância à costa SE (período de registo de Setembro a Outubro)

Ao contrário do que se passa para a costa SE, os valores registados para a influência da maré nos piezómetros não apresentam uma relação linear com a distância à costa NE, isto é, a progressão da maré não se faz como seria de esperar, sendo que o atraso calculado para o FP1 (o mais distante da costa) é menor que para os pontos FP3 e FP7. O mesmo se passa para a variação do nível piezométrico (Max-Med), em que o piezómetro FP1 possui valores maiores tanto em Lua Nova como em Quarto Minguante em relação a FP3 e FP7. Só o

piezómetro FP5 apresenta um comportamento normal quando comparado com os restantes, com amplitude de maré maior devido à sua proximidade do oceano.

Apesar das potencialidades hidrogeológicas do aquífero de base, a sua exploração deverá ser cuidadosa e controlada, em razão da sua geometria e características hidrogeológicas das formações. Nenhum furo de captação no aquífero basal deverá ser bombeado até ao ponto de gerar um nível piezométrico abaixo da cota do nível do mar de forma a evitar a intrusão marinha.

5. Modelação numérica do escoamento de águas subterrâneas

5.1 Introdução

Esta secção compreende a modelação numérica da área de estudo tendo em vista auxiliar à compreensão dos processos hidrogeológicos e hidroquímicos e melhor prever a evolução na região.

O trabalho compreende (1) a formulação do modelo conceptual da área de estudo e (2) o desenvolvimento e análise de resultados dos modelos matemáticos.

O desenvolvimento dos modelos foi efectuado com recurso ao programa MODFLOW, inicialmente publicado por McDonald e Harbaugh (1998), que consiste num programa de modelação matemática em diferenças finitas de água subterrânea que funciona a três dimensões. Para uma melhor aplicação do programa MODFLOW utilizaram-se programas de interface MODFLOW, neste caso o programa Visual MODFLOW Premium versão 4.2 e o programa Groundwater Modeling System versão 6.5. Ambos os programas de interface correm a versão MODFLOW 2000.

5.2 Conceptualização

5.2.1 Considerações iniciais

Como visto anteriormente, com base nas características dos materiais litológicos, da sua disposição espacial, dos acidentes tectónicos e de outras discontinuidades, e de outra informação hidrogeológica desta região, admite-se a existência de três formações hidrogeológicas: 1) formação hidrogeológica superficial; 2) formação hidrogeológica intermédia e 3) aquífero de base.

Para fins de simplificação conceptual, e atendendo à informação disponível, considera-se a existência de dois sistemas principais (este procedimento encontra-se melhor explicado na secção 5.3.1): a) formações hidrogeológicas suspensas, de espessura variável, cujo topo corresponde à cota de terreno e a base ao sistema intermédio e b) o sistema aquífero basal.

Procedeu-se à separação das formações hidrogeológicas principais em dois modelos diferentes pelo facto do sistema aquífero basal ter uma camada não saturada entre este e as formações hidrogeológicas suspensas. Esta característica impede uma modelação conjunta dos dois sistemas.

Para as formações hidrogeológicas suspensas foi apenas modelada a formação hidrogeológica intermédia, que se encontra em níveis piezométricos inferiores aos registados no piezómetro FP6A. Verificou-se que, na zona do graben, existe uma camada mais superficial e descontínua formada por material argiloso com capacidade de retenção de água, constituindo um aquífero (a denominada formação hidrogeológica superficial). Esta camada, acima da formação hidrogeológica intermédia, não é considerada no modelo das formações hidrogeológicas suspensas.

5.2.2 Configuração dos modelos (base e topo)

Para a definição da estrutura do sistema basal considerou-se o nível piezométrico como o topo do sistema e assumiu-se que, no centro do Graben das Lajes, o aquífero basal tem uma espessura de 14 metros diminuindo esta no sentido do mar (numa fina lenticula) e aumentando para o interior da ilha.

O topo das formações hidrogeológicas suspensas corresponde à superfície do terreno (superfície topográfica), tendo sido definido através de um modelo digital terrestre (MDT).

A base das formações hidrogeológicas suspensas foi definida através das informações do relatório "Desenvolvimento de um inventário das águas subterrâneas dos Açores – Fase 3" (Novo *et al.*, 2001) e tendo em conta a informação descrita anteriormente, nomeadamente, a questão de se ter registado no furo FP3 o último nível suspenso aos 19 metros de profundidade. Dessa forma a base do aquífero resultou numa superfície variável, com uma cota máxima de 41 m e mínima de 35 m (cf. valores de interpolação da base na Fig. 15).

5.2.3 Recarga

O graben das Lajes é uma das áreas de **recarga** preferencial do aquífero de base da ilha Terceira.

Para efeitos da modelação das formações hidrogeológicas superficiais apresentada foram considerados os valores propostos pela equipa do LNEC no trabalho de Novo *et al.* (2001) que determinou recargas de **708 mm/ano** para a Serra de Santiago e graben das Lajes, o que equivale a volumes anuais de recarga de 4,5 hm³/ano para a Serra de Santiago e de 43,8 hm³/ano para o graben (recarga anual total = 48,3 hm³/ano para a totalidade destas duas regiões).

Para o aquífero basal desconhece-se o valor de recarga mas havendo drenância por parte dos aquíferos superficiais considera-se que o valor de recarga do aquífero basal poderá situar-se entre os 10 % e os 20 % da recarga dos aquíferos superficiais. Assim, o valor de recarga do aquífero basal situa-se entre ao 70,8 mm/ano e os 141,6 mm/ano, tendo em conta o valor de recarga obtida pelo modelo BALSEQ em Novo *et al.* (2001).

5.2.4 Condutividade hidráulica

Para o sistema aquífero basal considerou-se um valor de condutividade hidráulica constante para todo o meio de 750 m/dia (excepto na células correspondentes à falha de Santiago), de forma a obter uma melhor calibração do modelo com os valores de piezometria médios registados nos furos desenvolvidos para o Estudo.

Este valor está de acordo com a gama de valores de condutividade hidráulica dos materiais em profundidade constituintes dos Traquibasaltos dos Cinco Picos e com a média dos valores de condutividade hidráulica estimada, com base nos ensaios de bombagem nos furos desenvolvidos para o Estudo, dividindo os valores de transmissividade calculados em todos os furos (ver Quadro 3), exceptuando os furos FB6 e FB5 (que têm particularidades específicas que impedem a extrapolação regional dos respectivos valores) e o comprimento dos respectivos ralos. Para esta situação o valor médio de condutividade hidráulica é de 737,7 m/dia. Se se utilizar, para cada furo, os valores de transmissividade obtidos a partir do primeiro escalão dos ensaios de bombagem (menor valor de caudal, que corresponde a uma menor perda de carga nos ralos) obtém-se o valor médio de condutividade hidráulica de 786,5 m/dia. Assim, considerou-se no modelo um valor intermédio de referência de 750 m/dia.

Não se consideraram os furos FB5 e FB6 porque estes apresentam as seguintes características que afectam o cálculo da transmissividade, em ambos os casos num contexto hidrogeológico diferente do restante aquífero: a) o furo FB5, de apenas 9,5 m de profundidade, encontra-se demasiado próximo da linha de costa e b) o furo FB6 não traduz o comportamento do aquífero basal, como comprovam as baixas condutividades eléctricas medidas durante o ensaio, eventualmente por interceptar a falha de Santiago. Esta falha constitui um acidente geológico de particular relevância dado o seu funcionamento como barreira hidráulica.

No caso das formações hidrogeológicas suspensas, por indisponibilidade de ensaios de bombagem, começou por se considerar as características dos materiais geológicos que as constituem, que foram reajustadas para a calibração do modelo. Finalmente consideraram-se dois valores de condutividade hidráulica respectivamente para a Formação Ignimbrítica das Lajes ($K_H=50$ m/d) e a Formação Traquibasáltica dos Cinco Picos ($K_H=80$ m/d).

5.3 Modelo matemático

5.3.1 Considerações gerais

A área em estudo apresenta um sistema aquífero basal e várias pequenas formações hidrogeológicas suspensas, existindo, dessa forma, uma zona não saturada entre as formações suspensas e o aquífero basal. Esta característica cria algumas dificuldades de modelação visto que os programas não permitem a inserção de zonas não saturadas entre camadas saturadas.

A resolução deste problema poderia ter sido feita tendo em conta duas hipóteses:

- a) Considerar um só modelo com três camadas em que a camada intermédia teria uma condutividade hidráulica muito inferior às camadas adjacentes. Para este caso a condutividade hidráulica vertical teria de ser inferior à horizontal de forma a simular uma camada isolante entre os aquíferos suspensos e o aquífero basal;
- b) Considerar dois modelos separados, com uma ou duas camadas, em que cada modelo corresponderia ao conjunto de formações hidrogeológicas suspensas e ao aquífero basal, respectivamente.

O problema da primeira solução é que se está a considerar um aquífero fictício (regendo-se pela Lei de Darcy) e que vai contra a realidade do caso em estudo, pois tem-se uma zona não saturada na camada intermédia.

A segunda hipótese apresenta como dificuldade a necessidade de se calcular o valor de recarga do aquífero basal dado pela drenância da zona não saturada entre as formações hidrogeológicas suspensas e o sistema aquífero basal (este valor é mais complexo de ser calculado que a recarga).

A hipótese de modelos em separado é, no entanto, a hipótese mais real e, logo, a considerada para o caso de estudo.

5.3.2 Formações hidrogeológicas suspensas

5.3.2.1 Limite do modelo matemático

Os limites considerados para o modelo do sistema basal foram os limites à escala regional. Para o modelo dos sistemas aquíferos suspensos considerou-se uma escala local delimitada pelas falhas do graben *i.e.* falha das Fontinhas e da Serra de Santiago, devido à sua potencial característica impermeável (*cf.* Novo *et al.*, 2010), e o limite das formações hidrogeológicas superficiais (Lajes I) obtido por interpolação.

Este limite foi, posteriormente, tido em conta por Oliveira *et al.* (2010), diminuído para uma menor área de forma a não considerar o troço das Fontinhas (*cf.* Novo *et al.*, 2010) e a criar um enfoque sobre a zona de estudo.

Desta forma, os limites considerados em Oliveira *et al.* (2010) para o modelo do sistema aquífero suspenso são os apresentados na Fig. 14, com uma área de 13,23 km².

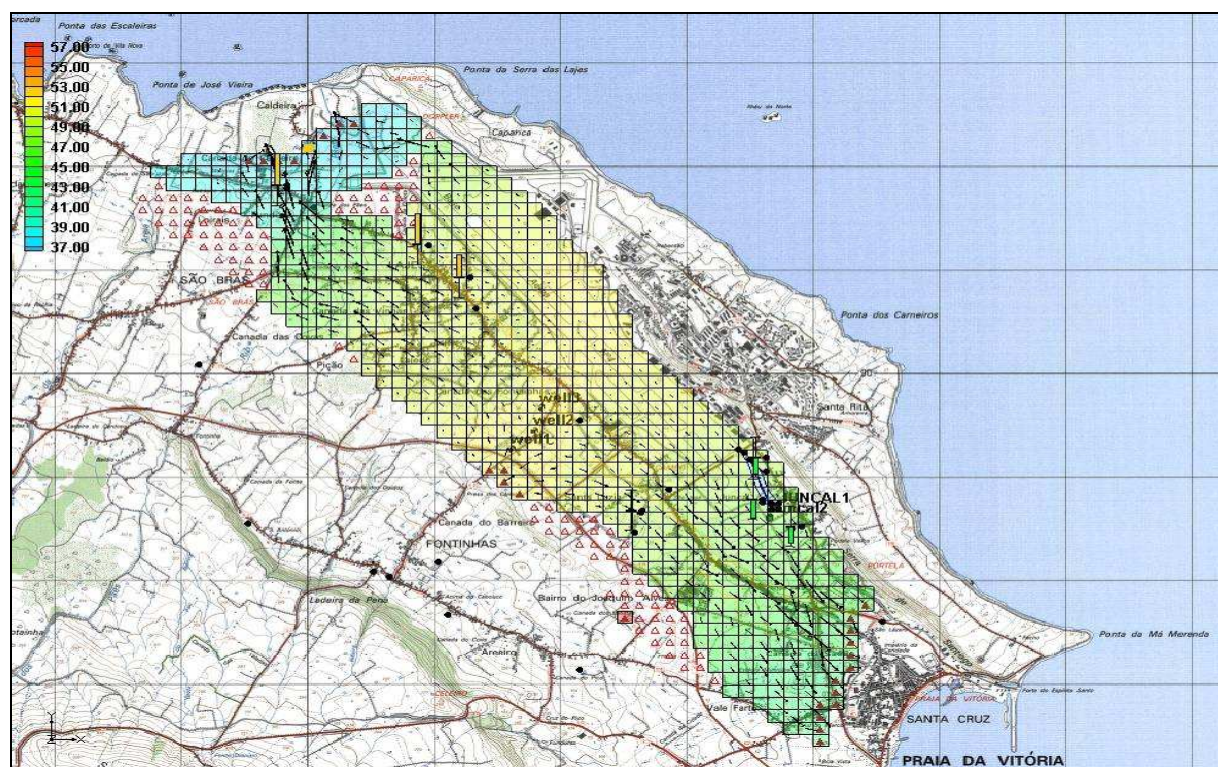


Fig. 14 – Modelo do sistema aquífero suspenso proposto por Oliveira *et al.* (2010)

Embora, em traços gerais, os limites do modelo matemático não tenham sido alterados, optou-se por delimitar o modelo numa zona central junto de Canada das Fontinhas, que corresponde ao local de variação do sentido de fluxo subterrâneo: para noroeste a circulação faz-se S-N e para sudeste o fluxo toma o sentido N-S (cf. figura anterior).

Já a sul foi definida uma nova fronteira, com base nas colunas litológicas obtidas a partir da realização dos furos do Estudo. Este novo limite, a sul, corresponde ao limite geológico do sistema aquífero inferior. Assim, o limite do modelo final para os sistemas aquíferos suspensos encontra-se representado na Fig. 15.

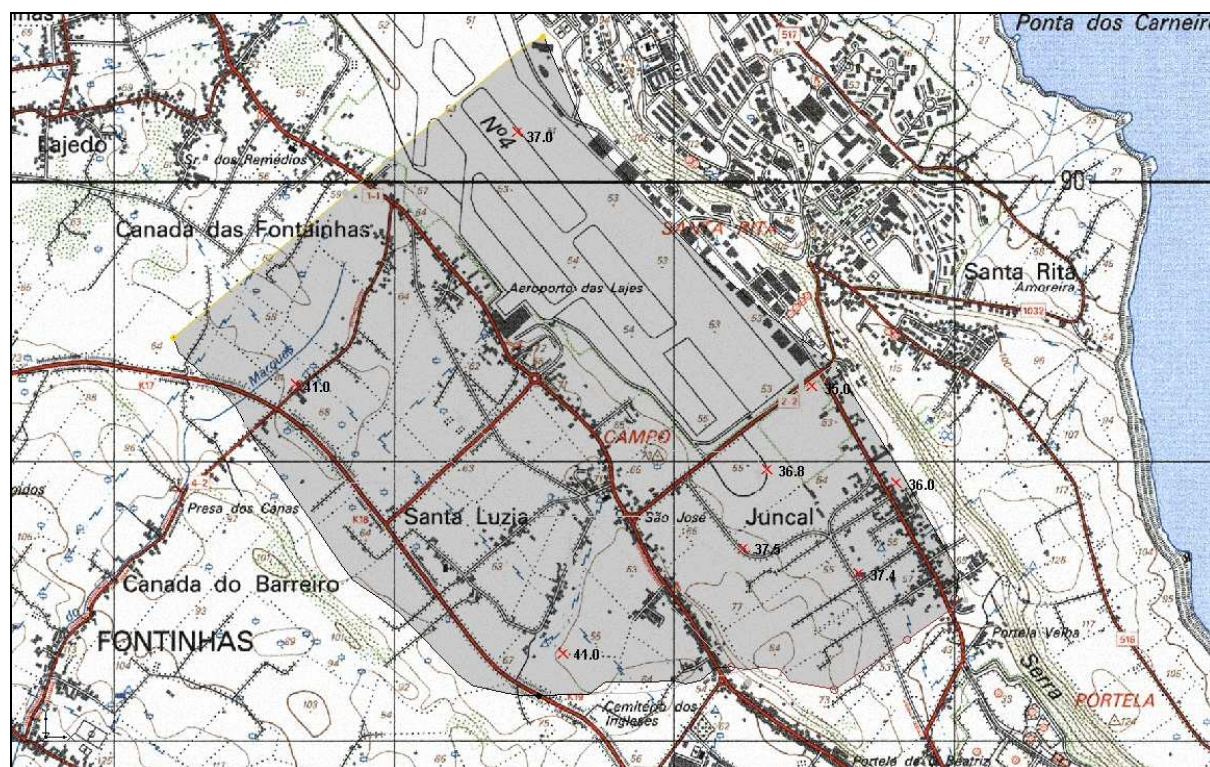


Fig. 15 – Limite do modelo dos sistemas aquíferos suspensos – valores para interpolação (em cota) da base considera para o modelo

Para esta área de 3,69 km² considerou-se uma malha com 80 linhas e 100 colunas, com tamanho variável entre os 15 e os 20 metros, cujo modelo tem como coordenadas de origem X= 491 074, Y = 4 288 042, terminando nas coordenadas X=492 490, Y=4 288 520.

O modelo em causa é composto por um conjunto de quatro camadas. A primeira camada possui uma espessura uniforme de um metro. A espessura das restantes três camadas varia conforme a localização.

5.3.2.2 Dados de entrada

Consideraram-se as seguintes condições de fronteira e parâmetros do modelo: a) recarga, b) saída por drenância, c) descarga, d) condutividade hidráulica, e) fluxo de entrada de água pela fronteira do modelo e f) barreiras de fluxo horizontais. A descrição da aplicação de cada um destes dados é a seguinte:

Recarga – O valor considerado, e aplicado para o topo da camada do modelo, foi o apresentado na conceptualização do modelo, ou seja, 708 mm/ano;

Saída por drenância – Considerou-se, após calibração, que o modelo perde 15% dos 708 mm/ano para o sistema aquífero basal. O valor de saída aplicado à base do modelo foi de 106,2 mm/ano;

Descarga – Considerou-se que a zona SE dos sistemas aquíferos é uma zona de saída de água. A aplicação das descargas foi possível através da atribuição de um nível piezométrico constante com o valor de 30 metros de cota;

Condutividade hidráulica – Consideraram-se valores elevados de condutividade para as duas primeiras camadas para não se considerar a formação hidrogeológica suspensa que surge em alguns locais e que funciona como “aquitardo”. Considerou-se condutividade igual para as camadas 3 e 4, e variável conforme se encontrem na Formação Ignimbrítica das Lajes ($K_H=50$ m/d) ou na Formação Traquibasáltica dos Cinco Picos ($K_H=80$ m/d);

Fluxo de entrada de água pela fronteira do modelo – O limite NW corresponde a uma zona de mudança da direcção de fluxo, tendo sido modelada com um caudal de entrada nulo.

Barreira de fluxo horizontal – Considerou-se que as falhas constituem uma barreira à passagem do fluxo. No modelo, o parâmetro que caracteriza esta resistência, designado por característica hidráulica (relação entre a condutividade hidráulica perpendicular à falha e a espessura da falha), assumiu o valor $0,1 \text{ d}^{-1}$.

5.3.2.3 Resultados

O modelo MODFLOW correu em regime estacionário tendo sido calibrado com os valores médios de piezometria dos poços CR18 e CR20 e os furos FP3A e FP6A.

A Fig. 16 representa, após a corrida do modelo, a distribuição espacial da piezometria, os vectores de fluxo de água subterrânea e a relação entre os valores calibrados e os valores observados em cada ponto.

Uma primeira análise sobre a piezometria modelada permite verificar que existe uma tendência de valores piezométricos mais elevados na zona oeste do modelo com uma diminuição para sudeste, sendo a direcção inicial do fluxo subterrâneo para norte, mudando de direcção no sentido SE. Tal situação já se tinha verificado no modelo proposto por Oliveira *et al.* (2010).

A Fig. 17 representa um gráfico de calibração que permite analisar a relação entre os valores piezométricos calculados e os valores observados em cada ponto de calibração.

