



LABORATÓRIO NACIONAL  
DE ENGENHARIA CIVIL

**CONFIDENCIAL**

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E AMBIENTE  
Núcleo de Águas Subterrâneas

Proc. 0501/1/17180  
Proc. Int. 0607/541/5648

# **ESTUDO HIDROGEOLÓGICO SÍNTESE SOBRE O LOCAL DO NOVO AEROPORTO DE LISBOA NO CAMPO DE TIRO DE ALCOCHETE**

**Relatório final**

Trabalho realizado para a NAER

Lisboa • Junho de 2009

**I&D** HIDRÁULICA E AMBIENTE

**RELATÓRIO 219/2009 – NAS**



# **Estudo hidrogeológico síntese sobre o local do Novo Aeroporto de Lisboa no Campo de Tiro de Alcochete**

## **RESUMO**

No âmbito do desenvolvimento do projecto do Novo Aeroporto de Lisboa (NAL) no Campo de Tiro de Alcochete (CTA) foi identificado um conjunto de questões de natureza geotécnica, hidrogeológica, hidrológica e hidráulica, e de contaminação de solos, que importava aprofundar tendo em vista o desenvolvimento do projecto do NAL e a realização do respectivo estudo de impacte ambiental.

Este relatório apresenta o estudo hidrogeológico síntese sobre o local do NAL no CTA, assente fundamentalmente sobre os trabalhos de prospecção hidrogeológica levados a cabo neste local, e que constaram na realização de oito sondagens rotary com circulação inversa para instalação de cinco furos de bombagem e 19 piezómetros, onde se realizaram dez ensaios de bombagem para caracterização de parâmetros hidráulicos, e mais três sondagens com sonda rotativa para amostragem geológica contínua, tendo em vista a caracterização litológica e hidráulica, tendo-se realizado ensaios laboratoriais em 18 estratos da sondagem.

O conjunto da informação produzida é fornecido na base de dados ProspHidrogeoNAL-CTA.mdb, anexa a este relatório.

Este relatório apresenta a caracterização geométrica do sistema aquífero, a interpretação dos ensaios de bombagem, os resultados dos ensaios laboratoriais de caracterização dos estratos existentes, a análise espaciotemporal da piezometria, a caracterização da recarga e da vulnerabilidade à poluição do aquífero livre para as condições actuais no local do CTA, a análise da possível relação entre a superfície freática e a plataforma do aeroporto, a caracterização da situação de referência relativamente à qualidade da água subterrânea, a análise de possíveis condicionamentos da utilização de águas subterrâneas no local do CTA, terminando com uma análise preliminar das características naturais do sistema aquífero que favorecem a contenção de eventuais poluentes provenientes de acidentes ou da actividade aeroportuária, nas camadas mais superficiais do sistema aquífero.



## ÍNDICE DO TEXTO

---

---

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. Introdução</b>   | <b>1</b>  |
| <b>2. Enquadramento hidrogeológico</b>   | <b>4</b>  |
| <b>3. Trabalhos desenvolvidos</b>  | <b>7</b>  |
| <b>4. Base de dados georreferenciada</b>   | <b>10</b> |
| <b>5. Caracterização geométrica do sistema aquífero</b>  | <b>13</b> |
| 5.1 Caracterização geométrica dos 50 m superiores do sistema aquífero                                  | 13        |
| 5.2 Caracterização geométrica do sistema aquífero entre os 50 m e os 300 m na zona do perímetro do CTA | 18        |
| <b>6. Análise espaciotemporal da piezometria</b>   | <b>20</b> |
| 6.1 Observações da prospecção hidrogeológica   | 20        |
| 6.2 Aquífero livre   | 22        |
| <b>7. Recarga e reservas de águas subterrâneas</b>   | <b>27</b> |
| <b>8. Ensaio de bombagem e caracterização de parâmetros hidráulicos</b>                                | <b>30</b> |
| 8.1 Introdução   | 30        |
| 8.2 Síntese da interpretação dos ensaios de bombagem   | 31        |
| 8.3 Ensaio de laboratório  | 35        |
| <b>9. Situação de referência da qualidade da água subterrânea</b>                                      | <b>40</b> |
| <b>10. Vulnerabilidade à poluição das águas subterrâneas</b>   | <b>52</b> |
| 10.1 Introdução  | 52        |
| 10.2 Descrição do índice DRASTIC   | 52        |
| 10.3 Caracterização da vulnerabilidade à poluição do aquífero livre                                    | 54        |
| 10.4 Comentários finais à caracterização da vulnerabilidade DRASTIC                                    | 60        |
| <b>11. Interação águas subterrâneas / águas superficiais</b>   | <b>61</b> |
| <b>12. Relação entre o nível freático e a plataforma do aeroporto</b>                                  | <b>62</b> |
| <b>13. Condicionamentos relativamente às águas subterrâneas</b>  | <b>66</b> |
| <b>14. Conclusões</b>  | <b>68</b> |
| <b>Bibliografia</b>  | <b>73</b> |
| <b>ANEXOS</b>  | <b>77</b> |



## ÍNDICE DE FIGURAS

---

|   |    |
|---|----|
| Fig. 1 – Geologia do sistema aquífero da Margem Esquerda (T3).....  | 4  |
| Fig. 2 – Corte geológico SW-NE do sistema aquífero da Margem Esquerda (T3).....   | 5  |
| Fig. 3 – Localização dos trabalhos de prospecção hidrogeológica para o NAL .....  | 7  |
| Fig. 4 – Estrutura da base de dados ProspHidrogeoNAL-CTA.mdb contendo a informação produzida para a prospecção hidrogeológica do NAL .....  | 12 |
| Fig. 5 - Localização das sondagens geotécnicas realizadas no interior do perímetro do CTA em 2007 e 2008.....   | 14 |
| Fig. 6– Representação espacial dos logs das sondagens geotécnicas efectuadas no perímetro do CTA .....  | 16 |
| Fig. 7 – Perfis litológicos do aquífero livre da Margem Esquerda no CTA. ....   | 17 |
| Fig. 8 – Níveis piezométricos registados com as sondas manuais de níveis, com indicação dos períodos de realização dos ensaios de bombagem.....   | 20 |
| Fig. 9 – Mapa piezométrico do aquífero livre da Margem Esquerda (CTA) .....   | 25 |
| Fig. 10 - Representação espacial das sondagens, da superfície freática, da base do aquífero e das pistas do aeroporto .....   | 26 |
| Fig. 11 – Recarga anual média de águas subterrâneas.....  | 28 |
| Fig. 12 – Representação esquemática dos parâmetros hidráulicos em função dos troços ensaiados ..  | 33 |
| Fig. 13 – Descrição litológica da sondagem carotada CC e resultados dos ensaios de caracterização das amostras (condutividade hidráulica saturada vertical, porosidade, peso volúmico das partículas sólidas e classes granulométricas) ..... | 36 |
| Fig. 14 – Representação das classes texturais das camadas sedimentares ensaiadas.....   | 39 |
| Fig. 15 – Variação da condutividade eléctrica medida em laboratório em função da cota média de captação de água .....   | 43 |
| Fig. 16 – Fácies hidroquímica das águas subterrâneas do CTA.....  | 44 |
| Fig. 17 – Classificação da água em diagrama de Riverside .....  | 44 |
| Fig. 18 – Concentração em nitratos nas águas subterrâneas do CTA.....   | 47 |
| Fig. 19 – Concentração em nitritos, azoto amoniacal e fosfatos nas águas subterrâneas do CTA.....   | 47 |
| Fig. 20 – Concentração em coliformes nas águas subterrâneas do CTA .....  | 48 |
| Fig. 21 – Concentração em metais pesados nas águas subterrâneas do CTA .....  | 49 |
| Fig. 22 – Concentração em mercúrio nas águas subterrâneas do CTA.....   | 49 |
| Fig. 23 – Concentração em hidrocarbonetos aromáticos policíclicos nas águas subterrâneas do CTA   | 50 |
| Fig. 24 – Concentração em benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno nas águas subterrâneas do CTA..  | 51 |
| Fig. 25 – Concentração em bifenis policlorados e tetracloroetano nas águas subterrâneas do CTA ....   | 51 |
| Fig. 26 – Parâmetros incorporados no método DRASTIC .....   | 54 |
| Fig. 27 – Profundidade ao topo do aquífero livre (Parâmetro D), na localização do CTA .....   | 55 |
| Fig. 28 – Recarga do aquífero livre (Parâmetro R), na localização do CTA.....   | 56 |
| Fig. 29 – Material do solo (Parâmetro S), na localização do CTA.....  | 57 |
| Fig. 30 – Declive da superfície topográfica (Parâmetro T), na localização do CTA .....  | 58 |
| Fig. 31 – Índice DRASTIC de vulnerabilidade à poluição do aquífero livre, na localização do CTA .....   | 59 |
| Fig. 32 – Perfil da pista E com indicação do nível freático estimado e corte geológico estabelecido de acordo com as sondagens geotécnicas.....   | 63 |
| Fig. 33 – Perfil da pista W com indicação do nível freático estimado.....   | 63 |
| Fig. 34 – Altimetria acima das cotas das pistas, piezómetros e potenciais áreas de contribuição de escoamento subterrâneo para as pistas.....   | 65 |

|  |     |
|--|-----|
| Fig. 35 – Diagrama triangular para a classificação da textura do <i>solo</i> utilizando os limites da classificação portuguesa (adaptado de SROA, 1970, <i>in</i> Oliveira, 2004, 2006).....             | 98  |
| Fig. 36 – Situações consideradas durante o balanço hídrico para o caso do aumento da fracção ocupada por um determinado coberto vegetal ou da espessura do <i>solo</i> sujeita a evapotranspiração. .... | 101 |
| Fig. 37 – Termos representados no cálculo da infiltração profunda quando se utiliza o coeficiente cultural dual para o cálculo da evapotranspiração.....   | 105 |
| Fig. 38 – Escoamento directo anual médio.....  | 109 |
| Fig. 39 – Evapotranspiração real anual média.....  | 110 |
| Fig. 40 – Variação da recarga anual para as associações de ocupação de solo / solo mais representativas (área > 0,85 km <sup>2</sup> ).....  | 112 |
| Fig. 41 – Variação mensal da recarga para a associação de ocupação de solo / solo mais representada na área em estudo (311 / Ppt).....   | 112 |
| Fig. 42 – Rebaixamentos do ensaio AB-8.....  | 117 |
| Fig. 43 – Níveis piezométricos observados durante o ensaio AB-8.....   | 118 |
| Fig. 44 – Interpretação do ensaio de bombagem AB-8, rebaixamentos no troço inferior do furo AB, método de Hantush.....   | 119 |
| Fig. 45 – Interpretação do ensaio de bombagem AB-8, rebaixamentos no piezómetro AP1, método de Hantush.....  | 119 |
| Fig. 46 – Interpretação da recuperação do ensaio de bombagem AB-8, rebaixamentos no troço inferior do furo AB.....   | 120 |
| Fig. 47 – Interpretação da recuperação do ensaio de bombagem AB-8, rebaixamentos no piezómetro AP1.....  | 120 |
| Fig. 48 – Rebaixamentos do ensaio AB-10.....   | 122 |
| Fig. 49 – Níveis piezométricos observados durante o ensaio AB-10.....  | 123 |
| Fig. 50 – Interpretação do ensaio de bombagem AB-10, rebaixamentos no troço intermédio do furo AB, método de Theis.....  | 124 |
| Fig. 51 – Interpretação do ensaio de bombagem AB-10, rebaixamentos no troço intermédio do furo AB, método de Hantush.....  | 124 |
| Fig. 52 – Interpretação do ensaio de bombagem AB-10, rebaixamentos no piezómetro AP3, método de Theis.....   | 125 |
| Fig. 53 – Interpretação do ensaio de bombagem AB-10, rebaixamentos no piezómetro AP3, método de Hantush.....   | 125 |
| Fig. 54 – Interpretação da recuperação do ensaio de bombagem AB-10, rebaixamentos no troço intermédio do furo AB.....  | 126 |
| Fig. 55 – Interpretação da recuperação do ensaio de bombagem AB-10, rebaixamentos no piezómetro AP3.....   | 126 |
| Fig. 56 – Rebaixamentos do ensaio ABS.....   | 128 |
| Fig. 57 – Níveis piezométricos observados durante o ensaio ABS.....  | 129 |
| Fig. 58 – Interpretação dos rebaixamentos do ensaio de bombagem ABS, método de Hantush.....  | 130 |
| Fig. 59 – Interpretação dos rebaixamentos da recuperação do ensaio de bombagem ABS.....  | 131 |
| Fig. 60 - Valores de condutividade eléctrica e de temperatura em piezómetros, Zona A.....  | 133 |
| Fig. 61 – Rebaixamentos do ensaio BB-8.....  | 136 |
| Fig. 62 – Níveis piezométricos observados durante o ensaio BB-8.....   | 137 |
| Fig. 63 – Interpretação do ensaio de bombagem BB-8, rebaixamentos no troço inferior do furo BB, método de Hantush.....   | 138 |
| Fig. 64 – Interpretação do ensaio de bombagem BB-8, rebaixamentos no piezómetro BP1, método de Hantush.....  | 138 |
| Fig. 65 – Interpretação da recuperação do ensaio de bombagem BB-8, rebaixamentos no troço inferior do furo BB.....   | 139 |

|   |     |
|---|-----|
| Fig. 66 – Interpretação da recuperação do ensaio de bombagem BB-8, rebaixamentos no piezómetro BP1.....                   | 139 |
| Fig. 67 – Rebaixamentos do ensaio BB-10.....  | 141 |
| Fig. 68 – Níveis piezométricos observados durante o ensaio BB-10.....   | 142 |
| Fig. 69 – Interpretação do ensaio de bombagem BB-10, rebaixamentos no troço intermédio do furo BB, método de Hantush..... | 143 |
| Fig. 70 – Interpretação do ensaio de bombagem BB-10, rebaixamentos no piezómetro BP3, método de Hantush.....              | 143 |
| Fig. 71 – Interpretação da recuperação do ensaio de bombagem BB-10, rebaixamentos no troço intermédio do furo BB.....     | 144 |
| Fig. 72 – Interpretação da recuperação do ensaio de bombagem BB-10, rebaixamentos no piezómetro BP3.....                  | 144 |
| Fig. 73 – Rebaixamentos do ensaio BBS.....  | 146 |
| Fig. 74 – Níveis piezométricos observados durante o ensaio BBS.....   | 147 |
| Fig. 75 – Interpretação dos rebaixamentos do ensaio de bombagem BBS, método de Theis com correcção de Jacob.....          | 149 |
| Fig. 76 – Interpretação dos rebaixamentos do ensaio de bombagem BBS, método de Boulton.....                               | 149 |
| Fig. 77 – Interpretação do ensaio de bombagem BBS, rebaixamentos no piezómetro BP5, método de Hantush.....                | 150 |
| Fig. 78 – Interpretação do ensaio de bombagem BBS, rebaixamentos no piezómetro BP5, método de Boulton.....                | 150 |
| Fig. 79 – Interpretação dos rebaixamentos da recuperação do ensaio de bombagem BBS.....                                   | 151 |
| Fig. 80 – Interpretação da recuperação do ensaio de bombagem BBS, rebaixamentos no piezómetro BP5.....                    | 151 |
| Fig. 81 – Rebaixamentos do ensaio BB total.....   | 153 |
| Fig. 82 – Níveis piezométricos observados durante o ensaio BB total.....  | 154 |
| Fig. 83 – Interpretação do ensaio de bombagem BB total, método de Theis.....  | 155 |
| Fig. 84 – Interpretação do ensaio de bombagem BB total, método de Hantush.....  | 155 |
| Fig. 85 – Interpretação da recuperação do ensaio de bombagem BB total.....  | 156 |
| Fig. 86 - Valores de condutividade eléctrica e de temperatura em piezómetros, Zona B.....                                 | 158 |
| Fig. 87 – Rebaixamentos do ensaio CB-8.....   | 160 |
| Fig. 88 – Níveis piezométricos observados durante o ensaio CB-8.....  | 161 |
| Fig. 89 – Comparação dos rebaixamentos do ensaio de bombagem CB-8 acumulados após os 420 minutos de ensaio.....           | 162 |
| Fig. 90 – Interpretação do ensaio de bombagem CB-8, rebaixamentos no piezómetro CP1, método de Hantush.....               | 162 |
| Fig. 91 – Interpretação da recuperação do ensaio de bombagem CB-8, rebaixamentos no troço inferior do furo CB.....        | 163 |
| Fig. 92 – Interpretação da recuperação do ensaio de bombagem CB-8, rebaixamentos no piezómetro CP1.....                   | 163 |
| Fig. 93 – Rebaixamentos do ensaio CB-10.....  | 165 |
| Fig. 94 – Níveis piezométricos observados durante o ensaio CB-10.....   | 166 |
| Fig. 95 – Interpretação do ensaio de bombagem CB-10, rebaixamentos no troço intermédio do furo CB, método de Hantush..... | 167 |
| Fig. 96 – Interpretação do ensaio de bombagem CB-10, rebaixamentos no piezómetro CP3, método de Hantush.....              | 167 |
| Fig. 97 – Interpretação da recuperação do ensaio de bombagem CB-10, rebaixamentos no troço intermédio do furo CB.....     | 168 |
| Fig. 98 – Interpretação da recuperação do ensaio de bombagem CB-10, rebaixamentos no piezómetro CP3.....                  | 168 |

|   |     |
|---|-----|
| Fig. 99 – Rebaixamentos do ensaio CB total .....  | 170 |
| Fig. 100 – Níveis piezométricos observados durante o ensaio CB total .....                  | 171 |
| Fig. 101 – Interpretação do ensaio de bombagem CB total, método de Theis .....              | 172 |
| Fig. 102 – Interpretação do ensaio de bombagem CB total, método de Hantush .....            | 172 |
| Fig. 103 – Interpretação da recuperação do ensaio de bombagem CB total .....                | 173 |
| Fig. 104 - Valores de condutividade eléctrica e de temperatura em piezómetros, Zona C ..... | 175 |

## ÍNDICE DE QUADROS

---

|   |     |
|---|-----|
| Quadro 1 – Localização dos furos, piezómetros e sondagens carotadas .....   | 9   |
| Quadro 2 – Distâncias entre zonas, e entre furos e piezómetros.....   | 9   |
| Quadro 3 – Tabelas da base de dados ProspHidrogeoNAL-CTA.mdb .....  | 10  |
| Quadro 4 – Tabelas de consulta da base de dados ProspHidrogeoNAL-CTA.mdb.....   | 11  |
| Quadro 5 – Sondagens geotécnicas realizadas no interior do perímetro do CTA.....  | 15  |
| Quadro 6 – Classificação dos estratos atravessados pelas sondagens geotécnicas realizadas no perímetro do CTA .....                             | 16  |
| Quadro 7 – Nível piezométrico (N.p.) médio registado com as sondas manuais de níveis.....   | 21  |
| Quadro 8 – Piezómetros para monitorização hidrogeológica.....   | 23  |
| Quadro 9 – Valores medidos nos piezómetros em 30 de Janeiro de 2009.....  | 24  |
| Quadro 10 – Síntese dos parâmetros hidráulicos .....  | 32  |
| Quadro 11 – Reacção à bombagem dos níveis registados em piezómetros e furos .....   | 34  |
| Quadro 12 – Resultados dos ensaios de condutividade hidráulica, porosidade e granulometria de vários troços das sondagens carotadas.....        | 38  |
| Quadro 13 – Lista de parâmetros físico-químicos e isotópicos analisados nas águas subterrâneas do CTA .....                                     | 41  |
| Quadro 14 – Síntese dos pontos de água monitorizados para aspectos de qualidade.....  | 46  |
| Quadro 15 - Classes dos parâmetros do método DRASTIC e índices a atribuir a cada classe .....   | 53  |
| Quadro 16 – Campos das tabelas de informação da base de dados ProspHidrogeoNAL-CTA.mdb.....   | 87  |
| Quadro 17 – Campos das tabelas de consulta da base de dados ProspHidrogeoNAL-CTA.mdb.....   | 90  |
| Quadro 18 – Relação entre $I_s$ e $P$ para os casos em que $P > P_{lim}$ , em função da textura do solo e do teor de humidade inicial.....      | 97  |
| Quadro 19 – Solos, área de ocorrência e parâmetros característicos do solo.....   | 107 |
| Quadro 20 – Ocupação do solo de acordo com o Corine Land Cover 2000, área de ocorrência e parâmetros caracterizadores da ocupação do solo ..... | 108 |
| Quadro 21 – Associações de solo / ocupação do solo, áreas de ocorrência e resultados anuais médios do balanço hídrico sequencial diário.....    | 111 |
| Quadro 22 – Ensaios de bombagem e localização das sondas de registo automático nos vários piezómetros .....                                     | 114 |
| Quadro 23 – Caudais do ensaio de bombagem AB-8.....   | 115 |
| Quadro 24 – Resultados da interpretação do ensaio AB-8 .....  | 118 |
| Quadro 25 – Resultados da interpretação do ensaio AB-10 .....   | 123 |
| Quadro 26 – Resultados da interpretação do ensaio ABS.....  | 130 |
| Quadro 27 – Resultados da interpretação do ensaio BB-8 .....  | 137 |
| Quadro 28 – Resultados da interpretação do ensaio BB-10 .....   | 142 |
| Quadro 29 – Caudais do ensaio de bombagem BBS.....  | 145 |
| Quadro 30 – Resultados da interpretação do ensaio BBS.....  | 148 |
| Quadro 31 – Resultados da interpretação do ensaio BB total .....  | 154 |
| Quadro 32 – Resultados da interpretação do ensaio CB-8.....   | 162 |
| Quadro 33 – Resultados da interpretação do ensaio CB-10.....  | 166 |
| Quadro 34 – Resultados da interpretação do ensaio CB total .....  | 172 |



## AGRADECIMENTOS

Regista-se a boa colaboração havida entre os vários intervenientes deste trabalho, agradecendo-se nomeadamente:

Ao Prof. João Lopo Mendonça, ao Eng.º Mário Hélder Simões e ao Dr. Francisco Palma, pelo esclarecimento de questões técnicas relacionadas com o desenvolvimento dos trabalhos.

Ao Dr. Eduardo Paralta, mas estendendo-se a toda a equipa do Consórcio MVG destacada para este projecto, responsável pela execução das sondagens, pela construção de furos e pela realização dos ensaios de bombagem, a boa interacção que ocorreu.

À Dra. Ilda Calçada, contratada pelo Consórcio MVG, pela participação na interpretação dos ensaios de bombagem.

Ao Dr. Telmo Jeremias, do Núcleo de Geologia de Engenharia e Geotecnia Ambiental (NGEA) do LNEC, e ao Dr. Mário Santos, contratado por esse Núcleo, pela interpretação dos logs das sondagens geotécnicas (20 m e 50 m de profundidade) e pela colaboração no estabelecimento do modelo tri-dimensional da parte superior do aquífero livre.

Ao Sr. Fernando Rodrigues, do Laboratório de Caracterização de Geomateriais (LCG) do LNEC, pela disponibilidade para troca de impressões sobre os ensaios laboratoriais realizados sobre as amostras das sondagens carotadas.

Ao Dr. Delgado Rodrigues, pela discussão sobre o efeito de Noodbergum observado durante os ensaios de bombagem.

À Eng.ª Patrícia Terceiro, do Núcleo de Águas Subterrâneas (NAS) do LNEC, pela introdução de grande parte da informação na base de dados.

Ao Eng.º Luís Oliveira, bolseiro FCT a exercer parte da sua actividade no Núcleo de Águas Subterrâneas (NAS) do LNEC, pelo apoio prestado nalguns trabalhos de campo.



# **Estudo hidrogeológico síntese sobre o local do Novo Aeroporto de Lisboa no Campo de Tiro de Alcochete**

## **1. Introdução**

No âmbito do desenvolvimento do projecto do Novo Aeroporto de Lisboa (NAL) no Campo de Tiro de Alcochete (CTA) foi identificado um conjunto de questões de natureza geotécnica, hidrogeológica, hidrológica e hidráulica, e de contaminação de solos, que importava aprofundar tendo em vista o desenvolvimento do projecto do NAL e a realização do respectivo estudo de impacte ambiental.

Este relatório apresenta o estudo hidrogeológico síntese sobre o local do NAL no CTA dando cumprimento aos seguintes objectivos:

- Análise e interpretação da informação existente (relatórios anteriores, elementos bibliográficos e cartográficos existentes sobre o local, etc.);
- Realização de uma base de dados georreferenciada (SIG) com a informação hidrogeológica obtida;
- Caracterização geométrica do sistema aquífero (litoestratigrafia, definição das camadas aquíferas e aquíferas, suas estruturas e espessuras);
- Interpretação dos ensaios de bombagem tendo em vista a definição de parâmetros hidráulicos das camadas aquíferas (transmissividades e coeficientes de armazenamento) e estudo da inter-relação/drenância entre aquíferos;
- Análise espaciotemporal da piezometria e determinação das principais direcções de escoamento, análise das recargas e reservas de águas subterrâneas;
- Análise da possível relação entre a superfície freática e a plataforma do aeroporto;
- Caracterização da situação de referência relativamente à qualidade da água subterrânea com base na informação obtida;

- Caracterização da vulnerabilidade à poluição das águas subterrâneas;
- Interacção águas subterrâneas / águas superficiais (análise da relação rio/aquífero e das saídas naturais para os rios e estuário do Tejo);
- Condicionamentos da utilização actual de águas subterrâneas nas zonas em estudo (análise do volume extraível de águas subterrâneas, extracções de águas subterrâneas, balanço hídrico subterrâneo, análise das implicações de eventuais perímetros de protecção de captações nas zonas em estudo);
- Recomendações e conclusões relativamente às águas subterrâneas.

Previamente à realização deste Estudo, o LNEC estabeleceu um programa de prospecção hidrogeológica e ensaios de bombagem e respectivas especificações técnicas, cujo desenvolvimento em obra esteve a cargo do Consórcio MMoura, Lda., VISA Consultores, S.A. e Geoárea, Lda (consórcio MVG).

Os trabalhos de prospecção hidrogeológica decorreram entre Outubro de 2008 e Março de 2009, tendo o LNEC acompanhado a realização dos trabalhos em todas as suas fases. O Consórcio MVG produziu 20 relatórios de progresso, para além de outros documentos de especificações dos trabalhos realizados ou a realizar; produziu ainda um relatório final com 10 anexos e um registo fotográfico (MVG, 2009).

O acompanhamento dos trabalhos de prospecção hidrogeológica contou com a consultoria do Prof. Lopo Mendonça e a sua execução foi fiscalizada pelo Eng. Mário Hélder Simões. O Prof. Lopo Mendonça produziu 21 relatórios semanais de acompanhamento e emitiu diversos Pareceres acerca da execução dos trabalhos. O Eng. Mário Hélder Simões emitiu 22 relatórios semanais contendo os resumos diários das sondagens.

Foram realizados três conjuntos de sondagens verticais de prospecção hidrogeológica, cada conjunto consistindo num ou dois furos para ensaio de bombagem e num conjunto de 6 ou 7 piezómetros de observação. Um dos conjuntos foi acrescido de uma sondagem com amostragem contínua até aos 150 m para melhor caracterizar as formações geológicas atravessadas, com o objectivo de caracterizar a permeabilidade, o peso volúmico das partículas sólidas, a porosidade e a análise granulométrica dos materiais mais argilosos

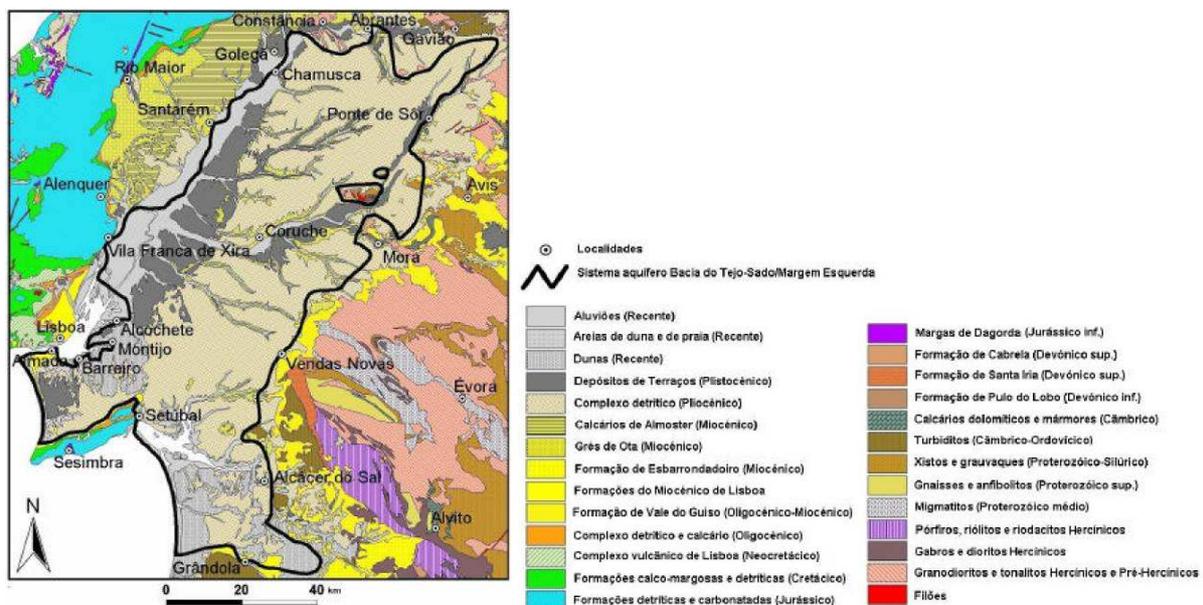
atravessados. Sobre cada conjunto de sondagens foram realizados ensaios de bombagem em profundidades diferentes.

Os resultados obtidos por estes trabalhos foram complementados com os resultados da prospecção geotécnica, que constaram na realização de 142 sondagens, das quais 108 com profundidade aproximadamente de 20 m e as restantes 34 com profundidade de cerca de 50 m.

## 2. Enquadramento hidrogeológico

A área abrangida pelo CTA insere-se no grande sistema aquífero da Margem Esquerda (T3) pertencente à Unidade Hidrogeológica da Bacia do Tejo-Sado (Almeida *et al.*, 2000). Este é o maior sistema aquífero nacional, desenvolvendo-se numa área aproximada de 6900 km<sup>2</sup> (Fig. 1). O seu limite acompanha aproximadamente o rio Tejo desde Almada a Abrantes, passando perto de Gavião, Ponte de Sôr, Mora, Vendas Novas, Alcácer do Sal, Grândola, litoral entre Melides e Tróia, Setúbal, Palmela, litoral desde a Aldeia do Meco até Almada.

Este sistema aquífero inclui formações do Miocénico ao Quaternário. A Fig. 1 apresenta a geologia da área em análise. A Fig. 2 apresenta o corte geológico do sistema aquífero ao longo do seu limite NW, mostrando a sua geometria.



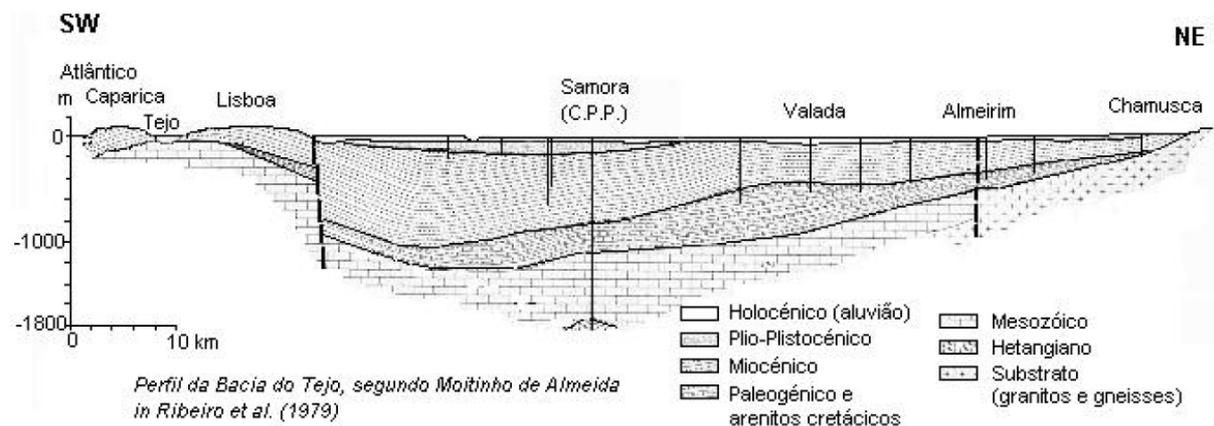
(Fonte: Almeida *et al.*, 2000)

Fig. 1 – Geologia do sistema aquífero da Margem Esquerda (T3)

De acordo com Almeida *et al.* (2000), as características do sistema variam em função da importância das camadas pliocénicas e da constituição e espessura das formações miocénicas. Na península de Setúbal conceptualmente, simplificou-se a geometria do sistema aquífero para 3 camadas: (camada 1) um aquífero superior livre, instalado nas camadas do topo do Pliocénico e do Quaternário, sobrejacente a um aquífero semi-confinado a confinado (camada

2), multicamada, formado pelas camadas detríticas da base do Pliocénico e arenítico-calcárias do Miocénico superior; subjacente a este conjunto, e separado dele por formações margosas espessas, existe um outro aquífero confinado (camada 3), multicamada, constituído por formações arenítico-calcárias da base do Miocénico.

A prospecção hidrogeológica realizada neste trabalho abrange as camadas 1 e 2, sem se ter atingido as formações margosas que separam a camada 2 da camada 3.



(extraído de Almeida *et al.*, 2000)

Fig. 2 – Corte geológico SW-NE do sistema aquífero da Margem Esquerda (T3)

Os tipos litológicos encontrados são função das condições paleogeográficas e tectónicas existentes durante a sua deposição: Ribeiro *et al.* (1978) ou Simões (1998) apresentam ensaios de reconstituição paleogeográfica. Durante o Miocénico e o Pliocénico a parte ocidental deste sistema aquífero foi sujeita a 8 ciclos de transgressão/regressão marinha (Ribeiro *et al.* 1978), responsáveis pela deposição de areias, argilas, margas e calcários, que representam fácies marinha e fluvial. No actual rio Tejo, as três transgressões marinhas que penetraram mais para o interior avançaram até Almeirim, abrangendo a área do CTA. As restantes transgressões miocénicas terão tido a área do CTA como limite mais oriental. Por sua vez, as transgressões do Pliocénico não terão alcançado a área do CTA, razão pela qual o Pliocénico é constituído por sedimentos detríticos de origem exclusivamente fluvial. O regime fluvial, que pode ser alternadamente do tipo torrencial ou do tipo calmo, por vezes erodindo camadas detríticas já existentes, e posteriormente depositando no leito dos canais materiais de granulometria

diferente, são responsáveis por importantes variações laterais de fácies, podendo existir, a pouca distância, materiais com características muito diferentes.

Devido aos movimentos eustáticos, à subsidência e à tectónica, as formações detríticas miocénicas e posteriores atingem espessuras superiores a 1200 m, não se sabendo na área do CTA a sua espessura.

### 3. Trabalhos desenvolvidos

No âmbito da prospeção hidrogeológica foram realizadas três conjuntos de sondagens que se posicionaram nos vértices de um triângulo aproximadamente equilátero, tendo em vista poder caracterizar à escala regional a configuração tridimensional do sistema aquífero em profundidade.

Os vértices do triângulo foram designados por zonas A, B e C. A zona A situa-se no vértice SE do triângulo, a zona B no vértice NE e a zona C no vértice ocidental (Fig. 3).

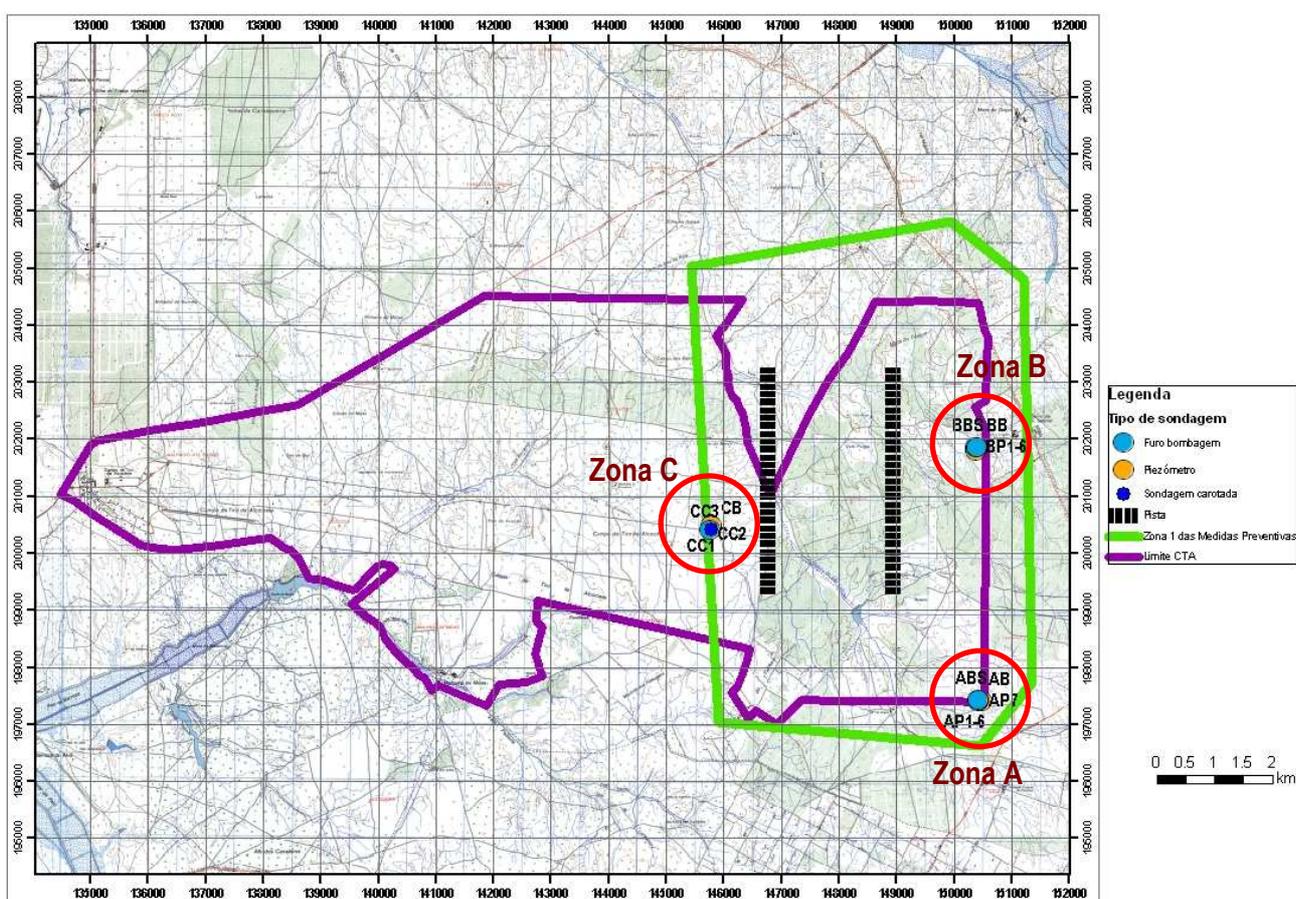


Fig. 3 – Localização dos trabalhos de prospeção hidrogeológica para o NAL

Em cada conjunto de sondagens fez-se um furo de bombagem que capta entre os 100 e os 300 m, e uma sondagem onde se instalaram 6 piezómetros que medem profundidades diferentes. Em duas das zonas, A e B, fizeram-se ainda dois furos de bombagem que captam nos primeiros 100 m; o furo da zona A foi também acompanhado da realização de um

piezómetro que mede o aquífero superior livre. As sondagens foram realizadas pelo método rotary com circulação inversa.

A definição da posição do revestimento (ralos) e dos isolamentos e dos maciços filtrantes em cada furo de bombagem ou piezómetro foi feita com recurso ao log da sondagem, com amostragem de metro a metro, e às diagrfias de resistividades e gama. Os trabalhos de perfuração e construção das captações encontram-se descritos nos vários relatórios anexos ao Relatório Final da “Prospecção hidrogeológica na zona de implantação do novo aeroporto de Lisboa (NAL)” (MVG, 2009).

No Anexo 1 apresenta-se para cada furo de bombagem ou conjunto de piezómetros o corte litológico, de acordo com a classificação do Consórcio MVG, as diagrfias e o perfil dos furos de bombagem e dos piezómetros, indicando a profundidade das sondagens, as colunas de revestimento, a posição dos ralos, do maciço filtrante e os isolamentos. Esta informação está também incluída na base de dados que se apresenta na secção 4.

A designação dos furos e piezómetros começa por duas letras, a primeira respeitante à zona e a segunda respeitante a bombagem (B) ou piezómetro (P). Por exemplo CB refere-se ao furo de bombagem da zona C. No caso dos furos de bombagem até 100 m é acrescentada a letra S de superior. Por exemplo ABS refere-se ao furo de bombagem que capta dentro dos primeiros 100 m da zona A. Finalmente, os piezómetros são numerados de 1 a 6, por ordem decrescente de profundidade. Na zona A foi ainda construído um sétimo piezómetro, AP7, anexo ao furo ABS.

Na zona C, tendo em vista um conhecimento mais detalhado da litologia do local do aeroporto, foi realizada uma sondagem carotada, até 150 m de profundidade, cujos testemunhos que preservaram a estrutura litológica foram ensaiados tendo em vista a determinação da curva granulométrica, da permeabilidade e da porosidade. Por questões técnicas, esta sondagem de 150 m foi subdividida em três sondagens, uma até aos 50 m (CC1), outra dos 50 m até aos 100 m (CC2) e outra dos 100 aos 150 m (CC3). As sondagens foram feitas com sonda rotativa.

O Quadro 1 indica as coordenadas de localização e as altitudes de cada furo, piezómetro instalado, ou sondagem carotada. O Quadro 2 indica as distâncias entre as três zonas, bem como, dentro de cada zona, as distâncias entre furos de bombagem e piezómetros.

Quadro 1 – Localização dos furos, piezômetros e sondagens carotadas

| Zona | Furo | M        | P        | Cota da boca do furo (m) |
|------|------|----------|----------|--------------------------|
| A    | AB   | 150414,6 | 197413,3 | 63,68                    |
|      | ABS  | 150421,2 | 197431,3 | 63,93                    |
|      | AP1  |          |          | 63,85                    |
|      | AP2  |          |          | 63,90                    |
|      | AP3  | 150467,1 | 197412,4 | 63,95                    |
|      | AP4  |          |          | 64,00                    |
|      | AP5  |          |          | 64,05                    |
|      | AP6  |          |          | 64,10                    |
|      | AP7  | 150421,2 | 197431,3 | 63,92                    |
| B    | BB   | 150364,6 | 201872,1 | 57,75                    |
|      | BBS  | 150390,2 | 201870,6 | 57,61                    |
|      | BP1  |          |          | 58,88                    |
|      | BP2  |          |          | 58,98                    |
|      | BP3  | 150367,9 | 201805,5 | 59,05                    |
|      | BP4  |          |          | 59,09                    |
|      | BP5  |          |          | 59,12                    |
|      | BP6  |          |          | 59,16                    |
| C    | CB   | 145759,1 | 200423,8 | 46,06                    |
|      | CP1  |          |          | 44,82                    |
|      | CP2  |          |          | 44,82                    |
|      | CP3  | 145771   | 200490,4 | 44,82                    |
|      | CP4  |          |          | 44,82                    |
|      | CP5  |          |          | 44,82                    |
|      | CP6  |          |          | 44,81                    |
|      | CC1  | 145767,3 | 200423,2 | 45,33                    |
|      | CC2  | 145774,1 | 200419,9 | 45,28                    |
|      | CC3  | 145775,4 | 200426,3 | 45,18                    |

Quadro 2 – Distâncias entre zonas, e entre furos e piezômetros

| Furos/Piezômetros | Distância (m) |
|-------------------|---------------|
| AB-BB             | 4459          |
| BB-CB             | 4828          |
| CB-AB             | 5544          |
| AB-AP             | 52,55         |
| ABS-AP            | 49,65         |
| AB-ABS            | 19,19         |
| BB-BP             | 66,71         |
| BBS-BP            | 68,75         |
| BB-BBS            | 25,60         |
| CB-CP             | 67,73         |

#### 4. Base de dados georreferenciada

O conjunto de informação produzida para a prospecção hidrogeológica do NAL é entregue na base de dados em Microsoft Access ProspHidrogeoNAL-CTA.mdb. A base de dados é composta por um conjunto de tabelas onde se armazena informação sobre a localização, propriedades dos furos e dos piezómetros (diâmetros, revestimentos, ralos), colunas litológicas, qualidade da água, ensaios de bombagem, parâmetros do aquífero e níveis piezométricos.

A base de dados é constituída por 18 tabelas de informação de base e 5 tabelas de consulta. A descrição sumária de cada tabela é apresentada nos Quadro 3 e Quadro 4. O Anexo 2 apresenta a descrição mais detalhada das tabelas e dos diversos campos que constituem a base de dados.

Quadro 3 – Tabelas da base de dados ProspHidrogeoNAL-CTA.mdb

| <b>Tabelas</b>               | <b>Conteúdo</b>  |
|------------------------------|--|
| CARACTERISTICAS              | Localização e características sumárias do ponto de água                                      |
| ENSAIO BOMBAGEM CAUDAIS      | Caudais de um ensaio de bombagem em função do tempo de ensaio.                               |
| ENSAIO BOMBAGEM GERAL        | Características de um ensaio de bombagem.  |
| ENSAIO BOMBAGEM NIVEIS       | Profundidades aos níveis observadas durante os ensaios de bombagem                           |
| ENSAIO BOMBAGEM NIVEIS GERAL | Designações dos pontos de água onde se fazem as medições de nível dos ensaios de bombagem    |
| FURAÇÃO                      | Características de perfuração da sondagem (diâmetros, profundidades e métodos de perfuração) |
| LITOLOGIA                    | Descrição litológica (log) da sondagem   |
| MACIÇO FILTR E ISOLAMENTO    | Material do maciço filtrante e do isolamento   |
| NIVEIS                       | Medições manuais das profundidades aos níveis piezométricos                                  |
| PROPRIEDADES HIDRÁULICAS     | Propriedades hidráulicas do aquífero determinadas pela interpretação do ensaio de bombagem   |
| QUALIDADE ELEMENTOS          | Resultados das análises físico-químicas das águas subterrâneas                               |
| QUALIDADE GERAL              | Informação sobre a amostragem de água para análise da sua qualidade                          |
| RALOS                        | Posição dos ralos no ponto de água   |
| REVESTIMENTO                 | Informação sobre o revestimento (profundidades, diâmetros e materiais)                       |
| SONDA_AUTOM_BRUTO            | Valores das sondas de registo automático, sem qualquer tratamento de informação)             |
| SONDA_AUTOM_TRATADO          | Níveis piezométricos tratados a partir dos registos das sondas de registo automático         |
| SONDA_BARO                   | Valores de pressão barométrica registados em sonda de registo automático                     |
| UTILIZAÇÃO                   | Utilização do ponto de água  |

Quadro 4 – Tabelas de consulta da base de dados ProspHidrogeoNAL-CTA.mdb

| <b>Tabelas de consulta</b> | <b>Conteúdo</b>  |
|----------------------------|--|
| COD_MACICO FILTR E ISOLAM  | Relação entre o material do maciço filtrante ou do isolamento e um código numérico do material. É chamada pela tabela <MACICO FILTR E ISOLAMENTO>.               |
| COD_PARAMETROS_QUAL        | Relação entre o parâmetro de qualidade da água, as unidades em que se expressa e o código numérico desse parâmetro. É chamada pela tabela <QUALIDADE ELEMENTOS>. |
| COD_SITUACAO_NIVEIS        | Relação entre a situação existente no ponto de água durante a medição dos níveis e um código numérico. É chamada pela tabela <NIVEIS>.                           |
| COD_TIPOPA                 | Relação entre o tipo de ponto de água e um código numérico. É chamada pela tabela <CARACTERISTICAS>  |
| COD_UTILIZAÇÃO             | Relação entre a utilização do ponto de água e um código numérico. É chamada pela tabela <UTILIZAÇÃO>.  |

A Fig. 4 mostra a estrutura da base de dados. A tabela principal é a tabela CARACTERISTICAS onde se localiza cada ponto de água pertencente ao trabalho de prospecção hidrogeológica. Através do campo ID\_CHARACTERISTICAS esta tabela liga-se a um conjunto de 11 tabelas que contém informação separada sobre o ponto de água. Por sua vez, duas destas tabelas, <QUALIDADE GERAL> e <ENSAIO BOMBAGEM GERAL> ligam a outras tabelas através dos campos de identificadores próprios, ID\_QUALIDADE\_GERAL e ID\_ENSAIO\_BOMB, respectivamente. A tabela <ENSAIO BOMBAGEM NIVEIS GERAL> identifica o ponto de água onde se realiza a extracção de água do ensaio de bombagem e o ponto de água onde se fazem as medições das profundidades aos níveis, ligando-se através do campo ID\_ENSAIO\_BOMB\_NIVEIS\_GERAL à tabela ENSAIO\_BOMBAGEM\_NIVEIS e à tabela PROPRIEDADES\_HIDRÁULICAS resultante da interpretação do ensaio.

A tabela SONDA\_BARO é uma tabela independente das restantes, cujo objectivo é conter os registos da pressão barométrica medido pela sonda de registo automático da pressão do ar. Estes registos são importantes para se poder compensar os valores de pressão medidos pelas sondas de registo automático de níveis, cujos dados estão armazenados na tabela SONDA\_AUTOM\_BRUTO. Com base na informação contida nestas duas tabelas, no conhecimento da altitude do ponto de água e no conhecimento da profundidade a que estão instaladas as sondas de registo automático, que se determina em função dos registos manuais de profundidade ao nível piezométrico, construiu-se a tabela SONDA\_AUTOM\_TRATADO que contém os níveis piezométricos medidos pelas sondas automáticas.

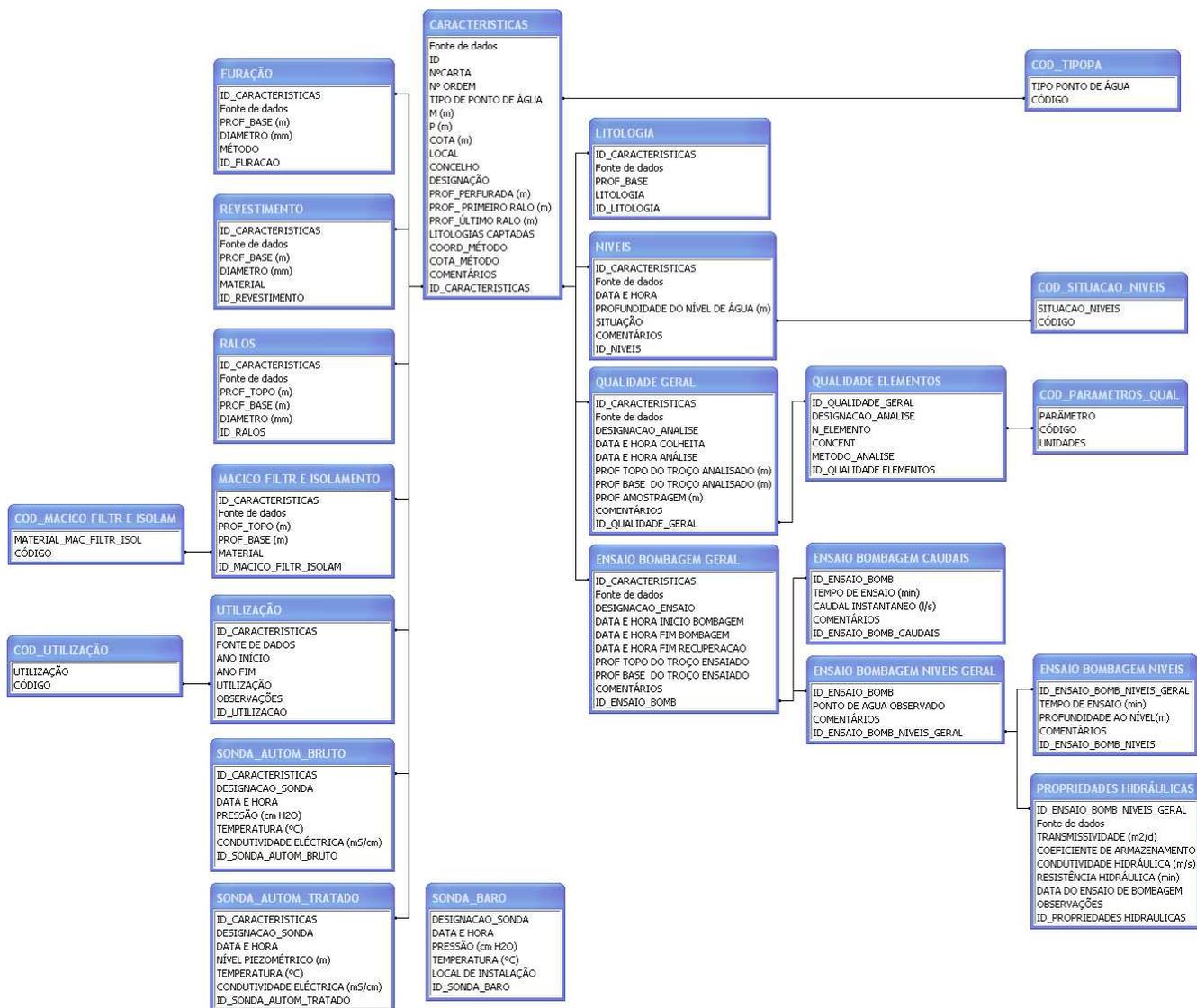


Fig. 4 – Estrutura da base de dados ProspHidrogeoNAL-CTA.mdb contendo a informação produzida para a prospecção hidrogeológica do NAL

## **5. Caracterização geométrica do sistema aquífero**

### **5.1 Caracterização geométrica dos 50 m superiores do sistema aquífero**

Os 50 m superiores do sistema aquífero contêm o aquífero livre, embora este atinja uma profundidade superior. A caracterização geométrica teve como base a análise de 18 sondagens de prospecção geotécnica realizadas em 2007 (14 delas transformadas em piezómetros simples e 4 em piezómetros duplos) e as 142 sondagens executadas em 2008 (20 foram transformadas em piezómetros simples e 15 em piezómetros duplos). Das 142 sondagens realizadas em 2008, 108 apresentam profundidades aproximadas de 20 m e 34 sondagens apresentam profundidades de cerca de 50 m. A Fig. 5 apresenta a localização das sondagens geotécnicas, cuja profundidade de prospecção se encontra indicada no Quadro 5.

Com o objectivo de caracterizar a geometria do aquífero freático, a sua constituição litológica e de definir o modelo conceptual de escoamento do meio, fez-se a análise das colunas litológicas das sondagens geotécnicas, em colaboração com o Núcleo de Geologia de Engenharia e Geotecnia Ambiental (NGEA) do LNEC, tendo-se agrupado o conjunto de tipos litológicos/geotécnicos identificados nas sondagens geotécnicas em três unidades cujas características genéricas se apresentam no Quadro 6. Cada sondagem foi classificada de acordo com as três unidades e o conjunto das sondagens foi importado no sistema GMS (Groundwater Modelling System – Aquaveo, 2008), com o objectivo de estabelecer um modelo geométrico tridimensional. A Fig. 6 mostra os logs das sondagens classificados de acordo com as unidades.

Nas sondagens geotécnicas foi possível identificar camadas aquíferas distintas, o que levou, nalgumas delas, à construção de piezómetros duplos. Os níveis de água observados nestes piezómetros duplos, distintos, permitiram estabelecer um modelo conceptual de escoamento que consiste num aquífero livre principal, que se estende por toda a área em estudo, e da ocorrência de vários aquíferos suspensos (que se dispõem em cotas acima do aquífero livre), e cuja extensão é limitada. O aquífero livre principal caracteriza-se pela ocorrência de areias de granulometria variável (unidade C1) que são localmente intercaladas por camadas compostas por materiais areno-argilosos (unidade C2) e argilo-siltosos (unidade C3). Nalgumas zonas, as

unidades C2 e C3 podem-se apresentar na forma de lentes de extensão limitada mas noutras zonas a sua extensão pode ser mais vasta, como se pode ver na interpretação da Fig. 7.

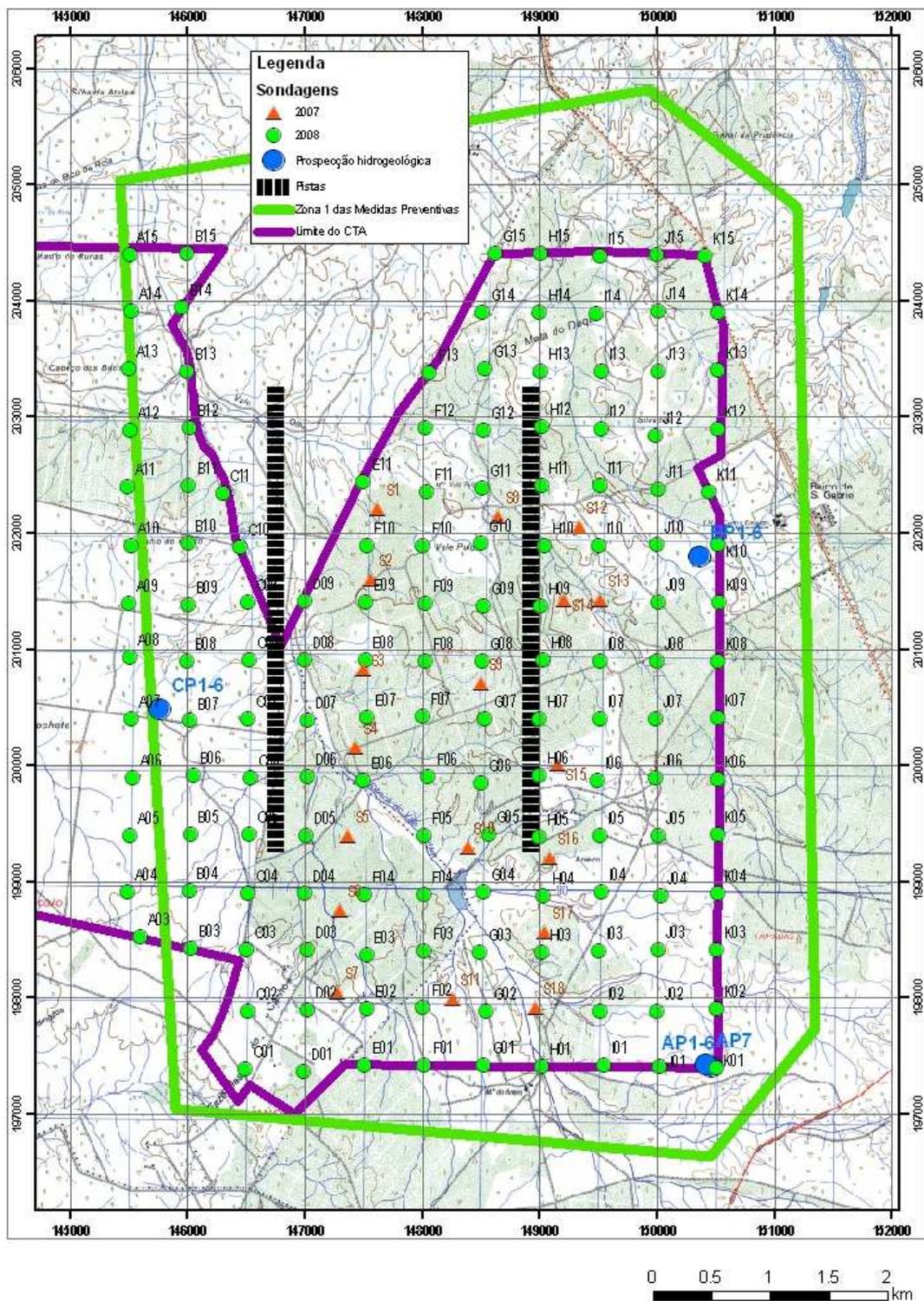


Fig. 5 - Localização das sondagens geotécnicas realizadas no interior do perímetro do CTA em 2007 e 2008

Quadro 5 – Sondagens geotécnicas realizadas no interior do perímetro do CTA

| Ano                              | Sonda-gem | M (m)  | P (m)  | Prof (m) | Cota da boca (m) | Ano                              | Sonda-gem | M (m)  | P (m)  | Prof (m) | Cota da boca (m) | Ano                              | Sonda-gem | M (m)  | P (m)  | Prof (m) | Cota da boca (m) |
|----------------------------------|-----------|--------|--------|----------|------------------|----------------------------------|-----------|--------|--------|----------|------------------|----------------------------------|-----------|--------|--------|----------|------------------|
| 2007                             | S1        | 147627 | 202210 | 19,95    | 41,72            | 2008 (profundidades aprox. 20 m) | E01       | 147509 | 197426 | 19,45    | 53,18            | 2008 (profundidades aprox. 20 m) | K02       | 150513 | 197904 | 20,28    | 56,55            |
|                                  | S2        | 147570 | 201604 | 19,95    | 47,78            |                                  | E02       | 147535 | 197912 | 20,45    | 49,30            |                                  | K03       | 150514 | 198409 | 20,45    | 63,90            |
|                                  | S3        | 147498 | 200832 | 19,95    | 46,08            |                                  | E03       | 147528 | 198374 | 20,45    | 49,39            |                                  | K04       | 150520 | 198899 | 20,45    | 62,68            |
|                                  | S4        | 147436 | 200162 | 19,95    | 41,66            |                                  | E04       | 147515 | 198889 | 19,43    | 47,22            |                                  | K05       | 150521 | 199403 | 18,40    | 63,37            |
|                                  | S5        | 147365 | 199394 | 19,95    | 42,40            |                                  | E07       | 147532 | 200407 | 19,45    | 44,26            |                                  | K07       | 150521 | 200416 | 20,45    | 60,59            |
|                                  | S6        | 147302 | 198760 | 19,95    | 48,19            |                                  | E08       | 147518 | 200906 | 19,45    | 45,80            |                                  | K08       | 150522 | 200902 | 20,43    | 59,07            |
|                                  | S7        | 147274 | 198050 | 19,95    | 50,54            |                                  | E09       | 147520 | 201409 | 20,42    | 50,06            |                                  | K09       | 150531 | 201403 | 19,45    | 54,29            |
|                                  | S8        | 148644 | 202149 | 19,95    | 42,78            |                                  | E10       | 147530 | 201894 | 20,45    | 42,18            |                                  | K10       | 150527 | 201899 | 20,45    | 54,95            |
|                                  | S9        | 148509 | 200713 | 19,95    | 54,79            |                                  | F01       | 148024 | 197421 | 20,45    | 52,24            |                                  | K12       | 150519 | 202900 | 20,44    | 57,86            |
|                                  | S10       | 148397 | 199302 | 19,95    | 45,14            |                                  | F02       | 148013 | 197917 | 19,45    | 53,36            |                                  | K13       | 150527 | 203408 | 20,45    | 52,93            |
|                                  | S11       | 148261 | 197993 | 19,95    | 48,04            |                                  | F03       | 148020 | 198401 | 19,45    | 48,47            |                                  | K14       | 150528 | 203898 | 20,45    | 57,09            |
|                                  | S12       | 149339 | 202052 | 19,45    | 50,93            |                                  | F04       | 148018 | 198883 | 20,12    | 47,29            |                                  | K15       | 150416 | 204387 | 19,44    | 55,49            |
|                                  | S13       | 149521 | 201424 | 19,95    | 49,95            |                                  | F05       | 148018 | 199392 | 20,45    | 41,63            |                                  | A06       | 145538 | 199895 | 49,78    | 46,32            |
|                                  | S14       | 149208 | 201427 | 25,91    | 48,07            |                                  | F07       | 148006 | 200419 | 19,43    | 47,82            |                                  | A11       | 145492 | 202404 | 49,95    | 39,71            |
|                                  | S15       | 149156 | 200013 | 19,95    | 51,92            |                                  | F08       | 148026 | 200901 | 19,45    | 52,59            |                                  | B06       | 146049 | 199918 | 49,62    | 42,69            |
|                                  | S16       | 149095 | 199209 | 19,45    | 48,80            |                                  | F09       | 148029 | 201390 | 19,45    | 47,80            |                                  | B11       | 146015 | 202405 | 49,93    | 35,76            |
|                                  | S17       | 149044 | 198568 | 19,95    | 50,41            |                                  | F10       | 148013 | 201892 | 19,45    | 44,83            |                                  | C06       | 146535 | 199889 | 49,95    | 41,39            |
|                                  | S18       | 148972 | 197919 | 19,95    | 47,21            |                                  | F12       | 148032 | 202901 | 20,45    | 44,96            |                                  | C11       | 146304 | 202349 | 49,77    | 29,05            |
| 2008 (profundidades aprox. 20 m) | A03       | 145603 | 198522 | 20,45    | 53,26            | F13                              | 148068    | 203384 | 20,45  | 52,03    | D06              | 147029                           | 199907    | 49,88  | 39,63  |          |                  |
|                                  | A04       | 145495 | 198909 | 19,40    | 49,12            | H01                              | 149023    | 197414 | 16,40  | 46,53    | E06              | 147505                           | 199874    | 49,82  | 38,27  |          |                  |
|                                  | A05       | 145515 | 199394 | 22,95    | 47,93            | H03                              | 149023    | 198394 | 19,45  | 49,75    | E11              | 147503                           | 202438    | 49,95  | 41,03  |          |                  |
|                                  | A07       | 145529 | 200405 | 20,45    | 45,10            | H04                              | 149040    | 198881 | 21,45  | 47,00    | F06              | 148052                           | 199901    | 49,84  | 45,05  |          |                  |
|                                  | A08       | 145515 | 200933 | 20,43    | 40,81            | H05                              | 149006    | 199381 | 20,38  | 53,22    | F11              | 148037                           | 202355    | 49,92  | 46,14  |          |                  |
|                                  | A09       | 145507 | 201392 | 20,45    | 47,11            | H07                              | 149004    | 200400 | 19,43  | 51,69    | G01              | 148529                           | 197417    | 49,79  | 51,57  |          |                  |
|                                  | A10       | 145520 | 201891 | 20,43    | 41,39            | H08                              | 149037    | 200905 | 19,45  | 52,07    | G02              | 148545                           | 197889    | 49,78  | 51,02  |          |                  |
|                                  | A12       | 145511 | 202881 | 19,45    | 37,72            | H09                              | 149012    | 201374 | 21,45  | 49,79    | G03              | 148496                           | 198392    | 49,95  | 43,55  |          |                  |
|                                  | A13       | 145505 | 203412 | 19,45    | 35,36            | H10                              | 149045    | 201887 | 20,45  | 44,17    | G04              | 148528                           | 198906    | 49,75  | 43,59  |          |                  |
|                                  | A14       | 145526 | 203914 | 20,45    | 32,10            | H12                              | 149027    | 202915 | 21,45  | 49,29    | G05              | 148570                           | 199402    | 49,87  | 45,54  |          |                  |
|                                  | A15       | 145510 | 204401 | 19,45    | 29,39            | H13                              | 149016    | 203396 | 21,45  | 45,74    | G06              | 148499                           | 199846    | 49,95  | 50,26  |          |                  |
|                                  | B03       | 146034 | 198421 | 19,45    | 51,25            | H14                              | 149006    | 203895 | 20,45  | 46,36    | G07              | 148541                           | 200403    | 49,95  | 50,96  |          |                  |
|                                  | B04       | 146016 | 198926 | 20,27    | 47,16            | H15                              | 149012    | 204405 | 20,45  | 45,74    | G08              | 148517                           | 200894    | 49,95  | 53,75  |          |                  |
|                                  | B05       | 146028 | 199405 | 22,86    | 46,59            | I01                              | 149555    | 197416 | 20,37  | 54,49    | G09              | 148528                           | 201377    | 49,73  | 49,24  |          |                  |
|                                  | B07       | 146019 | 200392 | 20,45    | 46,38            | I02                              | 149524    | 197889 | 19,45  | 53,99    | G10              | 148504                           | 201909    | 49,93  | 47,09  |          |                  |
|                                  | B08       | 146003 | 200900 | 19,45    | 39,48            | I03                              | 149510    | 198404 | 19,45  | 52,32    | G11              | 148511                           | 202389    | 49,78  | 46,07  |          |                  |
|                                  | B09       | 146015 | 201385 | 20,39    | 38,29            | I04                              | 149533    | 198908 | 21,26  | 53,00    | G12              | 148526                           | 202879    | 49,95  | 44,57  |          |                  |
|                                  | B10       | 146005 | 201911 | 20,39    | 36,93            | I05                              | 149520    | 199396 | 21,45  | 55,95    | G13              | 148540                           | 203412    | 49,82  | 48,55  |          |                  |
|                                  | B12       | 146024 | 202909 | 19,26    | 28,04            | I07                              | 149522    | 200399 | 19,45  | 55,26    | G14              | 148520                           | 203904    | 49,84  | 50,47  |          |                  |
|                                  | B13       | 146000 | 203396 | 20,40    | 27,36            | I08                              | 149525    | 200902 | 20,45  | 52,87    | G15              | 148626                           | 204408    | 49,61  | 48,24  |          |                  |
|                                  | B14       | 145954 | 203947 | 20,45    | 28,20            | I10                              | 149508    | 201889 | 19,45  | 54,03    | H06              | 149005                           | 199920    | 49,95  | 50,86  |          |                  |
|                                  | B15       | 145998 | 204406 | 19,45    | 37,76            | I12                              | 149528    | 202895 | 20,45  | 49,38    | H11              | 149019                           | 202411    | 49,75  | 52,71  |          |                  |
|                                  | C01       | 146496 | 197391 | 19,40    | 55,90            | I13                              | 149531    | 203394 | 20,45  | 51,09    | I06              | 149501                           | 199871    | 49,95  | 54,03  |          |                  |
|                                  | C02       | 146515 | 197881 | 20,45    | 54,04            | I14                              | 149490    | 203891 | 20,45  | 47,13    | I11              | 149518                           | 202407    | 49,74  | 48,38  |          |                  |
|                                  | C03       | 146512 | 198413 | 19,45    | 50,44            | I15                              | 149523    | 204388 | 20,45  | 47,84    | J06              | 149995                           | 199893    | 49,75  | 62,91  |          |                  |
|                                  | C04       | 146515 | 198898 | 21,43    | 45,01            | J01                              | 150029    | 197415 | 20,37  | 56,21    | J11              | 150018                           | 202378    | 49,69  | 52,21  |          |                  |
|                                  | C05       | 146533 | 199407 | 19,45    | 48,39            | J02                              | 150008    | 197886 | 20,22  | 53,72    | K06              | 150521                           | 199888    | 49,95  | 58,71  |          |                  |
| C07                              | 146516    | 200401 | 20,45  | 43,27    | J03              | 150015                           | 198417    | 19,45  | 58,45  | K11      | 150447           | 202350                           | 49,82     | 53,64  |        |          |                  |
| C08                              | 146527    | 200906 | 20,45  | 38,80    | J04              | 150034                           | 198877    | 19,45  | 57,24  |          |                  |                                  |           |        |        |          |                  |
| C09                              | 146520    | 201409 | 19,45  | 38,18    | J05              | 150017                           | 199397    | 18,41  | 62,37  |          |                  |                                  |           |        |        |          |                  |
| C10                              | 146454    | 201883 | 20,45  | 30,91    | J07              | 149995                           | 200401    | 20,45  | 56,78  |          |                  |                                  |           |        |        |          |                  |
| D01                              | 146990    | 197370 | 18,43  | 58,37    | J08              | 150006                           | 200903    | 20,45  | 54,38  |          |                  |                                  |           |        |        |          |                  |
| D02                              | 147021    | 197895 | 19,45  | 52,93    | J09              | 150022                           | 201403    | 20,45  | 55,50  |          |                  |                                  |           |        |        |          |                  |
| D03                              | 147021    | 198417 | 19,43  | 49,26    | J10              | 150008                           | 201901    | 19,45  | 51,41  |          |                  |                                  |           |        |        |          |                  |
| D04                              | 147002    | 198899 | 19,45  | 46,28    | J12              | 149995                           | 202843    | 20,45  | 58,01  |          |                  |                                  |           |        |        |          |                  |
| D05                              | 147012    | 199393 | 19,23  | 40,51    | J13              | 150012                           | 203397    | 20,45  | 53,68  |          |                  |                                  |           |        |        |          |                  |
| D07                              | 147021    | 200391 | 19,43  | 36,82    | J14              | 150020                           | 203907    | 20,45  | 47,40  |          |                  |                                  |           |        |        |          |                  |
| D08                              | 147003    | 200914 | 20,45  | 37,09    | J15              | 150009                           | 204392    | 20,45  | 49,35  |          |                  |                                  |           |        |        |          |                  |
| D09                              | 146999    | 201415 | 19,45  | 42,28    | K01              | 150509                           | 197403    | 20,45  | 62,09  |          |                  |                                  |           |        |        |          |                  |