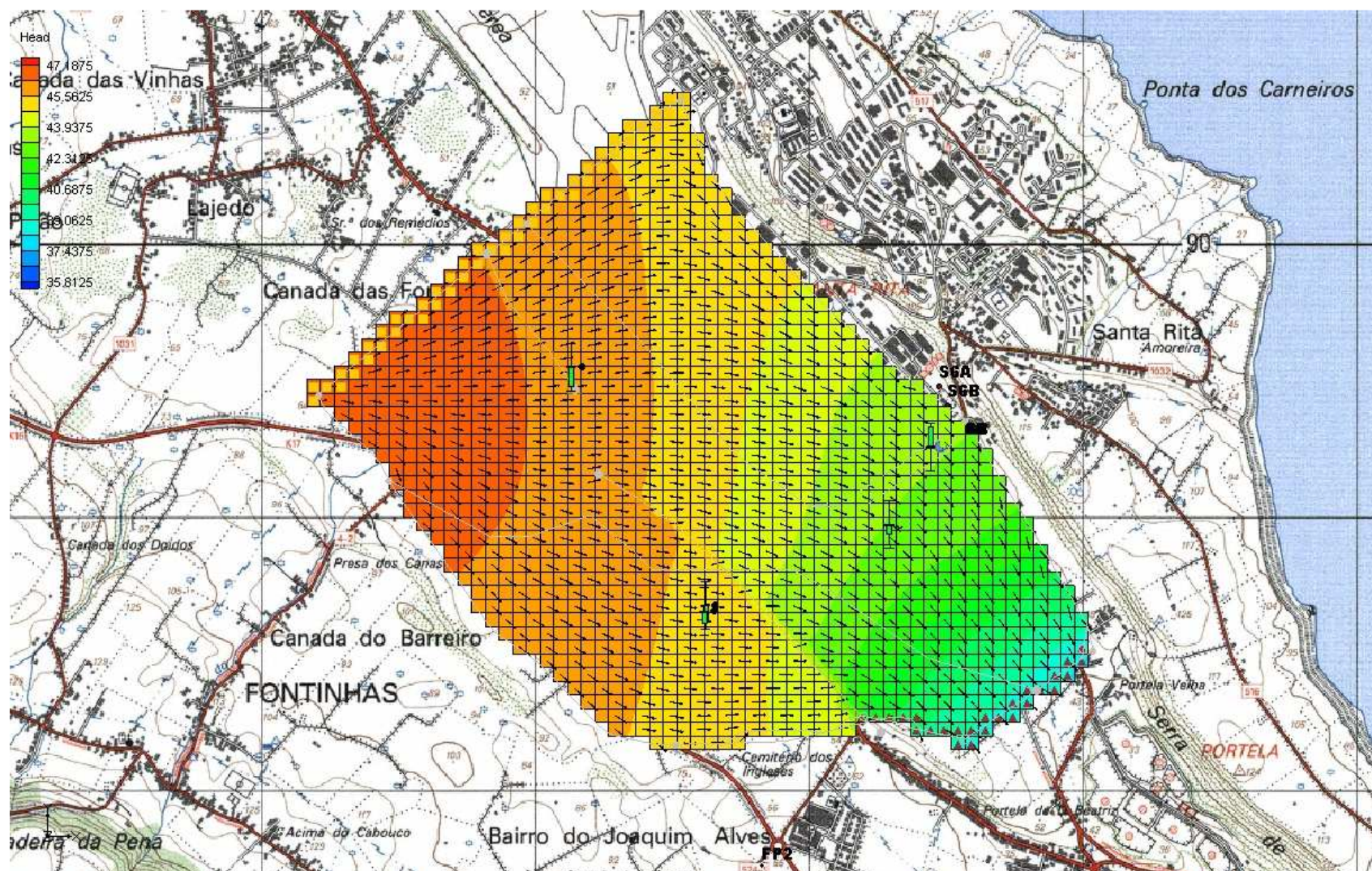


Fig. 16 – Nível piezométrico após corrida do modelo e setas de fluxo (sistemas aquíferos suspensos)

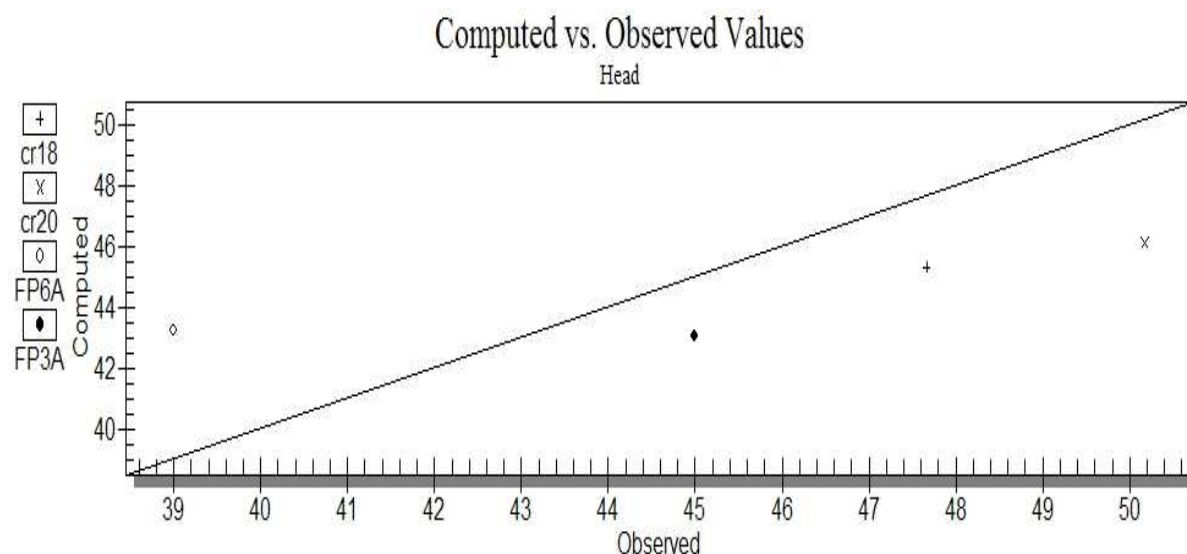


Fig. 17 – Relação entre os valores observados e os valores calculados pelo modelo (sistemas aquíferos suspensos)

Em termos de valores estatísticos de erro verificou-se que o erro médio foi de -1,58 m, a média dos erros absolutos foi de 3,26 m e a raiz quadrada da média dos quadrados dos erros foi de 3,37 m. Estes valores são melhores que os registados pelo modelo de Oliveira *et al.* (2010), que foram de 1,25 m, 4,96 m e 5,49 m, respectivamente.

Foi igualmente desenvolvida uma análise sobre o movimento das partículas no sistema aquífero. Essa análise foi possível pela utilização do programa MODPATH que funciona em conjunto com o programa MODFLOW dentro de qualquer interface MODFLOW. Esta análise permite verificar qual o trajecto percorrido por uma determinada partícula desde a célula-alvo até ao ponto de entrada da partícula no modelo, assim como o tempo percorrido neste trajecto. O processo inverso é também possível de ser analisado, ou seja, considera-se uma partícula na célula-alvo e analisa-se o seu trajecto ao longo do fluxo para jusante desta célula-alvo até a partícula sair do modelo. Um dado de entrada para o MODPATH é a porosidade total que, para este caso, foi colocada no valor por omissão, ou seja, 30 %.

As Fig. 18 e Fig. 19 representam a corrida do programa MODPATH para o trajecto de uma partícula que acabe o seu percurso numa célula junto ao Juncal e na base do modelo.

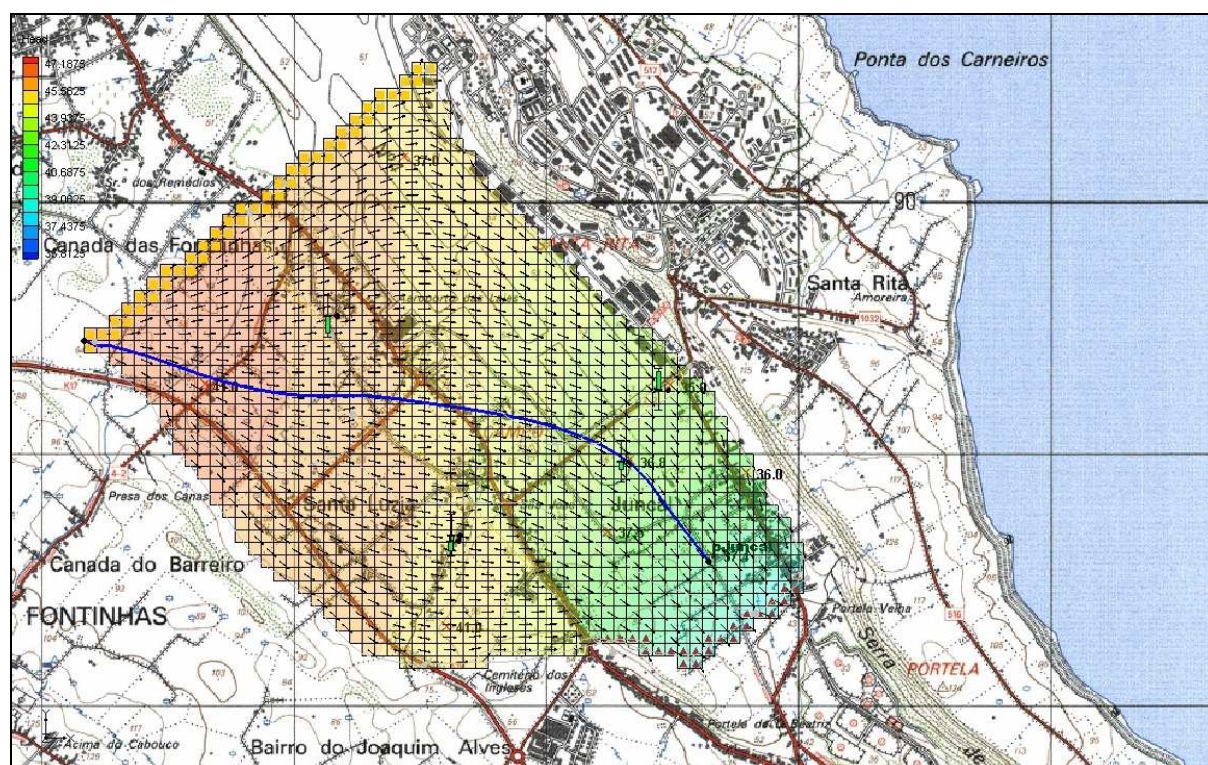


Fig. 18 – Corrida do programa MODPATH para o trajecto de uma partícula que termina o seu percurso no Juncal (nas formações hidrogeológicas suspensas)

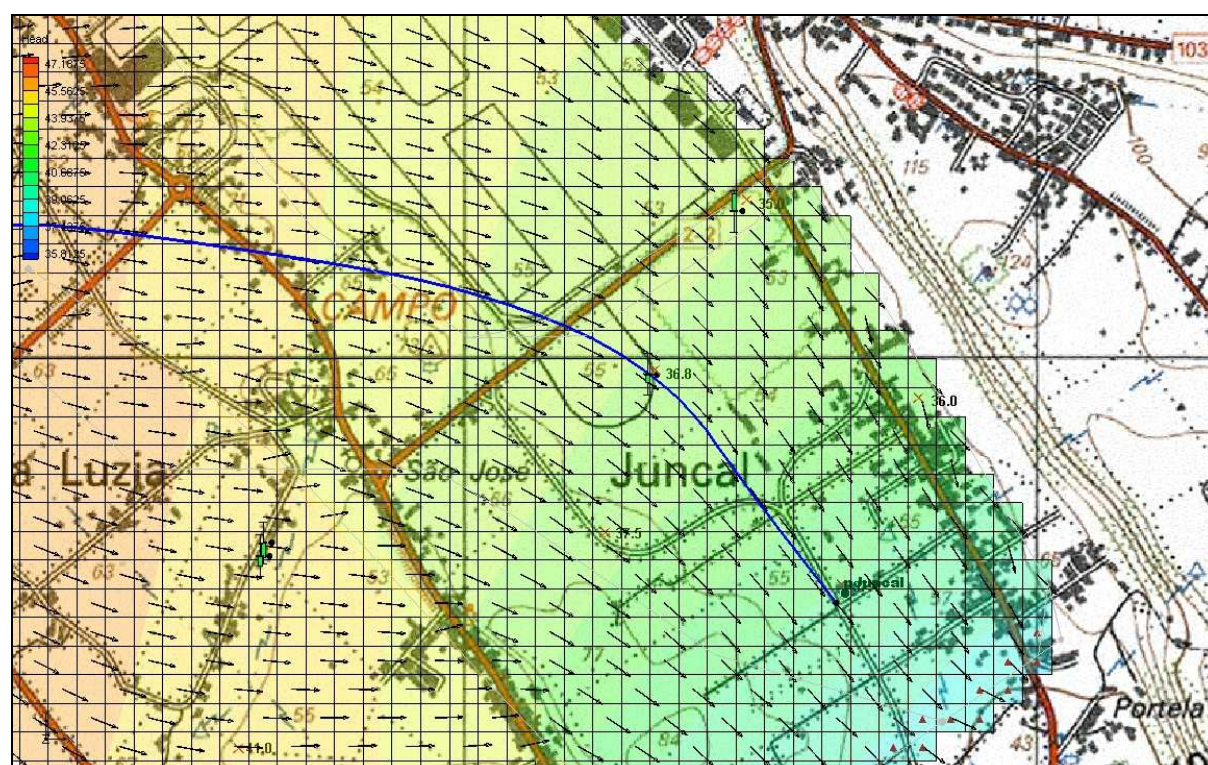


Fig. 19 – Pormenor da Corrida do programa MODPATH para o trajecto de uma partícula que termina o seu percurso no Juncal (nas formações hidrogeológicas suspensas)

5.3.3 Sistema aquífero basal

5.3.3.1 Limite do modelo matemático

A delimitação das fronteiras do modelo à escala regional é mais complexa e tem em conta a contribuição de água da zona exterior ao graben para a água subterrânea deste. Assim, utilizaram-se as cumeadas das montanhas, definindo dessa forma o limite das bacias hidrográficas das principais ribeiras. O limite regional considerado teve em conta o limite das bacias hidrográficas da ribeira de Santa Catarina, da ribeira dos Pães, da ribeira das Pedras e da ribeira de São Joãoes que afluí para a ribeira das Pedras e teve, ainda, em conta a cumeadada Serra do Cume. A Fig. 20 apresenta o limite regional considerado para a modelação e as ribeiras referidas em cima.

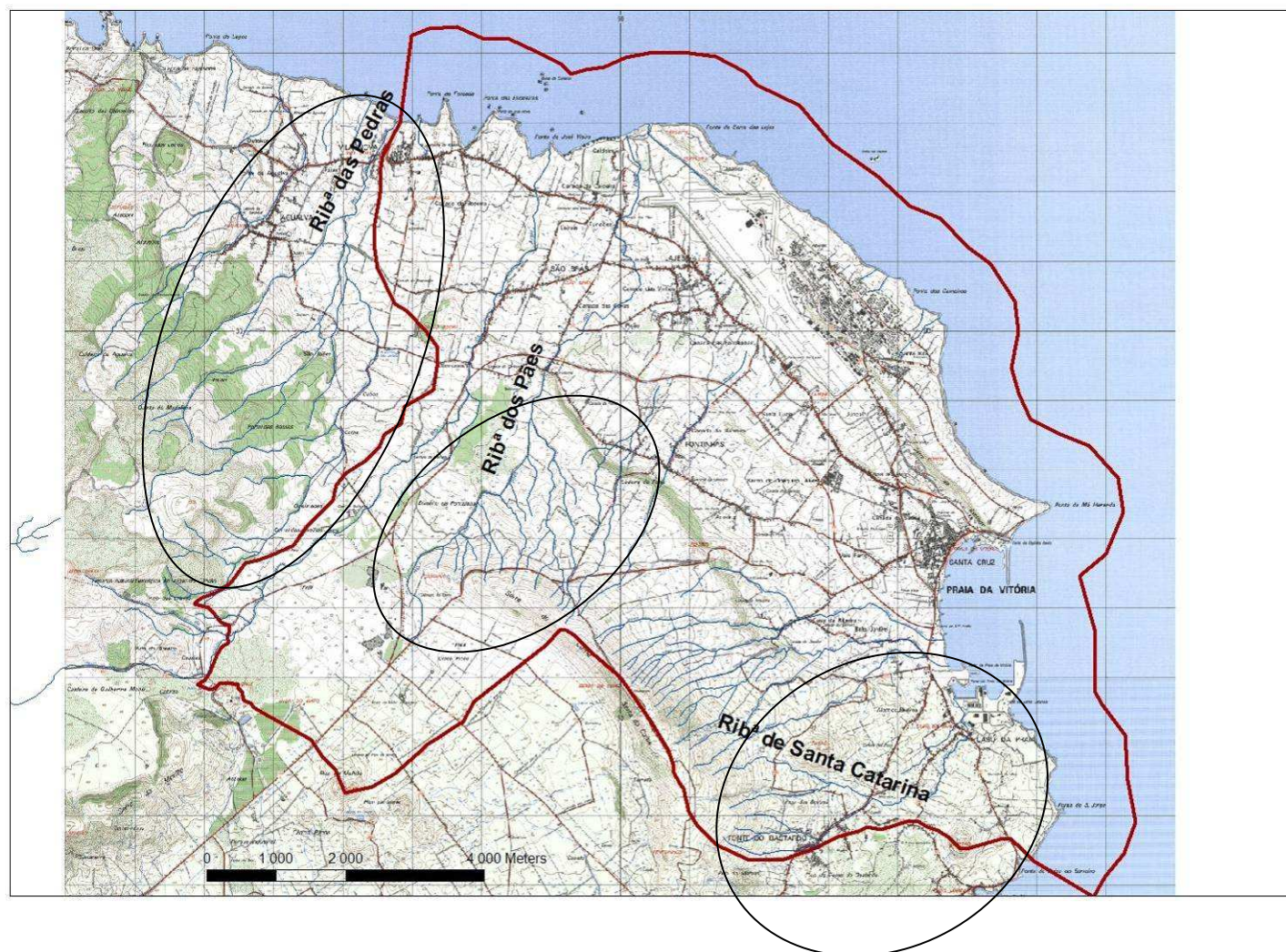


Fig. 20 – Limites gerais do modelo à escala regional

Por vezes os limites delineados para o modelo não seguiram as cumeadas devido a factores associados ao escoamento subterrâneo da água. Os locais onde se consideraram excepções foram os seguintes:

- A sul-sudeste do centro do graben, entre o monte Capitão, o Recanto e Lajedo (cf. Fig. 21), onde o limite do modelo não acompanhou o limite da bacia hidrográfica da ribeira de Santa Catarina, porque se fosse utilizado o limite da bacia estar-se-ia a entrar nas formações basálticas de Fonte de Bastardo, que não têm contribuição de água subterrânea para o graben;

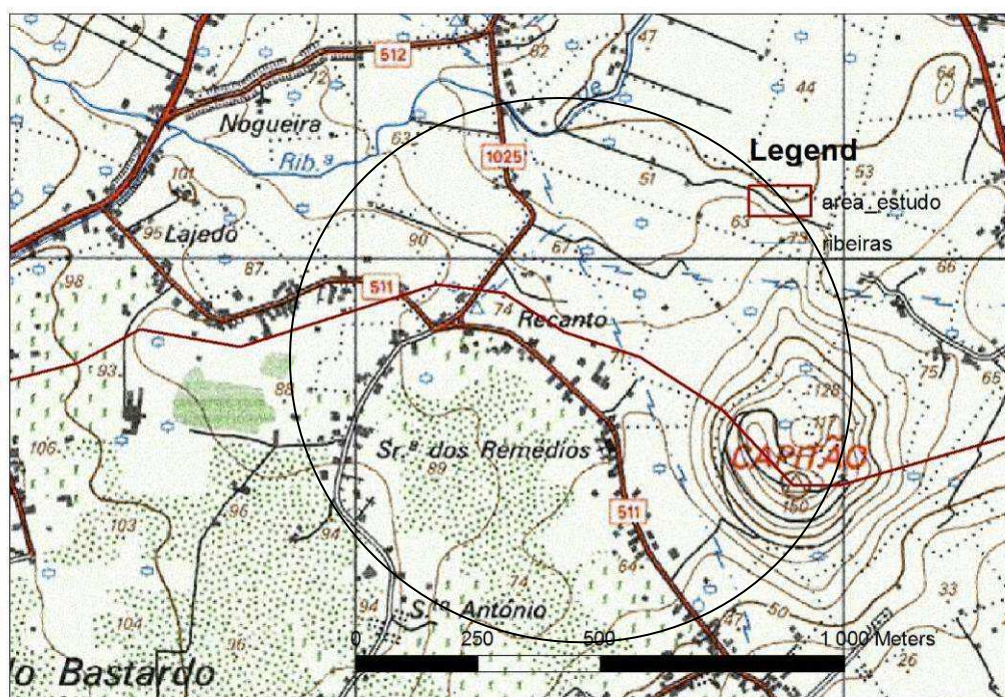


Fig. 21 – Vista em pormenor do limite na zona do Monte Capitão

- Na zona sul-sudoeste do limite, junto ao Pico da Cruz (cf. Fig. 22), onde houve uma necessidade de se contornar esse pico de forma a não se incluir, no modelo, a Formação Traquítica de Guilherme Moniz;
- Na zona sudoeste do limite, junto à confluência entre a ribeira do Cabrito com a ribeira da Areia (cf. Fig. 22), onde houve necessidade de atravessar estas duas ribeiras e seguir o limite da Formação de Brecha dos Biscoitos, visto que esta formação pouco contribui, em termos hidrogeológicos, para a zona em estudo;

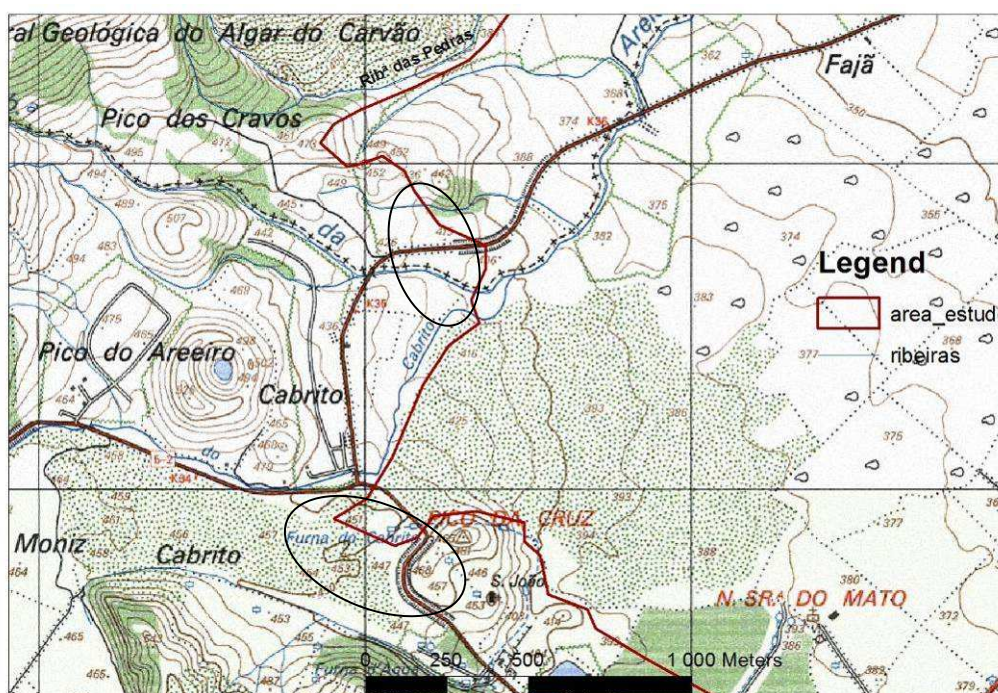


Fig. 22 – Vista em pormenor do limite na zona do Pico da Cruz

- Na Serra do Cume junto a uma falha decidiu-se considerar como limite a falha registada e não a cumeada da referida serra (*cf.* Fig. 23).

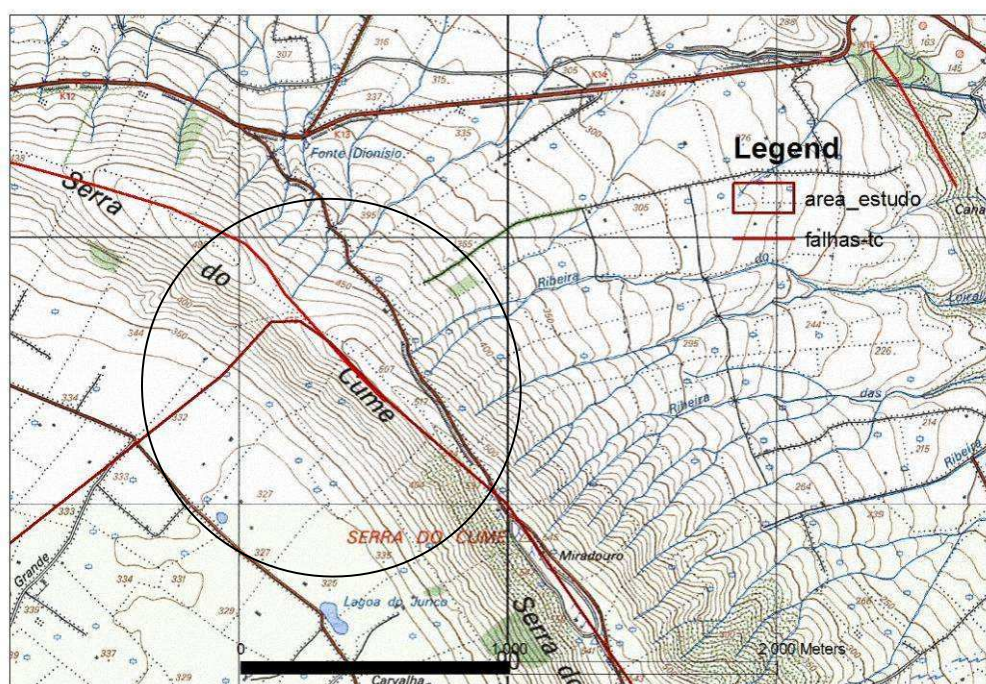


Fig. 23 – Vista em pormenor do limite na Serra do Cume

Na Fig. 20 é considerado um limite de um quilômetro de distância da costa da ilha visto que existem, como descargas do aquífero basal, algumas nascentes submarinas. No entanto, devido à influência das marés, não se consideram essas descargas e, como tal, o limite utilizado no modelo corresponde à costa da ilha Terceira.