Quadro 6 – Classificação dos estratos atravessados pelas sondagens geotécnicas realizadas no perímetro do CTA

| Litologia   | Condutividade hidráulica vertical (m/s) | Unidade |
|---|---|---------|
| Areias de granulometria variada, e areias finas siltosas (podendo ter uma componente argilosa não muito activa) | $> 10^{-6}$                             | C1      |
| Areias argilosas  | $10^{-7}$ a $10^{-8}$                   | C2      |
| Argilas e siltes  | $10^{-9}$ a $10^{-10}$                  | C3      |

Fonte: NGEA-LNEC

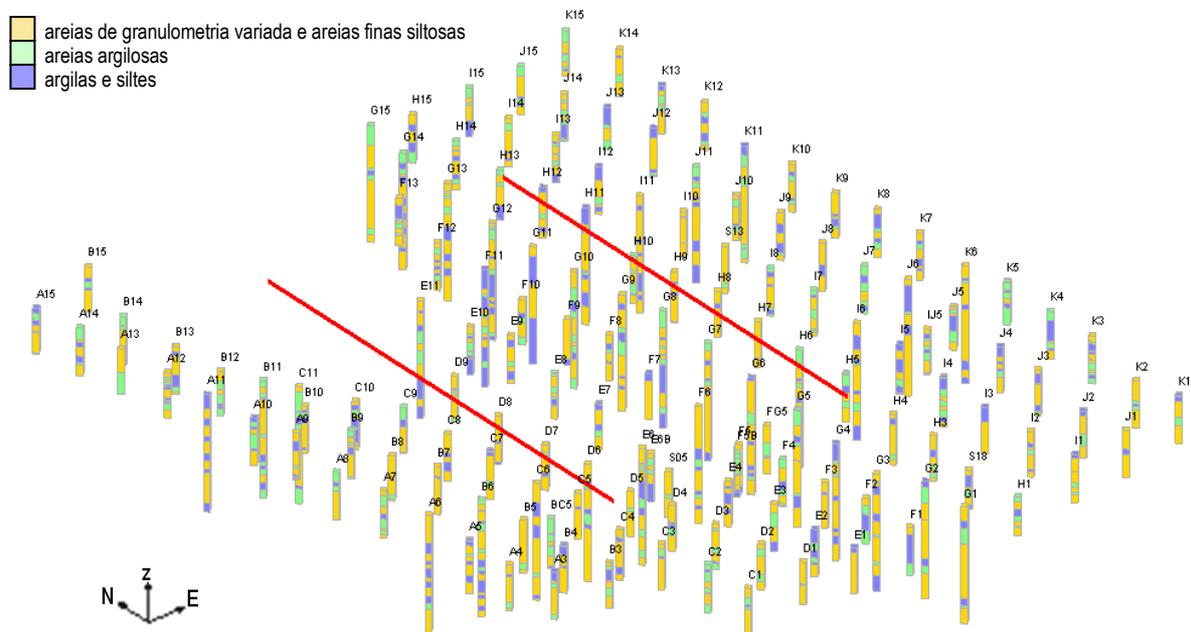


Fig. 6– Representação espacial dos logs das sondagens geotécnicas efectuadas no perímetro do CTA

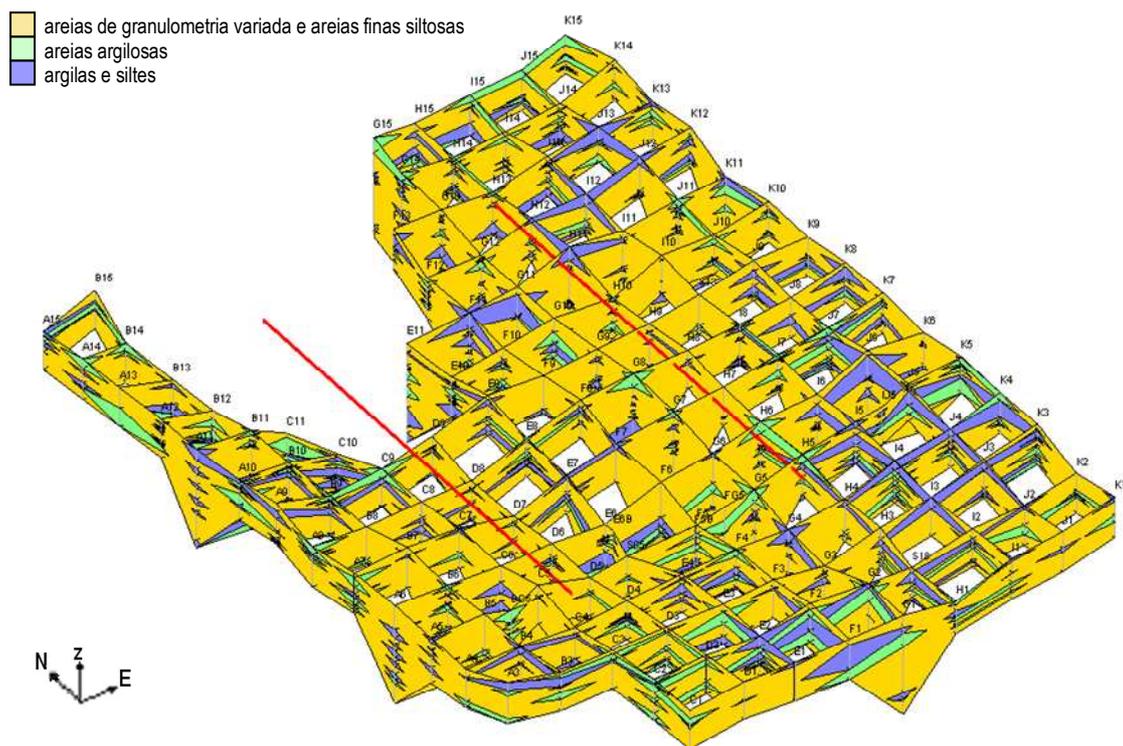


Fig. 7 – Perfis litológicos do aquífero livre da Margem Esquerda no CTA.

## 5.2 Caracterização geométrica do sistema aquífero entre os 50 m e os 300 m de profundidade na zona do perímetro do CTA

A caracterização desta zona utilizou uma menor quantidade de informação do que a dos primeiros 50 m de aquífero. Utilizou-se como fonte de informação as seis sondagens de 300 m, as duas sondagens de cerca de 100 m, e as sondagens carotadas até aos 150 m, todas elas realizadas no âmbito deste estudo, e a informação de alguns furos existentes na zona do perímetro do CTA. O Anexo 1 mostra a classificação litológica das sondagens realizadas no âmbito deste estudo, de acordo com a informação fornecida pelo Consórcio MVG, interpretadas em três classes fundamentais em termos litológicos, à semelhança do que já havia sido feito para as sondagens até aos 50 m:

- Maior permeabilidade: formações essencialmente arenosas ou gresosas;
- Permeabilidade intermédia: formações arenosas ou gresosas mas com componente argilosa assinalada;
- Menor permeabilidade: formações argilosas, ou de argilas arenosas.

Também no Anexo 1 são assinaladas as zonas de ocorrência de fósseis ou de cimento carbonatado.

Na secção 8.3 e na Fig. 13, a propósito dos ensaios de caracterização laboratorial, apresenta-se o perfil da sondagem carotada.

À grande escala, a partir da superfície do terreno, é possível definir uma sequência detrítica onde alternam formações arenosas e gresosas (de variadas texturas, por vezes com cimentos argilosos) e formações argilosas. A partir de uma certa profundidade (cota -160 na zona A, cota -191 na zona B e cota -235 na zona C) ocorrem formações essencialmente argilosas ou greso-argilosas, com cimento calcário e fósseis. A superfície, definida por estas profundidades, que em média inclina cerca de  $0,8^\circ$  (1 %) para WNW (azimute  $300^\circ$ ) marca o topo de uma formação com características hidrogeológicas diferentes das formações acima, e é normalmente referida como a separação entre o Plio-Quaternário (acima) e o Miocénico (abaixo).

Com base na mesma informação, nos resultados das diagrfias e nos dados de piezometria que se apresentam na secção seguinte (ver também Fig. 8), estima-se também a cota da base

do sistema aquífero livre, propiciada pela ocorrência de argilas arenosas acastanhadas, com finas intercalações de grés grosseiro esbranquiçado e argilas arenosas cinzentas:

- Zona A> base do aquífero livre: cota -36 m (100 m de profundidade) – esta zona aparece nas diagrfias associada à ocorrência de zona de baixas resistividades e ligeiro aumento da radiação gama natural (mais notória na diagrfia do furo AB). No entanto entre a cota assinalada e a cota 20 m há várias zonas com características litológicas e de resposta às diagrfias semelhantes pelo que se supõe que nesta zona há muitas camadas que por serem pouco permeáveis podem individualizar vários aquíferos e, talvez, a base do aquífero livre pudesse aqui encontrar-se mais próxima da superfície. No entanto, há diferenças de níveis piezométricos muito marcadas entre os piezómetros AP5/AP6/AP7 e o piezómetro AP4, cujas camadas que monitorizam são isolados entre si por estratos classificados como “Argila arenosa acastanhada, c/ finas intercalações de grés grosseiro esbranquiçado”, com 16 m de espessura.
- Zona B> base do aquífero livre: cota -17 m (75 m de profundidade) – assinalada nas diagrfias da sondagem BP por baixa resistividade e radiação gama relativamente baixa. O critério preponderante para a definição desta base é a grande diferença de níveis piezométricos que se observa entre os piezómetros BP5 e BP4 sendo o suporte impermeável caracterizado pela ocorrência de 18 m de camadas de “argilas e argilas arenosas cinzento-esverdeadas com intercalações de grés grosseiros muito argilosos cinzentos”
- Zona C> base do aquífero livre: cota 0 m (44 m de profundidade) – assinalada nas diagrfias da sondagem CP por uma diminuição da resistividade eléctrica e um aumento ligeiro da radiação gama, associadas à camada de “grés fino muito argiloso acastanhado”, com 6 m de espessura, e nos níveis piezométricos por uma grande diferença entre o nível piezométrico registado no piezómetro CP6 e o registado no piezómetro CP5.

Utilizando as cotas referidas, e se se pudesse considerar que a base do aquífero livre fosse um plano, este teria uma inclinação de 0,4° (0,6 %) para SE (azimute 131°). Dadas as condições de sedimentação das formações geológicas e a sua extensão, tal consideração só pode no entanto ser utilizada como abordagem inicial, não se conhecendo dados que permitam aprofundar este conhecimento.

## 6. Análise espaciotemporal da piezometria

### 6.1 Observações da prospecção hidrogeológica

A Fig. 8 representa os níveis piezométricos medidos nos vários furos e piezómetros executados para a prospecção hidrogeológica, utilizando as sondas manuais de níveis observados maioritariamente fora dos períodos dos ensaios de bombagem. Uma informação mais contínua recolhida pelas sondas de registo automático de níveis, está disponibilizada na base de dados e pode ser também visualizada no Anexo 3. O Quadro 7 apresenta a média dos níveis piezométricos registados, excluindo os dados que apresentaram anomalias ou influência dos ensaios de bombagem.

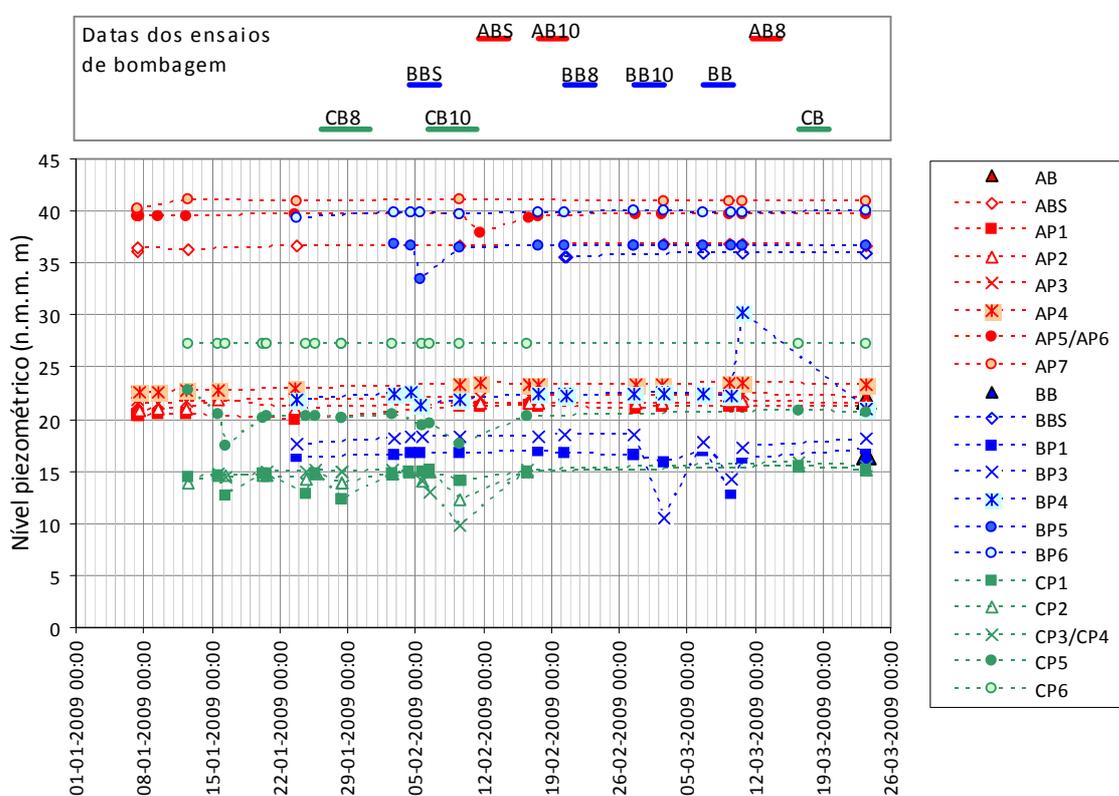


Fig. 8 – Níveis piezométricos registados com as sondas manuais de níveis, com indicação dos períodos de realização dos ensaios de bombagem

Quadro 7 – Nível piezométrico (N.p.) médio registado com as sondas manuais de níveis

|                       |       |       |         |       |         |       |       |
|-----------------------|-------|-------|---------|-------|---------|-------|-------|
| <b>Zona A</b>         | AP1   | AP2   | AP3     | AP4   | AP5=AP6 | AP7   | ABS   |
| <b>N.p. médio (m)</b> | 20,84 | 21,36 | 22,04   | 23,09 | 39,6    | 40,8  | 36,6  |
| <b>Zona B</b>         | BP1   | BP2   | BP3     | BP4   | BP5     | BP6   | BBS   |
| <b>N.p. médio (m)</b> | 16,61 | --    | 18,14   | 22,20 | 36,63   | 39,85 | 35,81 |
| <b>Zona C</b>         | CP1   | CP2   | CP3=CP4 |       | CP5     | CP6   |       |
| <b>N.p. médio (m)</b> | 14,72 | 14,62 | 15,06   |       | 20,53   | 27,19 |       |

Nota: No cálculo das médias foram retirados os valores anómalos ou sob influência de ensaios de bombagem

Em cada uma das zonas, e com excepção para os piezómetros CP1 e CP2, os níveis piezométricos diminuem com o aumento da profundidade o que significa que para as actuais condições existentes na área estudada o escoamento vertical ocorre de cima para baixo. Contudo, dada a presença de várias camadas pouco permeáveis intercaladas entre os vários aquíferos, este escoamento é muito lento.

Os níveis piezométricos médios observados permitem considerar dois grupos distintos em cada uma das zonas, e que se podem, à escala regional da interpretação conjunta das três zonas, classificar como 1) níveis associados ao aquífero livre e 2) níveis associados ao aquífero confinado a semi-confinado.

Considera-se que os níveis associados ao aquífero livre são os registados nos seguintes piezómetros:

- Zona A: piezómetros AP7, AP6, e furo ABS – N.p. médio = 39,0m;
- Zona B: piezómetros BP6, BP5 e furo BBS – N.p. médio = 37,4 m;
- Zona C: somente o piezómetro CP6 – N.p. médio = 27,2 m;

Utilizando estes valores infere-se um gradiente hidráulico regional médio do aquífero livre de 0,1° (0,2 %) para W (azimute 278°), sendo esta à escala regional a direcção de escoamento subterrâneo. A uma escala mais local, na secção seguinte, faz-se uma caracterização mais detalhada das direcções de escoamento do aquífero livre.

Considera-se que os restantes níveis, excepto os registados no piezómetro CP5, podem ser ligados, à escala regional, a um aquífero confinado ou semi-confinado:

- Zona A: piezómetros AP4, AP3, AP2 e AP1 – N.p. médio = 21,8 m;

- Zona B: piezómetros BP4, BP3, BP1 – N.p. médio = 19,0 m;
- Zona C: piezómetros CP3, CP2, CP1 – N.p. médio = 14,8 m;

Com estes valores estima-se um gradiente hidráulico regional do aquífero confinado a semi-confinado de  $0,07^\circ$  (0,1 %) para WNW (azimute  $299^\circ$ ), constituindo esta direcção WNW a direcção regional de escoamento subterrâneo deste aquífero.

## 6.2 Aquífero livre

A piezometria do sistema aquífero livre da Margem Esquerda, a uma escala mais local, teve como base a análise dos dados dos piezómetros de monitorização construídos durante as campanhas de prospecção geotécnica realizadas em 2007 e em 2008, num trabalho coordenado pelo NGEA-LNEC, cujas características e níveis se encontram representados nos Quadro 8 e Quadro 9.

Na sequência do modelo conceptual de funcionamento do aquífero livre apresentado na secção 5.1, para a caracterização do nível piezométrico do aquífero livre, com base nos logs das sondagens e nos níveis piezométricos registados, seleccionou-se um conjunto de piezómetros simples, o conjunto dos piezómetros duplos inferiores (“-B”) e os três piezómetros superiores da prospecção hidrogeológica. O mapa piezométrico do aquífero livre, construído com os dados relativos a final de Janeiro de 2009, referindo os piezómetros utilizados, é apresentado na Fig. 9.

A variação dos níveis de água indica direcção de fluxo no sentido E→W, com cotas inferiores, da ordem de 30 m, na parte central, que diminuem para W com cotas da ordem de 22 m. Na parte E podem ser observados maiores gradientes hidráulicos nas áreas com piezometria entre os 35 e os 40 m. A W estes gradientes diminuem consideravelmente com a diminuição da piezometria. A Fig. 10 permite visualizar tridimensionalmente a superfície freática, projectando também a estimativa da posição da base do aquífero livre com base na informação referida na secção 5.2.

A análise dos níveis de água observados nos piezómetros duplos superiores (“-T”; Quadro 9) permitiu verificar níveis piezométricos nos aquíferos suspensos entre as cotas 41,05 e 30,13 m.

Quadro 8 – Piezômetros para monitorização hidrogeológica.

| Sondagem | Cota  | Piezómetro |       | Sector monitorizado |      | Sondagem | Cota  | Piezómetro |       | Sector monitorizado |      |
|----------|-------|------------|-------|---------------------|------|----------|-------|------------|-------|---------------------|------|
|          |       | Simples    | Duplo | Topo                | Base |          |       | Simples    | Duplo | Topo                | Base |
| S1       | 41,72 | P1         |       | 13                  | 19,5 | H5       | 53,22 | H5         |       | 15,5                | 20,0 |
| S2       | 47,78 | P2         |       | 14                  | 19,5 | I5       | 55,95 |            | I5-T  | 12                  | 18,0 |
| S3       | 46,08 |            | P3-T  | 1,5                 | 10   | I5       | 55,95 |            | I5-B  | 21                  | 23,0 |
| S3       | 46,08 |            | P3-B  | 17                  | 19,5 | J5       | 62,37 | J5         |       | 10,5                | 20,0 |
| S4       | 41,66 |            | P4-T  | 1                   | 6,5  | B7       | 46,38 | B7         |       | 3                   | 20,0 |
| S4       | 41,66 |            | P4-B  | 11                  | 19,5 | C7       | 43,27 | C7         |       | 3                   | 20,0 |
| S5       | 42,4  | P5         |       | 2                   | 19,5 | D7       | 36,82 |            | D7-T  | 4                   | 13,0 |
| S6       | 48,19 | P6         |       | 10,5                | 19,5 | D7       | 36,82 |            | D7-B  | 14                  | 20,0 |
| S7       | 50,54 | P7         |       | 3                   | 19,5 | E7       | 44,26 |            | E7-T  | 3                   | 9,0  |
| S8       | 42,78 | P8         |       | 13                  | 19,5 | E7       | 44,26 |            | E7-B  | 12                  | 20,0 |
| S9       | 54,79 | P9         |       | 1                   | 19,5 | F7       | 47,82 | F7         |       | 3                   | 20,0 |
| S10      | 45,14 |            | P10-T | 1,5                 | 11   | H7       | 51,69 | H7         |       | 3                   | 20,5 |
| S10      | 45,14 |            | P10-B | 15                  | 19,5 | B9       | 38,29 |            | B9-T  | 3                   | 7,0  |
| S11      | 48,04 | P11        |       | 11                  | 19,5 | B9       | 38,29 |            | B9-B  | 10                  | 20,0 |
| S12      | 50,93 | P12        |       | 2                   | 19   | C9       | 38,18 | C9         |       | 8                   | 19,0 |
| S13      | 49,95 | P13        |       | 1,5                 | 14,5 | D9       | 42,28 |            | D9-T  | 1                   | 5,0  |
| S14      | 48,07 |            | P14-T | 1,5                 | 13   | D9       | 42,28 |            | D9-B  | 6                   | 18,0 |
| S14      | 48,07 |            | P14-B | 24                  | 25,5 | E9       | 50,06 |            | E9-T  | 5                   | 11,0 |
| S15      | 51,92 | P15        |       | 10,5                | 19,5 | E9       | 50,06 |            | E9-B  | 19                  | 20,0 |
| S16      | 48,8  | P16        |       | 2                   | 19   | F9       | 47,80 | F9         |       | 1                   | 19,5 |
| S17      | 50,41 | P17        |       | 10                  | 19,5 | E11      | 41,03 |            | E11-T | 1                   | 10,5 |
| S18      | 47,21 | P18        |       | 6                   | 19,5 | E11      | 41,03 |            | E11-B | 13                  | 21,0 |
| C3       | 50,44 | C3         |       | 3                   | 20,0 | F11      | 46,10 |            | F11-T | 1                   | 11,5 |
| D3       | 49,26 | D3         |       | 3                   | 20,0 | F11      | 46,10 |            | F11-B | 17                  | 29,0 |
| E3       | 49,39 | E3         |       | 3                   | 16,0 | G11      | 46,07 | G11        |       | 1                   | 30,0 |
| F3       | 48,47 | F3         |       | 3                   | 20,0 | H11      | 52,71 |            | H11-T | 1                   | 23,0 |
| G3       | 43,55 |            | G3-T  | 1,5                 | 6    | H11      | 52,71 |            | H11-B | 30                  | 36,0 |
| G3       | 43,55 |            | G3-B  | 9                   | 17   | I11      | 48,38 | I11-T      |       | 1                   | 23,0 |
| I3       | 52,32 | I3         |       | 6                   | 20,0 | I11      | 48,38 |            | I11-B | 25,5                | 33,0 |
| J3       | 58,45 | J3         |       | 6                   | 15,0 | J11      | 52,21 |            | J11-T | 1                   | 15,0 |
| C5       | 48,39 | C5         |       | 16                  | 20,0 | J11      | 52,21 |            | J11-B | 17                  | 31,5 |
| D5       | 40,51 |            | D5-T  | 3,5                 | 7,0  | K11      | 53,64 | K11        |       | 1                   | 20,0 |
| D5       | 40,51 |            | D5-B  | 10                  | 19,0 | G13      | 48,55 | G13        |       | 1                   | 18,0 |
| F5       | 41,63 |            | F5-T  | 6,5                 | 9,0  | H13      | 45,74 | H13        |       | 1                   | 15,0 |
| F5       | 41,63 |            | F5-B  | 12,5                | 17,5 | I13      | 51,09 | I13        |       | 11,5                | 16,5 |
| G5       | 45,54 |            | G5-T  | 5                   | 11,0 |          |       |            |       |                     |      |
| G5       | 45,54 |            | G5-B  | 15,5                | 20,0 |          |       |            |       |                     |      |

Fonte: GEOCONTROLE, 2007 e 2008

As sondagens/os piezómetros estão representados na Fig. 5.

Quadro 9 – Valores medidos nos piezômetros em 30 de Janeiro de 2009

| Piezômetro | Prof(m) | Cota da boca (m) | M(m)   | P(m)   | Prof. nível da água 30/01/2009 | Cota piezom. 30/01/2009 | Piezômetro | Prof(m) | Cota da boca (m) | M(m)   | P(m)   | Prof. nível da água 30/01/2009 | Cota piezom. 30/01/2009 |
|------------|---------|------------------|--------|--------|--------------------------------|-------------------------|------------|---------|------------------|--------|--------|--------------------------------|-------------------------|
| P1         | 19,95   | 41,72            | 147627 | 202210 | 12,96                          | 28,76                   | I5-T       | 21,45   | 55,95            | 149520 | 199396 | 15,25                          | 40,70                   |
| P2         | 19,95   | 47,78            | 147570 | 201604 | 16,41                          | 31,37                   | I5-B       | 21,45   | 55,95            | 149520 | 199396 | 19,41                          | 36,54                   |
| P3-T       | 19,95   | 46,08            | 147498 | 200832 | 8,75                           | 37,33                   | B7         | 20,45   | 46,38            | 146019 | 200392 | 18,2                           | 28,18                   |
| P3-B       | 19,95   | 46,08            | 147498 | 200832 | 15,36                          | 30,72                   | C7         | 20,45   | 43,27            | 146516 | 200401 | 16,25                          | 27,02                   |
| P4-T       | 19,95   | 41,66            | 147436 | 200162 | 3,6                            | 38,06                   | D7-T       | 19,43   | 36,82            | 147021 | 200391 | 6,69                           | 30,13                   |
| P4-B       | 19,95   | 41,66            | 147436 | 200162 | 9,28                           | 32,38                   | D7-B       | 19,43   | 36,82            | 147021 | 200391 | 7,64                           | 29,18                   |
| P5         | 19,95   | 42,40            | 147365 | 199394 | 9,08                           | 33,32                   | E7-T       | 19,45   | 44,26            | 147532 | 200407 | 13,35                          | 30,91                   |
| P6         | 19,95   | 48,19            | 147302 | 198760 | 17,55                          | 30,64                   | E7-B       | 19,45   | 44,26            | 147532 | 200407 | 8,18                           | 36,08                   |
| P10-T      | 19,95   | 45,14            | 148397 | 199302 | 5,61                           | 39,53                   | F7         | 19,43   | 47,82            | 148006 | 200419 | 16,49                          | 31,33                   |
| P10-B      | 19,95   | 45,14            | 148397 | 199302 | 6,11                           | 39,03                   | H7         | 19,43   | 51,69            | 149004 | 200400 | 17,93                          | 33,76                   |
| P11        | 19,95   | 48,04            | 148261 | 197993 | 10,42                          | 37,62                   | B9-T       | 20,39   | 38,29            | 146015 | 201385 | 4,79                           | 33,50                   |
| P12        | 19,45   | 50,93            | 149339 | 202052 | 15,63                          | 35,30                   | B9-B       | 20,39   | 38,29            | 146015 | 201385 | 14,24                          | 24,05                   |
| P13        | 19,95   | 49,95            | 149521 | 201424 | 8,14                           | 41,81                   | C9         | 19,45   | 38,18            | 146520 | 201409 | 10,11                          | 28,07                   |
| P14-T      | 25,91   | 48,07            | 149208 | 201427 | 10,25                          | 37,82                   | D9-B       | 19,45   | 42,28            | 146999 | 201415 | 12,99                          | 29,29                   |
| P14-B      | 25,91   | 48,07            | 149208 | 201427 | 13,67                          | 34,40                   | F9         | 19,45   | 47,80            | 148029 | 201390 | 10,52                          | 37,28                   |
| P15        | 19,95   | 51,92            | 149156 | 200013 | 17,13                          | 34,79                   | E11-T      | 49,95   | 41,03            | 147503 | 202438 | 7,41                           | 33,62                   |
| P16        | 19,45   | 48,80            | 149095 | 199209 | 14,09                          | 34,71                   | E11-B      | 49,95   | 41,03            | 147503 | 202438 | 12,99                          | 28,04                   |
| P17        | 19,95   | 50,41            | 149044 | 198568 | 13,57                          | 36,84                   | F11-T      | 49,92   | 46,14            | 148037 | 202355 | 7,65                           | 38,49                   |
| P18        | 19,95   | 47,21            | 148972 | 197919 | 9,29                           | 37,92                   | F11-B      | 49,92   | 46,14            | 148037 | 202355 | 15,79                          | 30,35                   |
| C3         | 19,45   | 50,44            | 146512 | 198413 | 19,41                          | 31,03                   | G11        | 49,78   | 46,07            | 148511 | 202389 | 16,42                          | 29,65                   |
| D3         | 19,43   | 49,26            | 147021 | 198417 | 13,5                           | 35,76                   | H11-T      | 49,75   | 52,71            | 149019 | 202411 | 22,51                          | 30,20                   |
| E3         | 20,45   | 49,39            | 147528 | 198374 | 12,12                          | 37,27                   | H11-B      | 49,75   | 52,71            | 149019 | 202411 | 22,41                          | 30,30                   |
| F3         | 19,45   | 48,47            | 148020 | 198401 | 11,75                          | 36,72                   | I11-T      | 49,74   | 48,38            | 149518 | 202407 | 14,31                          | 34,07                   |
| G3-T       | 49,95   | 43,55            | 148496 | 198392 | 2,5                            | 41,05                   | I11-B      | 49,74   | 48,38            | 149518 | 202407 | 15,35                          | 33,03                   |
| G3-B       | 49,95   | 43,55            | 148496 | 198392 | 2,92                           | 40,63                   | J11-T      | 49,69   | 52,21            | 150018 | 202378 | 15,98                          | 36,23                   |
| I3         | 19,45   | 52,32            | 149510 | 198404 | 17,06                          | 35,26                   | J11-B      | 49,69   | 52,21            | 150018 | 202378 | 18,55                          | 33,66                   |
| C5         | 19,45   | 48,39            | 146533 | 199407 | 17,81                          | 30,58                   | K11        | 49,82   | 53,64            | 150447 | 202350 | 10,06                          | 43,58                   |
| D5-T       | 19,23   | 40,51            | 147012 | 199393 | 6,56                           | 33,95                   | G13        | 49,82   | 48,55            | 148540 | 203412 | 11,31                          | 37,24                   |
| D5-B       | 19,23   | 40,51            | 147012 | 199393 | 9,02                           | 31,49                   | H13        | 21,45   | 45,74            | 149016 | 203396 | 5,76                           | 39,98                   |
| F5-T       | 20,45   | 41,63            | 148018 | 199392 | 3,47                           | 38,16                   | I13        | 20,45   | 51,09            | 149531 | 203394 | 11,11                          | 39,98                   |
| F5-B       | 20,45   | 41,63            | 148018 | 199392 | 7,41                           | 34,22                   | CP6        | 45      | 44,81            | 145771 | 200490 | 17,64                          | 27,17                   |
| G5-T       | 49,87   | 45,54            | 148570 | 199402 | 7,18                           | 38,36                   | AP7        | 41      | 63,92            | 150421 | 197431 | 22,98                          | 40,94                   |
| G5-B       | 49,87   | 45,54            | 148570 | 199402 | 11,42                          | 34,12                   | BP6        | 28      | 59,16            | 150368 | 201806 | 19,11                          | 40,05                   |
| H5         | 20,38   | 53,22            | 149006 | 199381 | 18,21                          | 35,01                   |            |         |                  |        |        |                                |                         |

Fonte: GEOCONTROLE, 2007 e 2008.

A cinzento destacam-se os piezômetros utilizados para a definição da piezometria do aquífero livre.

As sondagens/os piezômetros estão representados na Fig. 5.

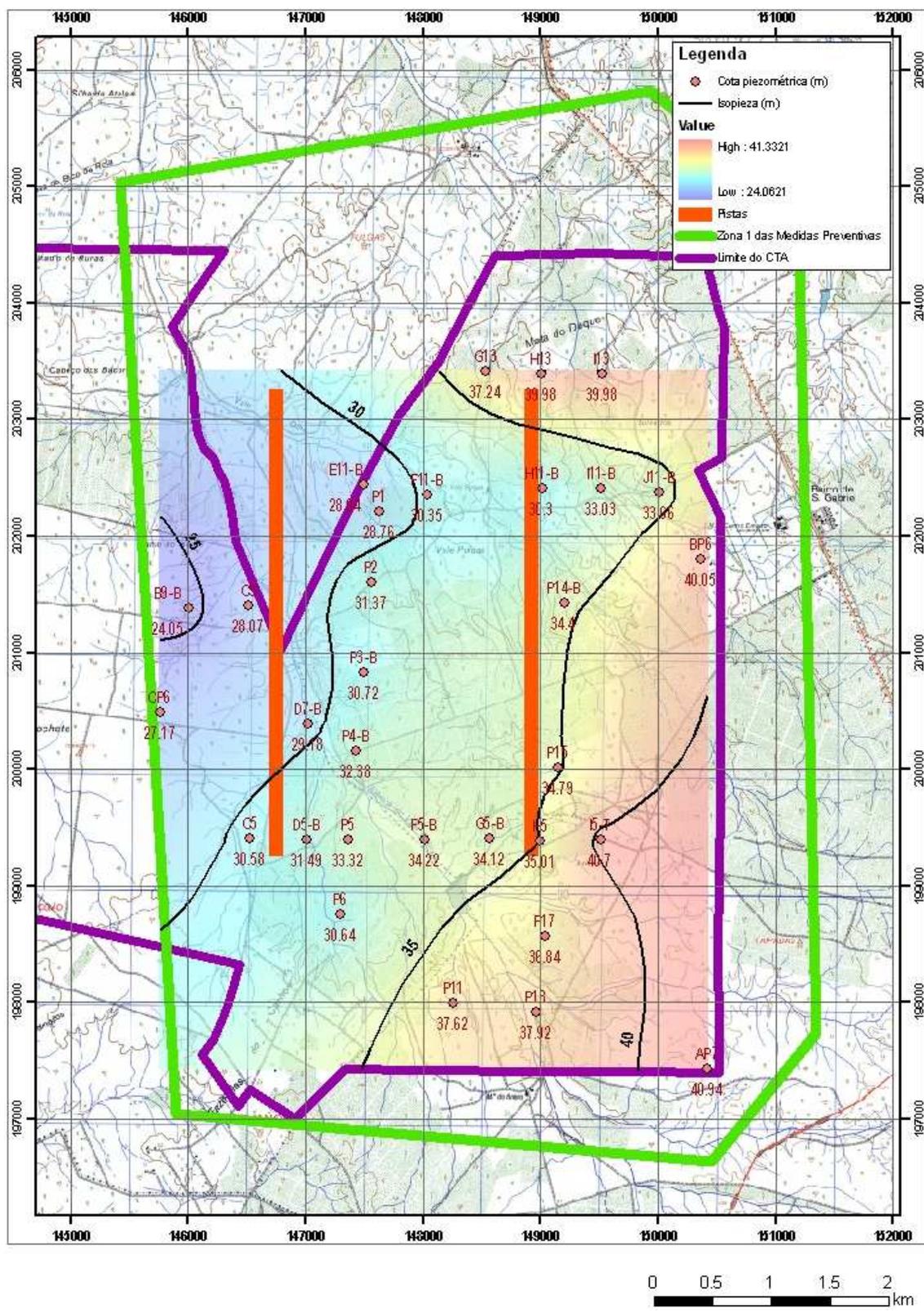


Fig. 9 – Mapa piezométrico do aquífero livre da Margem Esquerda (CTA)

Piezometria (m)

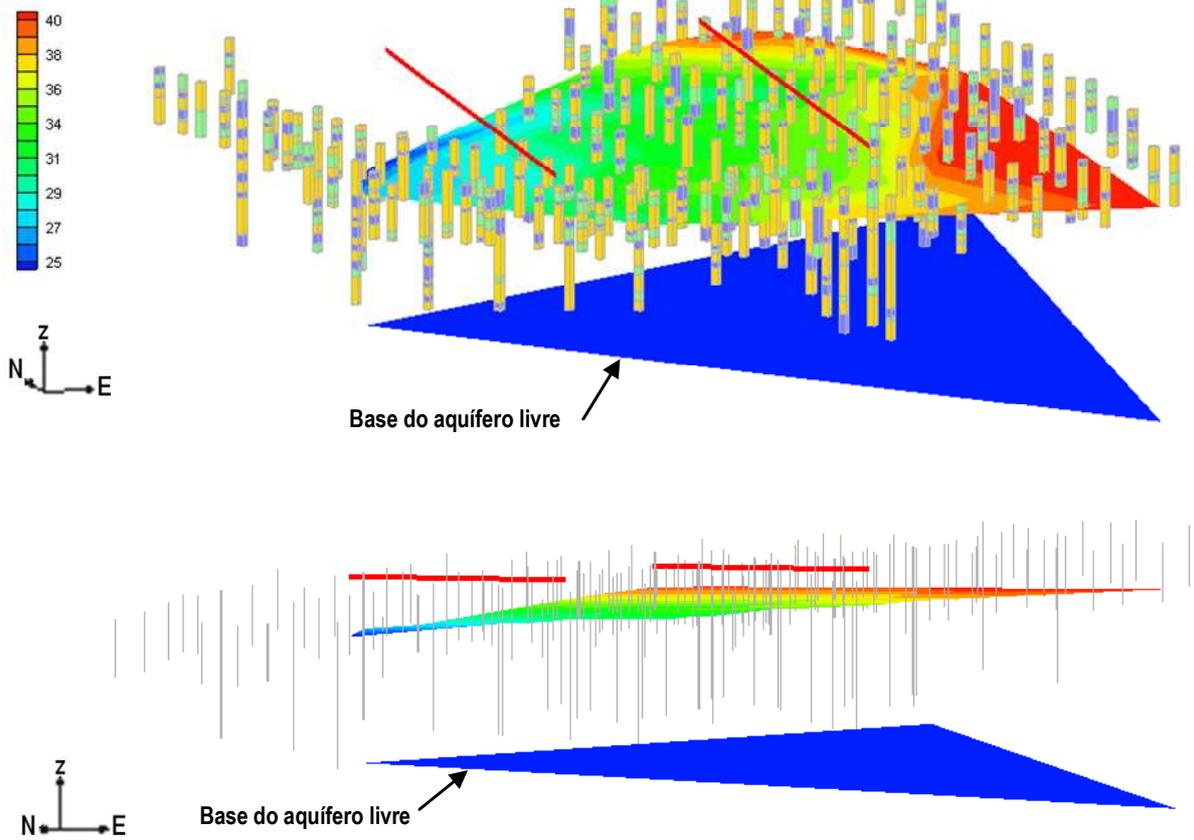


Fig. 10 - Representação espacial das sondagens, da superfície freática, da base do aquífero e das pistas do aeroporto

## 7. Recarga e reservas de águas subterrâneas

No âmbito do Plano de Bacia Hidrográfica do rio Tejo (PBHTejo) estimou-se a recarga anual média da totalidade do sistema aquífero da Margem Esquerda (*cf.* Oliveira et al., 1999) em 1220 hm<sup>3</sup>/ano, equivalente a uma altura de água de 211 mm/ano na área de afloramento do sistema (5773 km<sup>2</sup>). As reservas de água subterrânea armazenada no mesmo sistema aquífero, entendida como a quantidade de água existente no volume hídrico representado pela porosidade eficaz do aquífero, abaixo do nível piezométrico correspondente ao escoamento de base nulo, foram também estimadas. Contudo, apenas se considerou a porção superior do sistema aquífero, que na área da Península de Setúbal foi de 159 m, sabendo-se que o sistema aquífero tem aqui uma espessura muito superior. Assim sendo, o volume estimado é um valor por defeito: para uma espessura média de 152 m para a totalidade do sistema, estimou-se que as reservas sejam da ordem dos 43 km<sup>3</sup> de água, equivalente a 6,24 m de altura de água, considerando a totalidade da área do sistema aquífero (6922 km<sup>2</sup>).

Especificamente para o trabalho em curso, apresenta-se a estimativa da recarga anual média do sistema aquífero na área definida pela zona 1 das medidas preventivas.

Para o cálculo da recarga utilizou-se o modelo de balanço hídrico sequencial diário BALSEQ\_MOD, apresentando-se no Anexo 4 a descrição sumária da metodologia, os dados de entrada utilizados e os resultados obtidos de uma forma mais detalhada.

A recarga depende fundamentalmente das condições climatológicas (precipitação, temperatura, humidade relativa, velocidade do vento, insolação), da ocupação do solo, das propriedades do solo e das características do meio hidrogeológico subjacente.

Com base nos dados de Outubro de 1959 a Setembro de 1986 (27 anos) estimou-se a recarga anual média em 133 mm/ano. A precipitação anual média foi de 572 mm/ano. A evapotranspiração real anual média estimada foi de 324 mm/ano e o escoamento directo anual médio foi estimado em 114 mm/ano. A relação entre a recarga anual média e a precipitação anual média foi de 23 %.

A distribuição espacial da recarga anual média na área em estudo está representada na Fig. 11. Calcularam-se em função do solo e da ocupação do solo, valores de recarga a variar entre 0 mm/ano e 341 mm/ano. Os valores encontram-se maioritariamente entre 100 mm/ano e 250

mm/ano. Há algumas zonas onde não foi possível estimar a recarga por não haver informação sobre o solo, que foi identificado na cartografia de solos como “Área social”.

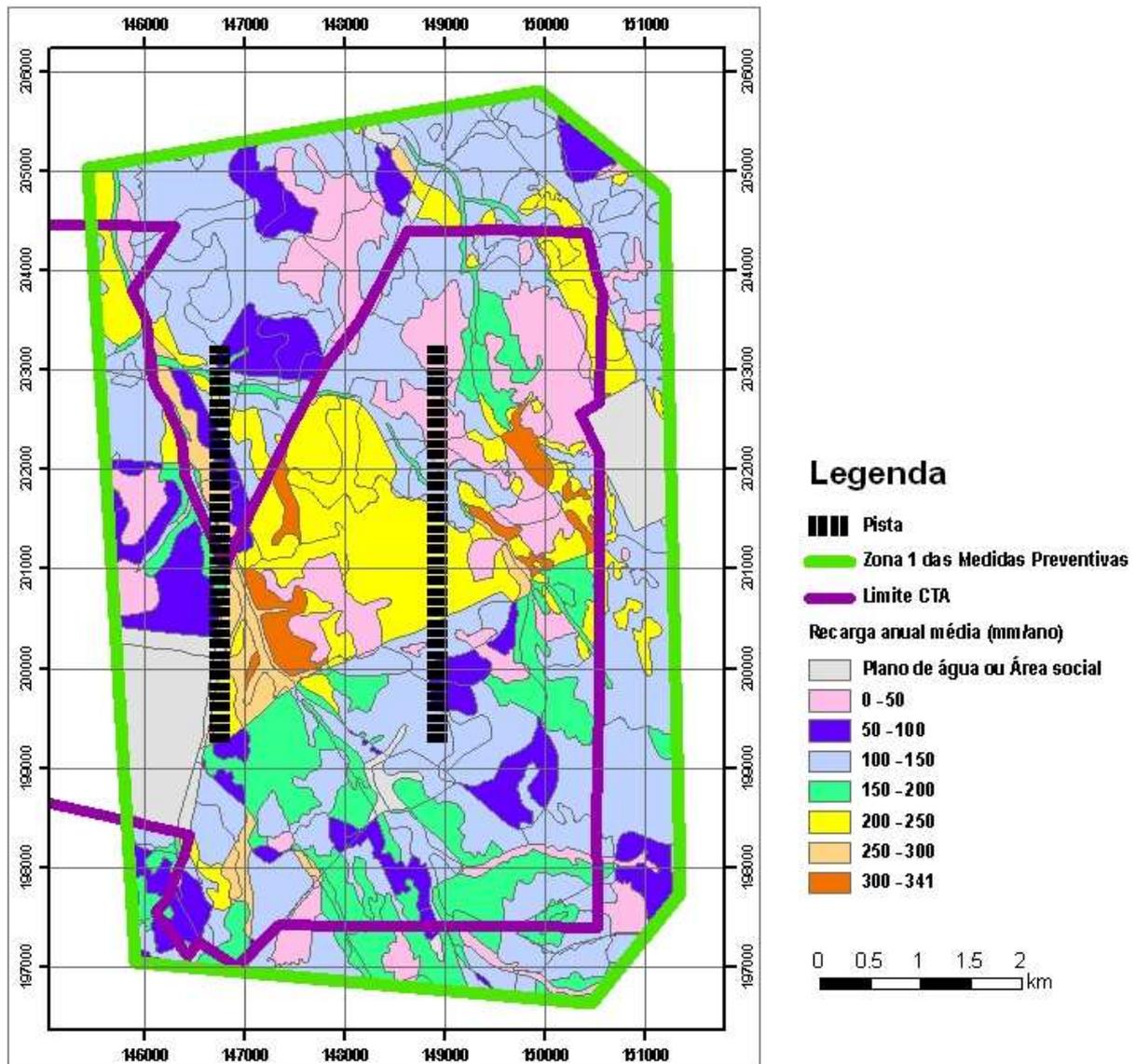


Fig. 11 – Recarga anual média de águas subterrâneas

A ocupação do solo condiciona a área disponível para infiltração no solo e a evapotranspiração. O solo condiciona as condições de infiltração e a água que o solo pode conter e transportar. Estes factos fazem com que a construção da infraestrutura aeroportuária, ao alterar a ocupação do solo, e as escavações e os aterros, que alteram o material do solo, vão provocar alterações das condições de recarga de aquíferos. Será possível fazer uma estimativa do impacto destas alterações na recarga dos aquíferos se se dispuser o novo plano de ocupação

do solo pela construção da infraestrutura aeroportuária e o conhecimento das novas características dos solos a aplicar na área.

Contudo, em relação à totalidade do sistema aquífero da Margem Esquerda, estas alterações terão uma implicação reduzida uma vez que a área a ocupar pela infra-estrutura aeroportuária é muito pequena em relação à área do sistema.

## **8. Ensaios de bombagem e caracterização de parâmetros hidráulicos**

### **8.1 Introdução**

Nas três zonas em estudo foram realizados ao todo 10 ensaios de bombagem, que estiveram a cargo do consórcio MVG. Os dados destes ensaios podem ser consultados em MVG (2009) e na base de dados.

Para dar apoio à monitorização de níveis piezométricos e de condutividade eléctrica da água subterrânea, particularmente útil para conhecer o comportamento temporal destas variáveis e poder complementar os dados dos ensaios de bombagem, fez-se uso (não simultâneo) de 9 sondas de registo contínuo de níveis e de temperatura (sondas TD), uma das quais barométrica, e de 5 sondas de registo contínuo de níveis, temperatura e condutividade eléctrica (sondas CTD).

Para se fazer a interpretação dos ensaios de bombagem utilizou-se o software AquiferTest Pro 4.2, da Schlumberger Water Services. Foram utilizados cinco métodos de interpretação de ensaios de bombagem:

- método de Theis para aquífero confinado;
- método de Theis com correcção de Jacob para aquífero livre;
- método de Hantush para aquífero semi-confinado;
- método de Boulton para aquífero livre com drenagem diferida;
- método de Theis para a recuperação do ensaio de bombagem.

Os métodos de Theis permitem caracterizar os parâmetros hidráulicos transmissividade (T) e coeficiente de armazenamento (S), excepto o método da recuperação que apenas permite determinar T. O método de Hantush permite caracterizar, além de T e S, a resistência hidráulica (c) que se relaciona com o tempo que a água demora a atravessar as camadas adjacentes à camada aquífera solicitada pelo ensaio, sendo  $c = D'/K'$ , onde D' é a espessura da camadas adjacentes e K' é a sua condutividade hidráulica vertical. O método de Boulton permite caracterizar T, S, a cedência específica ( $S_y$ ), e um parâmetro empírico ( $\phi$ ).

A descrição dos métodos utilizados pode ser consultada em bibliografia diversa, sugerindo-se Kruseman & De Rieder (1990) ou Röhrich, T. & SWS (2007).

Os métodos de interpretação dos ensaios foram aplicados quer aos rebaixamentos observados no furo de bombagem quer aos rebaixamentos observados no piezómetro instalado nas camadas solicitadas pelo ensaio.

Dada a dificuldade em estabelecer o parâmetro distância à captação no caso dos rebaixamentos observados no próprio furo de extracção, o parâmetro S para os casos de rebaixamento medido na própria captação não é seguro, pelo que, apesar dele aparecer nas figuras com a interpretação dos ensaios, se optou por não utilizar este valor para a caracterização dos aquíferos, não sendo também representado nos vários quadros com os resultados da interpretação.

Durante os ensaios de bombagem foi verificado, nalgumas situações de piezómetros que medem os níveis em camadas adjacentes às camadas solicitadas pelo ensaio, um efeito inverso ao que seria de esperar, tendo-se registado inicialmente uma subida do nível piezométrico após o início da bombagem e só após um tempo de subida é que os níveis começaram a baixar. Este fenómeno, observado em formações plio-quadernárias de Rio Maior por Delgado Rodrigues (1983) recebeu a designação de efeito de Noordbergum. Este efeito, de acordo com Verruijt (1969, in Delgado Rodrigues 1983), está relacionado com o abaixamento da pressão da água nas camadas em bombagem, que induz compressão nas camadas adjacentes, levando assim a um aumento do nível piezométrico.

## **8.2 Síntese da interpretação dos ensaios de bombagem**

Os ensaios de bombagem permitem estimar os parâmetros hidráulicos dos aquíferos nas zonas de influência dos ensaios e permitem verificar eventuais conexões hidráulicas entre camadas distintas do aquífero.

Dada a natureza repetitiva dos ensaios de bombagem, e de forma a serem mais facilmente sistematizados, os seus resultados e a sua interpretação são apresentados no Anexo 5. Nesta secção apresentam-se os resultados da interpretação dos ensaios.

Os parâmetros hidráulicos estimados encontram-se resumidos no Quadro 10 e na Fig. 12. Representam-se os valores de transmissividade (T), coeficiente de armazenamento (S), resistência hidráulica das camadas adjacentes às camadas solicitadas (c) e condutividade hidráulica horizontal (K), que se obteve dividindo a transmissividade pela espessura captada ou medida.

Cada uma das zonas está dividida em três sectores onde se ensaiaram e mediram, por zona, profundidades semelhantes. Contudo dado que as zonas têm altitudes diferentes (a diferença de altitudes entre a zona A e a zona C é de quase 20 m), e dada a geometria dos estratos geológicos, os estratos que são intersectados pelas captações não se encontram à mesma profundidade, e como tal não são intersectados pelo mesmo sector nos diferentes furos e piezómetros.

Quadro 10 – Síntese dos parâmetros hidráulicos

| Zona                  | Aquífero                        | Furo / Piezómetro | Espessura captada / medida | T (m <sup>2</sup> /d) | S (-)                  | c (min)                 | K (m/d) |
|-----------------------|---------------------------------|-------------------|----------------------------|-----------------------|------------------------|-------------------------|---------|
| A                     | Miocénico                       | AB-8              | 71                         | 200                   | -                      | 1,67 x 10 <sup>10</sup> | 2,8     |
|                       |                                 | AP1               | 62                         | 250                   | 1 X 10 <sup>-4</sup>   | 1,02 x 10 <sup>8</sup>  | 4,0     |
|                       | PQ-inferior                     | AB-10             | 94                         | 1070                  | -                      | 4,94 x 10 <sup>9</sup>  | 11,4    |
|                       |                                 | AP3               | 96                         | 1075                  | 5 X 10 <sup>-4</sup>   | 2,89 x 10 <sup>8</sup>  | 11,2    |
|                       | PQ-superior                     | ABS               | 53                         | 186                   | -                      | 3,13 x 10 <sup>6</sup>  | 3,5     |
|                       |                                 | AP6               | 96                         | *                     | -                      | -                       | -       |
| B                     | Miocénico+Base PQ-inferior      | BB-8              | 83                         | 365                   | -                      | 5,0 x 10 <sup>5</sup>   | 4,4     |
|                       |                                 | BP1               | 78                         | 325                   | 4 X 10 <sup>-4</sup>   | 1,56 x 10 <sup>7</sup>  | 4,2     |
|                       | PQ-inferior (excepto base)      | BB-10             | 116                        | 700                   | -                      | 3,20 x 10 <sup>6</sup>  | 6,0     |
|                       |                                 | BP3               | 110                        | 590                   | 6 X 10 <sup>-4</sup>   | 4,05 x 10 <sup>7</sup>  | 5,4     |
|                       | PQ-superior                     | BBS               | 45                         | 115                   | -                      | -                       | 2,5     |
|                       |                                 | BP5               | 45                         | 170                   | 5 X 10 <sup>-4</sup>   | 2,61 x 10 <sup>6</sup>  | 3,8     |
| Miocénico+PQ-inferior | BBTotal                         | 199               | 1020                       | -                     | 4,21 x 10 <sup>5</sup> | 5,2                     |         |
| C                     | Miocénico sup.+Base PQ-inferior | CB-8              | 67                         | 1080                  | -                      | -                       | 16,1    |
|                       |                                 | CP1               | 61                         | 1090                  | 2 X 10 <sup>-4</sup>   | 2,14 x 10 <sup>7</sup>  | 17,9    |
|                       | PQ-inferior (excepto base)      | CB-10             | 132                        | 1035                  | -                      | 8,00 x 10 <sup>8</sup>  | 7,8     |
|                       |                                 | CP3               | 130                        | 790                   | 1 X 10 <sup>-3</sup>   | 9,60 x 10 <sup>6</sup>  | 6,1     |
|                       | Miocénico sup.+PQ-inferior      | CBTotal           | 203                        | 1410                  | -                      | 3,82 x 10 <sup>7</sup>  | 6,9     |

\* Não mede as mesmas camadas que estão a ser solicitadas pela bombagem

| Idade  | Zona C  | Zona B  | Zona A   |  |  |  |   |   |
|--|---|---|--|--|--|--|---|---|
| Plio-Quaternário (PQ) superior<br>PQ superior                |   | +20,87<br>BBS<br><br>T = 115 m <sup>2</sup> /d<br>K = 2,5 m/d<br>b = 45 m<br><br>-24,13   | +25,24<br>BP5<br><br>T = 170 m <sup>2</sup> /d<br>K = 3,8 m/d<br>c = 3x10 <sup>6</sup> min<br>b = 45 m<br>S = 4,5x10 <sup>-4</sup><br><br>-19,76 | +18,20<br>ABS<br><br>T = 186 m <sup>2</sup> /d<br>K = 3,5 m/d<br>c = 3x10 <sup>6</sup> min<br>b = 53 m<br><br>-33,80     |  |  |   |   |
| Plio-Quaternário (PQ) inferior<br>PQ inferior (excepto Base) | -60,84<br>CB-10<br><br>T = 1035 m <sup>2</sup> /d<br>K = 7,8 m/d<br>c = 8x10 <sup>8</sup> min<br>b = 132 m<br><br>-192,84 | -49,71<br>CP3+CP4<br><br>T = 790 m <sup>2</sup> /d<br>K = 6,1 m/d<br>c = 1x10 <sup>7</sup> min<br>b = 130 m<br>S = 0,001<br><br>-179,71 | -60,84<br>CB-10+BB-8<br><br>T = 1410 m <sup>2</sup> /d<br>K = 6,9 m/d<br>C = 4x10 <sup>7</sup> min<br>b = 203 m<br><br>-263,84                   | -42,52<br>BB-10<br><br>T = 700 m <sup>2</sup> /d<br>K = 6,0 m/d<br>c = 3x10 <sup>6</sup> min<br>b = 116 m<br><br>-158,52 | -43,76<br>BP3<br><br>T = 590 m <sup>2</sup> /d<br>K = 5,4 m/d<br>c = 4x10 <sup>7</sup> min<br>b = 110 m<br>S = 6x10 <sup>-4</sup><br><br>-153,76 | -42,52<br>BB-10+BB-8<br><br>T = 1020 m <sup>2</sup> /d<br>K = 5,2 m/d<br>C = 4x10 <sup>5</sup> min<br>b = 199 m<br><br>-157,32 | -63,32<br>AB-10<br><br>T = 1070 m <sup>2</sup> /d<br>K = 11,4 m/d<br>c = 5x10 <sup>9</sup> min<br>b = 94 m<br><br>-157,32 | -60,42<br>AP3<br><br>T = 1075 m <sup>2</sup> /d<br>K = 11,2 m/d<br>c = 3x10 <sup>8</sup> min<br>b = 96 m<br>S = 5x10 <sup>-4</sup><br><br>-156,42 |
| Plio-Quaternário (PQ) inferior<br>Base PQ inferior           | -196,84<br>CB-8<br>-234,84  | -194,71<br>CP1<br>-235,71   |  |  |  |  |   |   |
| Miocénico (M) superior<br>Topo M superior                    | T = 1080 m <sup>2</sup> /d<br>K = 16,1 m/d<br>b = 67 m<br><br>-263,84   | T = 1090 m <sup>2</sup> /d<br>K = 17,9 m/d<br>c = 2x10 <sup>7</sup> min<br>b = 61 m<br>S = 2x10 <sup>-4</sup><br><br>-255,71            |  |  |  |  |   |   |
| Miocénico (M) superior<br>M superior (excepto Topo)          |   |   |  |  |  |  |   |   |
|  |   |   |  | -164,52<br>BB-8<br>-190,52   | -169,76<br>BP1<br>-191,76  |  |   |   |
|  |   |   |  | T = 365 m <sup>2</sup> /d<br>K = 4,4 m/d<br>c = 5x10 <sup>5</sup> min<br>b = 83 m  | T = 325 m <sup>2</sup> /d<br>K = 4,2 m/d<br>c = 2x10 <sup>7</sup> min<br>b = 78 m<br>S = 4x10 <sup>-4</sup>                                      |  |   |   |
|  |   |   |  | -247,52  | -247,76  | -247,52  |   |   |
|  |   |   |  |  |  |  | -172,32<br>AB-8   | -174,42<br>AP1  |
|  |   |   |  |  |  |  | T = 200 m <sup>2</sup> /d<br>K = 2,8 m/d<br>c = 2x10 <sup>10</sup> min<br>b = 71 m  | T = 250 m <sup>2</sup> /d<br>K = 4,0 m/d<br>c = 1x10 <sup>8</sup> min<br>b = 62 m<br>S = 1x10 <sup>-4</sup>                                       |
|  |   |   |  |  |  |  | -243,32   | -236,42   |

Fig. 12 – Representação esquemática dos parâmetros hidráulicos em função dos troços ensaiados

Os resultados dos efeitos da solicitação de umas camadas nos potenciais hidráulicos de outras, indicia a possível conexão entre camadas distintas. Essa análise foi realizada avaliando de que forma é que as camadas reagem, considerando três tipos de comportamento, sintetizadas no Quadro 11:

- **R** – reage: as camadas monitorizadas pelos piezómetros reagem ao ensaio com um rebaixamento contínuo; o escoamento para a captação é essencialmente horizontal dentro das camadas solicitadas;
- **P** – reage pouco: as camadas monitorizadas pelos piezómetros reagem de uma forma diferida, com rebaixamentos no final do ensaio ou já no período da recuperação da ordem da dezena de centímetros, muitas vezes apresentando efeito de Noordbergum; o escoamento para as camadas solicitadas pela bombagem será essencialmente vertical;
- **n** – não reage: As camadas monitorizadas não reagem ao ensaio ou têm um comportamento distinto daquele que seria expectável pelo ensaio (que seria o

rebaixamento contínuo ao longo do tempo), por vezes apresentando efeito de Noordbergum; não há escoamento para as camadas solicitadas pelo ensaio.

O efeito de Noordbergum é também representado no Quadro 11 com a designação "(N)".

Quadro 11 – Reacção à bombagem dos níveis registados em piezómetros e furos

| Bombagem |         | Reacção |       |     |      |      |         |      |         |     |
|----------|---------|---------|-------|-----|------|------|---------|------|---------|-----|
| Ensaio   | Q (l/s) | AB-8    | AB-10 | ABS | AP1  | AP2  | AP3     | AP4  | AP5=AP6 | AP7 |
| AB-8     | 40,2    | R       | P     | n   | R    | R    | P       | P(N) | n       | n   |
| AB-10    | 102     | P       | R     | n   | P(N) | P(N) | R       | P(N) | n       | n   |
| ABS      | 30      | -       | -     | R   | n    | n    | n       | n(N) | R       | P   |
| Ensaio   | Q (l/s) | BB-8    | BB-10 | BBS | BP1  | BP2  | BP3     | BP4  | BP5     | BP6 |
| BB-8     | 49      | R       | P     | -   | R    | x    | P       | P    | n       | n   |
| BB-10    | 100     | P       | R     | n   | P    | x    | P       | n(N) | n       | n   |
| BBS      | 25-15   | -       | -     | R   | n    | x    | n       | R(N) | R       | P   |
| BB total | 76      | R       |       | n   | R    | x    | R       | P    | n       | n   |
| Ensaio   | Q (l/s) | CC-8    | CC-10 | -   | CP1  | CP2  | CP3=CP4 | CP5  | CP6     |     |
| CB-8     | 50      | R       | P     |     | R    | R    | P       | n    | n       |     |
| CB-10    | 100     | R       | R     |     | R    | R    | R       | R    | P(N)    |     |
| CB total | 78      | R       |       |     | R    | R    | R       | R    | n       |     |

R = reage

n = não reage

P = reage pouco

(N) = observado efeito de Noordbergum

"-" = não foi medido

x = não foi considerado

Dos ensaios ressalta que nas zonas A e B os piezómetros e furos instalados nos 100 m superiores do sistema aquífero (AP5, AP6, AP7, ABS, BP5, BP6 e BBS) não reagiram às bombagens realizadas a profundidades abaixo dos 100 m.

Para as zonas A e B, onde se realizaram ensaios de bombagem nas camadas superiores, a mesma situação pode ser analisada a partir do procedimento complementar, ou seja, verificando se a bombagem na camada superior (ABS e BBS) afecta os níveis das camadas subjacentes. Na zona B o piezómetro BP4 (que mede uma camada no limite da zona solicitada) reagiu, mas os restantes piezómetros a maior profundidade não reagiram. Um aspecto curioso é que o piezómetro BP4, que mede acima das camadas bombeadas pelo sector intermédio do furo BB (BB-10), não reagiu à bombagem deste sector (BB-10), mas reagiu à bombagem do sector inferior do furo BB (BB-8), que se encontra por baixo do sector BB-10.

Estas situações revelam que, no domínio espaciotemporal em que se realizaram os ensaios nas zonas A e B, há uma separação de níveis entre as camadas acima dos cerca de 100 m de profundidade e as camadas subjacentes (cota -36 m na zona A e cota -39 m na zona B).

Na zona C, apesar da bombagem se fazer a profundidades superiores a 106 m (abaixo da cota -60,84 m), os seus efeitos fazem-se sentir fortemente nas camadas situadas 39 m acima (cota -32,71 m). O facto do piezómetro CP6 (que mede entre as cotas +11,29 m e -0,71 m) não reagir ao ensaio na totalidade do furo CB, mas reagir (embora pouco) quando é bombeado o troço intermédio deste furo (CB-10) significa que, em situação de bombagem mais intensa, haverá alguma ligação hidráulica com as camadas mais superficiais.

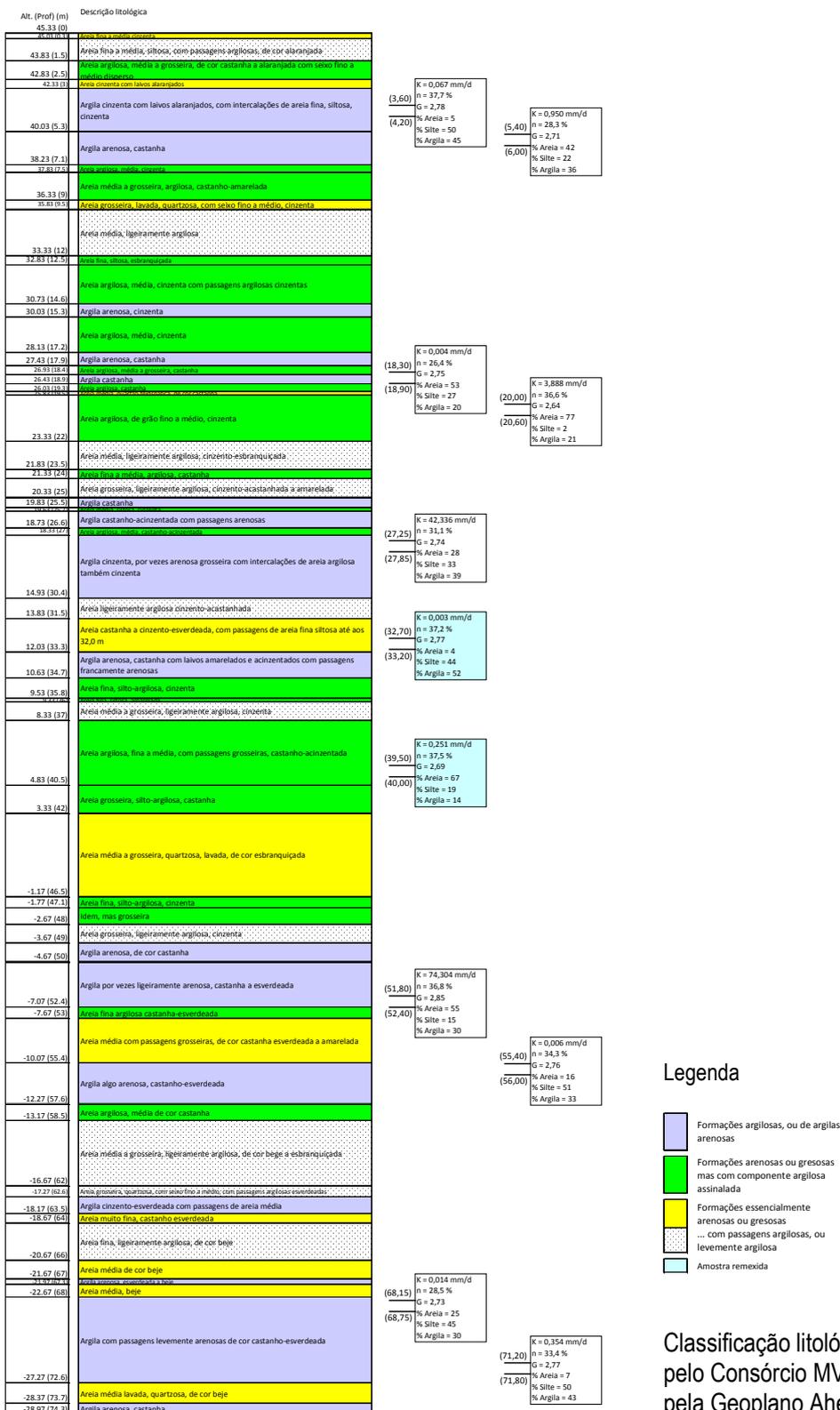
Os ensaios de captação realizados nos furos BB e CB, com bombagem durante três dias, revelaram que, para os caudais ensaiados, de 76 l/s e 78 l/s, respectivamente, há uma tendência de estabilização dos níveis à cota 8,0 m e 7,7 m, com caudais específicos de 9,5 l/s/m e 10,3 l/s/m.