Em termos de área de cada célula considerou-se uma malha aproximada de 250 metros por 250 metros, que foi refinada numa malha mais fina de 125 metros por 125 metros no graben das Lajes. A malha do modelo começa nas coordenadas X= 483 000, Y= 4 281 000, e termina nas coordenadas X= 498 000, Y= 4 295 000. O modelo apresenta uma só camada dividida em 89 linhas e 82 colunas.

A Fig. 24 representa o modelo com os vários objectos necessários à sua corrida (e.g. as linhas vermelhas representam as falhas) e após a atribuição de inactividade às células do modelo que estão fora do limite acima descrito.

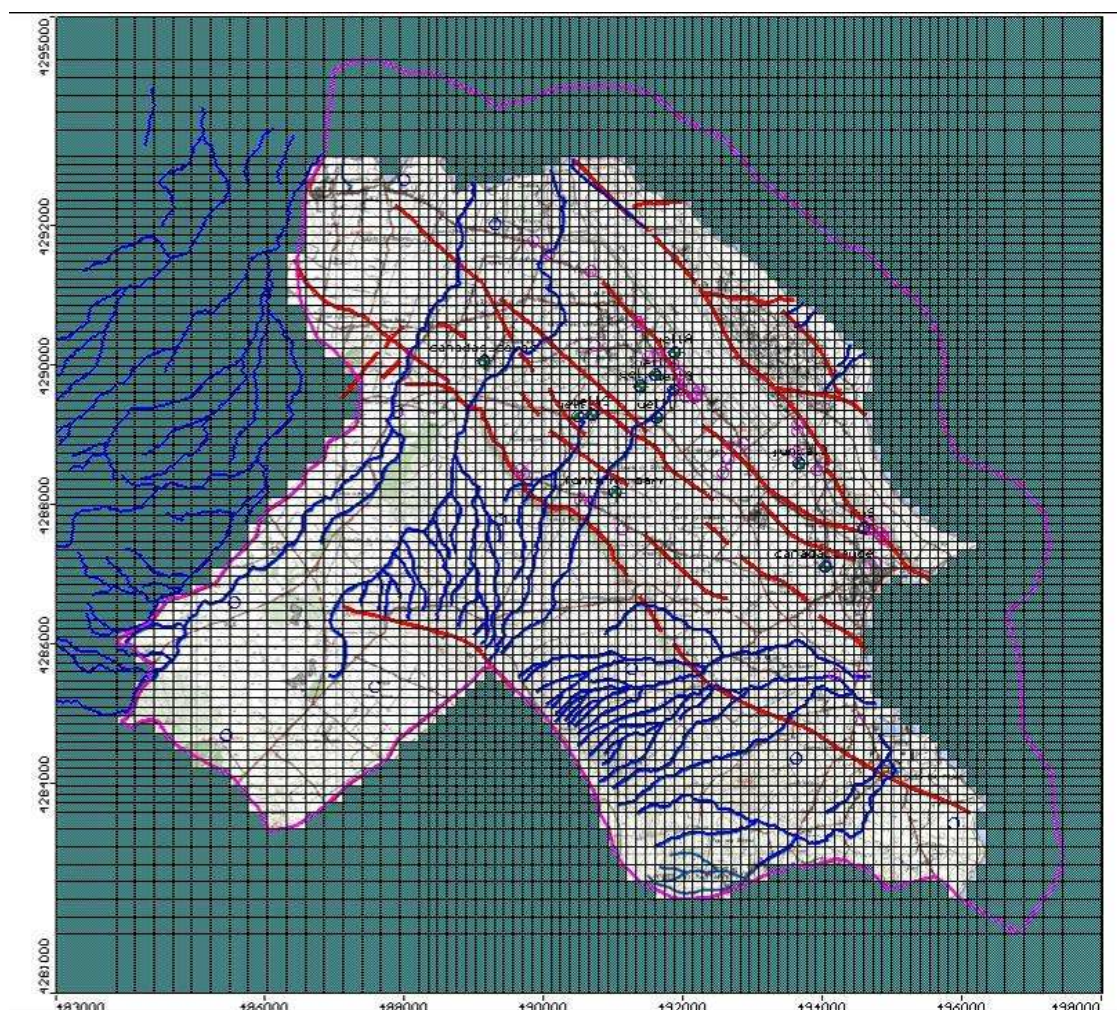


Fig. 24 – Malha MODFLOW do modelo do sistema aquífero basal

5.3.3.2 Dados de entrada

Consideraram-se os seguintes dados de entrada do modelo MODFLOW:

- a) Recarga – Após corrida e calibração do modelo dos sistemas aquíferos suspensos atribuiu-se à drenância (*i.e.* saída de água pela base dos aquíferos suspensos) o valor de 15 % da recarga natural, ou seja, o valor de 106,2 mm/ano. Considerou-se que este valor corresponde à recarga natural do sistema aquífero basal;
- b) Descarga – Atendendo ao referido na secção da conceptualização do modelo, o

sistema aquífero basal apresenta descargas para o oceano e, como tal, estas foram consideradas na zona litoral (o nível piezométrico do basal é influenciado pelas marés oceânicas). A aplicação das descargas foi possível através da atribuição de um nível piezométrico constante com o valor de zero metros;

- c) Condutividade hidráulica – Considerou-se um valor constante de 750 m/dia para todo o modelo;
- d) Limites impermeáveis – Considerou-se que a falha de Santiago é um acidente geológico de baixa permeabilidade e, logo, de impedimento à passagem do fluxo. Considerou-se um valor de condutividade hidráulica muito baixo na falha.

5.3.3.3 Resultados

O modelo correu em regime estacionário tendo sido calibrado com os valores de piezometria médios registados durante as campanhas. Para este modelo utilizaram-se valores de piezometria de alguns furos profundos da região desenvolvidos no âmbito do Estudo, nomeadamente, os valores médios dos piezómetros FP1, FP2, FP3, FP4, FP5, FP6 e FP7.

A Fig. 25 representa, após a corrida do modelo, a distribuição espacial da piezometria e os vectores do fluxo da água subterrânea.

O modelo proposto por Oliveira *et al.* (2010) apresentava um fluxo essencialmente radial no sentido do centro da ilha para o litoral, comum numa ilha oceânica. No modelo da Fig. 25 o fluxo deixa de ser totalmente radial para se concentrar essencialmente nas direcções W-E e S-N, em resultado da influência imposta pela falha que se comporta como uma barreira pouco permeável à água.

Numa comparação entre os níveis calculados pelos modelos (proposto por Oliveira *et al.* (2010) e para o modelo final) e o nível médio observado nos diferentes piezómetros, conclui-se que o actual modelo se ajusta melhor à realidade (Quadro 4).

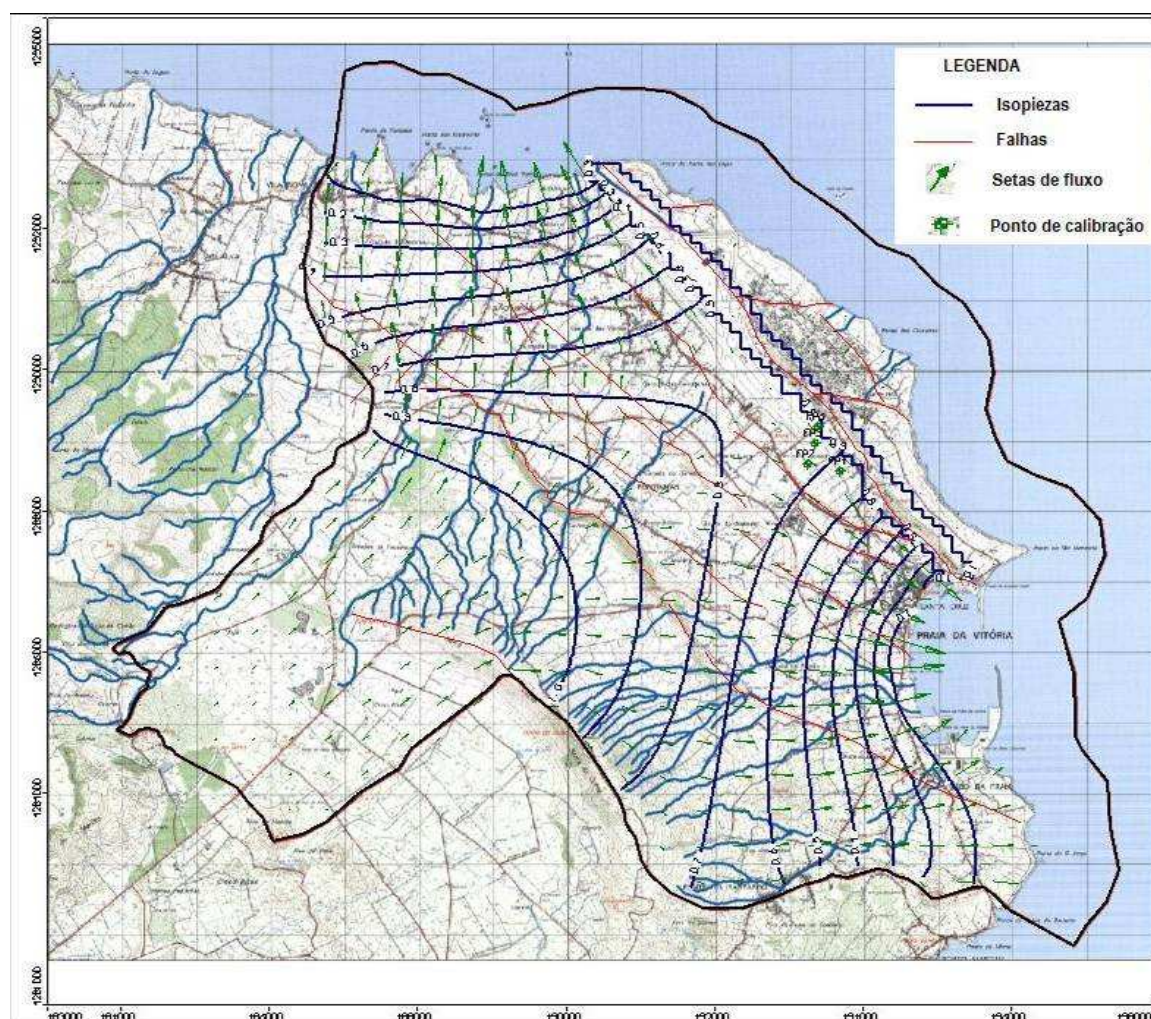


Fig. 25 - Distribuição espacial da piezometria e dos vectores de fluxo da água subterrânea no sistema basal

Quadro 4 – Comparação da média absoluta entre os valores calculados nos diferentes modelos

Furo	Nível médio observado (m)	Nível calculado no modelo proposto por Oliveira et al. (2010) (m)	Diferenças absolutas pelo modelo proposto por Oliveira et al. (2010) (m)	Nível calculado pelo modelo final (m)	Diferenças absolutas pelo modelo final (m)
FP3	0,69	0,42	0,27	0,73	0,04
FP6	0,76	0,32	0,44	0,75	0,01
FP7	0,82	0,45	0,37	0,71	0,11
FP4	0,46	0,35	0,11	0,67	0,21
MÉDIA ABSOLUTA			0,30		0,09

6. Qualidade das Águas Subterrâneas

6.1 Considerações gerais

O Relatório intitulado "Análise e Parecer Sobre a Situação Ambiental nas Áreas de Captação dos Furos de Abastecimento do Concelho de Praia da Vitória – Açores - Relatório Final da Avaliação das Águas Subterrâneas", (Lobo-Ferreira *et al.*, 2010), cuja síntese se apresenta no presente documento, incluiu uma síntese do estado de conhecimentos relativo à qualidade das águas subterrâneas da área de estudo, procurando caracterizar as principais áreas poluídas e identificar os poluentes a elas associados.

O objectivo final da análise desenvolvida foi o de caracterizar o risco potencial, a prazo, para os meios receptores nomeadamente da água para consumo humano na Ilha, resultante de situações de poluição associadas às infra-estruturas da Base das Lajes.

O trabalho foi desenvolvido com base num extenso programa de monitorização realizado entre Maio e Dezembro de 2010 que compreendeu um conjunto de infra-estruturas, pré-existent e instaladas para este Estudo, localizadas no concelho de Praia da Vitória, num total de 54 pontos de amostragem de águas subterrâneas. Nesses pontos foram realizadas 90 recolhas para análise química completa, compreendendo 129 parâmetros químicos diferentes (elementos de campo, iões maiores, metais pesados e hidrocarbonetos), num total de 11 610 análises químicas.

Os pontos amostrados foram:

- cinco captações para abastecimento público da CMPV e o furo do Juncal 2;
- 17 poços de largo diâmetro;
- seis furos no aquífero basal (instalados pela firma Aqualis no decurso deste Estudo);
- dez piezómetros (instalados pela firma Aqualis no decurso deste Estudo), sete dos quais no aquífero basal e os restantes em aquíferos suspensos localizados durante as perfurações;
- cinco piezómetros (instalados pela firma Mota-Engil no decurso deste Estudo) nos aquíferos suspensos encontrados durante os trabalhos de recolha de solos para amostragem;
- dez piezómetros de monitorização, cinco localizados nas áreas contaminadas de *South Tank Farm* e os restantes junto à Porta de Armas;

Foram, ainda, efectuadas análises no *North Sewage* Lajes e na fonte da Caldeira das Lajes.

As duas campanhas de monitorização principais tiveram lugar nos meses de Maio e de Setembro de 2010 e foram conduzidas conjuntamente por técnicos do LNEC e da AmbiPar Control. Esta última teve a seu cargo todo o processo de realização de análises químicas, da cadeia de custódia e de controlo de qualidade. Em relatório separado apresenta-se o "Relatório de ensaios – Amostragem e análise de águas subterrâneas" da autoria de José Morais. As campanhas intermédias foram efectuadas apenas por técnicos do LNEC.

O Quadro 5 apresenta uma síntese das datas de amostragem e do tipo de amostra recolhida em cada local amostrado.

Quadro 5 - Síntese das datas de amostragem e do tipo de amostra recolhida em cada local

TIPO	DESIGNAÇÃO	Tipo de amostragem (1.ª à 3.ª campanha)	1.ª Amostragem (Maio 2010)			2.ª Amostragem (Junho 2010)		3.ª Amostragem (Julho 2010)	4.ª Amostragem (Setembro 2010)					5.ª Amostragem (Outubro 2010)	6.ª Amostragem (Dezembro 2010)	Tipo de amostragem (4.ª à 6.ª campanha)
Poços	CR9	M		29-05-2010												-
	CR11	M		29-05-2010												-
	CR12	M		29-05-2010												-
	CR13	M		29-05-2010												-
	CR17	M		29-05-2010												-
	CR18	M + dupl.		29-05-2010												-
	CR22A	M		29-05-2010												-
	CR23	M		30-05-2010												-
	CR25	M		29-05-2010												-
	CR25A	M		29-05-2010												-
	CR33	M		29-05-2010												-
	CR35	M		29-05-2010												-
	CR41	M			31-05-2010											-
	CR42	M		30-05-2010												-
	CR44	M		30-05-2010												-
	CR46A	M		30-05-2010												-
Furos abastecimento CNPV	Poço 5	T		30-05-2010												-
	Areeiro-Fontinhas	R + dupl.			31-05-2010					24-09-2010						R
	Canada das Covas	R	28-05-2010							24-09-2010						R
	Fontinhas-Barreiro	R	28-05-2010							24-09-2010						R
	Juncal 1	R			31-05-2010					24-09-2010						R
	Pico Celeiro	R	28-05-2010							24-09-2010						R
Disco Site 5001	Juncal 2	R				26-06-2010				18-09-2010						R
	MW04, Site 5001	T + dupl.			31-05-2010											-
	MW10, Site 5001	T			31-05-2010											-
	MW08, Site 5001	T			31-05-2010											-
	MW09, Site 5001	T			31-05-2010											-
	MW017, Site 5001	T			31-05-2010											-
Disco Site 3001	MW01, Site 3001	-										27-09-2010				S; F (só PCB e PAH)
	MW02, Site 3001	-										27-09-2010				S (+ F só PCB e PAH)
	MW05, Site 3001	-										27-09-2010				S (+ F só PCB e PAH)
	MW06, Site 3001	-										27-09-2010				S (+ F só PCB e PAH) + dupl.
	MW07, Site 3001	-										27-09-2010				S (+ F só PCB e PAH)
Novos piezómetros	S1B	M			31-05-2010					24-09-2010						S
	S5A	M	28-05-2010							24-09-2010						S (+ F só PCB e PAH)
	S5B	M	28-05-2010							24-09-2010						S (+ F só PCB e PAH)
	S6A	M	28-05-2010							24-09-2010						S (+ F só PCB e PAH)
	S6B	M	28-05-2010							24-09-2010						S (+ F só PCB e PAH)
	FP1	T				26-06-2010						26-09-2010				S (+ F só PCB e PAH)
	FP2	-										26-09-2010				S (+ F só PCB e PAH) + M
	FP3	T				25-06-2010					25-09-2010					S (sem PCB e PAH)
	FP3A	-									25-09-2010					S (+ F só PCB e PAH); M+dupl.
	FP5	T				25-06-2010					26-09-2010					S (+ F só PCB e PAH)
	FP6	-									25-09-2010					S (+ F só PCB e PAH); T+2dupl.
	FP6A	-									25-09-2010					S; F
	FP6B	-									25-09-2010			02-10-2010		S; F + dupl
	FP7	T				26-06-2010					26-09-2010					S (+ F só PCB e PAH)
	Juncal 2 (FP4)	-									27-09-2010					M
Novos furos	FB1	-								24-09-2010						R
	FB2	-													02-10-2010	R
	FB3	R						23-07-2010			25-09-2010					S (sem PCB e PAH)
	FB5	R		30-05-2010							26-09-2010					S (+ F só PCB e PAH)
	FB6	-							17-09-2010							R
	FB7	-												24-10-2010		R
Branco e outros	Branco campo	1														2
	Norte sewage Lajes	R														-
	Fonte Caldeira das Lajes	R														-
	TOTAL	47														

Além do conjunto de análises referidas foram efectuadas oito amostras completas de duplicados e quatro brancos de campo que confirmaram a fiabilidade dos resultados obtidos. Esta análise bem como a descrição completa dos métodos utilizados, critérios de calibração, análises de controlo em laboratório e de toda a cadeia de custódia é apresentada em pormenor Morais (2010a).

O conjunto de resultados começou por ser analisado à luz da legislação Portuguesa em vigor para os parâmetros definidos para a qualidade das águas subterrâneas na origem, decorrente da aplicação da Directiva-Quadro da Água (DQA) e da Lei da Água. Para os parâmetros não contemplados naquela legislação foram utilizados os valores paramétricos definidos no Decreto-Lei n.º 306/2007 para a qualidade da água destinada ao consumo humano. Por fim, para os restantes parâmetros não definidos na legislação portuguesa foram utilizadas as normas do Canadá relativas aos standards para condições de águas subterrâneas potáveis. Optou-se por esta legislação estrangeira por ser das mais completas, juntamente com a legislação Holandesa, mas a mais recente (datada de 27 de Julho de 2009) e em sintonia com o definido na legislação imposta pela DQA de definição de standards de qualidade na origem. Em síntese, e por sequência, são os seguintes documentos utilizados:

- NQ - Normas de Qualidade, Anexo I da DAS, DL 208/2008;
- LQ - Limiar de Qualidade, Anexo II e VII da DAS, DL 208/2008 (definido em INAG, 2009);
- VP - Valor Paramétrico, DL 306/2007 Qualidade da água destinada ao consumo humano;
- Canadá - *Standards in a Potable Groundwater Condition* (Table 2).

Procurou-se enquadrar a vasta e nova informação obtida durante este Estudo, integrando-a e analisando-a também à luz do conhecimento disponível em estudos anteriores, cujas referências e sínteses são apresentadas na secção seguinte.

6.2 Caracterização da qualidade das águas subterrâneas nos aquíferos suspensos

6.2.1 Porta de Armas (Main Gate, DISCO Site 3001)

Neste local foram efectuadas recolhas em cinco dos sete piezómetros instalados pela AMEC e em dois novos piezómetros instalados pela Mota-Engil no decorrer do presente Estudo (Fig. 26). O LNEC foi informado que os piezómetros MW03 e MW04 continham produto sobrenadante e os mesmos seriam sujeitos a bombagem em Outubro de 2010 para recuperação, pelo que não foi permitida a recolha de água nesses pontos.

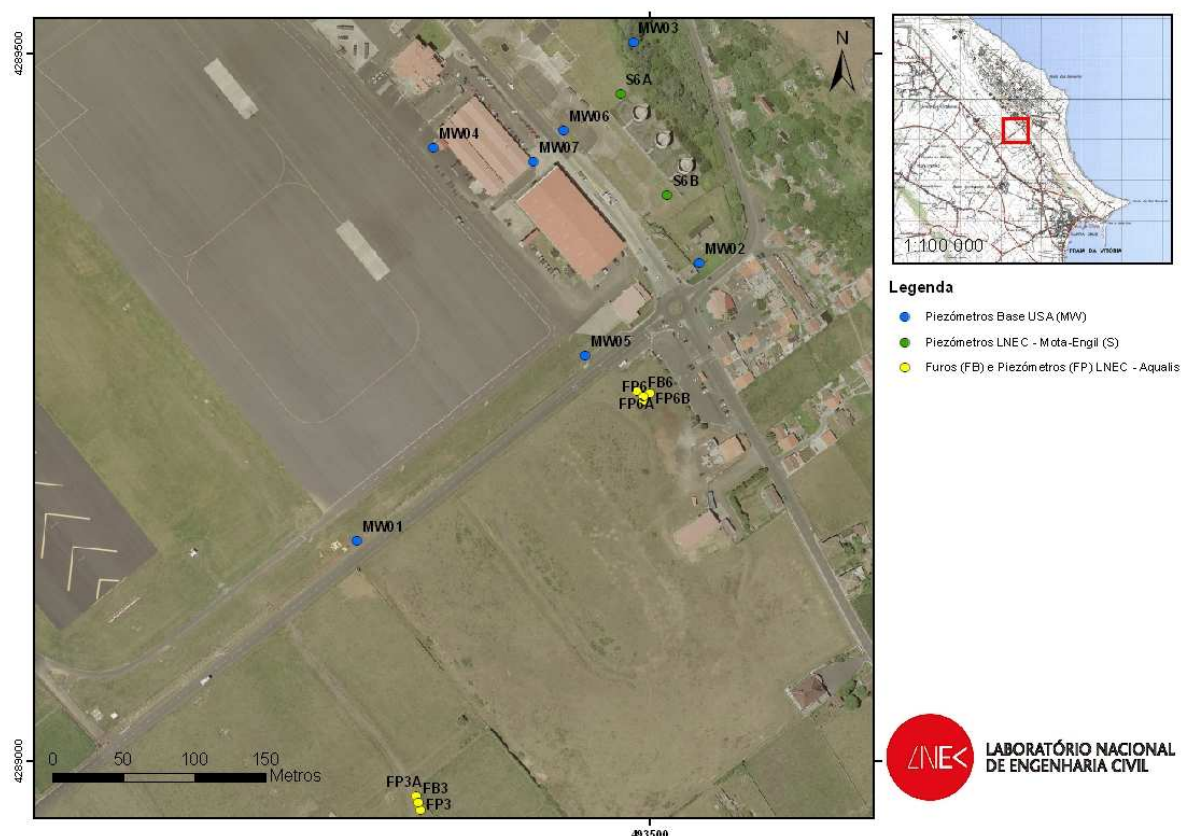


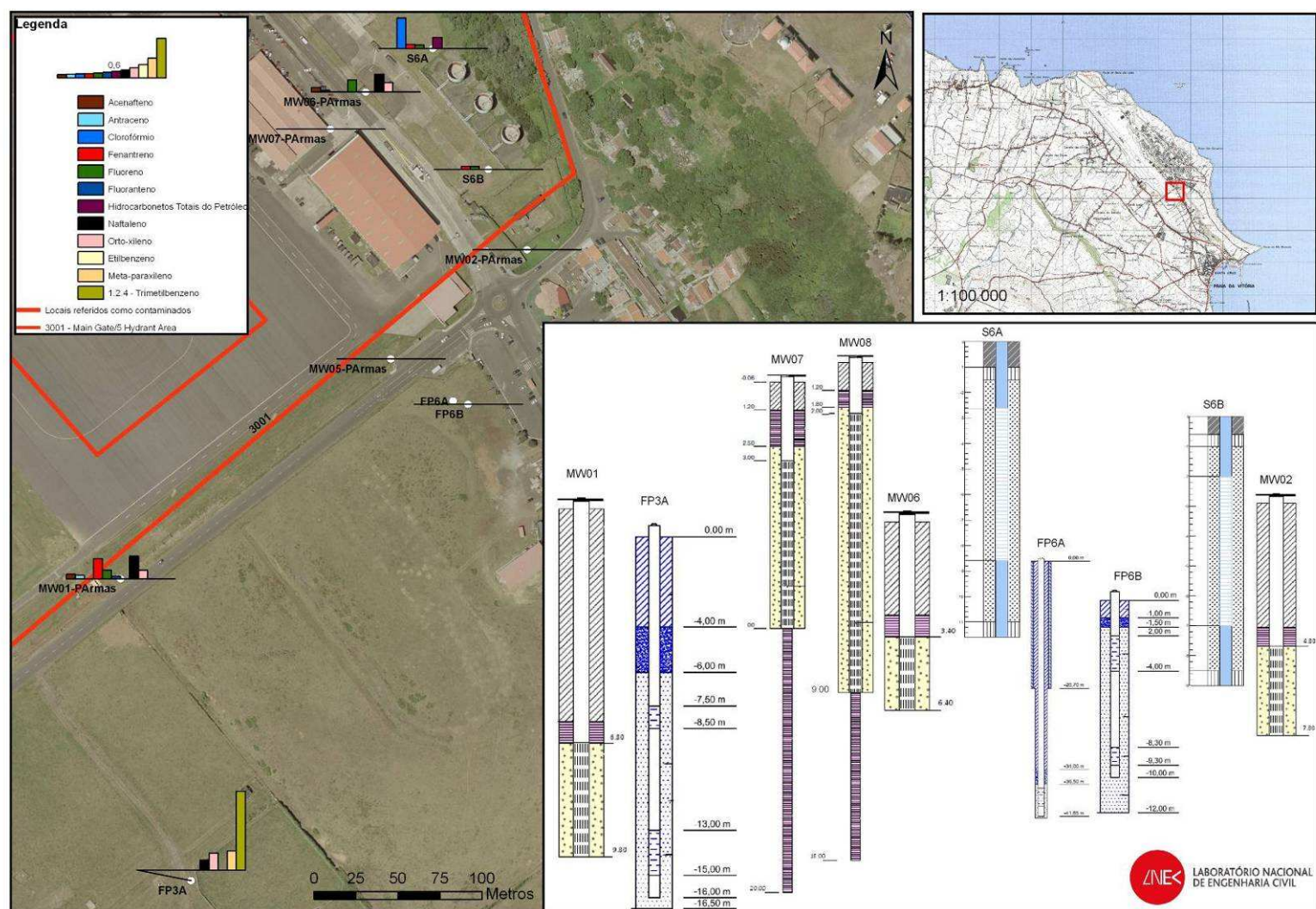
Fig. 26 – Localização dos pontos de amostragem de águas na área junto à Porta de Armas

A recolha de amostras de água para análise química nos cinco pontos (MW01, MW02, MW05, MW06 e MW07) foi realizada num só período, a 27 de Setembro de 2010. Já a recolha nos novos piezómetros (S6A e S6B) foi efectuada em dois períodos distintos, a 28 de Maio e a 27 de Setembro de 2010.

Uma vez que estes piezómetros de pouca profundidade captam aquíferos superficiais, sem aparente continuidade lateral, as recolhas foram efectuadas visando caracterizar a eventual presença de hidrocarbonetos retidos nesses níveis, com possibilidade de contribuir para uma migração da poluição para níveis inferiores. Nesse contexto, procurou-se também complementar a informação existente em estudos anteriores (Bathe Associates, 2006 e AMEC, 2009), retirando não só amostras representativas mas também amostras de água no contacto do nível piezométrico, para analisar a presença de hidrocarbonetos sobrenadantes (LNAPL), e em profundidade, procurando encontrar os hidrocarbonetos mais densos do que a água (DNAPL).

Os resultados obtidos são apresentados no Quadro 6.

A análise dos resultados obtidos (Quadro 6 e Fig. 28) permite confirmar a presença de diversos PAHs (acenafteno, antraceno, fluoranteno, fluoreno, naftaleno, fenantreno), de VOCs (clorofórmio), de hidrocarbonetos totais do petróleo e, dentro do grupo dos BTEX, de orto-xileno. A Fig. 27 representa as concentrações de hidrocarbonetos mais elevadas observadas em cada ponto de água, em 2010, independentemente da profundidade de recolha.



(*) N.B. - há incerteza na origem das concentrações do piezómetro FP6A (cf. Fig. 28)

Fig. 27 – Concentração em hidrocarbonetos diversos em piezómetros superficiais localizados junto à área da Porta de Armas

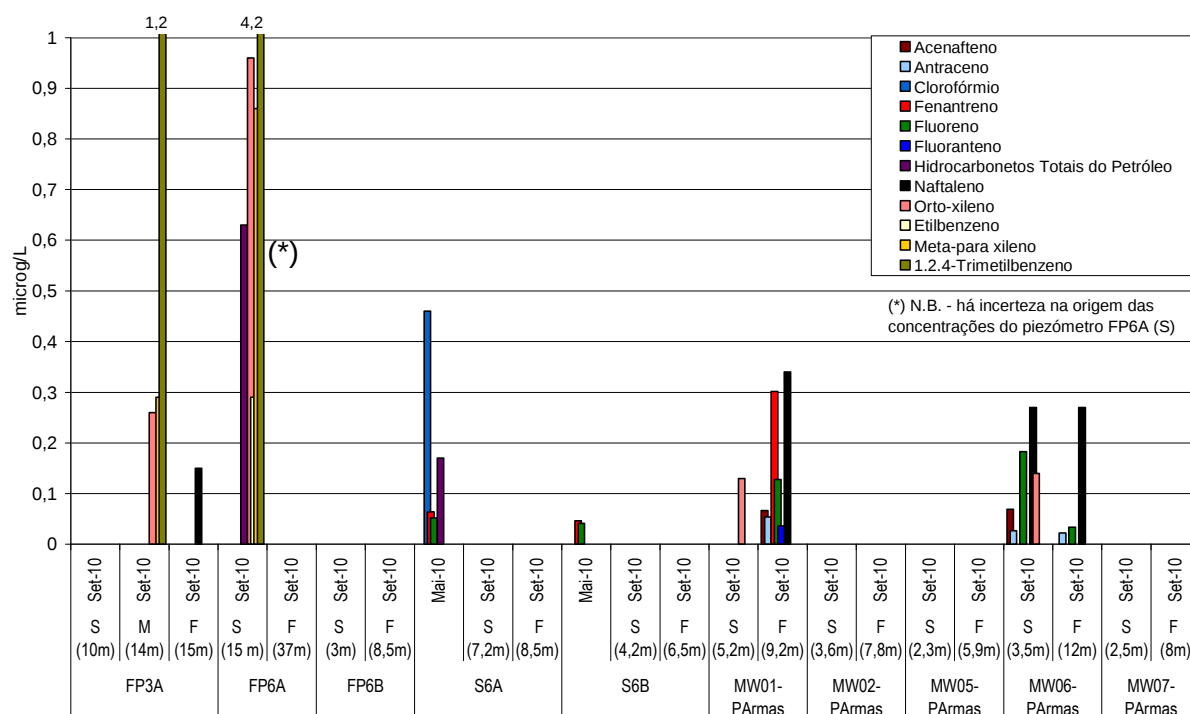


Fig. 28 – Concentração em PAHs, TPH e BTEX em dez piezómetros localizados em aquíferos suspensos, na área junto à Porta de Armas

Pese embora o facto das concentrações em hidrocarbonetos analisadas estarem todas abaixo dos valores standard (*cf.* Quadro 6), a presença destes elementos nas águas subterrâneas denuncia, por si só, poluição do local, que seria confirmada como estando acima dos valores admissíveis, se as águas dos piezómetros MW03 e MW04 tivessem sido analisadas, pois aí os valores certamente ultrapassam os limites, como se verificou no passado (AMEC, 2009). O MW02 e MW05 não apresentaram resultados acima do limite de detecção na amostragem realizada em Setembro de 2010, sendo possível que esse facto resulte de ter havido amostragens na semana anterior.

O decréscimo de concentração entre as amostragens de Maio e de Setembro (e.g. S6A e S6B) também se pode dever ao decréscimo de vários metros verificado no nível piezométrico e, assim, à amostragem efectuada a profundidades diferentes.

Ainda de referir na Fig. 28 que as amostras recolhidas no contacto com o nível piezométrico (assinaladas como “superfície”) e as amostras recolhidas no fundo do furo (assinaladas como “fundo”) apresentam claras diferenças de concentração dos PAHs analisados (que são todos os elementos da figura com excepção do orto-xileno). Esta diferença não é explicada apenas com uma análise da sua densidade. Na realidade há compostos mais densos do que a água (o caso do antraceno) que surge em ambas as profundidades para alguns pontos, e.g. MW06. Uma das explicações possíveis para a diferença encontrada poderá dever-se à maior proximidade do MW06 de uma fonte de contaminação, enquanto que no MW01 houve algum tempo de migração da poluição entretanto infiltrada para horizontes mais profundos. A presença de hidrocarbonetos no piezómetro FP3A indica que o escoamento nas formações suspensas se processa naquela direcção.

Os resultados permitem concluir que:

- há bastante heterogeneidade de concentrações entre as amostras realizadas em diferentes períodos e, também, a diferentes profundidades; esta variação pode dever-se ao seguinte conjunto de factores principais:
 - o a amostragem a diferentes profundidades, por vezes como resultado da variação do nível piezométrico;
 - o a migração dos poluentes encontrados num período para outros horizontes;
 - o a manutenção da fonte de contaminação com entrada de poluentes aumentada em época de recarga;
 - o a diminuição de poluentes após a sua recolha em processos de amostragem e/ou reabilitação.
- no DISCO Site 3001 há pelo menos duas plumas separadas de TPH com LNAPL no MW04 (que amostra as formações hidrogeológicas suspensas) e no MW03 (que amostra um nível mais profundo) (de acordo com AMEC, 2009) cujas concentrações estão acima dos valores permitidos;
- o sentido do escoamento subterrâneo nas formações suspensas processa-se, essencialmente, para SSE, observando-se concentrações de hidrocarbonetos no piezómetro FP3A;
- os hidrocarbonetos localizados a jusante do DISCO Site 3001, declarado como contaminado, não excedem os limites standard para os parâmetros que os têm definidos (cf. Quadro 6).

6.2.2 Poços localizados no concelho de Praia da Vitória

No período de 28 a 31 de Maio de 2010 foi realizada a única campanha para a recolha de amostras de água para análise química em 17 poços localizados no concelho de Praia da Vitória (Fig. 29).

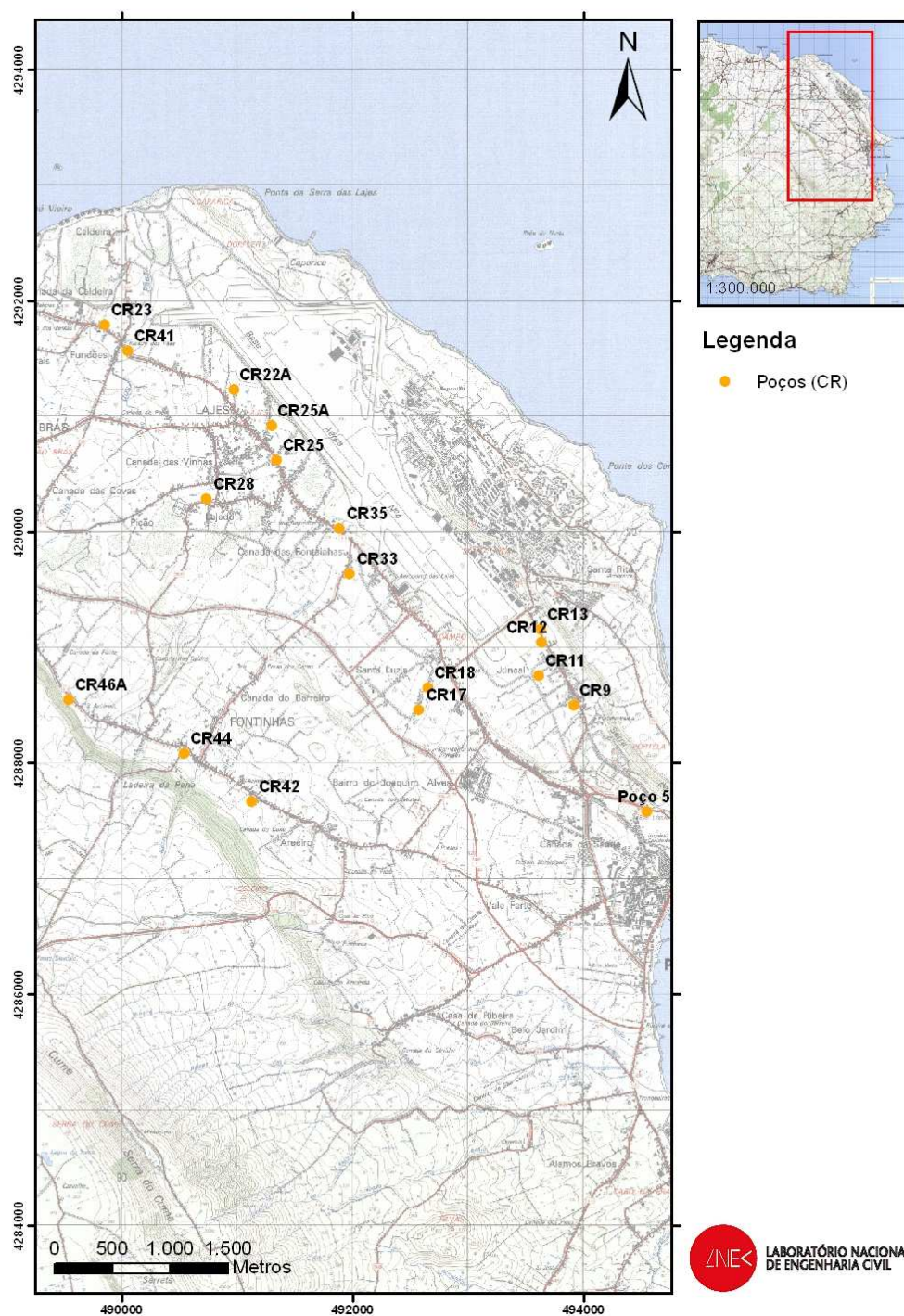


Fig. 29 – Localização dos poços amostrados na área de estudo

Esta análise visou realizar uma primeira caracterização geral das águas do concelho, o mais abrangente possível, e utilizando todas as infra-estruturas disponíveis. Foram excluídos todos os poços onde se registaram utilizações indevidas, a maioria devido à sua conversão em fossas sépticas.

Esta informação complementa a disponível em estudos anteriores e a recolhida nas novas infra-estruturas instaladas durante este Estudo, que se encontram mais centralizadas em torno das áreas potencialmente contaminadas. As recolhas efectuadas nos poços procuraram ser

representativas. Contudo, como a maioria dos poços não se encontra em funcionamento, apenas foi possível efectuar a recolha com balde inox ou bomba de fraca potência, com recolha de amostra sensivelmente a meio da coluna de água.

Os resultados obtidos são apresentados no Quadro 7.

Como seria de esperar pela diversidade de localizações e de profundidades de recolha, com poços a captar pequenos aquíferos superficiais locais e outros aquíferos intermédios, a água apresenta características muito variadas, de fácies maioritariamente cloretada sódica e ainda bicarbonatada sódica (Fig. 30).

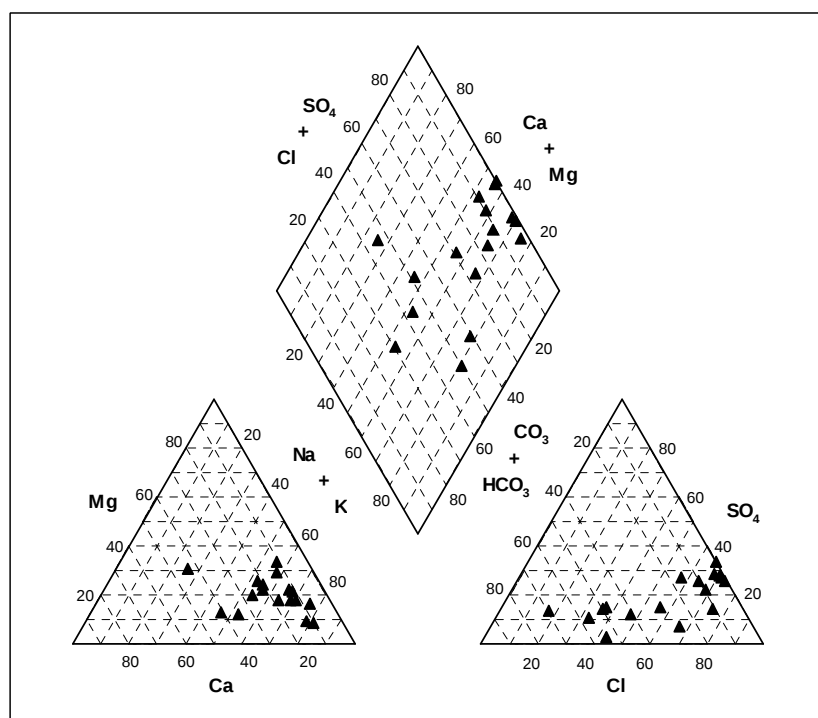


Fig. 30 – Diagrama de Piper para as águas de poços no concelho de Praia da Vitória

A análise dos resultados obtidos permite constatar a presença de diversos elementos acima dos valores standard utilizados. Um dos parâmetros é o nitrato que se encontra acima dos 50 mg/L em dez dos 17 pontos, com um valor de mediana de 80,8 mgNO₃/L, chegando ao valor máximo de 379 mgNO₃/L no ponto CR22A, muito possivelmente como resultado da densidade agro-pecuária (Fig. 31) e por efeito de contaminação dos muitos poços utilizados como fossas sépticas.



Fig. 31 – Ocupação agro-pecuária na ilha Terceira

Há diversos metais pesados com concentrações na água acima dos respectivos valores standard, nomeadamente: Al, Fe, Pb, Mn e V. Em todos os casos estas concentrações podem dever-se ao meio geológico por onde circulam, embora possam ter outras origens.

Relativamente à presença de hidrocarbonetos, a maioria das análises realizada é inferior ao limite de detecção. Há, contudo, quatro excepções para os seguintes elementos: clorofórmio, metil tert-butil éter (MTBE), PCB 52 e PCB 101. O clorofórmio é o único dos quatro elementos que aparece nas áreas potencialmente contaminadas. Desse modo, é mais provável que o aparecimento destes elementos se deva a contaminação local por rejeição directa.

6.3 Caracterização da qualidade das águas subterrâneas no aquífero basal

6.3.1 Furos de captação para abastecimento ao concelho de Praia da Vitória

A recolha de amostras de água para análise química nos cinco furos de captação para abastecimento localizados no concelho de Praia da Vitória (Fig. 32) foi realizada em dois períodos diferentes: 28 e 31 de Maio, e 24 de Setembro de 2010, sensivelmente correspondentes ao final das épocas húmida e seca.

As recolhas foram efectuadas visando obter uma amostra representativa da água dos furos. Em quase todos os casos os furos encontravam-se em captação, sendo a excepção o Juncal 1

que foi posto a trabalhar durante o tempo suficiente para a recolha de uma amostra representativa. Os resultados das análises químicas são apresentados no Quadro 8.