A análise dos valores de temperatura e de condutividade eléctrica registados ao longo dos ensaios em várias sondas CTD de registo contínuo destes parâmetros não demonstrou efeitos de drenância causada pelos ensaios de bombagem.

### **8.3 Ensaio de laboratório**

Os ensaios realizados em laboratório em testemunhos da sondagem carotada permitem caracterizar a condutividade hidráulica e a porosidade de camadas seleccionadas, fundamentalmente argilosas, de acordo com a análise granulométrica que também se apresenta. Estes aspectos são de crucial importância para a análise do escoamento vertical de águas subterrâneas, aspecto muito importante em termos da maior ou menor defesa natural do aquífero contra acidentes de poluição. A relação das amostras ensaiadas e dos valores obtidos com o perfil geológico pode ser vista na Fig. 13 que apresenta o log da sondagem carotada.

Os ensaios de laboratório foram efectuados no LNEC, no Laboratório de Caracterização de Geomateriais (LCG). A condutividade hidráulica vertical foi determinada em câmara triaxial. A análise granulométrica foi feita por peneiração até ao peneiro #200 (0,074 mm) e por sedimentação abaixo deste diâmetro, a porosidade e o peso volúmico foram determinados por pesagem da amostra saturada, da amostra seca, e pelo volume de amostra saturada.

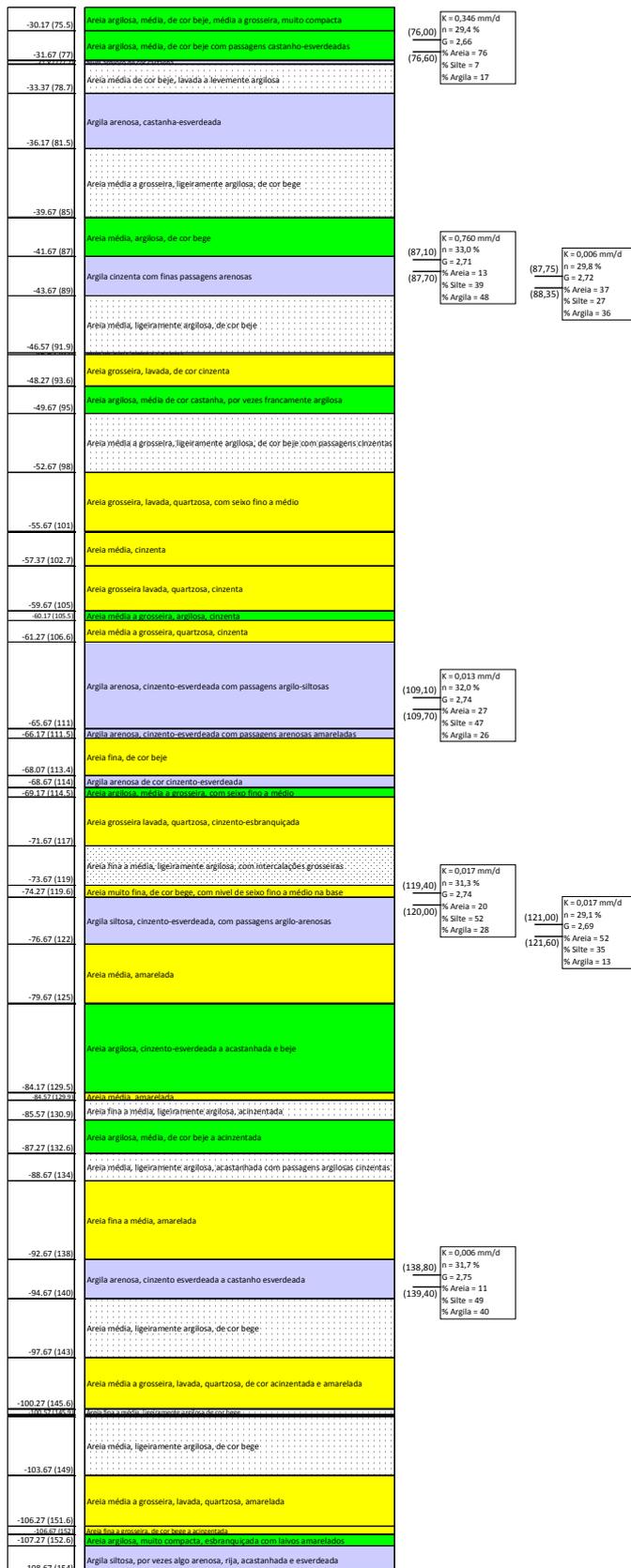


### Legenda

- Formações argilosas, ou de argilas arenosas
- Formações arenosas ou grossas mas com componente argilosa assinalada
- Formações essencialmente arenosas ou grossas ... com passagens argilosas, ou levemente argilosa
- Amostra remexida

Classificação litológica fornecida pelo Consórcio MVG elaborada pela Geoplano Aherne

Fig. 13 – Descrição litológica da sondagem carotada CC e resultados dos ensaios de caracterização das amostras (condutividade hidráulica saturada vertical, porosidade, peso volúmico das partículas sólidas e classes granulométricas)



### Legenda

- Formações argilosas, ou de argilas arenosas
- Formações arenosas ou gresosas mas com componente argilosa assinalada
- Formações essencialmente arenosas ou gresosas ... com passagens argilosas, ou levemente argilosa
- Amostra remexida

Classificação litológica fornecida pelo Consórcio MVG elaborada pela Geoplano Aherne

Fig. 13 – Descrição litológica da sondagem carotada CC e resultados dos ensaios de caracterização das amostras (condutividade hidráulica saturada vertical, porosidade, peso volúmico das partículas sólidas e classes granulométricas) (cont).

As profundidades ensaiadas das sondagens e os resultados obtidos são indicados no Quadro 12. A Fig. 14 representa a classificação das camadas ensaiadas. No Anexo 6 apresentam-se as curvas granulométricas obtidas.

A condutividade hidráulica vertical, em conjunto com as propriedades das argilas que constituem as camadas existentes, são dois dos factores que mais condicionam a protecção do sistema aquífero.

Quadro 12 – Resultados dos ensaios de condutividade hidráulica, porosidade e granulometria de vários troços das sondagens carotadas

| Amostra NBOA | Sondagem | Amostra nº | Prof. (m)      | K (mm/d) | G    | Porosidade n (%) | % Areia (d > 0,074 mm) | % Silte (0,074 mm > d > 0,002 mm) | % Argila (d < 0,002 mm) |
|--------------|----------|------------|----------------|----------|------|------------------|------------------------|-----------------------------------|-------------------------|
| 4663         | CC1      | 1          | 3,60-4,20      | 0,067    | 2,78 | 37,7             | 5                      | 50                                | 45                      |
| 4664         | CC1      | 2          | 5,40-6,00      | 0,950    | 2,71 | 28,3             | 42                     | 22                                | 36                      |
| 4665         | CC1      | 3          | 18,30-18,90    | 0,004    | 2,75 | 26,4             | 53                     | 27                                | 20                      |
| 4666         | CC1      | 4          | 20,00-20,60    | 3,888    | 2,64 | 36,6             | 77                     | 2                                 | 21                      |
| 4667         | CC1      | 5          | 27,25-27,85    | 42,336   | 2,74 | 31,1             | 28                     | 33                                | 39                      |
| 4668(*)      | CC1      | 6          | 32,70-33,20(*) | 0,003    | 2,77 | 37,2             | 4                      | 44                                | 52                      |
| 4669(*)      | CC1      | 7          | 39,50-40,00(*) | 0,251    | 2,69 | 37,5             | 67                     | 19                                | 14                      |
| 4670         | CC2      | 8          | 51,80-52,40    | 74,304   | 2,85 | 36,8             | 55                     | 15                                | 30                      |
| 4671         | CC2      | 9          | 55,40-56,00    | 0,006    | 2,76 | 34,3             | 16                     | 51                                | 33                      |
| 4672         | CC2      | 10         | 68,15-68,75    | 0,014    | 2,73 | 28,5             | 25                     | 45                                | 30                      |
| 4673         | CC2      | 11         | 71,20-71,80    | 0,354    | 2,77 | 33,4             | 7                      | 50                                | 43                      |
| 4674         | CC2      | 12         | 76,00-76,60    | 0,346    | 2,66 | 29,4             | 76                     | 7                                 | 17                      |
| 4675         | CC2      | 13         | 87,10-87,70    | 0,760    | 2,71 | 33               | 13                     | 39                                | 48                      |
| 4676         | CC2      | 14         | 87,75-88,35    | 0,006    | 2,72 | 29,8             | 37                     | 27                                | 36                      |
| 4735         | CC3      | 15         | 109,10-109,70  | 0,013    | 2,74 | 32               | 27                     | 47                                | 26                      |
| 4736         | CC3      | 16         | 119,40-120,00  | 0,017    | 2,74 | 31,3             | 20                     | 52                                | 28                      |
| 4737         | CC3      | 17         | 121,00-121,60  | 0,017    | 2,69 | 29,1             | 52                     | 35                                | 13                      |
| 4738         | CC3      | 18         | 138,80-139,40  | 0,006    | 2,75 | 31,7             | 11                     | 49                                | 40                      |

Notas:

K = condutividade hidráulica vertical

G = Peso volúmico das partículas sólidas

(\*) Amostra remexida (recolhida com amostrador modificado)

A condutividade hidráulica vertical determinada mostra valores muito baixos, entre 0,003 mm/d e 75 mm/d. Mesmo as camadas mais arenosas, amostras nºs 4666 e 4674, apresentam valores relativamente baixos de condutividade hidráulica, entre 4 e 0,3 mm/d, o que confere um grau de protecção interessante do sistema aquífero, mesmo sabendo que os gradientes hidráulicos verticais possam ser acentuados, como demonstram os resultados apresentados na secção 6.

As amostras 4667 (franco-argiloso) e 4670 (franco-argilo-arenoso) são as que apresentam condutividades hidráulicas verticais mais elevadas, o que, dada a granulometria dos materiais que a constituem, poderá estar relacionado com a existência de algum caminho preferencial ao longo da amostra.

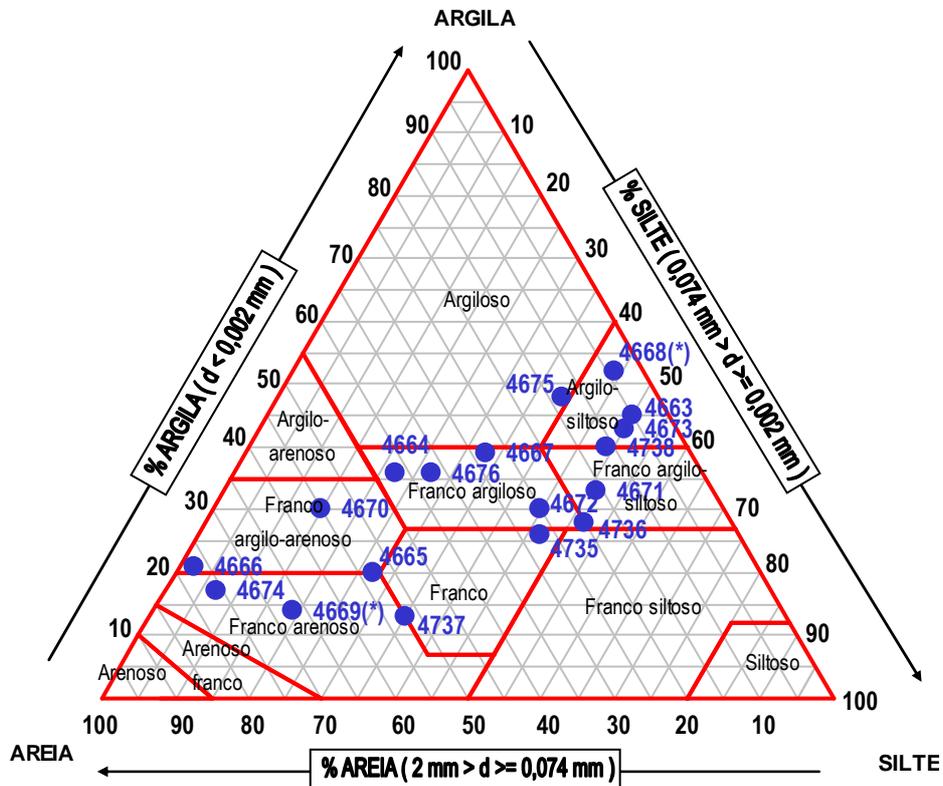


Fig. 14 – Representação das classes texturais das camadas sedimentares ensaiadas

## **9. Situação de referência da qualidade da água subterrânea**

A análise da situação de referência em relação à qualidade das águas subterrâneas foi realizada com base num conjunto de 26 amostras (à frente mencionadas no Quadro 14) recolhidas nos três locais de estudo do CTA, designados por A, B e C, para o conjunto de parâmetros físico-químicos e isotópicos referidos no Quadro 13. As amostras foram recolhidas por técnicos do LNEC, sendo a colheita efectuada, no caso dos piezómetros, após purga prévia dos mesmos ou, no caso dos furos, uma hora após o início dos ensaios de caudal.

Nas designações dos pontos de amostragem, a primeira letra refere-se ao local de estudo (A, B ou C), a segunda letra refere-se ao tipo de ponto de água, B para furo de bombagem e P para piezómetro. No caso dos piezómetros, a seguir à letra P existe um número, de 1 a 6 nos locais B e C e de 1 a 7 no local A, e que representa profundidades tanto maiores quanto mais baixo é o número, ou seja P1 representa o piezómetro mais profundo e P6 ou P7 representa o piezómetro mais superficial. Nos furos, a seguir à letra B, B-8 refere-se ao sector inferior, de 8 polegadas, B-10 refere-se ao sector intermédio, de 10 polegadas, BS refere-se ao sector superior. BT e CT referem-se à totalidade dos sectores inferior e intermédio do furo B e do furo C respectivamente. Veja-se o Anexo 1 para as profundidades medidas por cada um destes pontos de água.

Salienta-se que o conjunto de parâmetros analisados para as amostras BT e CT não é exactamente o referido no Quadro 13, mas sim o exigido no Anexo I do DL n.º 236/98 relativo à qualidade da água destinada à produção de água para consumo humano, na medida em que os furos poderão vir a ter esse fim.

Os resultados das análises químicas, efectuadas pelo laboratório AGROLEICO, permitem concluir que, em termos gerais, as águas analisadas nos três locais (A, B e C) apresentam boa qualidade enquanto águas destinadas à produção de água para consumo humano.

Quadro 13 – Lista de parâmetros físico-químicos e isotópicos analisados nas águas subterrâneas do CTA

|                     | <b>Parâmetro</b>                      | <b>Método analítico</b>   | <b>Limite de detecção</b> | <b>Unidades</b>  |
|---------------------|---------------------------------------|---|---------------------------|--|
| Físico-químicos     | pH                                    | Potenciometria - NP 411:1966  |                           | de pH  |
|                     | Condutividade                         | Condutimetria - NP 732:1969   |                           | µS/cm a 20°C   |
|                     | Oxigénio dissolvido                   | Método de Winkler - SMEWW 4500-O C  |                           | mg/L O <sub>2</sub>  |
|                     | Sólidos suspensos totais              | Filtração através de membrana filtrante de 0,45 µm, secagem a 105 °C e pesagem (ME-733) |                           | mg/L   |
|                     | Cloretos                              | Cromatografia Iónica - ME-479 rev. 09 de 12/02/2008                                     |                           | mg/L Cl <sup>-</sup>   |
|                     | Sulfatos                              | Cromatografia Iónica - ME-479 rev. 09 de 12/02/2008                                     |                           | mg/L SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>                                 |
|                     | Dureza total                          | Cálculo a partir do doseamento de cálcio e magnésio por Cromatografia Iónica            |                           | mg/L CaCO <sub>3</sub>   |
|                     | Bicarbonatos e carbonatos             | Titulimetria - NP 421:1966 (ME-01)  |                           | mg/L HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> e CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> |
|                     | Cálcio                                | Cromatografia Iónica - ME-479 rev. 09 de 12/02/2008                                     |                           | mg/L Ca <sup>2+</sup>  |
|                     | Magnésio                              | Cromatografia Iónica - ME-479 rev. 09 de 12/02/2008                                     |                           | mg/L Mg <sup>2+</sup>  |
|                     | Sódio                                 | Cromatografia Iónica - ME-479 rev. 09 de 12/02/2008                                     |                           | mg/L Na <sup>+</sup>   |
|                     | Potássio                              | Cromatografia Iónica - ME-479 rev. 09 de 12/02/2008                                     |                           | mg/L K <sup>+</sup>  |
|                     | Azoto amoniacal                       | Eléctrodo Selectivo - ME-32 rev. 07 de 21/01/2008                                       |                           | mg/L NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>                                  |
|                     | Nitratos                              | Cromatografia Iónica - ME-479 rev. 09 de 12/02/2008                                     | < 2                       | mg/L NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>                                  |
|                     | Nitritos                              | Absorção molecular - NP 624:1972  | < 0,02                    | mg/L NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>                                  |
|                     | Fosfatos                              | Absorção molecular - SMEWW 4500-P E   | < 0,16                    | mg/L P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>                                 |
|                     | Selénio                               | Absorção Atómica (ME-610)   | < 0,002                   | mg/L Se  |
|                     | Fluoretos                             | Cromatografia Iónica - ME-479 rev. 09 de 12/02/2008                                     | < 0,40                    | mg/L F <sup>-</sup>  |
|                     | Cianetos                              | SMEWW 4500CN E  | < 0,01                    | mg/L CN <sup>-</sup>   |
|                     | Fenóis                                | SMEWW 5530-C (ME-103)   | < 0,001                   | mg/L C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH                              |
| Metais e metalóides | Alumínio                              | Absorção atómica - SMEWW 3113   | < 0,05                    | mg/L Al  |
|                     | Manganês                              | Absorção atómica - SMEWW 3113   | < 0,010                   | mg/L Mn  |
|                     | Ferro dissolvido                      | Absorção molecular - NP 968:1973  | < 0,05                    | mg/L Fe  |
|                     | Cobre                                 | Absorção atómica - SMEWW 3113   | < 0,010                   | mg/L Cu  |
|                     | Cádmio                                | Absorção atómica - SMEWW 3113   | < 0,0004                  | mg/L Cd  |
|                     | Merúrio                               | Fluorescência Atómica (ME-729)  | < 0,0005                  | mg/L Hg  |
|                     | Chumbo                                | Absorção atómica - SMEWW 3113   | < 0,005                   | mg/L Pb  |
|                     | Crómio                                | Absorção atómica - SMEWW 3113   | < 0,010                   | mg/L Cr  |
|                     | Zinco                                 | Absorção Atómica - ME-319 rev. 01 de 21/01/2008   | < 0,020                   | mg/L Zn  |
|                     | Arsénio                               | Absorção Atómica (ME-610)   | < 0,002                   | mg/L As  |
|                     | Níquel                                | Absorção atómica - SMEWW 3113   | < 0,005                   | mg/L Ni  |
|                     | Boro                                  | Absorção molecular - SMEWW 4500-B C   | < 0,2                     | mg/L B   |
|                     | Bário                                 | Absorção Atómica (ME-294)   |                           | mg/L Ba  |
|                     | Hidrocarbonetos diss. ou emulsionados | LLE-FTIR  | < 0,0020                  | µg /L  |
|                     | Substâncias tensoactivas              | Colorimetria (ME-318)   | < 0,05                    | µg/L   |
|                     | Tritio                                | NF M 60-802-1   | < 5                       | Bq/L   |
|                     | Carbono 14                            | NF M60-802-2 e 3  | < 2                       | Bq/L   |
| Microbiologia       | Coliformes totais                     | Método de filtração por membrana - ME-  | 0                         | col./100mL   |
|                     | Coliformes fecais                     | 15  | 0                         | col./100mL   |

Quadro 13 – Lista de parâmetros físico-químicos e isotópicos analisados nas águas subterrâneas do CTA (cont.)

|  | Parâmetro              | Método analítico | Limite de detecção | Unidades |
|--|------------------------|------------------|--------------------|----------|
| Soma dos Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAH) | Acenaftano             | GC-MS            | < 0,01             | µg /L    |
|  | Acenaftileno           |                  | < 0,01             | µg /L    |
|  | Antraceno              |                  | < 0,02             | µg /L    |
|  | Benzo(a)antraceno      |                  | < 0,01             | µg /L    |
|  | Benzo(a)pireno         |                  | < 0,02             | µg /L    |
|  | benzo(g,h,i)perileno   |                  | < 0,01             | µg /L    |
|  | Benzo(b)fluoranteno    |                  | < 0,01             | µg /L    |
|  | Benzo(k)fluoranteno    |                  | < 0,01             | µg /L    |
|  | Criseno                |                  | < 0,01             | µg/L     |
|  | Dibenzo(a,h)antraceno  |                  | < 0,01             | µg/L     |
|  | Fenantreno             |                  | < 0,03             | µg/L     |
|  | Fluoranteno            |                  | < 0,03             | µg/L     |
|  | Fluoreno               |                  | < 0,02             | µg/L     |
|  | Indeno(1,2,3-cd)pireno |                  | < 0,01             | µg/L     |
|  | Naftaleno              |                  | < 0,1              | µg/L     |
| Pireno   | < 1,6                  | µg/L             |                    |          |
| Soma dos BTEX  | Benzeno                |                  | < 0,2              | µg /L    |
|  | Étilbenzeno            |                  | < 0,1              | µg/L     |
|  | Tolueno                |                  | < 1                | µg/L     |
|  | Xileno                 |                  | < 0,3              | µg/L     |
| Soma dos Pesticidas                                    | Cimoxanil              | SPE-LC-MS-MS     | < 0,055            | µg /L    |
|  | Clortalonil            | GC-MS            | < 0,050            | µg/L     |
|  | Dimetoato              | GC-MS            | < 0,020            | µg/L     |
|  | MCPA                   | SPE-LC-MS-MS     | < 0,020            | µg/L     |
|  | Tebucozanol            | SPME-GC-MS       | < 0,100            | µg/L     |
|  | Propanil               | GC               | < 0,050            | µg/L     |
|  | Tirame                 | SPE-LC-MS-MS     | < 0,100            | µg/L     |
|  | Triclopir              | SPE-LC-MS-MS     | < 0,020            | µg/L     |
|  | Alacloro               | GC-MS            | < 0,030            | µg /L    |
|  | Atrazina               | GC-MS            | < 0,030            | µg /L    |
|  | Desetilatrazina        | GC-MS            | < 0,040            | µg/L     |
|  | Bentazona              | SPE-LC-MS-MS     | < 0,020            | µg /L    |
|  | Carbofurão             | SPE-LC-MS-MS     | < 0,020            | µg /L    |
|  | 2,4-D                  | SPE-LC-MS-MS     | < 0,020            | µg /L    |
|  | Diurão                 | SPE-LC-MS-MS     | < 0,020            | µg/L     |
|  | S-metolacoloro         | GC-MS            | < 0,035            | µg/L     |
|  | Molinato               | GC-MS            | < 0,050            | µg/L     |
|  | Rinsulfurão            | SPE-LC-MS-MS     | < 0,020            | µg/L     |
|  | Terbutilazina          | GC               | < 0,030            | µg/L     |
|  | Desetilterbutilazina   | GC-MS            | < 0,020            | µg/L     |
| EPTC   | SPE-LC-MS-MS           | < 0,020          | µg/L               |          |
| Linurão  | SPE-LC-MS-MS           | < 0,020          | µg/L               |          |
| Substâncias extraíveis com clorofórmio                 | Tricloroeteno          | GC-ECD           | < 4,0              | µg/L     |
|  | Tetracloroeteno        | GC-ECD           | < 4,0              | µg/L     |
| Soma dos Bifenilos policlorados (PCB)                  | PCB 28                 | GC-ECD           | < 0,0073           | µg/L     |
|  | PCB 52                 |                  | < 0,0011           | µg/L     |
|  | PCB 101                |                  | < 0,00075          | µg/L     |
|  | PCB 118                |                  | < 0,0011           | µg/L     |
|  | PCB 138                |                  | < 0,0012           | µg/L     |
|  | PCB 153                |                  | < 0,0011           | µg/L     |
|  | PCB 180                |                  | < 0,00095          | µg/L     |

As águas analisadas apresentam características distintas para os três níveis analisados: superior, intermédio e inferior. Por um lado, regra geral, observa-se um aumento dos valores da condutividade eléctrica em profundidade, sendo as águas mais antigas, dos níveis inferiores, as mais mineralizadas. A maioria dos valores situa-se entre 100 e 300  $\mu\text{S/cm}$ , podendo chegar aos 617  $\mu\text{S/cm}$  para os pontos de águas que captam as camadas mais profundas P1s, P2s e B-8s (cf. Fig. 15 e Fig. 17). Chama-se, contudo, à atenção que os valores de maior condutividade eléctrica obtidos em laboratório para os pontos BP1 e CP2 apresentaram, em ambos os casos, nas medições efectuadas com as sondas, valores inferiores a 400  $\mu\text{S/cm}$ . São, assim, valores elevados mas mais próximos dos pontos CP1 e CB-8, e BB-8, respectivamente, conforme seria expectável. Observam-se claras diferenças entre as águas dos pontos mais superficiais, P5s e P6s. Por outro lado, a fácies hidroquímica apresenta características diferentes, passando de águas com fácies cloretada sódica, nos níveis mais superiores (P5s e BSs), para águas de fácies bicarbonatada sódica e cálcica nos estratos mais profundos (cf. Fig. 16).

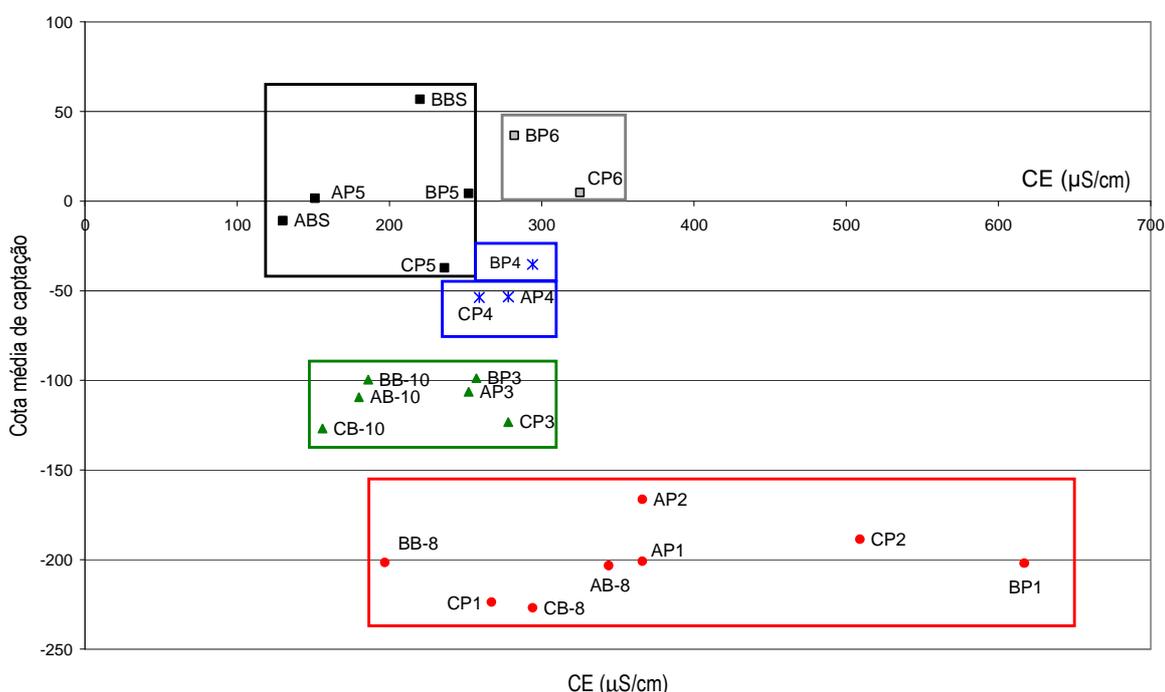


Fig. 15 – Variação da condutividade eléctrica medida em laboratório em função da cota média de captação de água

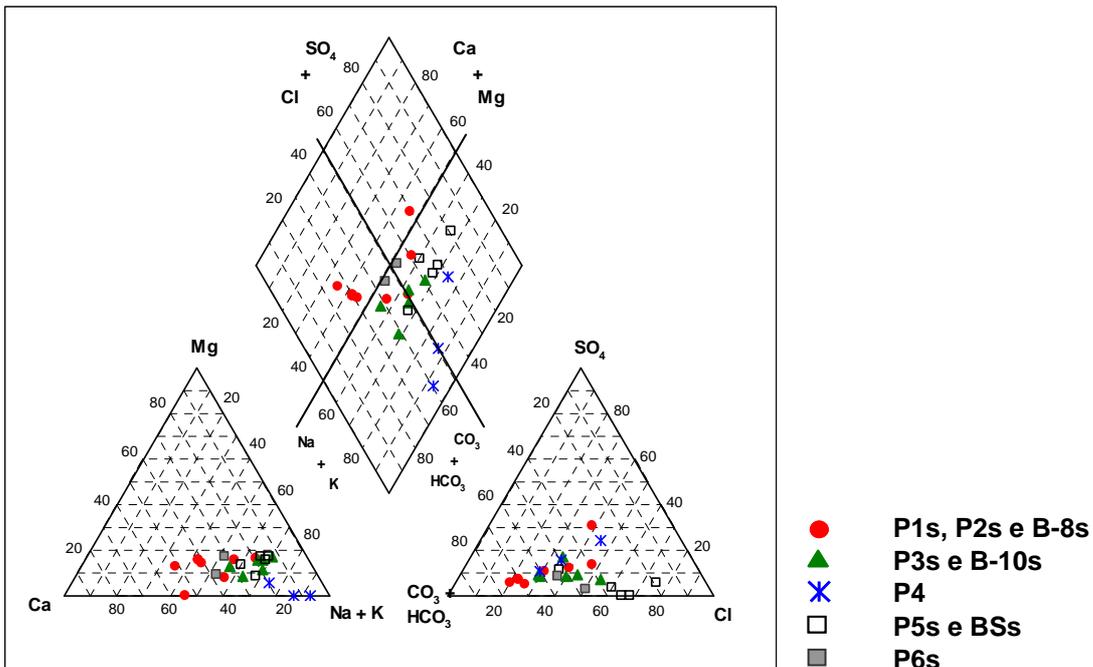


Fig. 16 – Fácies hidroquímica das águas subterrâneas do CTA

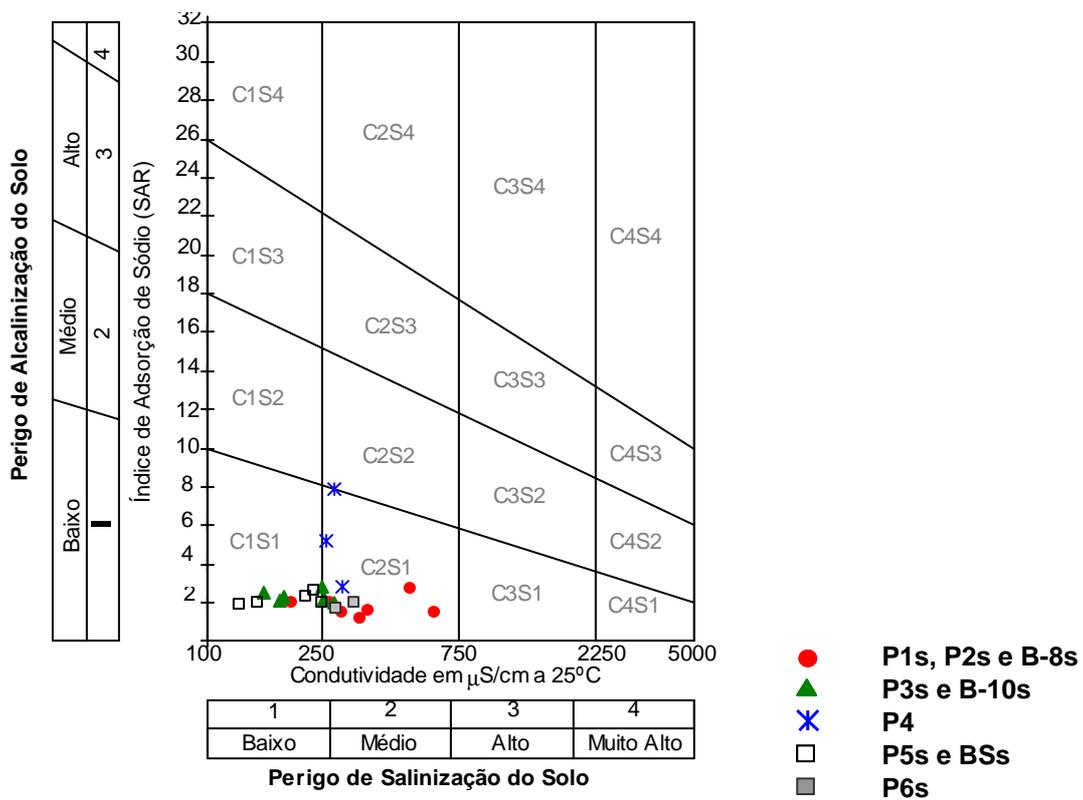


Fig. 17 – Classificação da água em diagrama de Riverside

Esta caracterização hidrogeoquímica enquadra-se na classificação geral do sistema aquífero da Margem Esquerda efectuada no Plano de Bacia Hidrográfica do rio Tejo, baseada em 1622 análises químicas, efectuadas em 593 furos, num período compreendido entre 1954 e 1998 (Leitão *et al.*, 2000), nos trabalhos de Mendonça *et al.* (2004), bem como nos resultados apresentados para a análise técnica comparada das alternativas de localização do novo aeroporto de Lisboa (Lobo Ferreira *et al.*, 2008) para 106 pontos de água localizados nas cartas militares 418, 419, 420, 423, 433 e 434, nos quais foram recolhidas 451 amostras de água e efectuadas 4183 análises químicas a diversos parâmetros.

INAG (1997) e Almeida *et al.* (2000) identificam três formações aquíferas dominantes no sistema aquífero da Margem Esquerda: o Pliocénico com água cloretada sódica, bicarbonatada sódica e mista; grés da Ota com água cloretada sódica, bicarbonatada sódica e mista e o Miocénico marinho com água cloretada sódica, bicarbonatada cálcica e bicarbonatada mista.

Pese embora a global boa qualidade das águas observa-se, tal como vem sintetizado no Quadro 14: (1) a presença de concentrações em Fe acima do VMA nalguns locais, característica esta que é típica das águas que circulam nestas formações e (2) um valor de bário ligeiramente acima do VMA numa amostra. Regista-se a presença de compostos orgânicos em alguns piezómetros no local A, cuja origem se presume ter resultado de práticas incorrectas no uso do compressor para limpeza dos piezómetros, uma vez que não há registo deste tipo de elementos em estudos anteriores da qualidade das águas deste sistema. Estes elementos não são especificamente referidos no Anexo I do DL n.º 236/98. As concentrações obtidas para o conjunto de seis substâncias padrão de HAPs referido naquele decreto encontram-se abaixo do VMA.