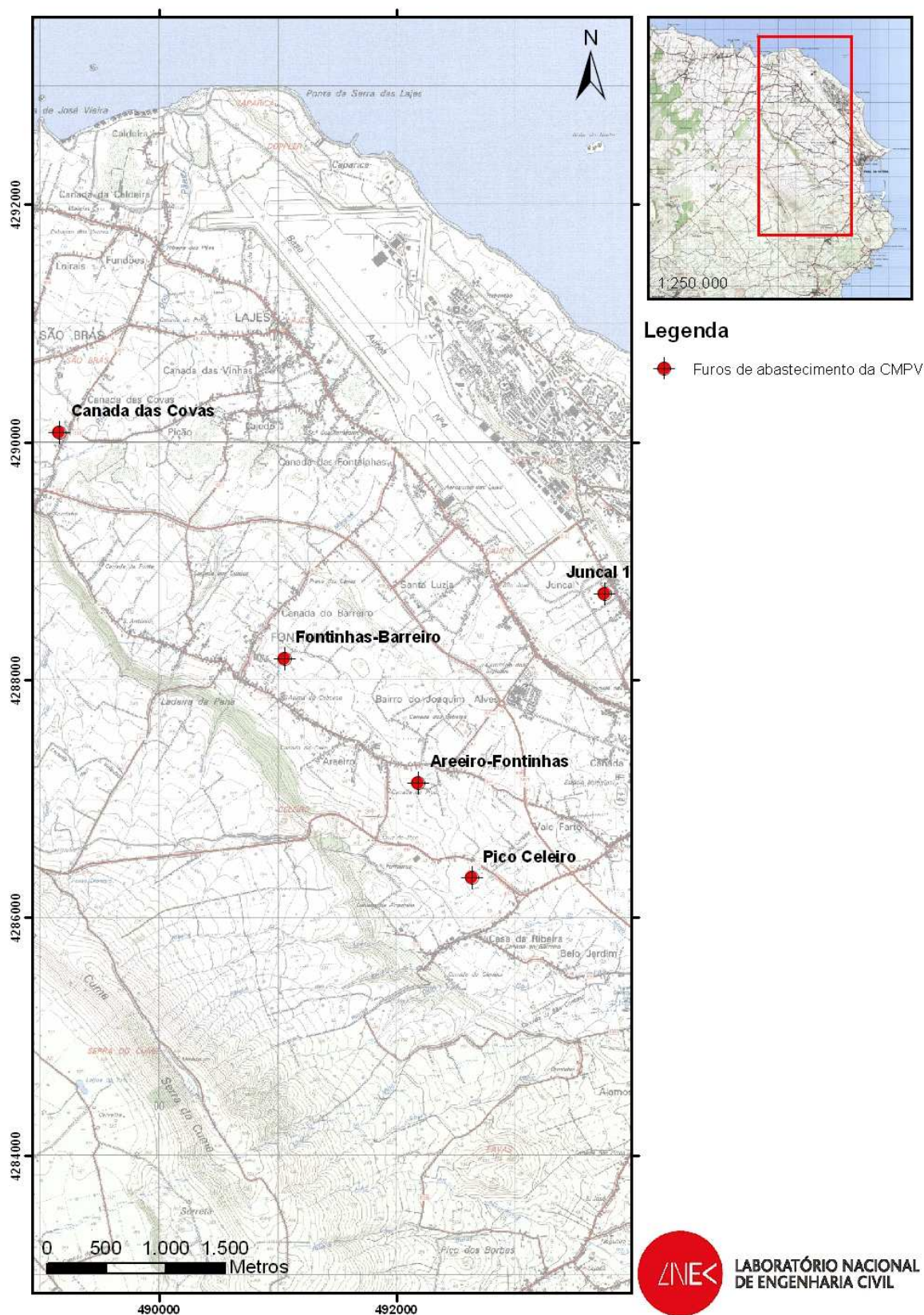


Fig. 32 – Localização dos furos de abastecimento da CMPV

A análise dos resultados obtidos permite constatar que a água de abastecimento apresenta boa qualidade, sendo apenas o cloreto, e num caso o sódio e o vanádio, os três parâmetros que podem apresentar valores acima dos valores standard utilizados. Em relação à concentração de cloretos, enquanto que no furo de Fontinhas – Barreiro e de Juncal 1 se observa alguma estabilidade, ou mesmo decréscimo na campanha pós-Verão, o furo da Canada das Covas apresenta uma concentração de quase o dobro em relação à 1.^a campanha, concordante com o aumento de condutividade eléctrica. Se compararmos este valor com informação fornecida pela CMPV ao LNEC por e-mail, em 2010-03-08, Quadro 9 relativamente à qualidade das águas subterrâneas dos furos de abastecimento de água, vemos uma oscilação da concentração que deverá continuar a ser controlada pela entidade abastecedora.

Quadro 9 – Concentrações hidroquímicas nos furos de abastecimento de água da CMPV

Furo	Cloretos (mg/L)	Sódio (mg/L)	Condutividade eléctrica (µS/cm)
Juncal 1	372	188	1 455
Areeiro	153	99	663
Fonte Bastardo	197	115	774
Pico Celeiro	17	86	158
Canada das Covas	131	95	609
Barreiro	367	178	1 394

O valor de sódio mais elevado observou-se também na amostra do Juncal 1 com maior concentração de cloretos, resultante de processos de intrusão marinha.

A presença de vanádio acima do valor definido na legislação do Canadá, 0,0062 mgVn/L, para condições standard em condições de águas subterrâneas potáveis não impede que todas as amostras de água apresentem uma concentração inferior a 0,25 mgVn/L, valor acima do qual a água não é potável (cf. mesma legislação). O vanádio é um elemento ubíquo, com uma abundância na crosta terrestre da mesma ordem de grandeza do Ni, Cu, Zn e Pb (Alloway, 1990); a sua presença em ambientes ígneos em associação com magmas básicos é referida na literatura. Contudo, o mesmo autor refere o V como o principal elemento traçador de produtos de petróleo, em especial da sua fracção pesada, embora enfatize a sua elevada retenção com a fracção da matéria orgânica do solo. Os resultados apresentados na Fig. 33 permitem observar que este elemento não apresenta concentrações mais elevadas junto aos locais contaminados, nem da *South Tank Farm* nem junto à Porta de Armas, pelo que a presença deste elemento se deverá ao ambiente geológico onde circulam as águas subterrâneas.

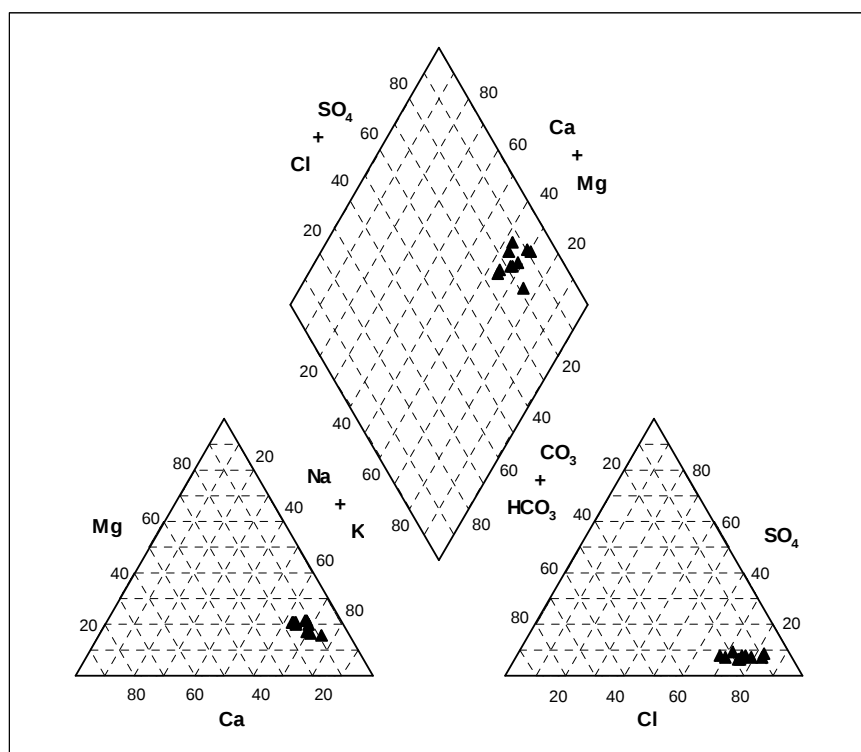


Fig. 34 – Diagrama de Piper para as águas de abastecimento público da CMPV

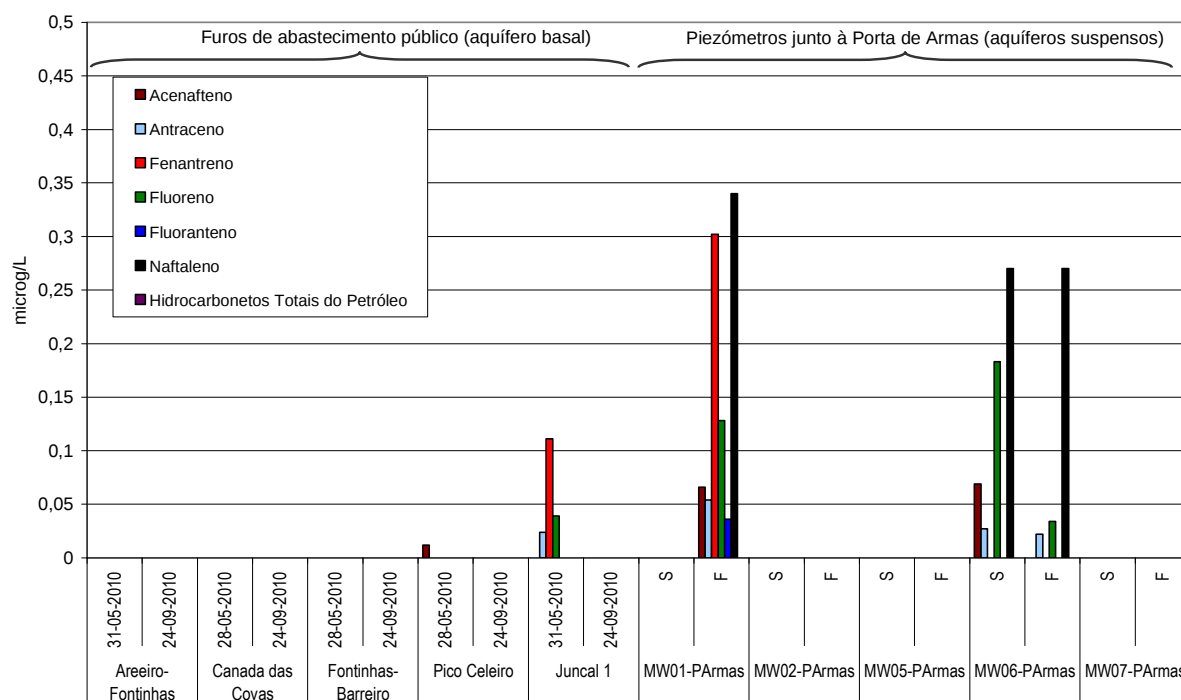


Fig. 35 – Concentração em PAHs e TPH nos furos de abastecimento e nos piezómetros da Porta de Armas

A monitorização do Site 5001 foi efectuada através da recolha de amostras de água para análise química em cinco piezómetros da Base Americana (MW, *monitoring wells*), no dia 31 de

Maio de 2010. Esta análise foi complementada com a recolha de amostras de água, entre Maio e Setembro de 2010, em três piezómetros (S5A, S5B, FP5) e num furo (FB5), instalados no decurso do presente Estudo, de forma a analisar a eventual migração de contaminantes (Fig. 36).

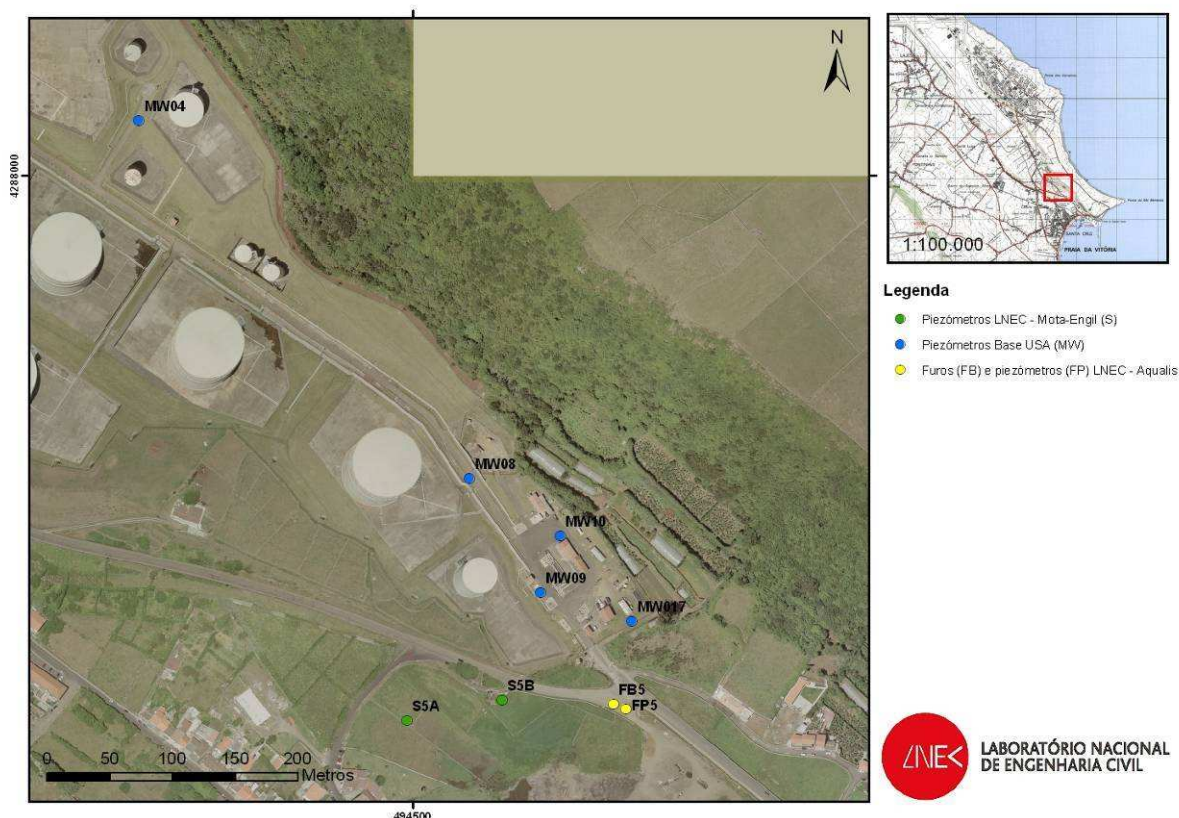


Fig. 36 – Localização dos pontos de monitorização na área junto à *South Tank Farm*

Apenas a recolha no FB5 foi realizada tendo em vista obter uma amostra representativa da água do furo. Nos restantes casos a amostragem foi realizada a meio da coluna de água, junto à superfície piezométrica ou no fundo do piezómetro, conforme o caso indicado no Quadro 10, com recurso a uma bomba peristáltica ou bailer (Fig. 37 e Fig. 38).



Fig. 37 – Recolha de amostra com recurso a uma bomba peristáltica de baixo caudal

Os resultados obtidos são apresentados no Quadro 10.

Dos 105 hidrocarbonetos analisados, observou-se a ocorrência de 48, todos em piezómetros localizados dentro do perímetro da *South Tank Farm*, e com concentrações extremamente elevadas. Os pontos MW08 e MW09 são os mais contaminados, observando-se inclusive a presença de cerca de 24 cm de produto de petróleo sobrenadante no MW08 (Fig. 38).



Fig. 38 – Fotografia de LNAPL sobrenadante na água do ponto MW08

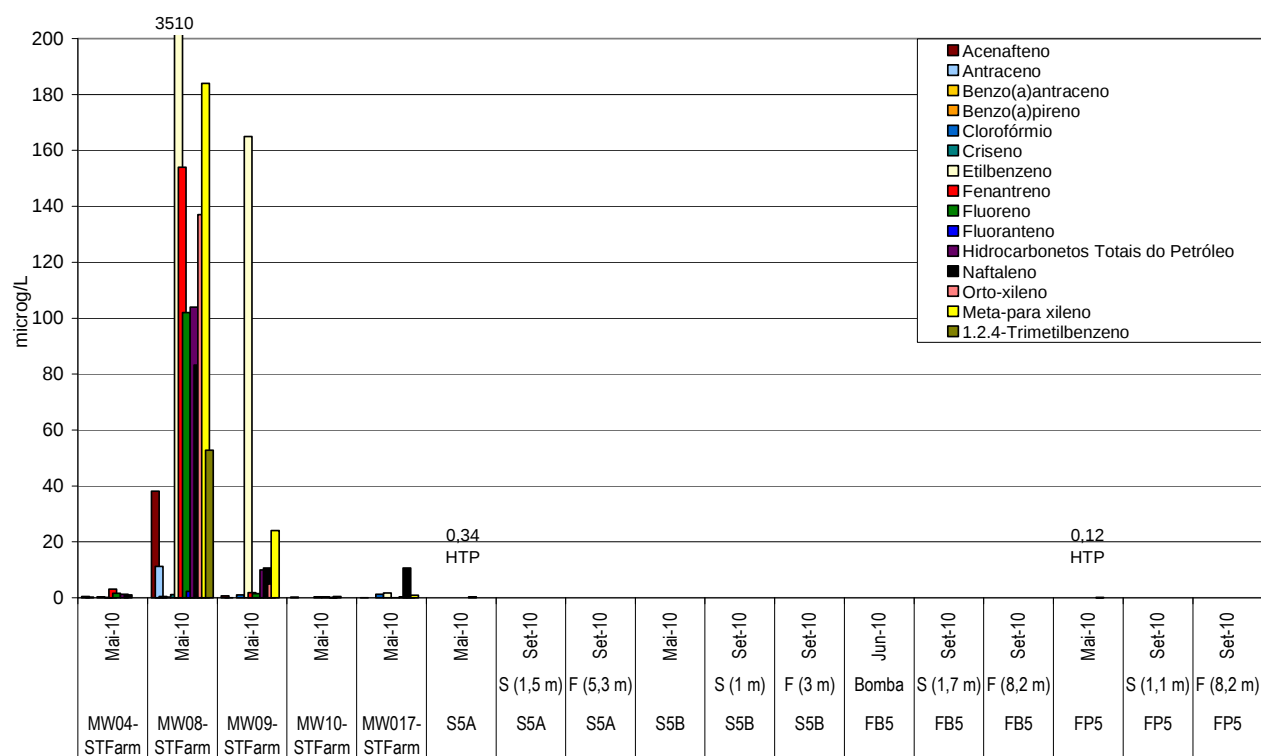


Fig. 39 - Concentração em PAHs, TPH e BTEX em 2010, em piezômetros na área junto à South Tank Farm

Contudo, conforme se pode observar no Quadro 11, o conjunto de hidrocarbonetos encontrado é mais vasto que o apresentado na Fig. 39.

Apesar da presença significativa e muito acima do permitido dentro do perímetro da *South Tank Farm*, assinala-se a quase ausência de hidrocarbonetos nos piezómetros e no furo localizados a jusante (Fig. 25) daquele local, em ambas as campanhas e às diferentes profundidade de recolha de amostras. Apenas foi detectada a presença de HTPs, e abaixo do valor standard, numa das amostras dos pontos FP5 e S5A.

Um dos objectivos deste trabalho foi determinar áreas potencialmente contaminadas por armazenamento de combustível e operações associadas para cada um dos locais, nos solos e nas águas subterrâneas.

Em seis dos nove piezómetros, a amostragem foi efectuada após a purga do equivalente a três volumes de água; nos outros três pontos de água, devido à pequena espessura saturada, foram efectuadas amostragens com recurso a um amostrador.

Os parâmetros analisados em laboratório foram: TPH-DRO (hidrocarbonetos totais do petróleo, componentes do diesel); TPH-GRO (hidrocarbonetos totais do petróleo, componentes da gasolina); tetracloreto (PCE); benzeno; etilbenzeno; xileno e 1,3,5 trimetilbenzeno. Foram igualmente analisados no local os valores de temperatura, condutividade eléctrica, pH e Eh.

Os resultados obtidos permitiram concluir haver hidrocarbonetos sobrenadantes no ponto MW08, tal como encontrado em 2010 pelo LNEC, cujo cromatograma identificou como sendo semelhante ao JP-8 jet fuel. Nesse mesmo ponto foi detectada a presença de TPH-DRO acima do nível considerado para actuação. As concentrações de TPH-GRO não excediam o VMA para o conjunto de pontos amostrados, embora a sua presença fosse detectada em seis dos nove pontos. De referir que os limites de detecção então utilizados variaram de 100 até 10 000 µg/l, sendo este último demasiado elevado. Em sete pontos foi detectada a presença de etilbenzeno, por duas vezes acima do nível de actuação. Também o benzeno foi encontrado em cinco amostras de água, duas das quais com valores acima do nível de actuação, pese embora a referência efectuada no relatório de que a sua presença se deve a erros em laboratório, aspecto também referido para uma das amostras de etilbenzeno. Finalmente, o xileno e o 1,3,5 trimetilbenzeno também foram detectados nas escassas amostras onde foram analisados, apresentando-se em baixas concentrações.

Em síntese, os resultados obtidos nos diferentes estudos permitiram detectar e confirmar a elevada presença de componentes do petróleo na área da *South Tank Farm*, declarada como uma área contaminada (AOC-1, Site5001). Os compostos encontrados incluem hidrocarbonetos aromáticos (BTEX), PAHs, compostos orgânicos voláteis e semi-voláteis, halogenados e não halogenados e diversos metais pesados.

Pode-se concluir que há claras variações na concentração dos poluentes entre as amostragens, embora sem diminuição global da poluição, e que os locais mais afectados se mantêm os mesmos na última década, mostrando a aparente estagnação da pluma de hidrocarbonetos.

A quase ausência de contaminantes fora do perímetro da *South Tank Farm* confirma que a pluma de LNAPL se encontra relativamente imóvel.

Além dos locais amostrados, os vários autores admitem a possibilidade de poderem existir fugas significativas (passadas e/ou presentes) localizadas noutras áreas desta estrutura.

Não se exclui totalmente a possibilidade de poder ocorrer contaminação do aquífero de base por migração directa dos contaminantes ou a partir da drenância de pequenos níveis superficiais de águas subterrâneas. Contudo, os dados históricos apontam para uma contenção física do problema. Por outro lado, a distância a furos de captação para abastecimento (Juncal) é superior a 1 km e o sentido preferencial do escoamento dá-se para SE, conforme o modelo apresentado no Capítulo 5, impedindo a chegada natural de poluentes a locais situados a montante.

6.3.2 Furos e piezómetros LNEC_Aqualis e restante conjunto de furos no aquífero basal

O trabalho desenvolvido previu a instalação de um conjunto de furos e de piezómetros que permitissem analisar, de forma mais detalhada, as características hidrogeológicas (através de ensaios de caudal) e a qualidade química das águas subterrâneas (através de análises químicas) do aquífero profundo, onde são captadas todas as águas para abastecimento público.

As infra-estruturas instaladas compreendem seis furos no aquífero basal e dez piezómetros, sete dos quais no aquífero basal e os restantes em aquíferos suspensos localizados durante as perfurações.

O processo de instalação dos piezómetros permitiu caracterizar pormenorizadamente as formações geológicas atravessadas (cf. Novo, 2010) e serviu ainda para medir os rebaixamentos provocados pelos ensaios de caudal e para efectuar recolhas de amostras a profundidades diferentes das dos furos.