Quadro 14 – Síntese dos pontos de água monitorizados para aspectos de qualidade

| Zona      | Furo / Piezómetro | Parâmetro > VMA | Valor > VMA | Total amostras |
|-----------|-------------------|-----------------|-------------|----------------|
| A         | AP1               |                 |             | 8              |
|           | AP2               |                 |             |                |
|           | AP3               |                 |             |                |
|           | AP4               |                 |             |                |
|           | AP5               | Fe              | 0,46 mg/l   |                |
|           | ABS               |                 |             |                |
|           | AB-8              |                 |             |                |
|           | AB-10             |                 |             |                |
| B         | BP1               |                 |             | 9              |
|           | BP3               | Ba              | 0,14 mg/l   |                |
|           | BP4               |                 |             |                |
|           | BP5               |                 |             |                |
|           | BP6               |                 |             |                |
|           | BBS               |                 |             |                |
|           | BB-8              |                 |             |                |
|           | BB-10             |                 |             |                |
| C         | BT                |                 |             | 9              |
|           | CP1               |                 |             |                |
|           | CP2               |                 |             |                |
|           | CP3               | Fe              | 0,70 mg/l   |                |
|           | CP4               | Fe              | 0,74 mg/l   |                |
|           | CP5               | Fe              | 0,70 mg/l   |                |
|           | CP6               | Fe              | 0,36 mg/l   |                |
|           | CB-8=CB           |                 |             |                |
| CB-10=CBI |                   |                 |             |                |
|           | CT                |                 |             |                |
|           | TOTAL             |                 |             | 26             |

As águas subterrâneas apresentam valores baixos nalguns elementos que frequentemente se encontram associados à poluição de aquíferos. A Fig. 18 apresenta os baixos teores em nitrato quando comparados com o VMA do DL n.º 236/98. A Fig. 19 apresenta os resultados das concentrações em nitritos, azoto amoniacal e fosfatos que não têm valor definido para VMA. Os fosfatos encontram-se em concentrações abaixo ou próximas do VMR de 0,4 mg/l e o azoto amoniacal apresenta concentrações acima do VMR de 0,05 mg/l nas amostras onde foi detectada a sua presença.

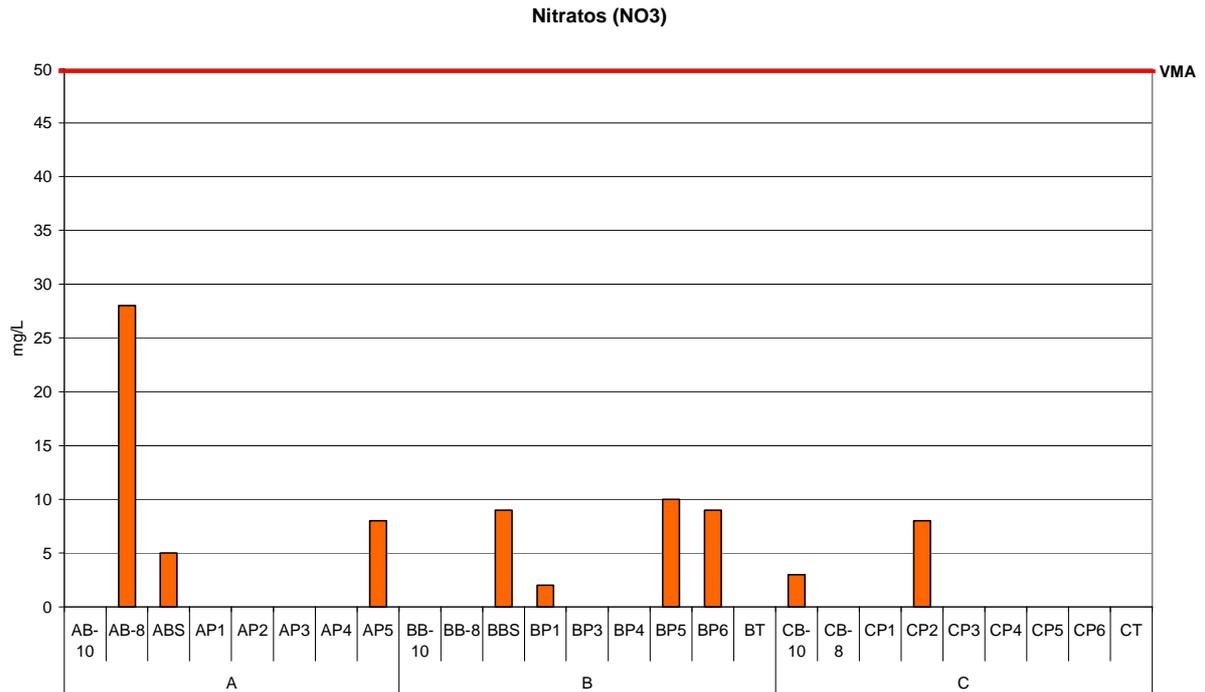


Fig. 18 – Concentração em nitratos nas águas subterrâneas do CTA

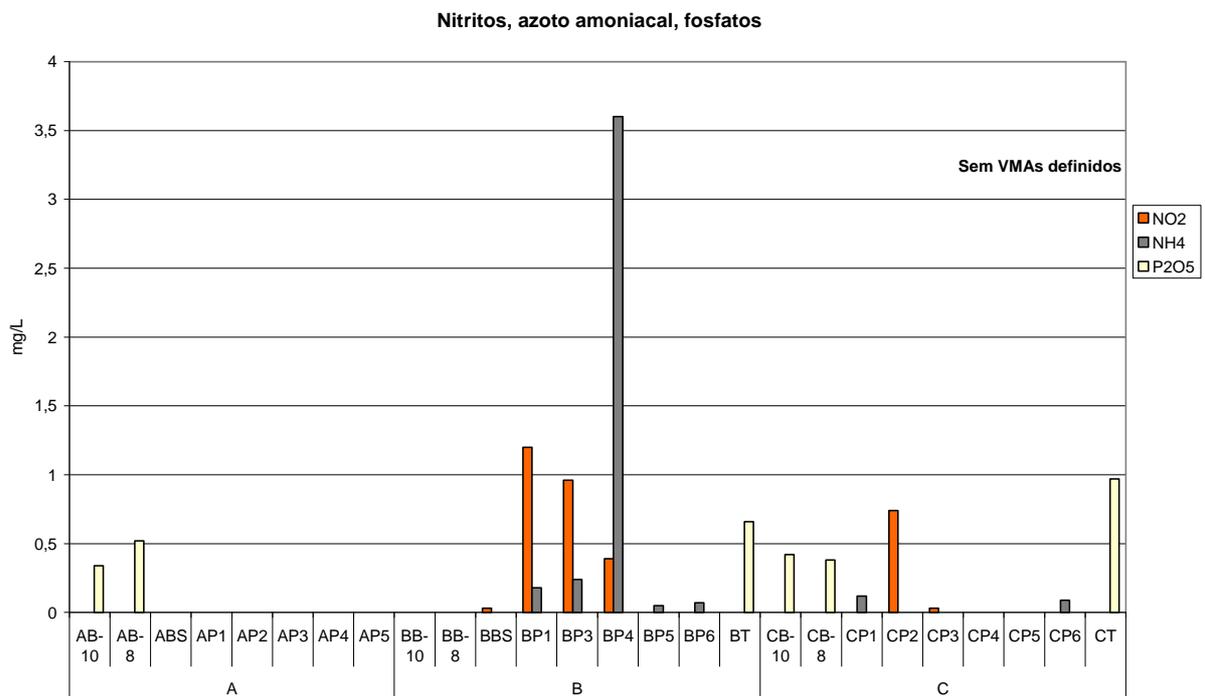


Fig. 19 – Concentração em nitritos, azoto amoniacal e fosfatos nas águas subterrâneas do CTA

Não foi detectada a presença de qualquer pesticida de entre os analisados (cf. Quadro 13).

A presença de bactérias patogénicas cinge-se a quatro amostras e os seus valores situam-se abaixo dos respectivos VMA (cf. Fig. 20).

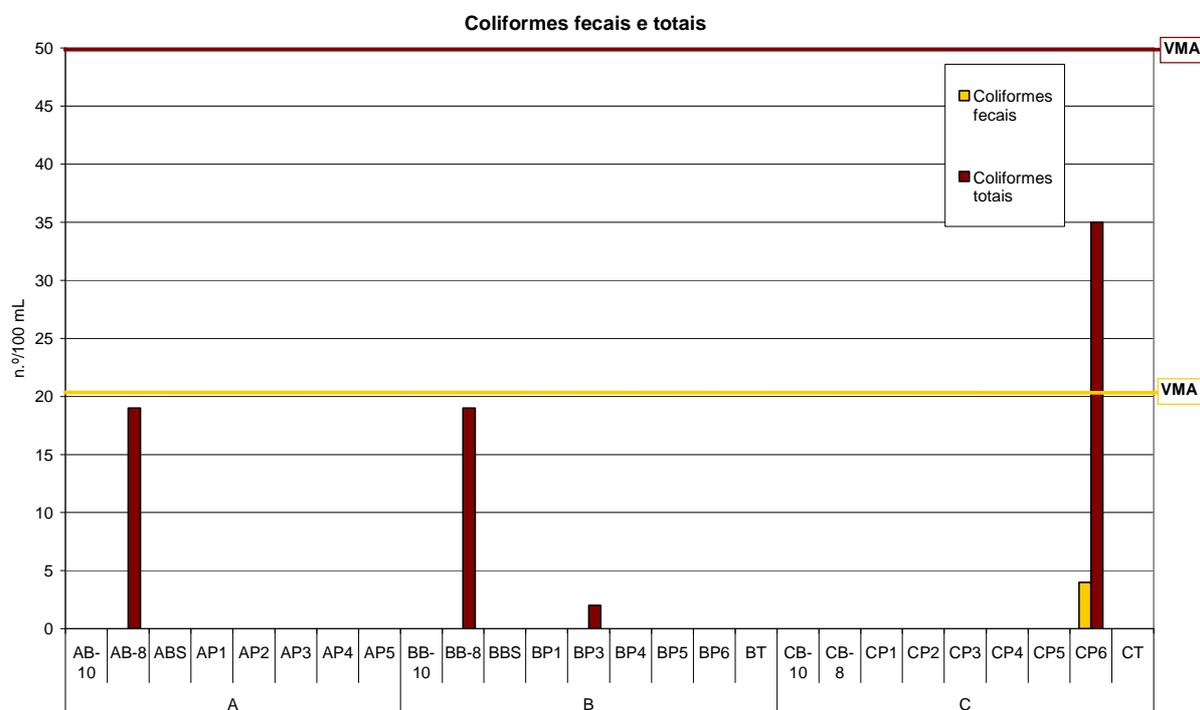


Fig. 20 – Concentração em coliformes nas águas subterrâneas do CTA

Os resultados das análises químicas das concentrações em metais pesados nas águas subterrâneas do CTA permite verificar que a sua maioria se encontra abaixo dos respectivos VMA (existentes para: Zn = 3,0 mg/l; Fe = 0,3 mg/l; Ba = 0,1 mg/l; As = 0,05 mg/l), tal como é possível verificar na Fig. 21. Excepção ao referido são as concentrações em ferro e a concentração em bário numa das análises, conforme atrás referido. Mais de 25% dos resultados de análises de ferro que constam na base de dados realizada para o Plano de Bacia do Tejo <INVENTAR PBHTEJO.MDB> (Lobo Ferreira *et al.*, 2000), o valor em ferro ultrapassa o VMR e, em cerca de 17%, ultrapassa o VMA. Galego Fernandes e Oliveira da Silva (1998) referem valores médios superiores ao VMA para análises de 25 captações da Bacia do Sado (situada dentro do sistema aquífero da Margem Esquerda). Os mesmos autores referem que os teores em metais se devem fundamentalmente à influência do meio geológico.

O mercúrio surgiu em cinco pontos de água, com concentrações inferiores ao VMA (cf. Fig. 22). Além destes metais foi ainda detectada, apenas uma vez, a presença de Pb e de Ni em amostras diferentes e com concentrações iguais aos respectivos limites de detecção.

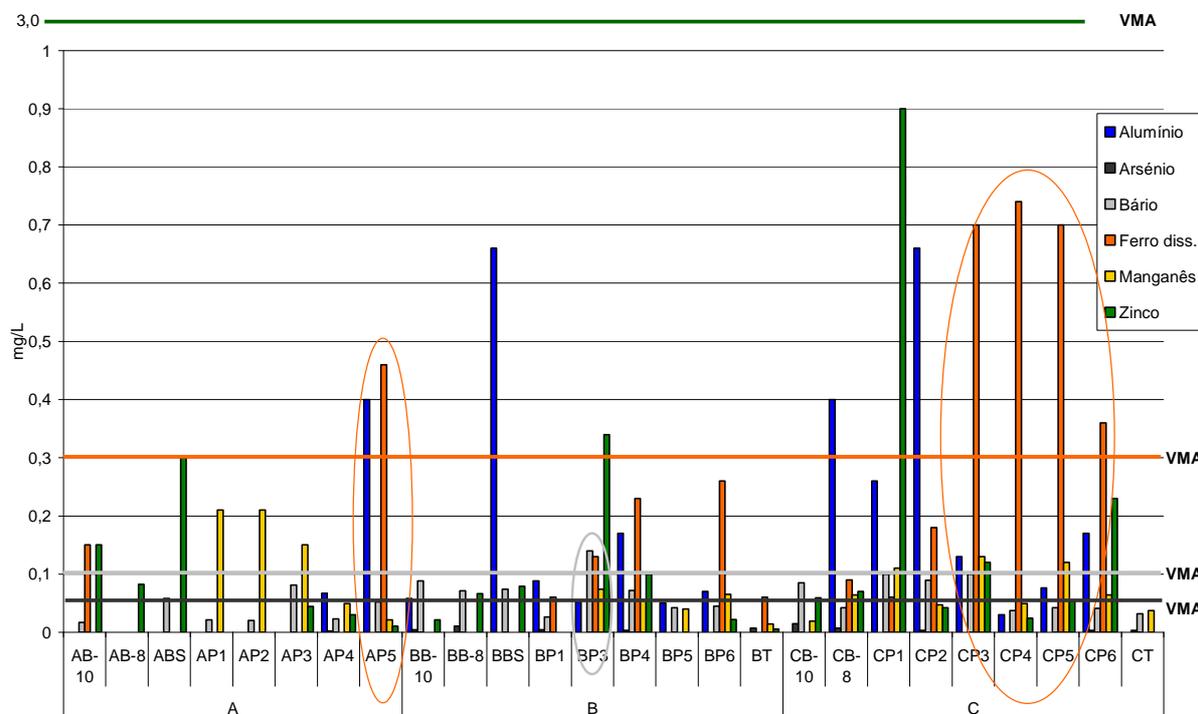


Fig. 21 – Concentração em metais pesados nas águas subterrâneas do CTA

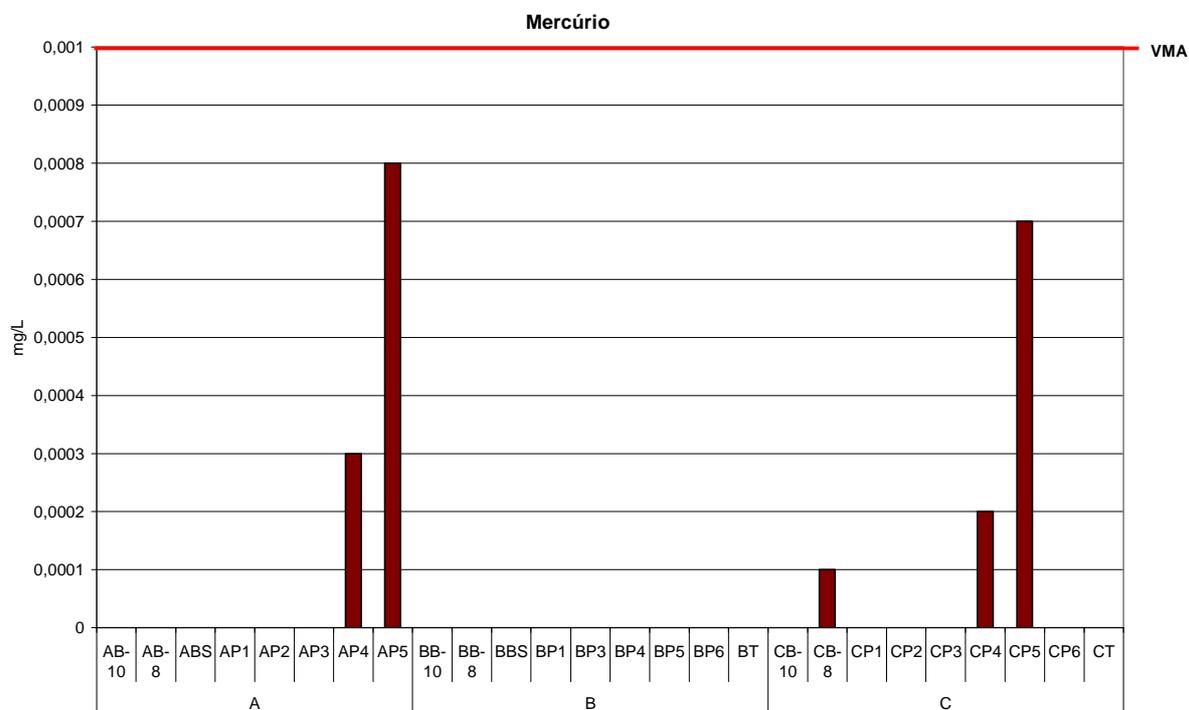


Fig. 22 – Concentração em mercúrio nas águas subterrâneas do CTA

As Fig. 23, Fig. 24 e Fig. 25 ilustram os resultados obtidos para as análises químicas de HAPs, BTEX, e PCBs e PCEs, respectivamente. Não obstante o aparecimento de diversos HAPs, as concentrações obtidas para uma mistura de seis substâncias padrão, referidas no Anexo I do DL n.º 236/98, são inferiores ao VMA estabelecido (0,2 µg/l), e estão abaixo dos respectivos limites de detecção.

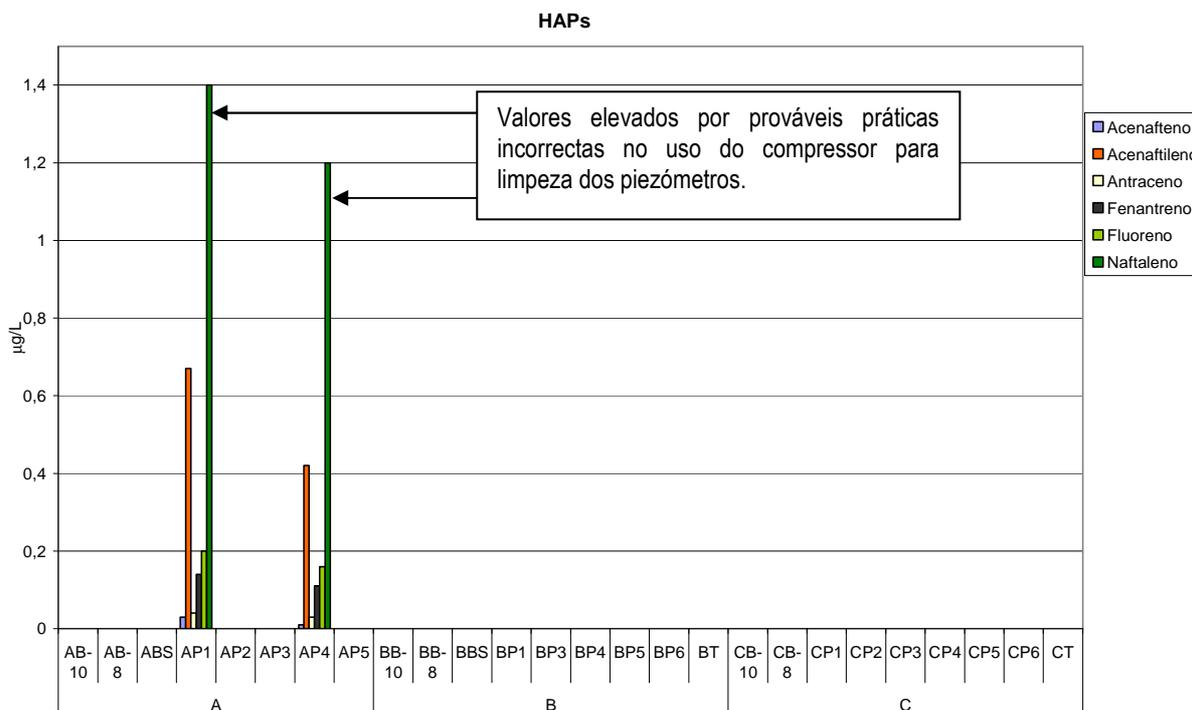


Fig. 23 – Concentração em hidrocarbonetos aromáticos policíclicos nas águas subterrâneas do CTA

Nos mesmos locais onde surgem PAHs e também no piezómetros AP3 há, ainda, concentrações em BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno), conforme representado na Fig. 24. Ainda no campo de compostos orgânicos há a assinalar a presença de PCBs e PCEs, embora estes em muito baixas concentrações quando comparados com água para consumo humano para PCEs (DL n.º 306/2007) (cf. Fig. 25).

Além dos parâmetros atrás referidos, não foi detectada concentração superior ao limite de detecção para: substâncias extraíveis com clorofórmio, substâncias tensoactivas (em sulfato de laurilo e sódio), hidrocarbonetos dissolvidos ou emulsionados e os seguintes metais ou metalóides: B, Cd, Cr e Cu.

Por fim, os resultados das concentrações em radioisótopos permitem confirmar que as águas analisadas não apresentam radioactividade. Os elevados limites de detecção utilizados não permitem efectuar a datação das águas amostradas.

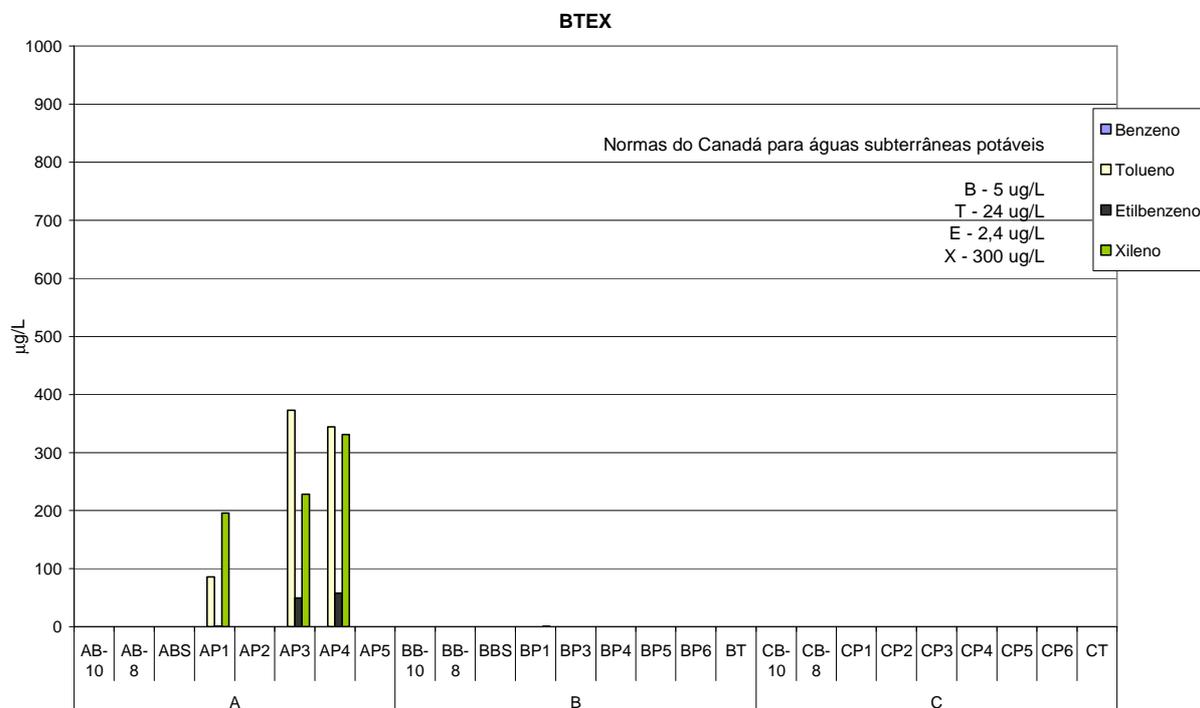


Fig. 24 – Concentração em benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno nas águas subterrâneas do CTA

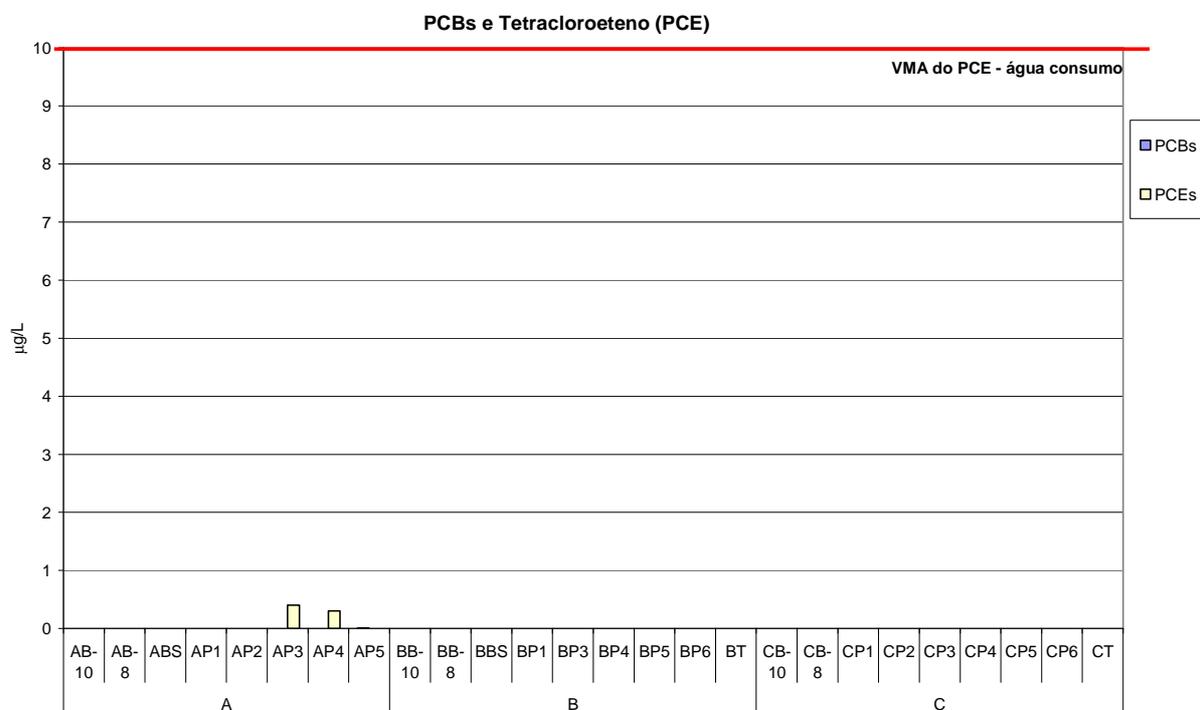


Fig. 25 – Concentração em bifenis policlorados e tetracloroetano nas águas subterrâneas do CTA

## 10. Vulnerabilidade à poluição das águas subterrâneas

### 10.1 Introdução

Em Lobo-Ferreira *et al.* (2007, Relatório LNEC da Componente Águas Subterrâneas para a Fase 1 do Estudo do NAL) apresentou-se o mapeamento do índice DRASTIC para caracterização da vulnerabilidade à poluição do aquífero livre com base nos estudos desenvolvidos para o Plano de Bacia Hidrográfica do rio Tejo. Esse mapeamento foi feito à escala 1:1 000 000. Em Lobo-Ferreira *et al.* (2008, Relatório LNEC da Componente Águas Subterrâneas para a Fase 2 do Estudo do NAL) fez-se uma actualização do índice DRASTIC, com base em informação mais detalhada recolhida para este Estudo, compatível com a escala 1:25 000. Este novo estudo recaiu apenas sobre a área de implementação do perímetro H6B (área desse estudo) e foi feito para o aquífero livre e para o aquífero (semi)confinado.

Procede-se agora à actualização do índice DRASTIC do aquífero livre com os dados existentes mais actuais para a zona de implementação do NAL.

### 10.2 Descrição do índice DRASTIC

O índice DRASTIC foi desenvolvido na Agência de Protecção Ambiental dos Estados Unidos da América e encontra-se apresentado em Aller *et al.* (1987). O método permite caracterizar a vulnerabilidade à poluição das águas subterrâneas através do cálculo de um índice que integra sete parâmetros caracterizadores do meio subterrâneo e da sua especificidade, a saber (Fig. 26): (1) D - Profundidade do topo do aquífero, (2) R - Recarga das águas subterrâneas, (3) A - Material do aquífero, (4) S - Material do solo, (5) T - Topografia, (6) I - Influência da zona vadosa e (7) C - Condutividade hidráulica do aquífero.

Para a quantificação do índice DRASTIC, cada um dos sete parâmetros é classificado quer em intervalos de escalas quer em tipos de meio significativos que condicionam o potencial de poluição. A cada uma das classes é atribuído um valor de acordo com os valores indicados por Aller *et al.* (1987) - Quadro 15.

O índice de vulnerabilidade DRASTIC obtém-se através da seguinte expressão:

$$DRASTIC = D_p \times D_i + R_p \times R_i + A_p \times A_i + S_p \times S_i + T_p \times T_i + I_p \times I_i + C_p \times C_i$$

onde  $X_i$  é o índice atribuído ao parâmetro  $X$  e  $X_p$  é o respectivo peso. O valor de  $p$  encontra-se tabelado (Quadro 15).

O método DRASTIC considera os seguintes pressupostos (cf. Aller *et al.*, 1987):

- o contaminante é introduzido à superfície do terreno;
- o contaminante é transportado verticalmente até ao aquífero pela água de infiltração;
- o contaminante tem a mobilidade da água;
- a área mínima avaliada pelo DRASTIC é de 0,4 km<sup>2</sup> (100 acres).

Quadro 15 - Classes dos parâmetros do método DRASTIC e índices a atribuir a cada classe

| D - Profundidade do Topo do Aquífero (m)<br>(Peso - normal: 5; - pesticidas: 5) | Índice    | R - Recarga do aquífero (mm/ano)<br>(Peso - normal: 4; - pesticidas: 4)               | Índice |
|---|-----------|---|--------|
| < 1,5   | 10        | < 51  | 1      |
| 1,5 - 4,6   | 9         | 51 - 102  | 3      |
| 4,6 - 9,1   | 7         | 102 - 178   | 6      |
| 9,1 - 15,2  | 5         | 178 - 254   | 8      |
| 15,2 - 22,9   | 3         | > 254   | 9      |
| 22,9 - 30,5   | 2         |   |        |
| > 30,5  | 1         |   |        |
| A - Material do Aquífero<br>(Peso - normal: 3; - pesticidas: 3)                 | Índice    | S - Material do solo (textura)<br>(Peso - normal: 2; - pesticidas: 5)                 | Índice |
| Xisto argiloso, argilito  | 1-3 (2)   | Balastro, Fino ou ausente   | 10     |
| Rocha metamórfica/ígnea   | 2-5 (3)   | Areia   | 9      |
| Rocha metamórfica/ígnea alterada  | 3-5 (4)   | Turfa   | 8      |
| Arenito, calcário e argilito estratificados                                     | 5-9 (6)   | Argila agregada e/ou expansível   | 7      |
| Arenito maciço  | 4-9 (6)   | Franco arenoso  | 6      |
| Calcário maciço   | 4-9 (6)   | Franco  | 5      |
| Areia e cascalheira   | 4-9 (8)   | Franco silteoso   | 4      |
| Basalto   | 2-10 (9)  | Franco argiloso   | 3      |
| Calcário carsificado  | 9-10 (10) | "Muck"  | 2      |
|   |           | Argila não agregada e não expansível  | 1      |
| I - Influência da Zona Vadosa<br>(Peso - normal: 5; - pesticidas: 4)            | Índice    | T - Topografia (declive em %)<br>(Peso - normal: 1; - pesticidas: 3)                  | Índice |
| Camada confinante   | 1         | < 2   | 10     |
| Argila/Silte  | 2-6 (3)   | 2-6   | 9      |
| Xisto argiloso, argilito  | 2-5 (3)   | 6-12  | 5      |
| Calcário  | 2-7 (6)   | 12-18   | 3      |
| Arenito   | 4-8 (6)   | > 18  | 1      |
| Arenito, calcário e argilito estratificados                                     | 4-8 (6)   |   |        |
| Areia e balastro com percentagem significativa de silte e argila                | 4-8 (6)   | C - Condutividade Hidráulica do Aquífero<br>(m/d) (Peso - normal: 3; - pesticidas: 2) | Índice |
| Rocha metamórfica/ígnea   | 2-8 (4)   | < 4,1   | 1      |
| Areia e balastro  | 6-9 (8)   | 4,1 - 12,2  | 2      |
| Basalto   | 2-10 (9)  | 12,2 - 28,5   | 4      |
| Calcário carsificado  | 8-10 (10) | 28,5 - 40,7   | 6      |
|   |           | 40,7 - 81,5   | 8      |
|   |           | > 81,5  | 10     |

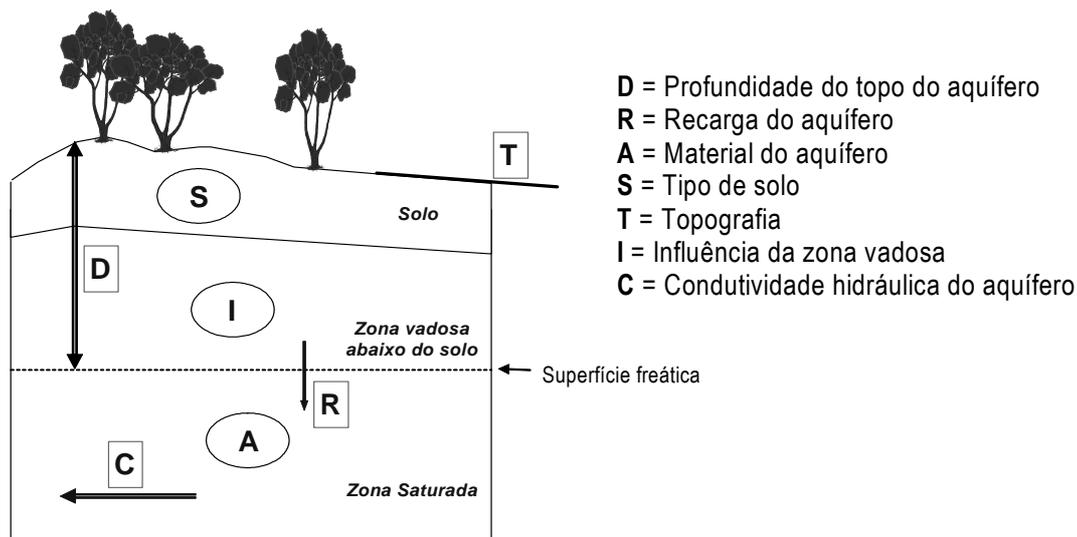


Fig. 26 – Parâmetros incorporados no método DRASTIC

### 10.3 Caracterização da vulnerabilidade à poluição do aquífero livre

Para a caracterização do parâmetro D utilizou-se a análise espaciotemporal da piezometria do aquífero livre apresentada na secção 6.2, tendo-se subtraído a altitude da superfície piezométrica à altitude da superfície topográfica. Só foi possível caracterizar este parâmetro para a área definida pelo rectângulo dentro do qual existem observações de piezometria. O resultado é o representado na Fig. 27, verificando-se que a maior parte da área apresenta valores de índice  $D = 5$  e  $D = 3$  e que os valores de profundidades mais baixas ao nível freático, correspondentes a valores mais altos do parâmetro D (7, 9 e 10) ocorrem junto aos cursos de água.

A recarga anual média varia, de acordo com o apresentado na secção 7, entre 0 mm/ano (área impermeável) e 341 mm/ano. Estes valores variam em função do uso do solo: o valor mais elevado deve-se à ocorrência de um solo descoberto, enquanto os valores mais baixos se devem à ocorrência de espécies florestais. Relembre-se também que a ocupação do solo nesta área tem variado ao longo do tempo, por um lado devido às actividades militares, por outro devido à plantação e abate de eucaliptos, o que proporciona diferentes condições de recarga. O índice do parâmetro recarga pode ser observado na Fig. 28. Esta figura resultou da reclassificação para o parâmetro R dos valores representados na Fig. 11, com uma excepção que é uma área dentro do CTA classificada como “Área Social” na cartografia de solos. Por analogia com áreas vizinhas, atribuiu-se o índice  $R = 8$ , que é o valor obtido para um solo com

características arenosas (solo Ap) e ocupação florestal (constatável pelas imagens de satélite). Em termos do índice de vulnerabilidade DRASTIC este valor é atribuído pelo lado da segurança, porque se o solo tiver uma componente mais argilosa então o índice a atribuir seria 6, correspondente ao valor encontrado para os solos Ppt em áreas de floresta.

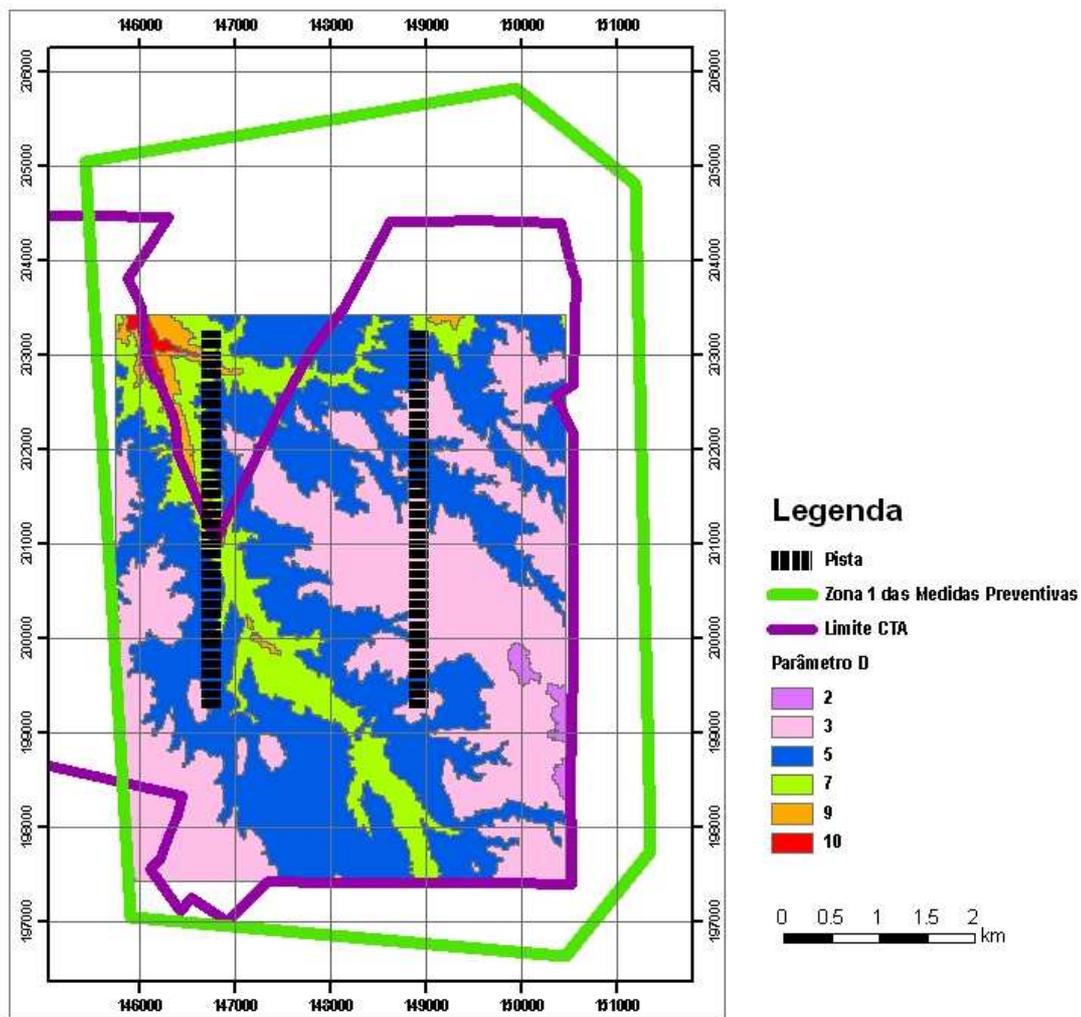


Fig. 27 – Profundidade ao topo do aquífero livre (Parâmetro D), na localização do CTA

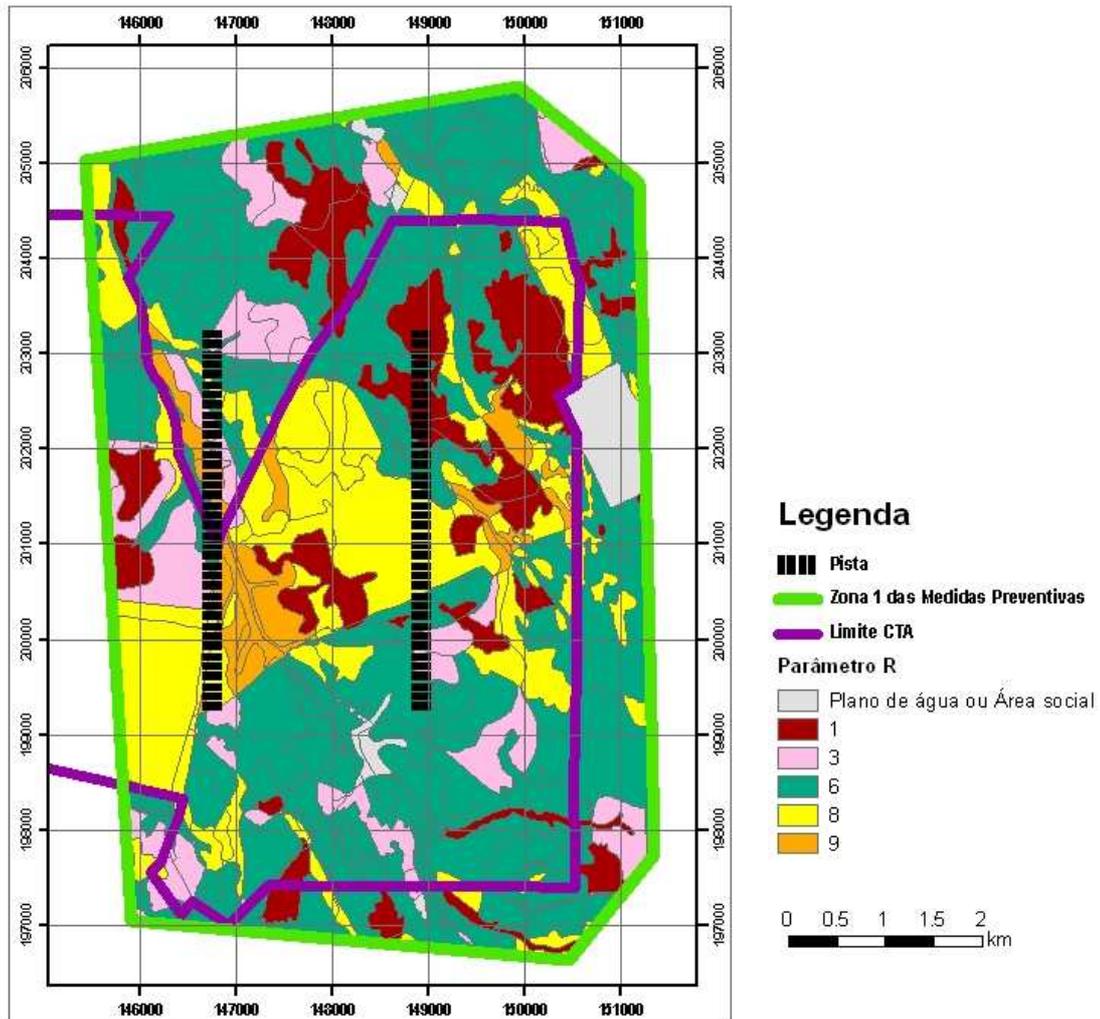


Fig. 28 – Recarga do aquífero livre (Parâmetro R), na localização do CTA

O aquífero livre é composto por areias de granulometria variada (de fina a grosseira) por vezes com uma matriz siltosa. Não sendo óbvia a delimitação das áreas onde predomina mais um tipo de areia do que outro, optou-se por se classificar o parâmetro A com o valor  $A = 8$ , correspondente ao índice típico de areias, em toda a área em estudo.

Utilizando a carta de solos do IHERA, correspondente às folhas à escala 1:25000 n.ºs 419 e 433, foi possível classificar o parâmetro S dos solos e associações de solos aí cartografados, de acordo com Oliveira *et al.* (1997). Para a maior parte da área ocorrem associações de solos que apresentam um índice  $S = 9$ , representativo de solos de textura arenosa (Fig. 29). A exemplo do procedimento adoptado para o parâmetro R, há uma área classificada como “Área social” na cartografia de solos em que se assumiu um valor para o parâmetro em análise.

Nesta área, o parâmetro S foi classificado o índice 9, por afinidade com as regiões vizinhas e, por outro lado, utilizando um princípio de precaução, no caso do S ser menor.

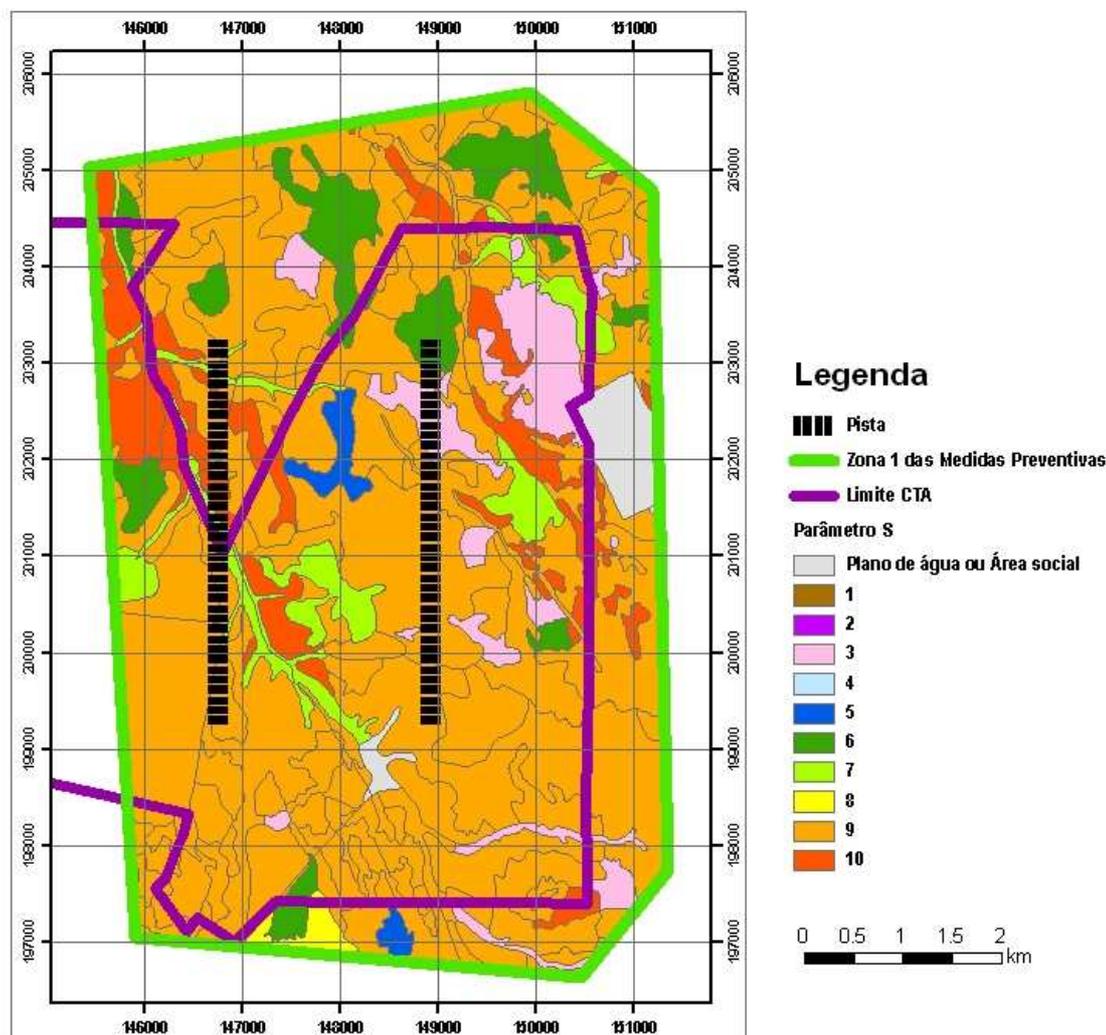


Fig. 29 – Material do solo (Parâmetro S), na localização do CTA

A área em estudo é essencialmente plana, razão pela qual os declives se apresentam maioritariamente na classe inferior a 2 %, ocorrendo algumas áreas na classe entre 2 % e 6 %. Por esse motivo o índice do parâmetro T varia entre T = 10 e T = 9 (Fig. 30). Os declives foram calculados utilizando o levantamento topográfico realizado para o aeroporto.

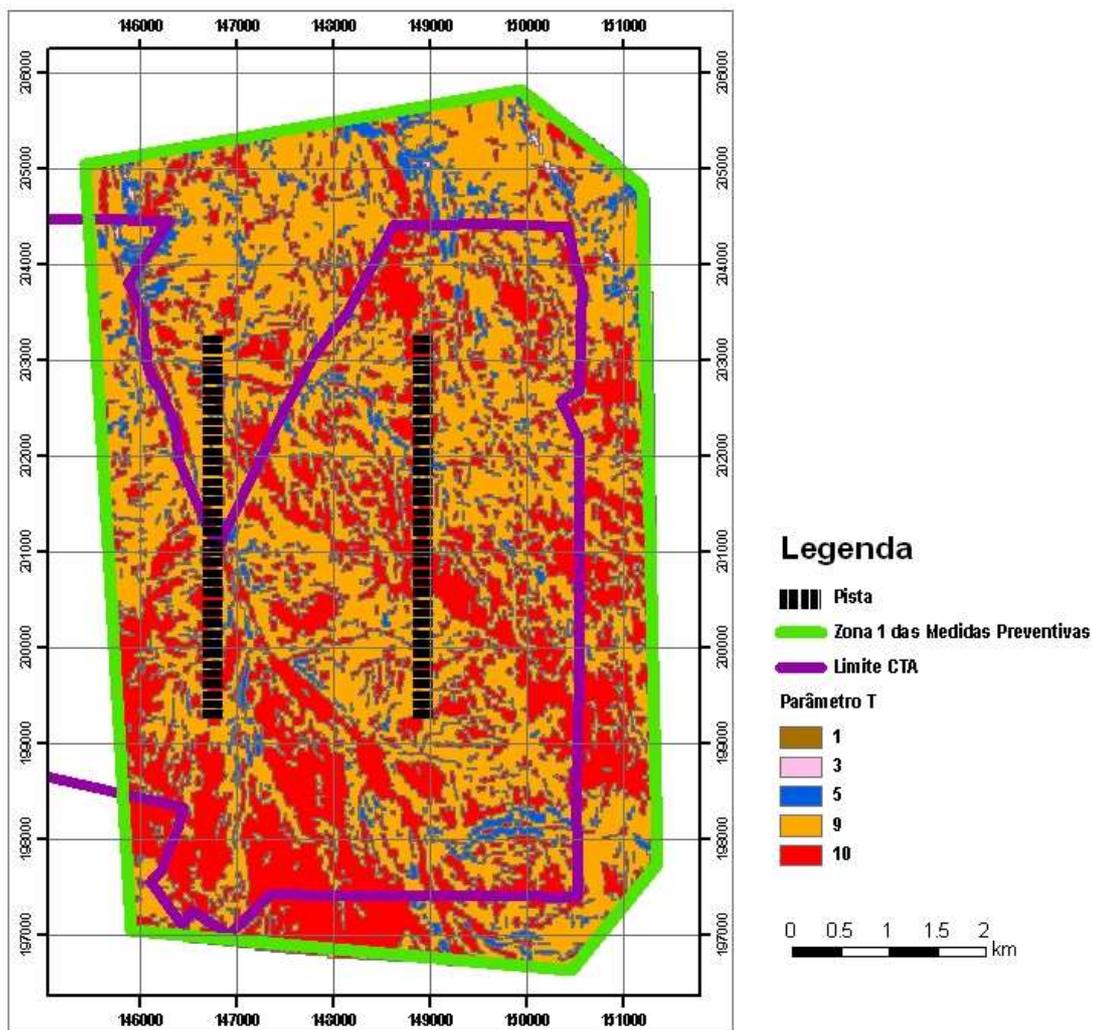


Fig. 30 – Declive da superfície topográfica (Parâmetro T), na localização do CTA

Dada a existência de camadas ou argilosas ou de areias com matriz argilosa no seio do material arenoso situado acima do aquífero livre, que nalguns locais serve de sustentação a aquíferos suspensos, o material da zona vadosa, parâmetro I, foi classificado na generalidade da área com o valor 6. Em locais específicos onde os trabalhos de prospecção geotécnica detectaram a presença de camadas argilosas ou areno-argilosas este índice poderia ser mais baixo. Estes locais ocorrem, na área em estudo onde se fez a prospecção geotécnica, nos sectores W, SW, S, NE, centro-norte, e, principalmente, com maior espessura, na zona SE (ver Fig. 7 e Fig. 10). Contudo, dadas as discontinuidades destas camadas em vários locais, optou-se por se considerar o valor regional.

Os ensaios de bombagem permitiram caracterizar a condutividade hidráulica das camadas do aquífero livre solicitadas pelos ensaios nas zonas A e B entre 2,5 m/d e 3,8 m/d (PQ superior da Fig. 12). Estas camadas embora englobadas no sistema aquífero livre tal como definido na secção 5.2, não constituem os estratos mais elevados, identificados nas sondagens geotécnicas e de prospecção hidrogeológica, onde o material arenoso se apresenta menos coeso. Por outro lado traduzem valores médios de toda a espessura ensaiada e não apenas do material areia, normalmente mais permeável, de acordo com tabelas que relacionam a condutividade hidráulica com a litologia. Assim optou-se por se assumir que, para as areias dos estratos superiores que compõem o aquífero livre, a sua condutividade hidráulica se situa entre 12 m/d e 28 m/d, o que lhes confere o índice  $C = 4$ .

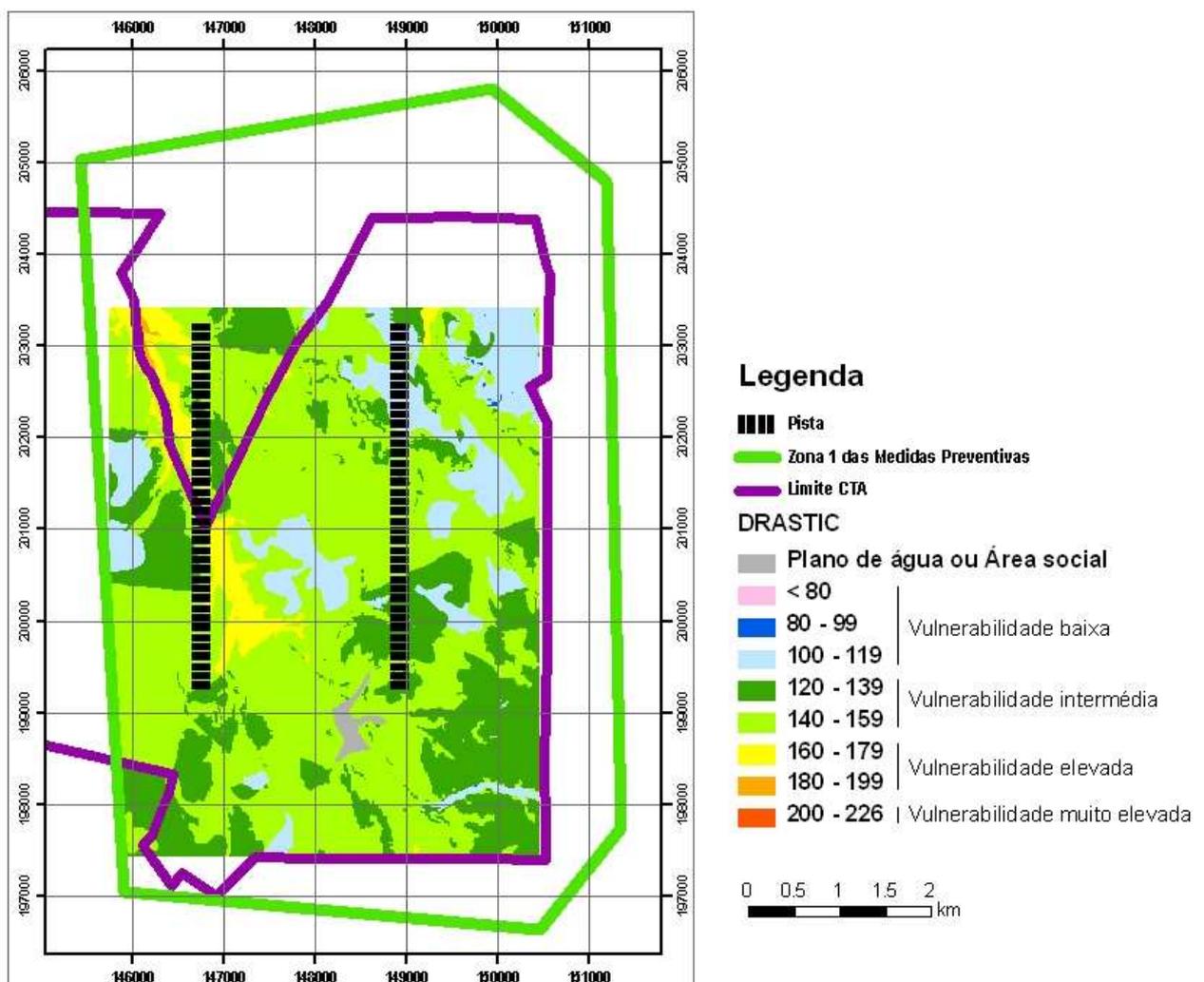


Fig. 31 – Índice DRÁSTIC de vulnerabilidade à poluição do aquífero livre, na localização do CTA

Na localização do CTA, o índice DRASTIC do aquífero livre, calculado com base nos parâmetros acima referidos apresenta valores entre 96 e 182 (Fig. 31), a que corresponde uma vulnerabilidade Intermédia na generalidade da área, excepto junto à ribeira do vale Cobrão na parte mais a norte, onde devido a uma maior proximidade ao topo do aquífero livre, apresenta os valores mais altos (vulnerabilidade elevada). O índice DRASTIC médio de vulnerabilidade à poluição do aquífero livre é 138.

#### **10.4 Comentários finais à caracterização da vulnerabilidade DRASTIC**

A caracterização apresentada reflecte as condições existentes actualmente antes da implementação da obra. A construção de toda a infraestrutura aeroportuária vai alterar a maior parte das condições representadas e como tal o índice de vulnerabilidade DRASTIC.

Com as escavações e os aterros, as condições de distância ao nível freático (D) vão-se alterar, a recarga local (R) vai ser alterada devido aos movimentos de terra, às impermeabilizações, e às drenagens, assim como o material que constitui o primeiro ou dois primeiros metros de abaixo da superfície – o solo (S). Estas alterações também terão impacto no material da zona vadosa (I). As obras e a configuração final de toda esta área alterarão também a topografia (parâmetro T). Os únicos parâmetros do método DRASTIC que se mantêm aproximadamente estáveis são os parâmetros do material do aquífero e da sua condutividade hidráulica.

## 11. Interacção águas subterrâneas / águas superficiais

O escoamento regional do aquífero livre e das camadas confinadas faz-se em direcção do estuário do Tejo, ou seja para W ou WNW (cf. secções 6.1 e 6.2). Localmente, o escoamento do aquífero suspenso faz-se para os cursos de água mais próximos, como é exemplo a ribeira do Vale do Cobrão. Esta situação será apenas temporária visto que as ribeiras que atravessam a área em estudo não apresentam sinais de descarga do meio subterrâneo para a superfície, pelo que esta interacção deve ser fraca.

Assumindo que o gradiente hidráulico, a condutividade hidráulica e a porosidade eficaz são aproximadamente constantes, o tempo de percurso subterrâneo depende apenas da distância ao ponto de descarga.

Considerando a distância (d) ao ponto de descarga superior a 10 km (estuário do Tejo), o gradiente hidráulico (i) do aquífero livre em 2 por mil na zona onde foi determinada a piezometria (secção 6.1), assumindo uma porosidade eficaz (ne) de 20 % e uma condutividade hidráulica (K) de 20 m/d, estima-se um tempo de percurso, em regime de escoamento natural, no aquífero livre superior, de mais de 135 anos (calculado utilizando a equação [tempo de percurso] = d / velocidade; velocidade = K . i / ne).

## **12. Relação entre o nível freático e a plataforma do aeroporto**

A análise da relação entre o nível freático e a plataforma do aeroporto utiliza a informação caracterizada na secção 5.1 e 6 relativamente ao aquífero livre e ao aquífero suspenso e a localização e cotas das pistas.

A cota da pista E é de 47,065 m e a cota da pista W é de 43,797 m.

Uma primeira constatação que se faz é que o nível freático que se definiu na área de construção do aeroporto está abaixo das altitudes das pistas. De acordo com a interpolação efectuada do nível freático, por baixo da pista E estima-se que ele se encontre entre os 38,4 m e os 30,5 m de altitude, o que representa uma distância do nível freático à pista E de pelo menos 8,7 m (Fig. 32).

Por baixo da pista W estima-se que o nível freático se encontre entre os 30,9 m e os 27,7 m de altitude, o que representa uma distância do nível freático à pista W de pelo menos 12,9 m (Fig. 33). Acresce que a quase totalidade da pista W se encontra acima da cota actual do terreno, excepto uma pequena área a sul.

Esta primeira constatação implica que não haja relação entre o nível freático do aquífero livre e as pistas.

Interessa analisar a possibilidade de ocorrência dos aquíferos suspensos na zona de implantação das pistas, que possam ser intersectados pelas mesmas. O procedimento consiste (1) em verificar se nas sondagens geotécnicas vizinhas das pistas se detectou a ocorrência de materiais mais impermeáveis que possam servir de base a um aquífero suspenso, (2) nos piezómetros instalados nessas sondagens, verificar a relação entre o nível freático do piezómetro superior e a cota da pista, e (3) definir através da topografia as áreas onde a pequena profundidade, possa existir escoamento subterrâneo que descarregue para as pistas. Estas áreas são definidas assumindo que o escoamento subterrâneo, por ocorrer a muito pequena profundidade, segue aproximadamente no mesmo sentido que os declives da topografia.

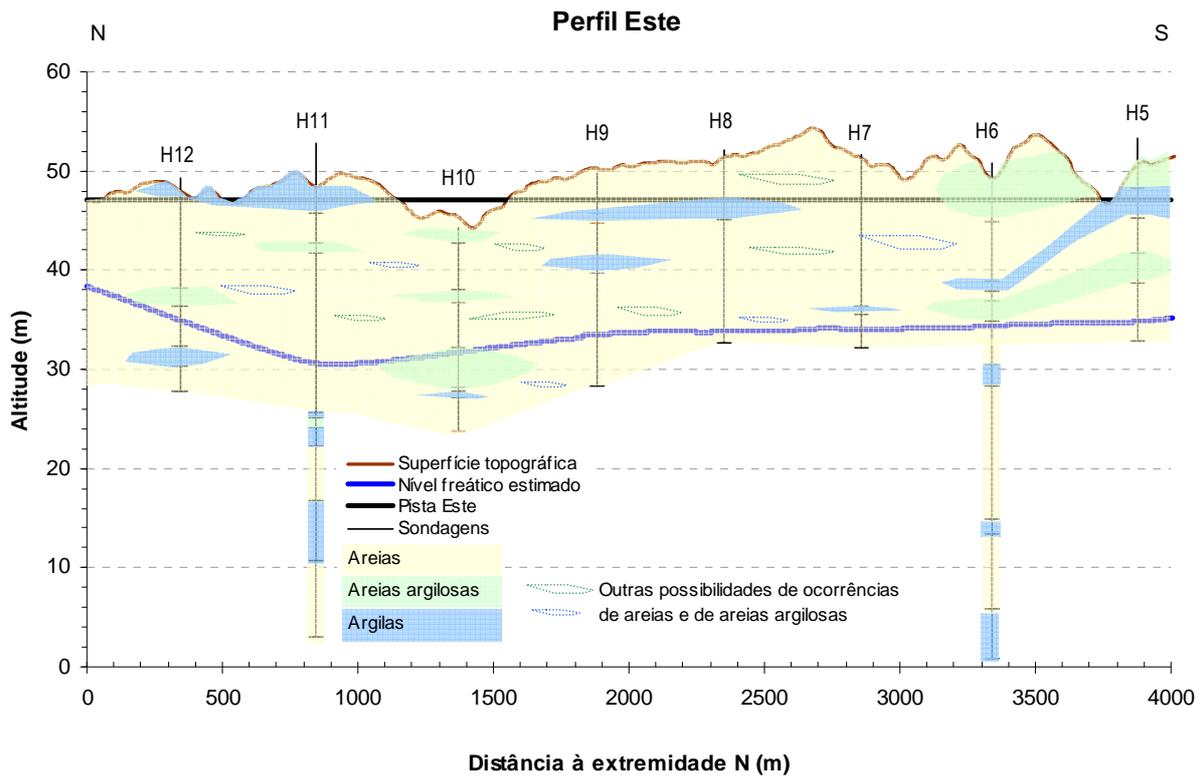


Fig. 32 – Perfil da pista E com indicação do nível freático estimado e corte geológico estabelecido de acordo com as sondagens geotécnicas.

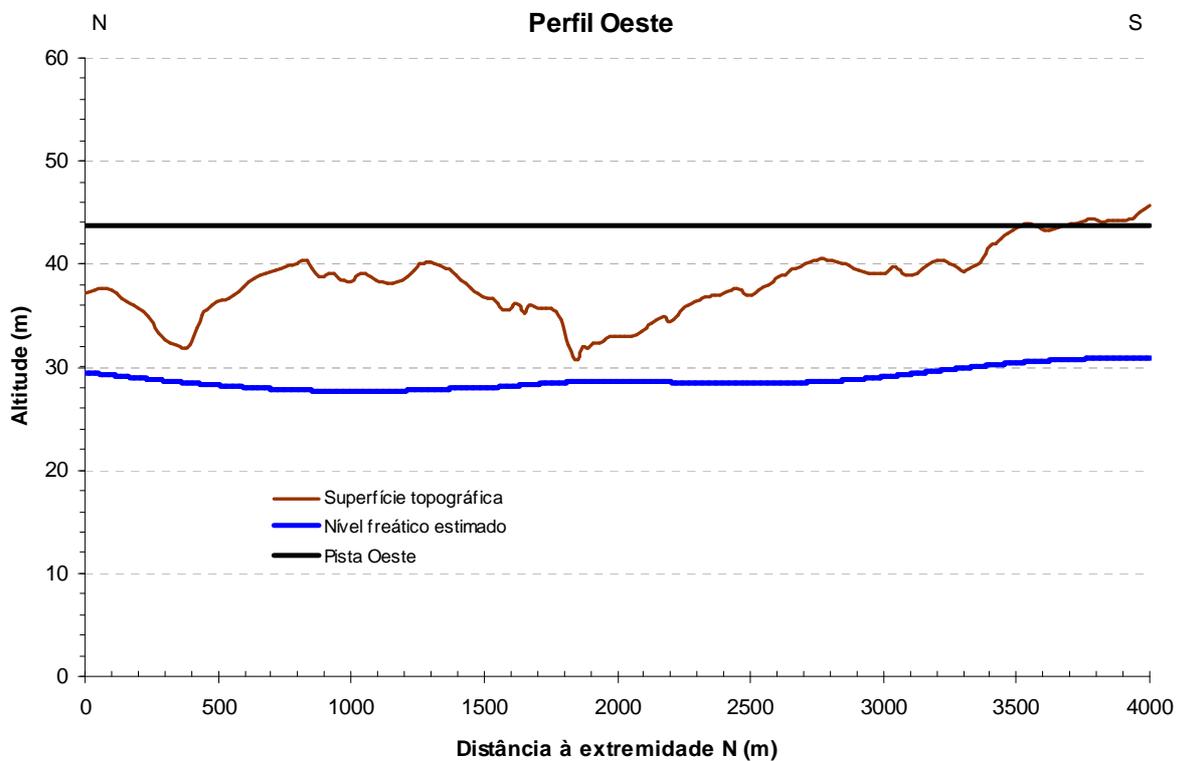


Fig. 33 – Perfil da pista W com indicação do nível freático estimado.

As sondagens geotécnicas mais próximas da pista E são as da linha H (sondagens H4, H5, H6, H7, H8, H9, H10, H11, H12, H13). A Fig. 32 mostra a projecção destas sondagens no perfil da pista, com a interpretação geológica associada. Verifica-se que na zona de ocorrência das sondagens H5-H6; H8-H9 e H11-H12 existem camadas argilosas ou de areias argilosas que estabelecem condições geológicas favoráveis à ocorrência de aquíferos suspensos.

A pista W encontra-se sensivelmente a meia distância das sondagens das linhas C e D (sondagens C5, C6, C7, C8, C9, C10 e D5, D6, D7, D8, D9). Contudo, como já referido, a cota de implantação da pista é sempre superior à do terreno, excepto na sua extremidade sul, onde a diferença máxima entre a elevação do terreno e a pista é inferior a 2 m. Nestas circunstâncias não se prevê possibilidade de escoamentos subterrâneos importantes para a pista.

A informação de níveis piezométricos existentes na proximidade da pista E (ver Quadro 9) não permite confirmar a existência de aquíferos suspensos. Dos piezómetros da família H, só o H13, próximo do extremo N do furo, mede níveis piezométricos mais altos, mas mesmo assim abaixo da pista. O piezómetro H11-T ao medir toda a espessura dos 1 aos 23 m (Quadro 8), não permite identificar níveis mais altos do que a pista.

As áreas onde a pequena profundidade pode existir escoamento subterrâneo para as pistas encontram-se representadas na Fig. 34. Estas áreas apresentam uma superfície muito pequena, inferior a 0,8 km<sup>2</sup> na pista E e inferior a 0,05 km<sup>2</sup> na pista W, pelo que os volumes de escoamento esperados são diminutos.