O objectivo principal da construção destas novas infra-estruturas foi caracterizar o estado de qualidade das águas subterrâneas através de informação recolhida entre as duas principais áreas contaminadas, e.g. junto à porta de Armas, e os furos de captação da CMPV.

A recolha de amostras de água para análise química foi realizada em diversos períodos entre Maio e Dezembro de 2010 (Quadro 5). As recolhas efectuadas nos furos (FB) visaram obter uma amostra representativa da água do furo, pelo que foram sempre efectuadas no final dos ensaios de caudal. Nos furos FB3 e FB5 foi ainda realizada uma segunda análise a profundidades específicas (no princípio e no fim da coluna de água), de forma a avaliar eventuais diferenças. Nos piezómetros também houve, em diversos casos, mais do que uma recolha, conforme se pode observar no Quadro 5.

Os resultados das análises químicas são apresentados no Quadro 11.

71

INQ - Normas de Qualidade, Anexo I da DAS, DL 208/2008 LQ - Limiar de Qualidade, Anexo II e VII da DAS, DL 208/2008 (definido em INAG, 2009) VP - Valor Paramétrico, DL 306/2007 Qualidade da água destinada ao consumo humano Canada - Standards in a Potable Groundwater Condition (Table 2)	A vermelho estão as concentrações acima do valor definido A castanho estão os valores de hidr carbonatos acima do limite de deteção
--	---

Os resultados obtidos permitem confirmar que se tratam de águas com a fácies hidroquímica do aquífero basal (Fig. 40), de características cloretada-sódica. Os dados recolhidos após ensaio de caudal (furos LNEC_Aqualis) são representativos, enquanto que as amostras pontuais recolhidas nos piezómetros apresentam ligeiras variações da sua fácies. Regista-se, ainda, que o ponto FB6 apresenta valores de cloretos muito inferiores aos restantes furos do basal, eventualmente por infiltração directa da água das chuvas pela falha de Santiago, onde se pensa localizarem os ralos.

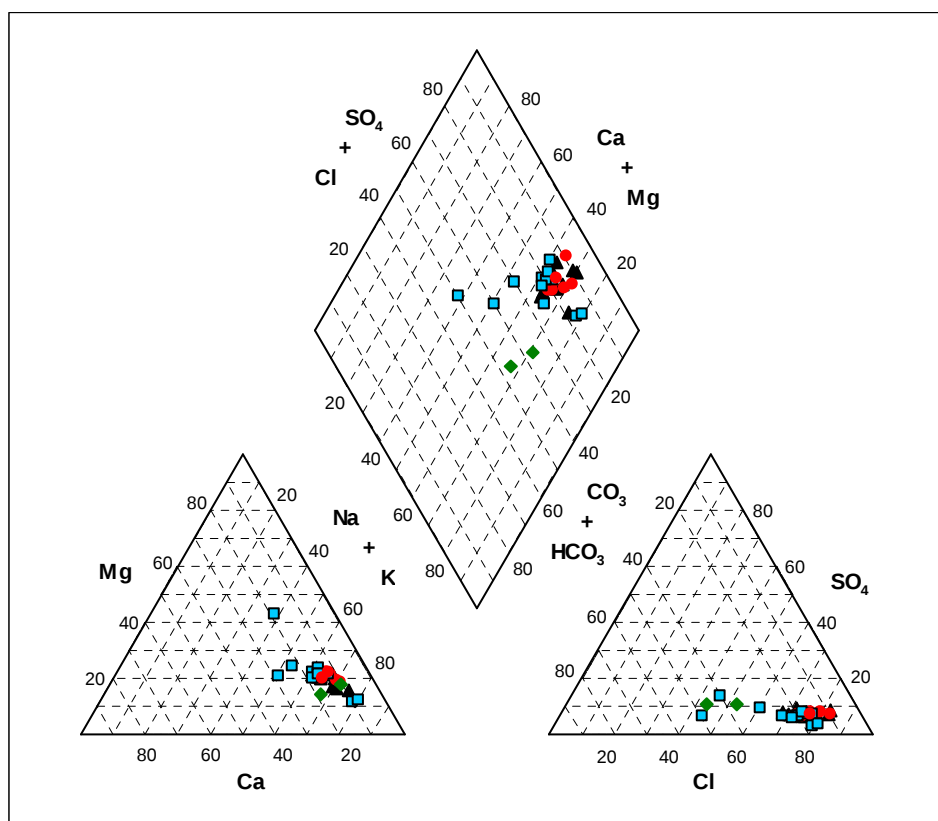


Fig. 40 – Diagrama de Piper das águas do aquífero basal: furos da CMPV (triângulo preto); furos LNEC_Aqualis (bola vermelha); piezómetros LNEC_Aqualis (quadrado preto e azul) e FB6 e FP6 (losango verde)

Relativamente à análise efectuada para TPH, observa-se a sua presença em todos os piezómetros em, pelo menos, uma ocasião (Fig. 41), embora em concentrações muito abaixo do limite standard de 0,75 microg/L. É provável que a presença de TPH nos piezómetros se deva às massas utilizadas para as uniões das varas ou óleos lubrificantes, pois embora todo o processo de instalação de piezómetros se tenha procurando minimizar a introdução de quaisquer substâncias desta natureza, tendo sido usadas espumas biodegradáveis, tal nunca é totalmente evitável. Também no sentido dessa interpretação estão os resultados das recolhas efectuadas em Setembro nos pontos FB3 e FB5, a profundidades determinadas e não no final dos ensaios de bombagem (cuj turbulência poderia ser a causa da ausência de TPH), que não mostram a presença de hidrocarbonetos. Os resultados das análises químicas dos furos deveriam ser idênticos aos dos piezómetros FP3 e FP5, cujos ralos estão posicionados em cotas idênticas, pelo que o facto de não o serem mostra uma contaminação muito residual, de

pequena extensão e pontual no tempo de TPH nos piezómetros. De qualquer forma serão necessárias outras análises para confirmar a qualidade das águas.

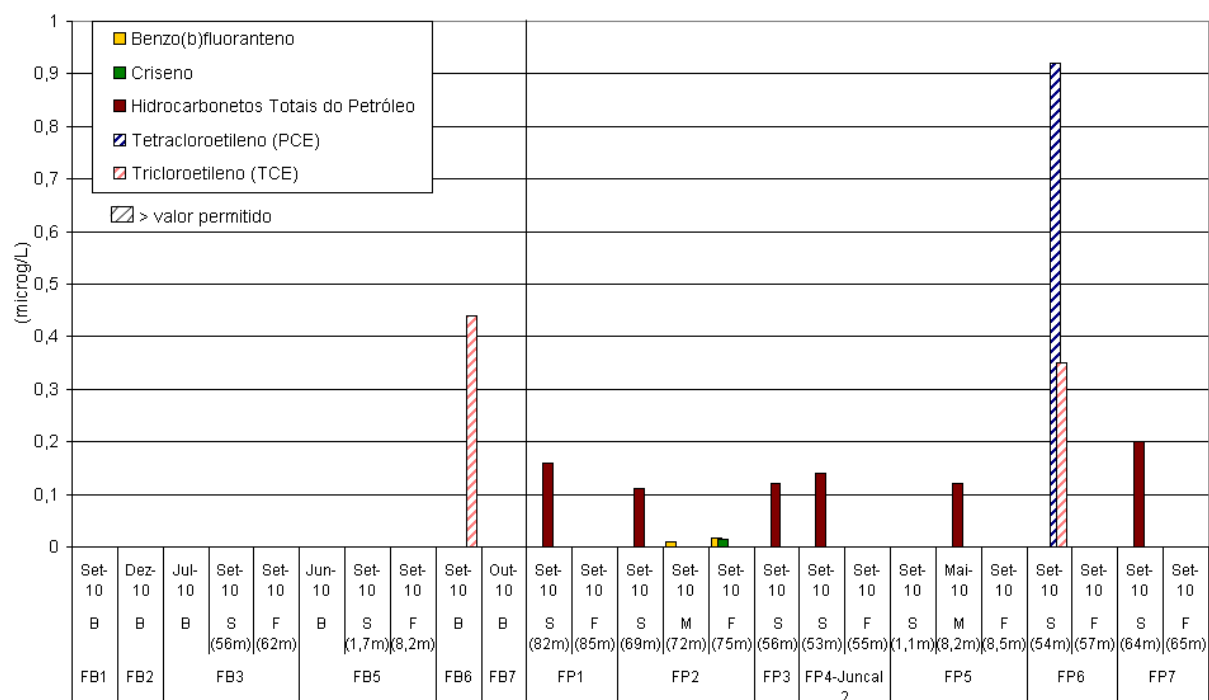


Fig. 41 – Concentração em hidrocarbonetos nos furos e nos piezómetros LNEC_Aqualis

Outro aspecto a salientar da análise da Fig. 41 é a diferença observada entre as amostras recolhidas nos furos (FBs) após os ensaios de caudal (referidas na figura como B, de amostragem por bombagem) e as obtidas através de recolha com amostrador nos piezómetros. Como seria de esperar, as primeiras, com excepção do furo FB6, não apresentam valores acima dos limites de detecção dado que o processo de amostragem causará a volatilização dos eventuais hidrocarbonetos presentes. Para identificar a presença de eventuais poluentes foi, igualmente, efectuada uma recolha sem perturbação e a uma profundidade pré-determinada nos piezómetros. Assim, a recolha dos elementos mais densos do que a água (DNAPL) foi efectuada em amostras recolhidas junto ao fundo do piezómetro (fundo - F) e a dos menos densos do que a água (LNAPL) ao nível piezométrico e coluna de água imediatamente subjacente (superfície - S). Observa-se na figura uma clara diferença entre os resultados dessas duas amostras (S e F). Efectivamente, em muitos piezómetros (FP1, FP3, FP4, FP6 e FP6) apenas se observa a presença de hidrocarbonetos do petróleo nas amostras recolhidas à superfície da água, o que revela a presença de hidrocarbonetos LNAPL. Contudo, no FP5 e FP2 também foram encontrados outros hidrocarbonetos nas amostras de fundo.

Do conjunto de resultados obtidos é a zona 6, FB6 e FP6, a que apresenta valores acima do standard definido, para os elementos tetracloroetileno (PCE) e tricloroetileno (TCE). É possível que esta qualidade deficiente provenha de contaminação da superfície (facilitada pela presença da falha de Santiago) uma vez que se observa a presença de diversos hidrocarbonetos nos piezómetros construídos nos aquíferos suspensos daquela região (S6A e S6B), como se refere em detalhe na secção 6.2.1.

6.3.3 Síntese da informação do aquífero basal

Na Fig. 42 apresentam-se os diversos hidrocarbonetos encontrados em todos os pontos a captar no aquífero basal, de forma a ter uma análise de conjunto da qualidade da água.

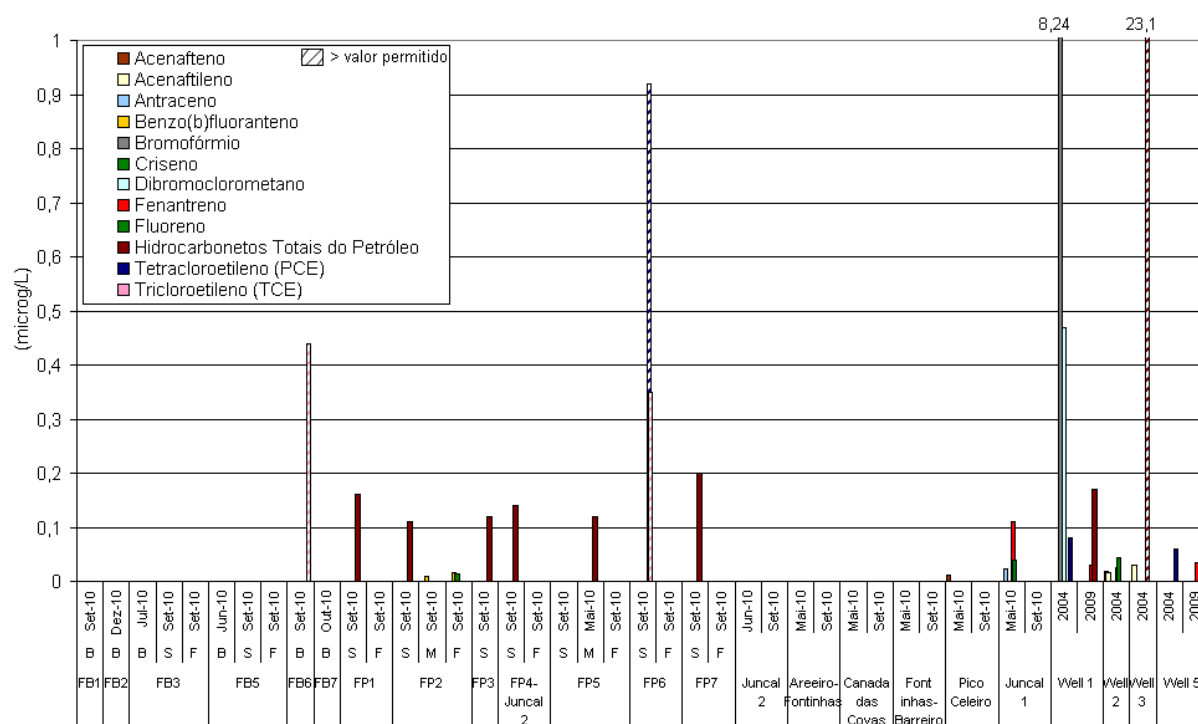


Fig. 42 – Concentração em hidrocarbonetos nos furos e nos piezómetros do aquífero basal

É possível observar a presença de diversos hidrocarbonetos em vários pontos de análise, embora a sua presença não seja constante nos diferentes períodos de monitorização. São, ainda, muito raros os casos em que as concentrações excedem os limiares utilizados, o que não deixa de confirmar o fenómeno de migração de poluentes da superfície para pontos de água captando o aquífero basal que importa também continuar a monitorizar no futuro.

Em relação aos restantes elementos químicos sobre o estado geral de qualidade das águas do aquífero basal, observa-se que a questão da concentração elevada em cloreto de sódio é um dos aspectos mais generalizados. É clara a influência da maré em todos os furos profundos da ilha (Secção 0), o que não implica a existência de intrusão marinha. Esta pode, sim, ser potenciada no caso de furos cujos ralos captem a água salobra existente sob a lenticula de água doce ou no caso de rebaixamento por captação excessiva de água.

Um outro elemento que ocorre em concentrações por vezes elevadas, embora não excedendo a norma de qualidade, é o ião nitrato. A sua presença no aquífero profundo revela também a influência da ocupação do solo, bem como a utilização indevida dos poços tradicionais como fossas sépticas que se regista na Ilha.

Além dos elementos maiores acima referidos há um conjunto de metais pesados que foram analisados e que apresentam por vezes concentrações acima do valor standard. Refere-se o caso do alumínio, crómio, cobalto, ferro, chumbo, manganés, molibdénio, níquel, prata e vanádio. A presença de quase todos estes elementos pode dever-se ao próprio meio geológico por onde circulam e não a processos de poluição. Efectivamente, apesar de a maioria destes

mesmos elementos se encontrar acima dos valores standard nas águas de áreas poluídas (e.g. *South Tank Farm*), podendo por isso ser uma potencial origem de poluição, a realidade é que boa parte dos seus valores são da mesma ordem de grandeza que os das áreas não afectadas (cf. Quadro 12). Constitui excepção a presença de alumínio, ferro, chumbo e manganês, cujas concentrações maiores se encontram nas áreas poluídas (cf. Quadro 10 e Quadro 12).

Quadro 12 – Valores médios, medianos, máximos e acima da norma (em mg/L) para metais pesados em águas do aquífero basal

Metal pesado	Norma		Média		Mediana		Máximo		N.º ocorrências acima da norma	
	Origem	Valor	AB	STF	AB	STF	AB	STF	AB (em 37 análises)	STF (em 17 análises)
Alumínio - Al	VP	0,2	0,29	1,25	0,12	0,64	0,72	4,35	6	7
Crómio - Cr	VP	0,05	0,100	0,144	0,0032	<0,001	0,798	0,798	4	2
Cobalto - Co	Canadá	0,0038	0,007	0,005	<0,002	0,003	0,012	0,012	2	3
Ferro - Fe	VP	0,2	0,798	9,095	0,07175	2,250	6,62	46,60	9	10
Chumbo - Pb	LQ	0,01	<0,005	0,029	<0,005	0,009	<0,005	0,112	0	6
Manganês - Mn	VP	0,05	0,210	1,9	0,0060	1,4200	2,1	5,53	7	11
Molibdeno - Mo	Canadá	0,07	0,013	0,020	0,0030	0,0036	0,126	0,126	1	1
Níquel - Ni	VP	0,02	0,116	0,120	0,0102	0,0024	0,616	0,616	8	3
Prata - Ag	Canadá	0,0015	0,004	< l.d.	<0,001	<0,001	0,0038	<0,001	1	0
Vanádio - V	Canadá	0,0062	0,010	0,007	0,0106	0,0030	0,0166	0,017	25	5

Legenda:

STF – *South Tank Farm*

AB – Outras análises no aquífero basal

LQ - Limiar de Qualidade, Anexo II e VII da DAS, DL 208/2008 (definido em INAG, 2009)

VP - Valor Paramétrico, DL 306/2007 Qualidade da água destinada ao consumo humano

Canadá - *Standards in a Potable Groundwater Condition (Table 2)*

Importa, pois, que durante a elaboração do Plano de Gestão das Bacias Hidrográficas dos Açores esta temática seja aprofundada no sentido de se definir a Concentração de Fundo Geoquímico destas águas, *i.e.* a *concentração de uma substância ou o valor de um indicador numa massa de água subterrânea correspondente à ausência de modificações antropogénicas*, de forma a que os "limiares de qualidade" que possam vir a ser definidos tendo em consideração a realidade hidrogeoquímica da Ilha. **Do conjunto metais pesados referidos no Quadro 12 apenas o Pb tem limiar de qualidade definido em INAG (2009) podendo ser necessário prever uma situação de excepção para este e outros elementos, para algumas massas de água da Ilha.**

O potássio e o magnésio apresentam uma clara influência da água do mar, como se pode verificar nas Fig. 45 e Fig. 46.

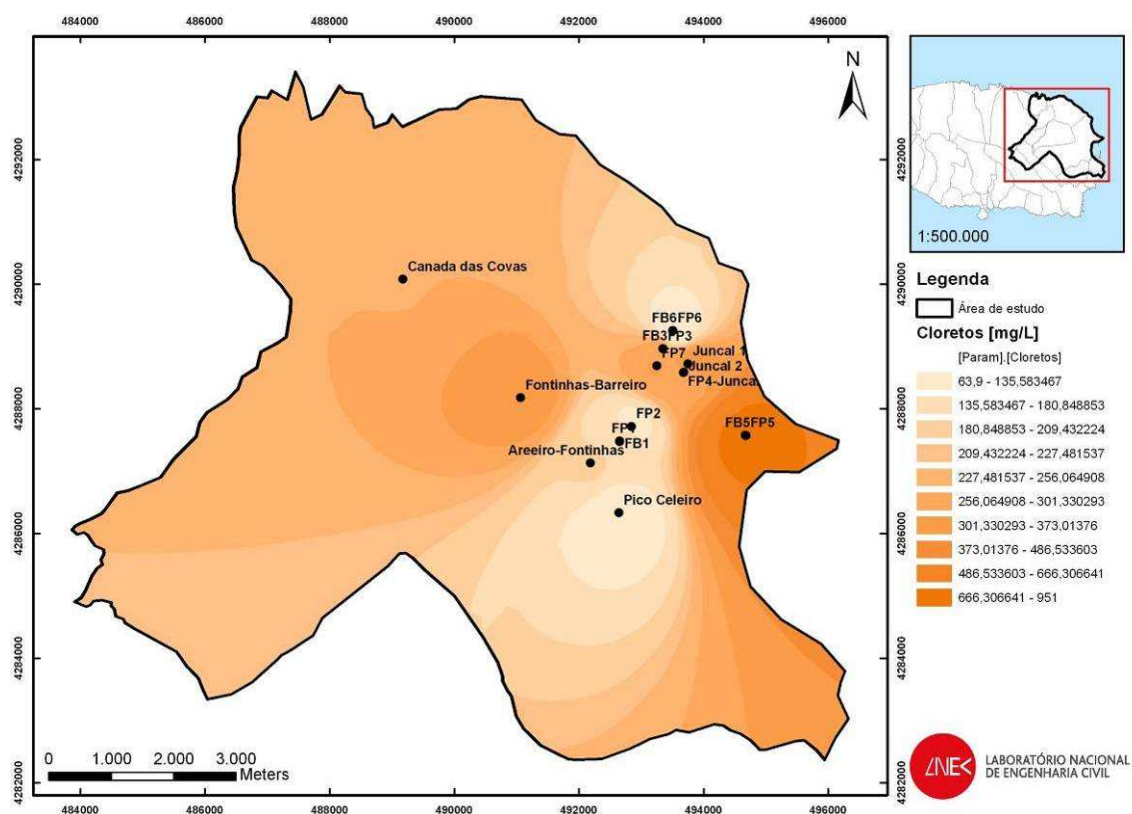


Fig. 43 – Distribuição de cloretos nas águas subterrâneas do aquífero basal

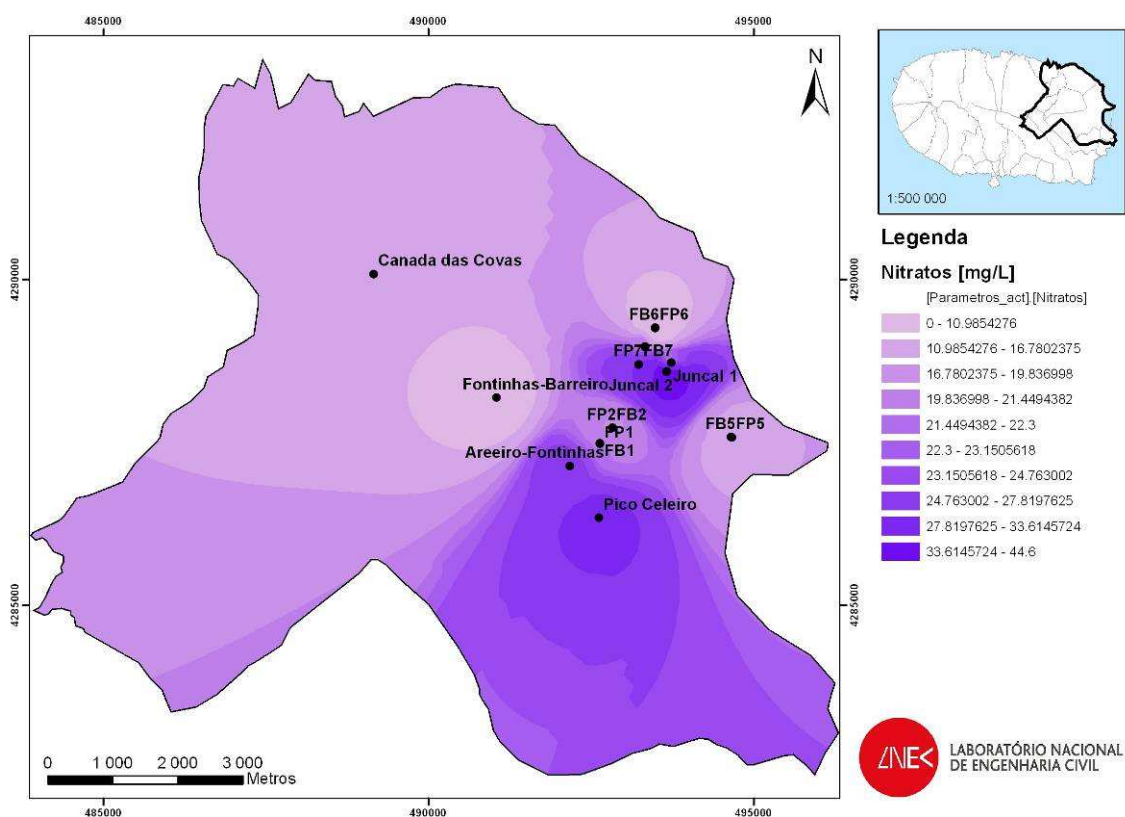


Fig. 44 – Distribuição de nitratos nas águas subterrâneas do aquífero basal

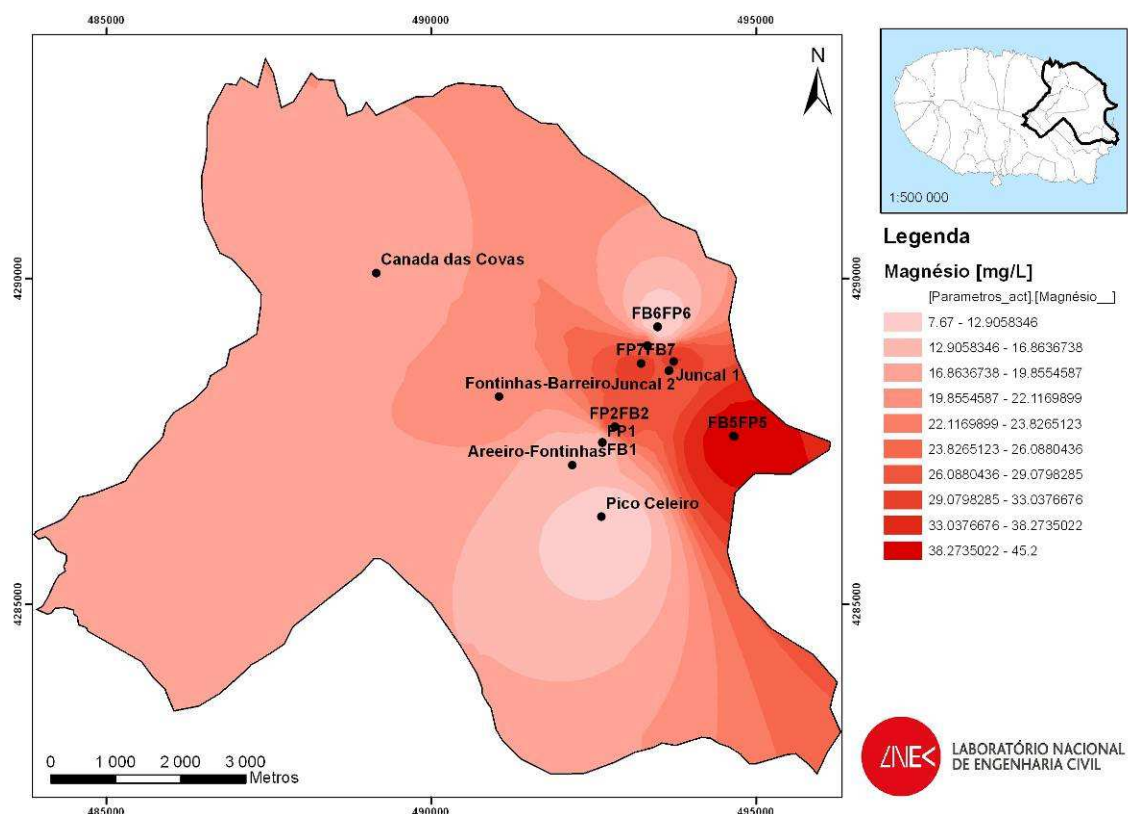


Fig. 45 – Distribuição de magnésio nas águas subterrâneas do aquífero basal

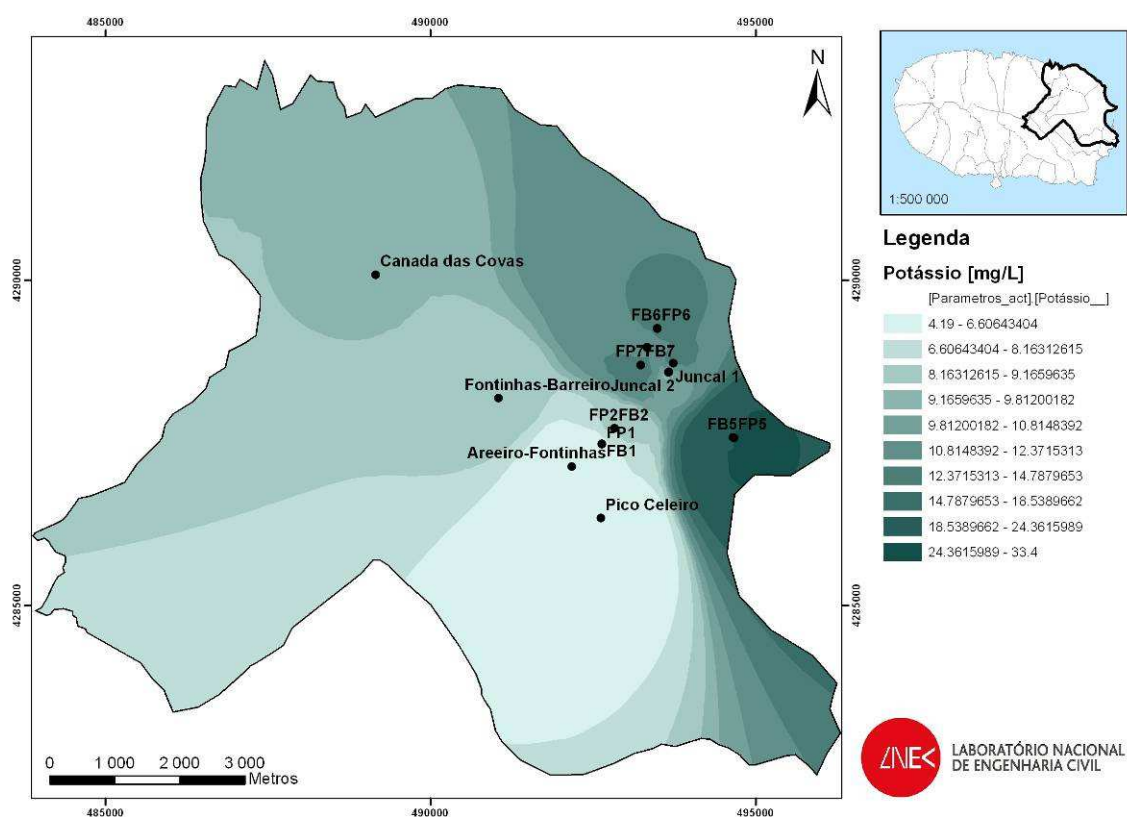


Fig. 46 – Distribuição de potássio nas águas subterrâneas do aquífero basal

7. Síntese, Conclusões e Recomendações

No Relatório intitulado "Análise e Parecer Sobre a Situação Ambiental nas Áreas de Captação dos Furos de Abastecimento do Concelho de Praia da Vitória – Açores - Relatório Final da Avaliação das Águas Subterrâneas", (Lobo-Ferreira *et al.*, 2010), cuja síntese se apresenta no presente documento, apresentaram-se os trabalhos desenvolvidos e as conclusões obtidas relativamente ao estado actual da qualidade e da quantidade das águas subterrâneas e perspectivas de evolução futura, face ao objectivo principal do Estudo, *i.e.* a "avaliação ambiental da qualidade dos recursos hídricos subterrâneos ao longo de toda a área do concelho de Praia da Vitória onde existam captações que estejam a ser ou possam vir a estar afectadas por situações de poluição associadas às infra-estruturas da Base das Lajes".

Com vista a se atingir este objectivo, os trabalhos foram abrangentes, incluindo componentes de âmbito diverso que auxiliaram a enquadrar a avaliação ambiental da qualidade dos recursos hídricos subterrâneos da área em estudo, nomeadamente através da análise do clima, da orografia, da hidrogeologia, dos focos de poluição na área de estudo, da vulnerabilidade dos aquíferos à poluição, da qualidade dos solos, da caracterização geofísica e, finalmente, da qualidade das águas subterrâneas e da modelação do escoamento.

Os **trabalhos desenvolvidos** tiveram por base uma aprofundada análise da área de estudo, efectuada nomeadamente através de:

- Prospekção geofísica (pelo método da resistividade eléctrica) com a realização de 40 perfis em 32 alinhamentos, cujo objectivo foi auxiliar à localização das zonas poluídas associadas às estruturas de apoio à actividade da Base das Lajes, identificar eventuais zonas impermeáveis em falhas e melhor orientar a selecção dos locais a perfurar.
- Instalação de novas infra-estruturas: seis furos e sete piezómetros no aquífero basal; oito piezómetros em formações hidrogeológicas suspensas, localizadas durante as perfurações ou sondagens. O objectivo foi caracterizar a litologia/geologia/hidrogeologia regional, permitir efectuar os ensaios de caudal e facultar a monitorização quantitativa e qualitativa das águas subterrâneas.
- Realização de sete ensaios de caudal no aquífero profundo, visando determinar as propriedades hidráulicas do aquífero basal.
- Medição de níveis piezométricos em cerca de 60 pontos de água, manualmente e com sondas de registo contínuo, com o objectivo de caracterizar os sentidos do escoamento subterrâneo e analisar os efeitos de maré no aquífero basal.
- Análises *on site* e laboratoriais em 14 sondagens para recolha de amostras de solos a diferentes profundidades.
- Monitorização *in situ* e recolha de cerca de 90 amostras de água em 54 pontos de água, em diversos períodos e a diferentes profundidades, para realização de 11 610 análises químicas.

A análise do conjunto de informação acima referido, bem como o seu processamento e integração no modelo numérico de escoamento, permitiu retirar as seguintes **conclusões**:

- O **modelo hidrogeológico conceptual** simplificado da região em estudo pode ser definido por (1) um nível superior (designado por formações hidrogeológicas suspensas) composto por (a) formações hidrogeológicas superficiais e (b) formações hidrogeológicas intermédias e (2) um sistema aquífero de base.
 - As duas primeiras formações resultam da ocorrência de níveis sub-horizontais de baixa permeabilidade, intercalados nas formações vulcânicas, que funcionam basicamente como aquíferos, tendo extensão suficiente para permitir a retenção de águas no corpo hidrogeológico. Origina-se deste modo um conjunto de várias unidades hidrogeológicas descontínuas, a diferentes profundidades cujo padrão de escoamento geral pode ser visto na Fig. 16.
 - O sistema aquífero de base é livre na área de Estudo monitorizada pelo LNEC. Na zona costeira alimenta um conjunto de nascentes litorais (e exsurgências submarinas). É um aquífero fracturado, de produtividades médias a elevadas, com alguma variabilidade espacial dependente das características hidrogeológicas, cujo padrão de escoamento geral pode ser visto na Fig. 25.
- Estes dois níveis estão em contacto hidráulico através de drenância, tendo sido considerado um valor de recarga do aquífero basal que se situa entre os 15 % e os 20 % da recarga dos aquíferos superficiais (cf. Fig. 7 e Fig. 8). A maior ou menor interligação entre estes dois sistemas depende, também, do grau de fracturação e de alteração local.
- Confirma-se a presença de **áreas restritas declaradas como poluídas** destacando-se as dos perímetros de *South Tank Farm* (DISCO Site 5001) e junto à Porta de Armas (DISCO Site 3001).
 - Os compostos encontrados em ambas as áreas incluem hidrocarbonetos aromáticos (BTEX), PAHs, compostos orgânicos voláteis e semi-voláteis, halogenados e não halogenados e metais pesados.
 - Na *South Tank Farm* os locais mais afectados mantêm-se os mesmos na última década, mostrando uma aparente estagnação da pluma de hidrocarbonetos, apesar de haver variações na concentração dos poluentes entre as amostragens.
 - Fora, e a jusante, do perímetro da *South Tank Farm* regista-se uma quase ausência de contaminantes, o que confirma que a pluma de hidrocarbonetos se encontra relativamente imóvel.
 - Nesta área não se exclui totalmente a possibilidade de poder ocorrer contaminação do aquífero de base por migração directa dos contaminantes. Contudo, os dados históricos apontam para uma contenção física do problema. Por outro lado, a distância a furos de captação para abastecimento (Juncal) é superior a 1 km e o sentido preferencial do escoamento dá-se para SE, conforme o modelo apresentado no Capítulo 5 (Fig. 25), impedindo a chegada natural de poluentes a locais situados a montante.

- o Nos piezómetros junto à Porta de Armas há bastante heterogeneidade de concentrações entre as amostras realizadas em diferentes períodos e, também, a diferentes profundidades.
- o Neste DISCO Site 3001 referem-se, pelo menos, duas plumas separadas de hidrocarbonetos cujas concentrações estão acima dos valores permitidos.
- o Nas formações suspensas fora desse perímetro (o sentido do escoamento subterrâneo processa-se, essencialmente, para SSE) observam-se concentrações de hidrocarbonetos, e.g. piezómetro FP3A, embora não excedam os limites standard definidos.
- No aquífero de base, **a água de abastecimento público apresenta boa qualidade**, sendo o cloreto e, raramente, o sódio os dois parâmetros a apresentar concentrações acima dos valores standard utilizados. Não se observa a presença de hidrocarbonetos acima dos valores de água potável, estando a maioria das análises abaixo os limites de detecção utilizados.
- Noutros pontos do aquífero de base com amostragem a níveis constantes:
 - o Foi possível observar a presença de hidrocarbonetos em vários pontos de análise, embora a sua presença não tenha sido confirmada para diferentes períodos de monitorização.
 - o Foram muito raros os casos em que as concentrações medidas excederam os limiares utilizados (apenas o caso do FP6 e FB6, note-se que furo FB6 não traduz o comportamento do aquífero basal), o que não deixa de corroborar a hipótese de um fenómeno de migração de poluentes da superfície para pontos de água captando o aquífero basal.
- Em relação aos restantes elementos químicos sobre o estado geral de qualidade das águas do aquífero basal, observa-se uma influência da maré em todos os furos profundos da ilha, o que não implica a existência de intrusão marinha. Esta pode, sim, ser potenciada no caso de furos cujos ralos captem a água salobra existente sob a lentícula de água doce ou no caso de rebaixamento por captação excessiva de água.
- Um outro elemento que ocorre em concentrações por vezes elevadas, embora não excedendo a norma de qualidade, é o ião nitrato. A sua presença no aquífero profundo revela também a influência da ocupação do solo, bem como a utilização indevida dos poços tradicionais como fossas sépticas que se regista na Ilha.
- Além dos elementos maiores acima referidos há um conjunto de metais pesados que foram analisados e que apresentam por vezes concentrações acima do valor standard. Refere-se o caso do alumínio, crómio, cobalto, ferro, chumbo, manganés, molibdénio, níquel, prata e vanádio. A presença de quase todos estes elementos pode dever-se ao próprio meio geológico por onde circulam. Constitui excepção a presença de chumbo e manganés, cujas maiores concentrações se encontram nas áreas poluídas. Importa, pois, que durante a elaboração do Plano de Gestão das Bacias Hidrográficas dos

Açores esta temática seja aprofundada no sentido de se definir a Concentração de Fundo Geoquímico destas águas, *i.e.* a *concentração de uma substância ou o valor de um indicador numa massa de água subterrânea correspondente à ausência de modificações antropogénicas*, de forma a que os "limiares de qualidade" que possam vir a ser definidos tendo em consideração a realidade hidrogeoquímica da Ilha, podendo ser necessário prever uma situação de excepção para alguns elementos.

- O estudo realizado para análise da **qualidade dos solos** por Jorge (2010) (*cf.* Anexo 1 deste Relatório de Síntese) permite concluir:
 - Numa primeira aproximação, que não existe uma situação de contaminação de solos por compostos orgânicos, nos locais interessados, apesar de se ter encontrado na sondagem S5A/S5B um aspecto oleoso na água superficial do local (solo alagado) e de se terem medido *on site* valores de VOCs de 10,5 ppm. Quanto ao índice fenol, várias amostras apresentaram valores acima do limite de 0,5 mg.kg⁻¹.
 - Quanto aos metais, verificou-se um conjunto de elementos que apareceram em grande parte das amostras de solos analisadas em laboratório, essencialmente acima dos critérios da USEPA, como sejam: As, Co, Fe, Mn e V. Nenhum destes elementos ultrapassaram os valores limites da Legislação da Holanda e só para o Co e V há valores superiores aos limites impostos pela Legislação de Ontário (Jorge, 2010).
- **Os estudos geofísicos** realizados por Mota e Novo (2010) para a análise dos modelos de resistividade eléctrica (*cf.* Anexo 2 deste Relatório de Síntese) permitiram identificar:
 - Descontinuidades geofísicas que possuem correspondência espacial com descontinuidades geológicas anteriormente assinaladas (Carta Vulcanológica da Ilha Terceira (1/200 000), Lloyd e Collis (1981), Rodrigues (1993, 2002)), nomeadamente a falha de Santiago e a falha do Areeiro. Foi ainda possível identificar locais potencialmente contaminados por hidrocarbonetos. Estes locais presumivelmente contaminados são:
 - Local dos tanques enterrados no Pico Celeiro;
 - Área de implantação do Cinder Pit pipeline e no antigo local de armazenamento de combustível no Bairro da Joaquina;
 - Zona do Posto 1 (Main Gate);
 - Local do antigo Pier 7;
 - Saída da descarga de águas pluviais a norte da Base Aérea (North Storm Sewer).
 - A partir dos modelos de resistividade eléctrica apenas foi possível identificar eventuais níveis impermeáveis discretos que impeçam a difusão vertical de

água e, conseqüentemente, eventuais contaminações provenientes da superfície.

Atendendo às conclusões apresentadas propõe-se um conjunto de **recomendações** tendo em vista a protecção dos recursos hídricos subterrâneos da área de estudo, em especial do aquífero basal de vulnerabilidade intermédia que serve para abastecimento doméstico:

- A definição de medidas de reforço das infra-estruturas de armazenamento e/ou transporte de produtos perigosos, nomeadamente de combustíveis, na Base das Lajes de forma a evitar novos derrames, atendendo também à questão da sua estabilidade face à sismicidade da Ilha.
- A articulação de um programa de acções com a Base Americana no sentido de serem tomadas medidas de contenção e de reabilitação das áreas reconhecidas como poluídas, programa esse que deverá ser acompanhado por técnicos portugueses.
- A manutenção de um programa de controlo da qualidade da água através da monitorização semestral nos novos furos e piezómetros instalados, bem como para os furos da CMPV, para o conjunto de parâmetros cujas concentrações se encontram acima dos limites de detecção, tendo em vista acompanhar a evolução da situação. Este programa deverá:
 - ser reajustado face aos resultados, designadamente na componente relativa aos metais pesados e hidrocarbonetos;
 - ser complementar e estar em estreita articulação com os trabalhos desenvolvidos e as análises efectuadas pela Base Americana dentro dos perímetros militares poluídos, para os piezómetros nas formações hidrogeológicas suspensas.
- O uso de isótopos para datação de águas e análise da idade de recarga.
- O aprofundamento do estudo da recarga, por análise da variação do nível piezométrico designadamente através do uso de sondas instaladas a diferentes níveis hidrogeológicos, por períodos mais longos e noutras áreas da Ilha.
- A análise da espessura da lentícula de água doce sobrenadante à água salgada no interior da ilha, nos furos da CMPV, em situação de não bombagem.
- A realização de estudos complementares em áreas ainda não contempladas que se localizem a jusante de potenciais focos de poluição, nomeadamente da Cova das Cinzas; neste Estudo essa análise foi parcialmente efectuada mas não incluiu as áreas a montante dos furos de captação da Base Aérea Americana.

Importa, por fim, referir que o conhecimento agora adquirido não esgota a caracterização de todas as áreas potencialmente afectadas por poluição. Com base nos recursos financeiros disponíveis, procurou-se centrar e aprofundar o conhecimento nas áreas a montante dos furos de abastecimento e a jusante dos principais focos de poluição relacionados com a actividade

da Base das Lajes identificados. Os resultados da prospecção geofísica apontam outras áreas, possivelmente de menor importância e expressão, que deverão ser alvo de novos estudos.

Como **conclusão global** refere-se que, pese embora a caracterização do estado ambiental das áreas analisadas ter confirmado a presença de áreas poluídas na região estudada, apenas se mediu uma situação de concentração de poluentes acima dos valores permitidos em furos e/ou piezómetros que captam no aquífero basal. Tal já havia sido identificado nalguns furos de abastecimento da Base Americana. Note-se, contudo, que a simples presença em diversos pontos de água de concentrações acima dos limites de detecção é um indício de uma potencial situação de risco que importa continuar a monitorizar no futuro. Nesse processo, as origens de poluição devem ser controladas e o processo de reabilitação, natural e/ou induzido, das áreas restritas afectadas deve ser posto em marcha pela Força Aérea Americana, sob supervisão do Estado Português, predispondo-se o LNEC a colaborar num futuro estudo para a proposta de medidas de mitigação e de recuperação apropriadas.

Autorias e Vistos³:

Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil

Dezembro de 2010

VISTOS



J.P. Cárcamo Lobo Ferreira
Chefe do Núcleo de Águas Subterrâneas



Rafaela de Saldanha Matos
Directora do Departamento de Hidráulica e Ambiente

AUTORIAS



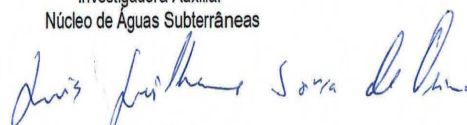
J.P. Cárcamo Lobo Ferreira
Dr.-Ing. Habil. em Engenharia Civil
Investigador-Coordenador
Núcleo de Águas Subterrâneas



Teresa E. Leitão
Doutora em Hidrogeologia
Investigadora Principal com Habilitação
Núcleo de Águas Subterrâneas



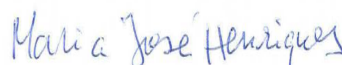
Maria Emília Novo
Geóloga, Doutora em Engenharia do Ambiente
Investigadora Auxiliar
Núcleo de Águas Subterrâneas



Luís S. Oliveira
Eng. do Ambiente e Mestre pelo IST
Bolseiro
Núcleo de Águas Subterrâneas



Manuel Mendes Oliveira
Doutor em Hidrogeologia
Investigador Auxiliar
Núcleo de Águas Subterrâneas



Maria José Henriques
Geóloga
Técnica Superior
Núcleo de Águas Subterrâneas



Tiago Martins
Geólogo
Bolseiro
Núcleo de Águas Subterrâneas

³ Autorias e Vistos do Relatório Final da Avaliação das Águas Subterrâneas, intitulado "Análise e Parecer Sobre a Situação Ambiental nas Áreas de Captação dos Furos de Abastecimento do Concelho de Praia da Vitória – Açores - Relatório Final da Avaliação das Águas Subterrâneas", (Lobo-Ferreira *et al.*, 2010), cuja síntese se apresenta no presente documento.

Bibliografia consultada

AGOSTINHO, J., 1942 – O Clima nos Açores no Quadro dos Climas Mundiais. Açoriana, Voo. 3, Fase 1, pp. 49-73.

ALLEN & HOSHALL, 1990 – Report on the Delivery Order F61040-89-D0002, Project MQNA 88-1012. Allen & Hoshall, Engineers, Architects, Consultants. Memphis, Tennessee.

ALLER, L., BENETT, T., LEHER, J.H., HACKETT, G., 1987 – DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeological Settings. U.S. Environmental Protection Agency, pp. 622.

ALLOWAY, B., 1990 - Heavy Metals in Soils. Londres, Blackie e John Wiley & Sons, 1990, 339 p.

AMEC, 2009 - Site Characterization Selected Sites at Lajes Field Project N.º 775290045: LAJES FIELD. *Diversos documentos soltos recebidos por email.*

ANDERSEN, E., 1982 – Geothermal Prospection – Ilha Terceira, Açores. Geophysics Survey Report. Ponta Delgada, Secretaria Regional do Comércio e Indústria.

AQUALIS, 2010 – Instalação de Furos e Piezómetros no Concelho de Praia da Vitória, Ilha Terceira – Açores. Aqualis L^{da}.

AZEVEDO, E.B., 1996 – Modelação do Clima Insular à Escala Local (Modelo CIELO). Universidade dos Açores, Departamento de Ciências Agrárias, Tese de Doutoramento, pp. 246.

BATHE ASSOCIATES, 2006 – Risk Assessment of Priority Sites, Lajes Field, Azores, Portugal. May, 2006

BETTENCOURT, M.L., 1977 – O Clima dos Açores como Recurso Natural, Especialmente em Agricultura e Indústria do Turismo. In “O Clima de Portugal”, Fasc. XVIII, INMG.

BHATE ASSOCIATES, 2008 – Risk Assessment Summary of Findings for Sites 5001 (*South Tank Farm*), 3001 (Main Gate Area) and Data Gap Sampling at Lajes Field, Azores, Portugal. 2008.

CH2M HILL, 2004 – Data Summary Report on Groundwater Sampling at Lajes Field, Azores, Portugal – October 2004.

CH2M HILL, 2004 a) – Discovery of Suspected and Contaminated Sites Study (DISCO-Study), Lajes Field, Azores, Portugal.

CH2M HILL, 2005 – Data Summary Report. Limited Soil Investigation at the Fire Training Pit and Main Gate/5 Hydrants Area at Lajes Field, Azores, Portugal. October 2005.

CLEARY, C., KACHEK, D., LIEFER, T. e ZRUBA, R., 1997 – Environmental Survey for 3 sites. Lajes Field, Azores, Portugal, Final Report. April 2007, 76 pp.

CUSTÓDIO, E., 1978 – Hidrogeología de las Rocas Volcánicas. III Congreso Internacional de Águas Subterrâneas. Palermo. UNESCO – EAS-A.I.H., pp. 33 – 69.

DRAOTRH, 2001 – Plano Regional da Água. Relatório Técnico. Versão para Consulta Pública. Região Autónoma dos Açores, Ponta Delgada, pp. 414.

IT Corporation, 1995 – Site Investigation Report, Main Gate Area, October, 1995.

JORGE, C., 2010 - "Avaliação da Caracterização da Contaminação de Solos Junto a Potenciais Focos de Poluição". Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Relatório 386/2010 – NGEA, 244 pp.

LEITÃO, T.L., JORGE, C., NOVO, M.E., LOBO FERREIRA, J.P., OLIVEIRA, M.M., 2009 - Especificações para a Instalação de Furos de Ensaio, de Piezómetros, de Sondagens de Amostragem e de Análises Químicas de Solos e Águas na Região do Graben das Lajes - Concelho de Praia da Vitória, Ilha Terceira, Açores. Relatório 225/2009-NAS, 46 pp.

LLOYD, E.F., COLLIS, S.K., 1981 – Geothermal Prospection – Ilha Terceira, Açores. Geological Report. Ponta Delgada, Secretaria Regional do Comércio e Indústria, pp. 96.

LOBO-FERREIRA, J.P., LEITÃO, T. E., NOVO, M.E., OLIVEIRA L. S., OLIVEIRA, M.M., HENRIQUES M. J. E MARTINS, T. 2010 - "Análise e Parecer Sobre a Situação Ambiental nas Áreas de Captação dos Furos de Abastecimento do Concelho de Praia da Vitória – Açores - Relatório Final da Avaliação das Águas Subterrâneas". Relatório 424/2010- NAS, 196 pp.

MACHADO, F., 1969 – Sobre a Tectónica do Atlântico Norte a Oeste de Portugal. Lisboa, Ciências Naturais, revista da Faculdade de Ciências de Lisboa.

MENDONÇA, J.L., 1993 – Condições Hidrogeológicas e Recursos Hídricos Subterrâneos do Arquipélago dos Açores. Angra do Heroísmo, Seminário "Recursos Hídricos e o Ambiente na Região Autónoma dos Açores".

MENEZES, J.G, 1993 – Hidrologia e Hidrogeologia da Ilha Terceira: Grandes Condicionantes. Angra do Heroísmo, Seminário "Recursos Hídricos e o Ambiente na Região Autónoma dos Açores", pp. 56.

MORAIS, J., 2010a - "Relatório de Ensaaios – Amostragem e Análise de Águas Subterrâneas". AmbiPar Control, L^{da}., 254 p.

MORAIS, J., 2010b - "Relatório de Ensaaios – Amostragem e Análise de Solos". AmbiPar Control, L^{da}., 88 p.

MORTON, B., BRITTON, J.C., FRIAS MARTINS, A. M., 1998 – "Ecologia Costeira dos Açores. Sociedade Afonso Chaves, São Miguel, Açores, Portugal". ISBN: 972-97774-1-1.

MOTA, R. e NOVO, M.E., 2010 - "Prospecção geofísica, pelo método da resistividade eléctrica, no Concelho de Praia da Vitória, Açores". Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Relatório 236/2010 – NGEA/NAS, 86 pp.

NOVO, M.E., 2010 - "Descrição Geológica Detalhada das Colunas Litológicas obtidas nas Carotes dos Novos Piezómetros", Laboratório Nacional de Engenharia Civil, NAS/DHA, 113 p.

NOVO, M.E., RODRIGUES, F.C., LOBO FERREIRA, J.P., AZEVEDO, E.B., 2001 – Desenvolvimento de um Inventário das Águas Subterrâneas dos Açores – Relatório Final – 3.º Ano, Fase 3. Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Relatório LNEC 239/01 - GIAS, pp. 640.

OLIVEIRA, L., LOBO FERREIRA, J.P., NOVO, M.E., 2010 – Análise e Parecer Sobre a Situação Ambiental nas Áreas de Captação dos Furos de Abastecimento do Concelho de Praia da Vitória – Açores: Relatório Preliminar de Modelação. Relatório LNEC, 63/2010-NAS, pp. 42, Lisboa, LNEC, Março, 2010.

OLIVEIRA, N.P., 2010 - "Realização de Sondagens para Recolha de Amostras de Solos e

Posterior Instalação de Piezómetros no Aquífero Superficial da Região do Graben das Lajes - Concelho de Praia da Vitória, Ilha Terceira – Açores". Direcção de Fundações e Geotecnia da Mota-Engil, 91 p.

RODRIGUES, F.C., 1993 – Hidrogeologia da Ilha Terceira: Contributo para o seu Conhecimento. Angra do Heroísmo, Universidade dos Açores, Departamento de Ciências Agrárias, Tese de Mestrado, pp. 139.

RODRIGUES, R., 1995 – Hidrogeologia de Ilha Vulcânicas. Angra do Heroísmo, Universidade dos Açores, Departamento de Ciências Agrárias, Tese para a obtenção do grau de Especialista, Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

RODRIGUES, R., 2002 – Hidrogeologia da Ilha Terceira (Açores-Portugal). Angra do Heroísmo, Universidade dos Açores, Departamento de Ciências Agrárias, Tese de Doutoramento.

SCHALLER, J., HANSEN, J., MOWEREY, H.A., NINGLEGEN, W., GÖLLINGER, F, 2005 – Hydrogeological Report Lajes Field, Azores, Portugal – Final. CH2M HILL, US AIR Forces in Europe. Fevereiro 2005.

SEARLE, R., 1974 – Tectonic Pattern of the Azores Spreading Centre and Triple Junction. Earth Planetary Science Letters, s.n., 51, pp. 415-434.

SELF, F., 1974 – Recent Volcanism of Terceira, Azores. Ph.D. Thesis, London, Imperial College of London.

SELF, F., GUNN, B., 1976 – Petrology, Volume and Age Relations of Alkaline and Saturated Peralkaline Volcanics from Terceira, Azores. Contributions on Mineralogy and Petrology, s.n., Vol. 54, Fasc. 4, pp. 293-313.

SELF, F., 1986 – The Recent Volcanology of Terceira, Azores. London, J. Geology, Vol. 32, pp. 645-666.

ZBYSZEWSKI, G., CÂNDIDO de MEDEIROS A., Ferreira, O. V., Assunção, T., 1971 – Notícia Explicativa da Carta Geológica de Portugal, Escala 1:50 000, Ilha Terceira (Açores). Lisboa, Serviços Geológicos de Portugal, pp. 43.

RELATÓRIO DE SÍNTESE - ANEXO 1:

Considerações Finais e Conclusões do Relatório de Caracterização da Contaminação de Solos Junto a Potenciais Focos de Poluição (Jorge, 2010)⁴

O estudo realizado permite concluir, numa primeira aproximação, que não existe uma situação de contaminação de solos por compostos orgânicos, nos locais interessados, apesar de se ter encontrado na sondagem S5A/S5B um aspecto oleoso na água superficial do local (solo alagado) e de se terem medido on site valores de VOCs de 10,5 ppm. Quanto ao índice fenol, várias amostras apresentaram valores acima do limite de 0,5 mg.kg⁻¹.

Quanto aos metais, verificou-se um conjunto de elementos que apareceram em grande parte das amostras sólidas analisadas em laboratório, essencialmente acima dos critérios da USEPA, como sejam: As, Co, Fe, Mn e V. Nenhum destes elementos ultrapassaram os valores limites da Legislação da Holanda e só para o Co e V há valores superiores aos limites impostos pela Legislação de Ontário.

Com excepção da zona do South Tank Farm (S5A e S5B), as actividades de armazenagem de combustíveis cessou ou foi substituída por unidades recentes, como é o caso da Main Gate (S6A e S6B). Desta forma, pode estar a ocorrer uma degradação natural dos compostos orgânicos que controlam os processos de transporte. Assim é limitada a circulação pelo meio subterrâneo, horizontalmente e verticalmente. Neste estudo apenas se possui informação para se abordar a expansão das manchas de potenciais contaminações na horizontal a uma escala maior, independentemente das sondagens realizadas.

Os processos que influenciam o comportamento dos elementos metálicos nos solos estão muito dependentes da granulometria do solo, do pH, do teor em matéria orgânica e da existência de óxidos e hidróxidos.

Relativamente aos resultados obtidos, as amostras regionais, que deveriam mostrar a ausência de elementos em concentrações acima dos VMAs, para as legislações consideradas, apresentaram concentrações significativas de As, Fe, Mn, e V (o As e um caso particular, devido a disparidade dos valores limites das legislações), a partir de ensaios realizados em laboratório. Apesar de não esperado, as amostras regionais foram as únicas que apresentarem PAHs cancerígenos e não cancerígenos.

Este facto pode estar relacionado com o facto dos pontos em causa se situarem a cotas mais elevadas, no bordo do graben, e estarem mais expostos ao efeito de aterragem e de descolagem de aeronaves, naquele corredor. Enquanto, por outro lado, a presença dos metais poderá estar, também, relacionada com a geologia local/regional.

Outros parâmetros foram avaliados para caracterização dos solos, sendo particularmente importante a referencia a valores de pH compreendidos entre 6,4 e 8,2.

⁴ JORGE, C., 2010 - "Avaliação da Caracterização da Contaminação de Solos Junto a Potenciais Focos de Poluição". Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Relatório 386/2010 – NGEA, 244 pp.

Na Fig. A1.1 apresenta-se a planta de localização da prospecção feita para o LNEC/CMPV pela firma Mota-Engil, Fundações e Geotecnia.

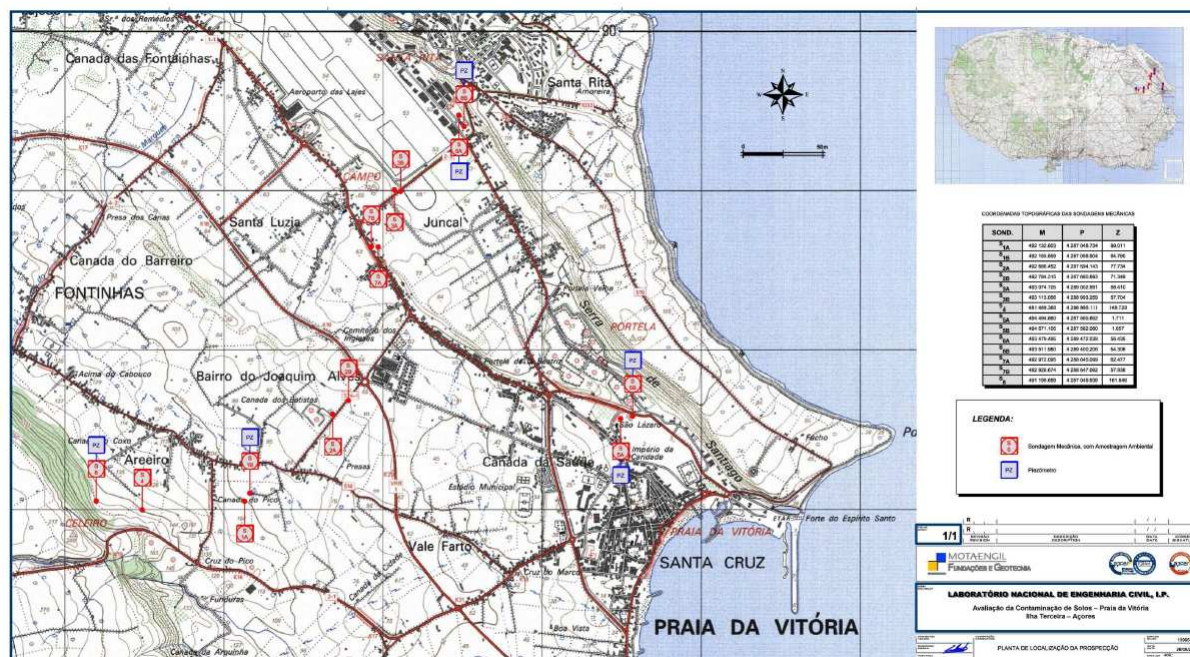


Fig. A1.1 - Planta de localização da prospecção feita para o LNEC/CMPV pela firma Mota-Engil, Fundações e Geotecnia

Na Fig. A1.2 exemplificam as condições dos locais onde se realizaram as sondagens (e.g. S3A e S3B) feitas para o LNEC/CMPV pela firma Mota-Engil, Fundações e Geotecnia.



Fig. A1.2 - Aspecto das condições dos locais onde se realizaram as sondagens S3A e S3B

No estudo realizado, o controlo de qualidade parece mostrar que todas as operações da cadeia de custódia para laboratório ou de homogeneização das amostras devem ter ocorrido da forma mais conveniente, existindo uma congruência dos valores de resultados analíticos obtidos na duplicação de amostras (controlo de qualidade externo).

RELATÓRIO DE SÍNTESE - ANEXO 2:

Considerações Finais do Relatório Prospeccção Geofísica, pelo Método da Resistividade Eléctrica, no Concelho de Praia da Vitória, Açores (Mota e Novo, 2010)⁵

Numa fase anterior à elaboração do relatório Mota e Novo (2010), a partir de uma análise preliminar dos modelos de resistividade obtidos para os perfis executados, procedeu-se à definição dos locais para a execução de sondagens para o estudo da contaminação dos solos (Sondagens S1 a S8) e para a execução de furos para o estudo hidrogeológico (Furos F1 a F8) (Figura A2.1).



Figura A2.1 - Imagem do Google com implantação de alguns dos perfis executados e dos locais seleccionados para execução dos furos de sondagem para amostragem de solos (S1A a S7B) e dos furos para o estudo hidrogeológico (F1 a F8 – F2 coincide com S2A; F4 não foi marcado e F5 encontra-se sobreposto com a marca do furo S5A).

⁵ MOTA, R. e NOVO, M.E., 2010 - "Prospeccção geofísica, pelo método da resistividade eléctrica, no Concelho de Praia da Vitória, Açores". Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Relatório 236/2010 – NGEA/NAS, 86 pp.

Na Fig. A2.2 exemplifica alguns dos resultados obtidos pelos modelos de resistividade para os perfis 20 a 14 (de cima para baixo e no sentido Av. 25 de Abril - Canada dos Batistas). A seta indica o ponto estimado de intersecção com o *pipeline*. No perfil PR18W indica-se a posição de uma caixa de válvulas. No perfil PR14W assinala-se a posição aproximada dos tanques, de acordo com a planta existente.

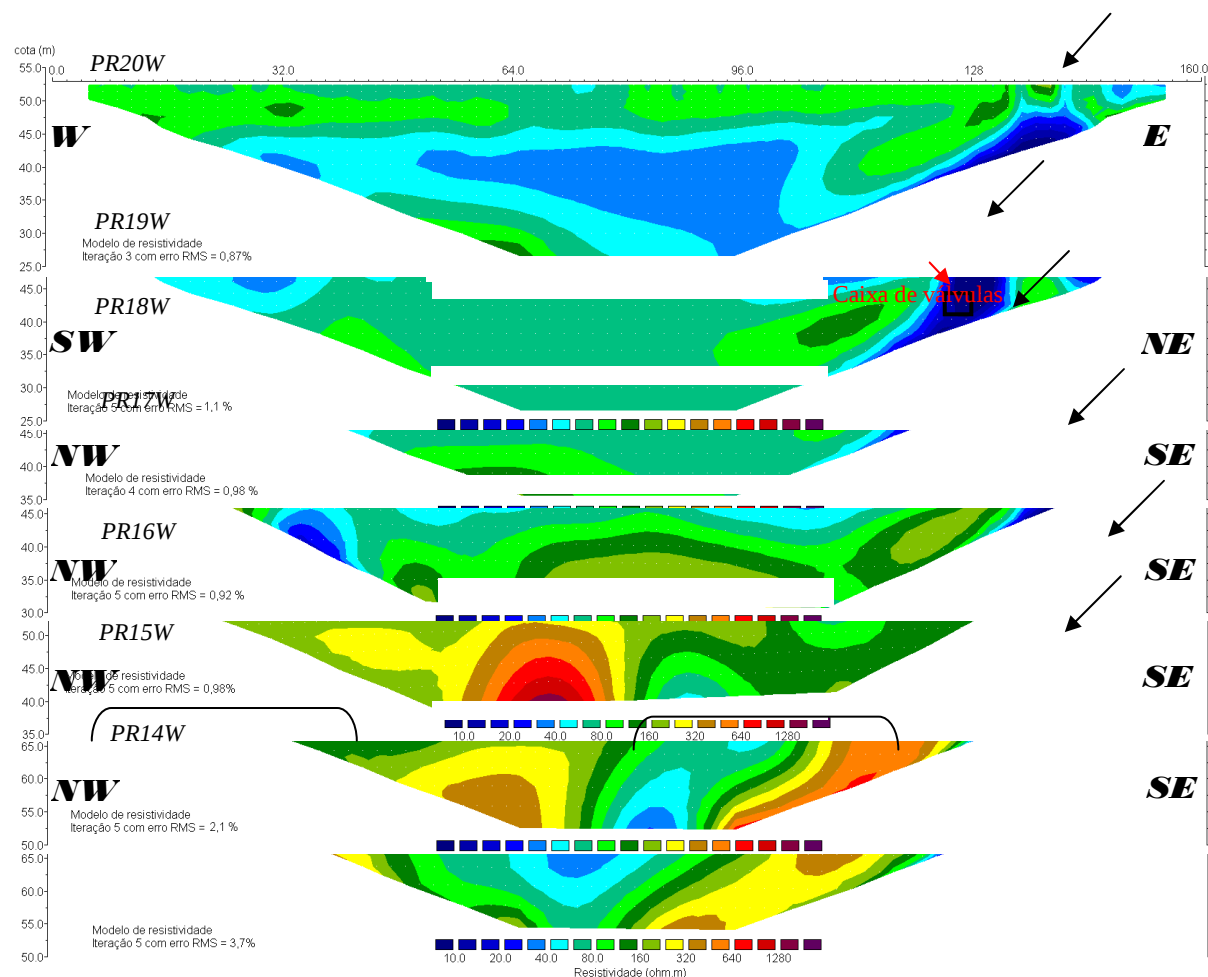


Figura A2.2 - Modelos de resistividade obtidos para os perfis 20 a 14 (de cima para baixo e no sentido Av. 25 de Abril - Canada dos Batistas). A seta indica o ponto estimado de intersecção com o *pipeline*. No perfil PR18W indica-se a posição de uma caixa de válvulas. No perfil PR14W assinala-se a posição aproximada dos tanques, de acordo com a planta existente.

A análise dos modelos de resistividade eléctrica permitiu identificar descontinuidades geofísicas que possuem correspondência espacial com descontinuidades geológicas, nomeadamente a falha de Santiago e a falha do Areeiro. Foi ainda possível identificar locais potencialmente contaminados por hidrocarbonetos. Estes locais presumivelmente contaminados são:

- local dos tanques enterrados no Pico Celeiro;
- área de implantação do *Cinder Pit pipeline* e no antigo local de armazenamento de combustível no Bairro da Joaquina;

- zona do Posto 1 (*Main Gate*);
- local do antigo *Pier 7*;
- saída da descarga de águas pluviais a norte da Base Aérea (*North Storm Sewer*).

A partir dos modelos de resistividade eléctrica apenas foi possível identificar eventuais níveis impermeáveis discretos que impeçam a difusão vertical de água e, consequentemente, eventuais contaminações provenientes da superfície.