É de esperar que as condições de recarga sejam alteradas durante a construção do aeroporto pelo que apenas se dão cálculos estimativos, considerando as condições actuais. A recarga anual média estimada para a área que pode contribuir para a pista E, é de 104 mm/ano. Ou seja, o volume anual médio esperado que poderia descarregar para esta pista seria de 104 mm/ano \* 0,8 km<sup>2</sup> = 83200 m<sup>3</sup>/ano, ou seja, 2,6 l/s. Este seria um valor médio máximo uma vez que, pela análise anterior, se verificou que nem ao longo de toda esta área existem condições geológicas favoráveis à ocorrência de aquíferos suspensos.

Quanto à pista W, dado que a área que para ela poderia drenar é muito pequena, não são esperados quaisquer contributos de águas subterrâneas.

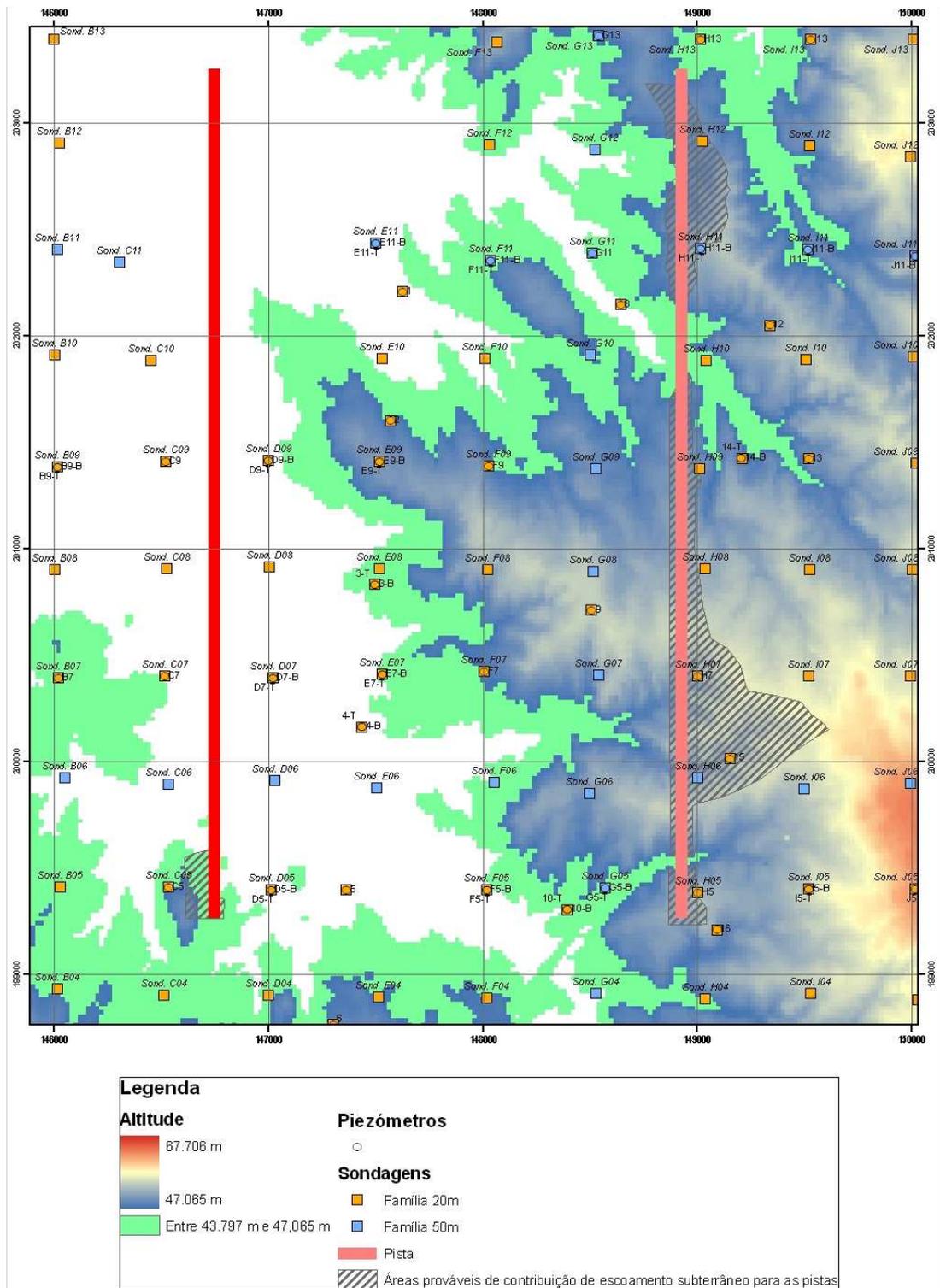


Fig. 34 – Altimetria acima das cotas das pistas, piezómetros e potenciais áreas de contribuição de escoamento subterrâneo para as pistas.

### **13. Condicionamentos relativamente às águas subterrâneas**

Na secção 7, com base nos dados do Plano de Bacia Hidrográfica do rio Tejo, apresentou-se a estimativa da recarga do sistema aquífero da Margem Esquerda em 1220 hm<sup>3</sup>/ano. No mesmo trabalho assumiu-se que o volume extraível era de 70 % do valor da recarga anual média, o que equivale a um volume extraível deste sistema, de 851 hm<sup>3</sup>/ano. As extracções foram aí estimadas entre 426 hm<sup>3</sup>/ano e 569 hm<sup>3</sup>/ano, o que significa que as extracções representavam, por ocasião desse estudo, entre 50 % e 67 % do volume extraível (*cf.* Oliveira *et al.*, 1999).

Assim, em termos de volume de água subterrânea disponível para exploração, não parece haver condicionamentos de ordem quantitativa. Como se viu na secção 9, também do ponto de vista qualitativo a água subterrânea apresenta boas características para abastecimento público.

Os caudais de exploração são os testados nos furos de bombagem, tendo os ensaios de produtividade dos furos BB e CB confirmado a possibilidade de extracção de caudais da ordem de 70 l/s.

Poderia haver condicionamentos de utilização se as áreas a explorar estivessem próximas de outras captações de abastecimento público, o que, de acordo com os dados do Inventário Nacional de Sistemas de Abastecimento de Água e de Águas Residuais relativo ao ano de 2005 (INSAAR 2005) não acontece. Verifica-se que há uma relativa ausência de captações para abastecimento público à volta da Zona 1 das Medidas Preventivas, dentro da qual se situa a infraestrutura aeroportuária, encontrando-se a captação mais próxima a cerca de 2100 m para leste do perímetro e a cerca de 4800 m para ESE da pista mais próxima. Esta captação extraiu em 2005 um volume de cerca de 35000 m<sup>3</sup> de água.

Dada a distância referida, não há conflito relativamente às áreas de protecção de captações de águas subterrâneas (por aplicação do Decreto-Lei n.º 382/1999, de 22 Setembro, que estabelece perímetros de protecção para captações de águas subterrâneas destinadas ao abastecimento público, referindo as restrições que devem existir na ocupação do espaço à volta das captações).

Na direcção de escoamento subterrâneo entre o NAL e o estuário do Tejo também não existem captações para abastecimento público, pelo que não existem captações de água subterrânea

que pudessem ficar em perigo devido a qualquer acidente de poluição que pudesse existir na infraestrutura aeroportuária.

A localização do CTA está abrangida, desde 18 de Outubro de 2007, pela zona vulnerável à poluição por nitratos de origem agrícola n.º 5, Tejo (Portaria n.º 1366/2007, de 18 de Outubro). Contudo, dado que a actividade aeroportuária não é geradora de nitratos de origem agrícola esta situação não constituirá qualquer problema.

## 14. Conclusões

Em termos litológicos, de uma forma sintética, à medida que aumenta a profundidade em relação à superfície do terreno, é possível definir uma sequência detrítica onde alternam formações arenosas e gresosas (de variadas texturas, por vezes com cimentos argilosos) e formações argilosas. A partir de uma certa profundidade (cota -160 na zona A, cota -191 na zona B e cota -235 na zona C) ocorrem formações essencialmente argilosas ou greso-argilosas, com cimento calcário e fósseis. A superfície, definida por estas profundidades, que em média inclina cerca de  $0,8^\circ$  (1 %) para WNW (azimute  $300^\circ$ ) marca o topo de uma formação com características hidrogeológicas diferentes das formações acima, e é normalmente referida como a separação entre o Plio-Quaternário (acima) e o Miocénico (abaixo).

Na parte superior do sistema aquífero foi definido um aquífero livre, cuja cota de base se situará aos -36 m na zona A, aos -17 m na zona B, e aos 0 m na zona C. Utilizando as cotas referidas, e se se pudesse considerar que a base do aquífero livre fosse um plano, este teria uma inclinação de  $0,4^\circ$  (0,6 %) para SE (azimute  $131^\circ$ ). Dadas as condições de sedimentação das formações geológicas e a sua extensão, tal consideração só pode no entanto ser utilizada como abordagem inicial, não se conhecendo dados que permitam aprofundar este conhecimento. Este aquífero livre principal caracteriza-se pela ocorrência de areias de granulometria variável que são localmente intercaladas por camadas compostas por materiais areno-argilosos e argilo-siltosos. Estas intercalações apresentam-se na forma de lentes de extensão limitada mas noutras zonas a sua extensão pode ser mais vasta, servindo de suporte à ocorrência de aquíferos suspensos.

A variação dos níveis de água no aquífero livre indica a direcção de fluxo no sentido E→W, com cotas piezométricas da ordem dos 35 a 40 m na zona E e da ordem de 22 m na zona W. O gradiente hidráulico regional médio do aquífero livre é de  $0,1^\circ$  (0,2 %) para W. No aquífero suspenso registaram-se cotas piezométricas entre 41,05 a 30,13 m.

Subjacente a este aquífero livre ocorre um aquífero confinado a semi-confinado, estimando-se que o seu gradiente hidráulico regional seja de  $0,07^\circ$  (0,1 %) para WNW, constituindo esta direcção WNW a direcção regional de escoamento subterrâneo deste aquífero.

A interpretação dos ensaios de bombagem em diversos sectores do sistema aquífero permitiu obter valores de condutividade hidráulica média horizontal entre 2 e 18 m/d, valores de coeficiente de armazenamento entre 0,0001 e 0,001 (característicos de aquífero não livre). O comportamento das curvas (rebaixamento vs tempo) dos ensaios de bombagem e a reacção dos piezómetros que medem camadas adjacentes às camadas bombeadas permitiram verificar que há um semi-confinamento das camadas ensaiadas, com resistências hidráulicas entre  $5 \times 10^5$  min e  $2 \times 10^{10}$  min. Se se assumir, como ordem de grandeza, que a espessura das camadas confinantes é de 20 m, estes valores de resistência hidráulica implicam condutividades hidráulicas verticais entre 58 mm/d e  $1,44 \times 10^{-3}$  mm/d.

A condutividade hidráulica vertical é um dos parâmetros mais importantes para quantificar o escoamento vertical e como tal para verificar a dificuldade de passagem da superfície para as camadas mais profundas do sistema aquífero de potenciais contaminantes.

Os valores apresentados são muito semelhantes aos obtidos pelos ensaios em laboratório para determinação da condutividade hidráulica vertical, conduzidos em amostras indeformadas dos estratos mais argilosos, recolhidas na sondagem carotada localizada na zona C. Os ensaios forneceram resultados normalmente inferiores a 1 mm/dia e sempre inferiores a 100 mm/dia.

No domínio spatiotemporal em que se realizaram os ensaios de bombagem nas zonas A e B, há uma separação de níveis piezométricos entre o sistema aquífero livre e o sistema aquífero confinado a semi-confinado. Na zona C, apesar da bombagem se fazer a profundidades superiores a 106 m (abaixo da cota -60,84), os seus efeitos fazem-se sentir fortemente nas camadas situadas 39 m acima (cota -32,71 m). O facto do piezómetro CP6 (que mede entre as cotas +11,29 m e +0,71 m) não reagir ao ensaio na totalidade do furo CB, mas reagir (embora pouco) quando é bombeado o troço intermédio deste furo (CB-10) significa que, em situação de bombagem mais intensa, haverá alguma ligação hidráulica com as camadas mais superficiais.

Os ensaios de captação realizados nos furos BB e CB, com bombagem durante três dias, revelaram que, para os caudais ensaiados, de 76 l/s e 78 l/s, respectivamente, há uma tendência de estabilização dos níveis à cota 8,0 m e 7,7 m, com caudais específicos de 9,5 l/s/m e 10,3 l/s/m. A exploração destes caudais não fez rebaixar os níveis nas camadas mais próximas da superfície. Os resultados obtidos revelam que estas captações apresentam condições hidráulicas para explorar caudais da ordem dos 70 l/s.

Os furos realizados para os ensaios de bombagem foram preparados de forma a poderem ser transformados em captações de água de abastecimento ao NAL. Os piezómetros poderão ser mantidos para monitorização dos níveis piezométricos e/ou para controlo da qualidade da água subterrânea.

Relativamente à recarga do sistema aquífero são esperadas alterações do seu valor, sobretudo da sua distribuição espacial. Contudo, em relação à totalidade do sistema aquífero da Margem Esquerda, estas alterações terão uma implicação reduzida uma vez que a área a ocupar pela infra-estrutura aeroportuária é muito pequena em relação à área do sistema.

Em termos de qualidade, as águas analisadas nas três zonas (A, B e C) apresentam, em termos gerais, boa qualidade para águas destinadas à produção de água para consumo humano (DL n.º 236/98). As águas subterrâneas apresentam uma variação das suas características em função da profundidade: (1) observa-se um aumento dos valores da condutividade eléctrica em profundidade, sendo as águas mais antigas, dos níveis inferiores, as mais mineralizadas, e (2) passam de águas com fácies cloretada sódica, nos níveis superiores, para águas de fácies bicarbonatada cálcica e sódica nos estratos mais profundos.

Pese embora a global boa qualidade das águas observa-se: (1) a presença de concentrações em Fe acima do VMA nalguns locais, característica esta que é típica das águas que circulam nestas formações e (2) um valor de bário ligeiramente acima do VMA numa amostra. Regista-se a presença de compostos orgânicos em alguns piezómetros no local A, cuja origem se presume ter resultado de práticas incorrectas no uso do compressor para limpeza dos piezómetros, uma vez que não há registo deste tipo de elementos em estudos anteriores da qualidade das águas deste sistema. Estes elementos não são especificamente referidos no Anexo I do DL n.º 236/98. As concentrações obtidas para o conjunto de seis substâncias padrão de HAPs referido naquele decreto encontram-se abaixo do VMA.

Na localização do CTA, o índice de vulnerabilidade DRASTIC do aquífero livre corresponde a uma vulnerabilidade intermédia na generalidade da área, excepto junto à ribeira do vale Cobrão na parte mais a norte, onde devido a uma maior proximidade ao topo do aquífero livre, apresenta os valores mais altos (vulnerabilidade elevada). A construção de toda a infra-estrutura aeroportuária vai modificar a maior parte das condições representadas e como tal alterar completamente o índice de vulnerabilidade DRASTIC.

O escoamento regional do aquífero livre e das camadas confinadas faz-se em direcção do estuário do Tejo, ou seja para W ou WNW. Localmente, e apenas muito temporariamente, o escoamento do aquífero suspenso faz-se para os cursos de água mais próximos. Estima-se que uma gota de água que entre no sistema aquífero livre demore mais de 100 anos a atingir o local de descarga no estuário do Tejo.

O nível freático encontra-se sempre a cotas inferiores às cotas das pistas do aeroporto, pelo que somente em condições muito específicas de aquíferos suspensos cuja área de contribuição para a pista é muito limitada é que se poderá supor intersecção das pistas do aeroporto com o nível freático de um aquífero suspenso. Esta situação só se coloca para a pista E, onde se estima que uma área de no máximo 0,8 km<sup>2</sup> possa contribuir com um caudal de no máximo 2,6 l/s para a pista. Na pista W esta situação não se põe uma vez que a pista terá que ser quase totalmente construída sobre aterro, excepto numa pequena área no topo sul da pista.

Não se prevêem condicionamentos relativamente às águas subterrâneas, quer do ponto de vista quantitativo da exploração do recurso, quer do ponto de vista de ocorrência de zonas de protecção.

Os resultados obtidos permitem constatar a existência de condições naturais que permitem a preservação do recurso hídrico subterrâneo, dada a existência de camadas ou estratos, que embora apresentem extensão limitada no sistema aquífero livre (formando lentes), ocorrem a profundidades sucessivas e distribuídas no espaço e apresentam condutividades hidráulicas verticais reduzidas (normalmente inferiores a 1 mm/dia, e nalguns casos inferiores a 0,01 mm/dia). Este facto, associado à ocorrência de materiais argilosos que interagem com eventuais contaminantes, retendo-os, constituem condições naturais favoráveis de protecção de eventuais efeitos de acidentes de poluição e permitem pôr atempadamente em marcha planos de contenção e reabilitação de eventuais acidentes.

**VISTOS**



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



Rafaela de Saldanha Matos  
Directora do Departamento de Hidráulica e  
Ambiente

**AUTORIAS**



Manuel Mendes Oliveira  
Investigador Auxiliar



J.P. Cárcamo Lobo Ferreira  
Investigador Coordenador com Habilitação



Teresa E. Leitão  
Investigadora Principal



Malva A. Marçoso  
Investigadora Auxiliar

Maria José Henriques  
Técnica Superior de 2ª Classe



## **Bibliografia**

ALLEN, R.G., PEREIRA, L.S., RAES, D., SMITH, M., 1998 – Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements. FAO, Irrigation and Drainage Paper, nr. 56.

ALLER, L., BENNET, T., LEHR, J.H., PETTY, R., 1987 – DRASTIC: a standardized system for evaluating groundwater pollution potencial using hydrogeologic settings. U.S. EPA Report 600/2-85/018.

ALMEIDA, C., MENDONÇA, J.J.L., JESUS, M.R., GOMES, A.J., 2000 – Actualização do Inventário dos Sistemas Aquíferos de Portugal Continental, Centro de Geologia da Faculdade de Ciências de Lisboa e Instituto da Água.

AQUAVEO, 2008 – Groundwater Modeling System – GMS v.6.5. Software. Copyright Aquaveo, 2007.Utah, USA. <http://www.aquaveo.com>.

DELGADO RODRIGUES, J., 1983 – The Noordbergum effect and characterization of aquitards at the Rio Maior mining project. LNEC, Memória nº 607, 19 pp.

GALEGO FERNANDES, P. e OLIVEIRA da SILVA, M., 1998 - Contribuição para a Caracterização Hidrogeológica do Sistema Aquífero da Bacia do Sado. Estudo dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Alentejo, 16 pp.

GEOCONTROLE, 2007 – Campo de Tiro de Alcochete, prospecção Geotécnica. Proc. 40907, trabalho realizado para o LNEC em Setembro de 2007.

GEOCONTROLE, 2008 – Prospecção Geotécnica no local de implantação do Novo Aeroporto de Lisboa no Campo de Tiro de Alcochete. Relatório Final, Proc. 36208, trabalho realizado para o LNEC em Dezembro de 2008.

INAG, 1997 - Definição, Caracterização e Cartografia dos Sistemas Aquíferos de Portugal Continental. Instituto da Água, Direcção de Serviços de Recursos Hídricos, Divisão de Recursos Subterrâneos. Estudo Coordenado pelo Prof. C. A. Costa Almeida, Faculdade de Ciências de Lisboa para o Instituto da Água, 236 pp.

KRUSEMAN, G.P. e DE RIDDER, N.A., 2000 - Analysis and Evaluation of Pumping test data. International Institute for Land Reclamation and Improvement. Wageningen. Publication 47. 377 pp.

LEITÃO, T.E., MOREIRA, P., LOBO FERREIRA, J.P.C., OLIVEIRA, M.M., MOINANTE, M.J., e HENRIQUES, M. J., 2000 - Caracterização dos Recursos Hídricos Subterrâneos da Área Abrangida pelo Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Tejo. Anexo Temático 10 - Qualidade dos Meios Hídricos. Tomo B - Qualidade das Águas Subterrâneas. Relatório Final da Fase 1. Maio de 2000, 139 pp.

Lobo Ferreira, J.P., 1981 – Mathematical Model for the Evaluation of the Recharge of Aquifers in Semiarid Regions with Scarce (Lack) Hydrogeological Data. Proceedings of Euromech 143/2-4 Setp. 1981, Rotterdam, A.A. Balkema (Ed. A. Verruijt e F.B.J. Barends). Também 1982, Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Memória N° 582.

LOBO-FERREIRA, J.P.C., OLIVEIRA, M.M., LEITÃO, T.E., NOVO, M.E., MOINANTE, M.J., MOREIRA, P. e HENRIQUES, M. J., 1999 - "Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Tejo. 1ª Fase - Análise e Diagnóstico da Situação Actual. Anexo Temático 4 - Recursos Hídricos Subterrâneos. Tomo A - Caracterização Hidrogeológica". Estudo realizado para a Hidrotécnica Portuguesa – Consultores para Estudos e Projectos Lda., Proc. 607/1/13022, LNEC-GIAS, Maio de 1999, 371 pp.

LOBO-FERREIRA, J.P.; OLIVEIRA, M.M. e LEITÃO, T.E., 2007 – “Localização do novo aeroporto de Lisboa na zona do Campo de Tiro de Alcochete – Componente águas subterrâneas. Relatório da Fase 1. Lisboa, LNEC, Relatório 295/2007 – NAS, Agosto, 27 pp.

LOBO FERREIRA, J.P., OLIVEIRA, M.M. e LEITÃO, T.E., 2008 - "Análise Técnica Comparada das Alternativas de Localização do Novo Aeroporto de Lisboa na Zona da Ota e na Zona do Campo de Tiro de Alcochete. 2.ª Fase: Avaliação comparada das duas localizações – Componente Águas Subterrâneas". Relatório 28/2008-NAS, 108 pp.

MENDONÇA, J.L., MEDEIROS, A.L.C. e AZEVEDO, J.C.C., 2004 - "Considerações sobre a Hidrogeoquímica do Sistema Aquífero Terciário Tejo-Sado na Região Central da Bacia do Baixo Tejo". Comunicação apresentada ao 7.º Congresso da Água, organizado pela APRH, Lisboa, 8 a 12 de Março de 2004, 12 pp.

MVG, 2009 - "Prospecção hidrogeológica na zona de implantação do novo aeroporto de Lisboa (NAL)". Relatório Final. Consórcio MMoura, Lda., VISA Consultores, S.A. e Geoárea, Lda. Maio 2009. 50 pp + 10 anexos + 1 registo fotográfico.

OLIVEIRA, M.M., 2004, 2006 – "Recarga de águas subterrâneas: Métodos de avaliação". Doutoramento em Geologia (Hidrogeologia), Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, Departamento de Geologia, 440 pp., 2004. Também: Teses e Programas de Investigação - TPI 42, ISBN 972-49-2093-3, Editora LNEC, 2006.

OLIVEIRA, M.M.; MOINANTE, M.J.; LOBO-FERREIRA, J.P., 1997 – "Cartografia Automática da Vulnerabilidade de Aquíferos com Base na Aplicação do Método DRASTIC". Relatório Final. Lisboa, LNEC, Relatório 60/97-GIAS, 535 pp.

OLIVEIRA, M. M., LOBO-FERREIRA, J. P., NOVO, M.E., 1999 – Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Tejo – 1.<sup>a</sup> Fase – Análise e Diagnóstico da Situação Actual. Anexo Temático 4 - Recursos Hídricos Subterrâneos, Tomo B - Caracterização do Balanço Hídrico Subterrâneo. Estudo realizado para a Hidrotécnica Portuguesa – Consultores para Estudos e Projectos Lda., Relatório PBH - Tejo Proc. 607/1/13022 – LNEC.DH.GIAS, Lisboa, 379 pp.

RIBEIRO, A., ANTUNES, M. T., FERREIRA, M. P., ROCHA, R. B., SOARES, A. F., ZBYSZEWSKI, G., MOITINHO DE ALMEIDA, F., CARVALHO, D. & MONTEIRO, J. H., 1979 – "Introduction à La géologie générale du Portugal". Serv. Geol. Portugal, 114 pp.

RÖHRICH, T., SWS, 2007 – "AquiferTest v.4.2 user's manual – Advanced pumping test & slug test analysis software", Schlumberger Water Services, 300 pp.

SAMPER, J., HUGUET, L., ARÉS, J., GARCÍA, M.A., 1999 – Manual del usuario del programa Visual Balan v. 1.0. Código interactivo para la realización de balances hidrológicos y la estimación de la recarga. Enresa, Publicación Técnica num. 05/99, 134 pp.

SIMÕES, M.M.M., 1998 – "Contribuição para o conhecimento hidrogeológico do Cenozóico na Bacia do Baixo Tejo". Dissertação apresentada à Universidade Nova de Lisboa para obtenção do grau de Doutor em Geologia, na especialidade de Hidrogeologia, Vol. I, 270 pp.



## ANEXOS

|  |            |
|--|------------|
| <b>Anexo 1 – Logs das sondagens, diagrfias e desenho com as características técnicas dos furos e piezómetros</b> | <b>79</b>  |
| <b>Anexo 2 – Descrição da base de dados ProspHidrogeonAL-CTA.mdb</b>   | <b>87</b>  |
| <b>Anexo 3 – Níveis piezométricos registados nas sondas automáticas de de registo contínuo de níveis</b>         | <b>91</b>  |
| <b>Anexo 4 – Procedimentos de cálculo da recarga de águas subterrâneas</b>                                       | <b>95</b>  |
| <b>1. O MODELO NUMÉRICO BALSEQ_MOD</b>   | <b>95</b>  |
| 1.1 Introdução   | 95         |
| 1.2 Modelação da infiltração superficial   | 96         |
| 1.3 Modelação da evapotranspiração   | 98         |
| 1.4 Modelação da variação do armazenamento de água no <i>solo</i> e da infiltração profunda                      | 103        |
| <b>2. Aplicação do modelo numérico BALSEQ_MOD à área dentro da zona 1 das medidas preventivas</b>                | <b>106</b> |
| <b>3. Resultados obtidos</b>   | <b>108</b> |
| <b>Anexo 5 – Interpretação dos ensaios de bombagem</b>   | <b>113</b> |
| <b>1. Introdução</b>   | <b>113</b> |
| <b>2. Zona A</b>   | <b>115</b> |
| 2.1 Ensaio AB-8 (Furo AB – troço inferior)   | 115        |
| 2.1.1 Observação de níveis e rebaixamentos   | 115        |
| 2.1.2 Interpretação do ensaio  | 118        |
| 2.2 Ensaio AB-10 (Furo AB – troço intermédio)  | 121        |
| 2.2.1 Observação de níveis e rebaixamentos   | 121        |
| 2.2.2 Interpretação do ensaio  | 123        |
| 2.3 Ensaio ABS (Furo ABS)  | 127        |
| 2.3.1 Observação de níveis e rebaixamentos   | 127        |
| 2.3.2 Interpretação do ensaio  | 129        |
| 2.4 Interpretação dos valores das sondas CTD   | 132        |
| <b>3. Zona B</b>   | <b>134</b> |
| 3.1 Ensaio BB-8 (Furo BB – troço inferior)   | 134        |
| 3.1.1 Observação de níveis e rebaixamentos   | 134        |
| 3.1.2 Interpretação do ensaio  | 137        |

|  |   |            |
|--|---|------------|
| 3.2  | Ensaio BB-10 (Furo BB – troço intermédio)               | 140        |
| 3.2.1  | Observação de níveis e rebaixamentos                    | 140        |
| 3.2.2  | Interpretação do ensaio                                 | 142        |
| 3.3  | Ensaio BBS (Furo BBS)                                   | 145        |
| 3.3.1  | Observação de níveis e rebaixamentos                    | 145        |
| 3.3.2  | Interpretação do ensaio                                 | 147        |
| 3.4  | Ensaio BB total (Furo BB – troço intermédio e inferior) | 152        |
| 3.4.1  | Observação de níveis e rebaixamentos                    | 152        |
| 3.4.2  | Interpretação do ensaio                                 | 154        |
| 3.5  | Interpretação dos valores das sondas CTD                | 157        |
| <b>4.</b>  | <b>Zona C</b>   | <b>159</b> |
| 4.1  | Ensaio CB-8 (Furo CB – troço inferior)                  | 159        |
| 4.1.1  | Observação de níveis e rebaixamentos                    | 159        |
| 4.1.2  | Interpretação do ensaio                                 | 161        |
| 4.2  | Ensaio CB-10 (Furo CB – troço intermédio)               | 164        |
| 4.2.1  | Observação de níveis e rebaixamentos                    | 164        |
| 4.2.2  | Interpretação do ensaio                                 | 166        |
| 4.3  | Ensaio CB total (Furo CB – troço intermédio e inferior) | 169        |
| 4.3.1  | Observação de níveis e rebaixamentos                    | 169        |
| 4.3.2  | Interpretação do ensaio                                 | 171        |
| 4.4  | Interpretação dos valores das sondas CTD                | 174        |
| <b>Anexo 6 – Ensaio de laboratório de caracterização hidráulica da sondagem carotada CC.</b> |   | <b>177</b> |

## Anexo 1 – Logs das sondagens, diagrfias e desenho com as características técnicas dos furos e piezómetros

### Legenda

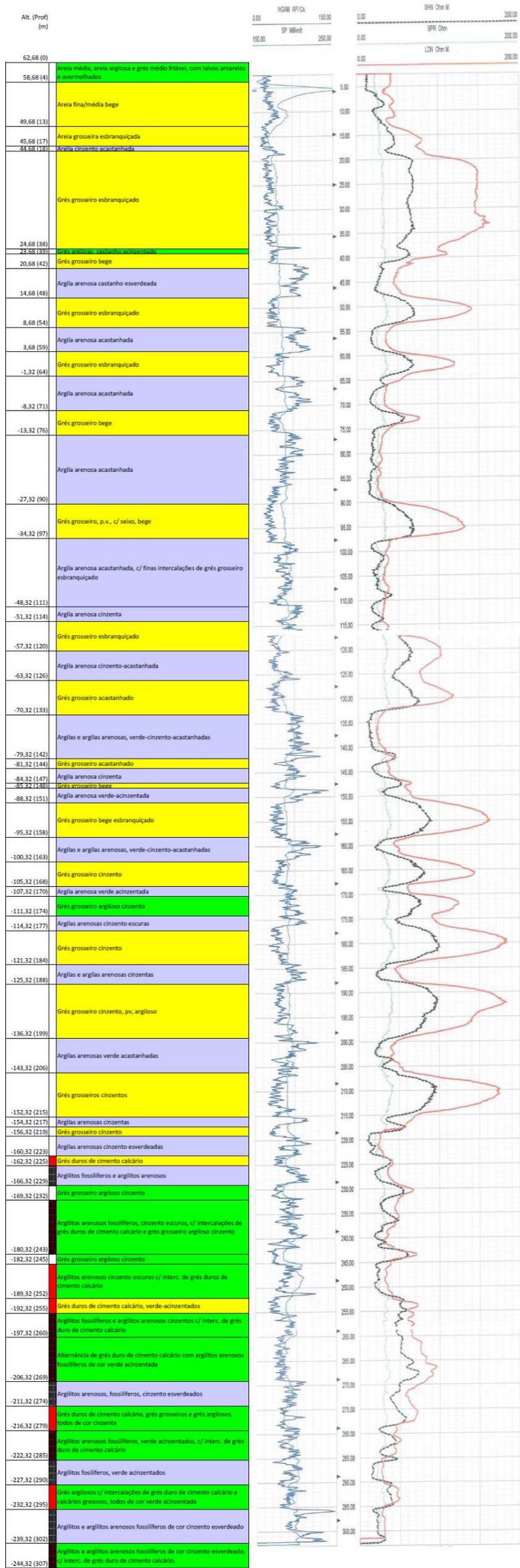
#### Descrição geológica:

-  Formações essencialmente arenosas ou gresosas
-  Formações arenosas ou gresosas mas com componente argilosa assinalada
-  Formações argilosas, ou de argilas arenosas
-  cimento calcário
-  ocorrência de fósseis

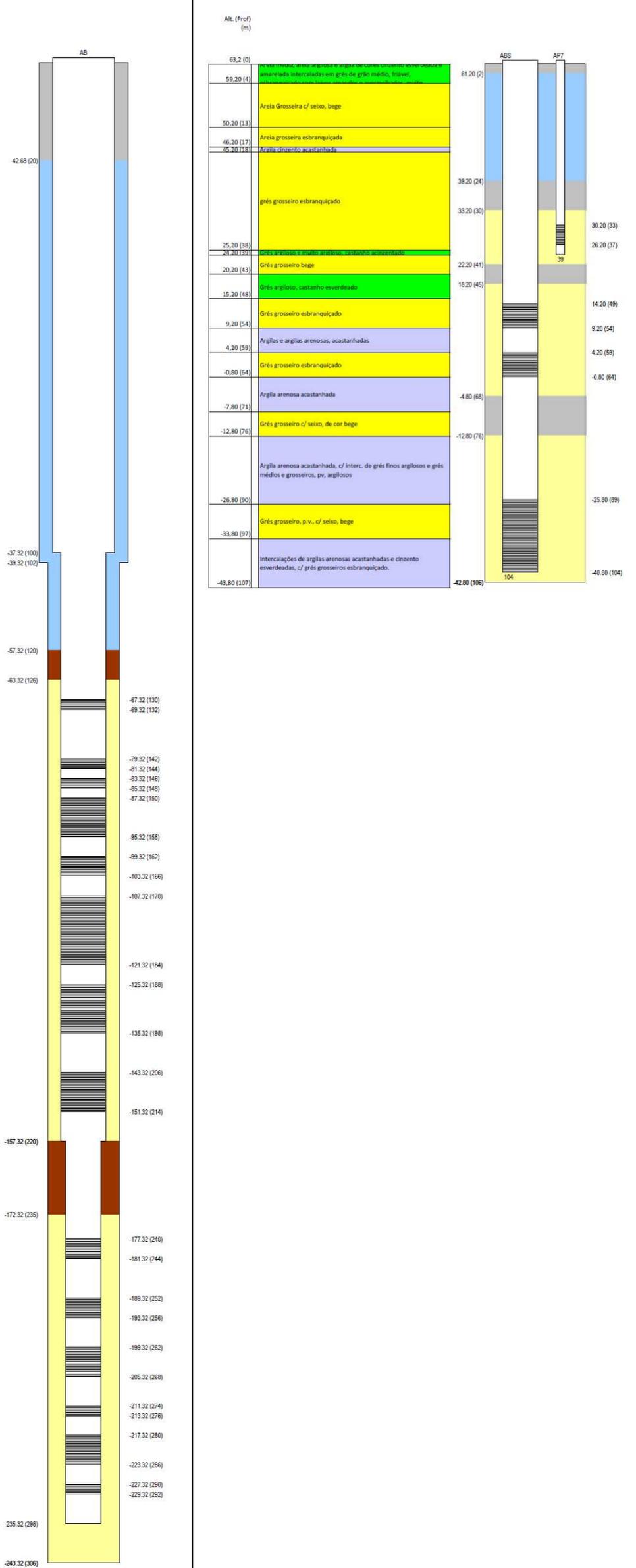
#### Características técnicas dos furos e piezómetros:

-  Calda de cimento
-  Material argiloso
-  Compactonite
-  Seixo
-  ralos

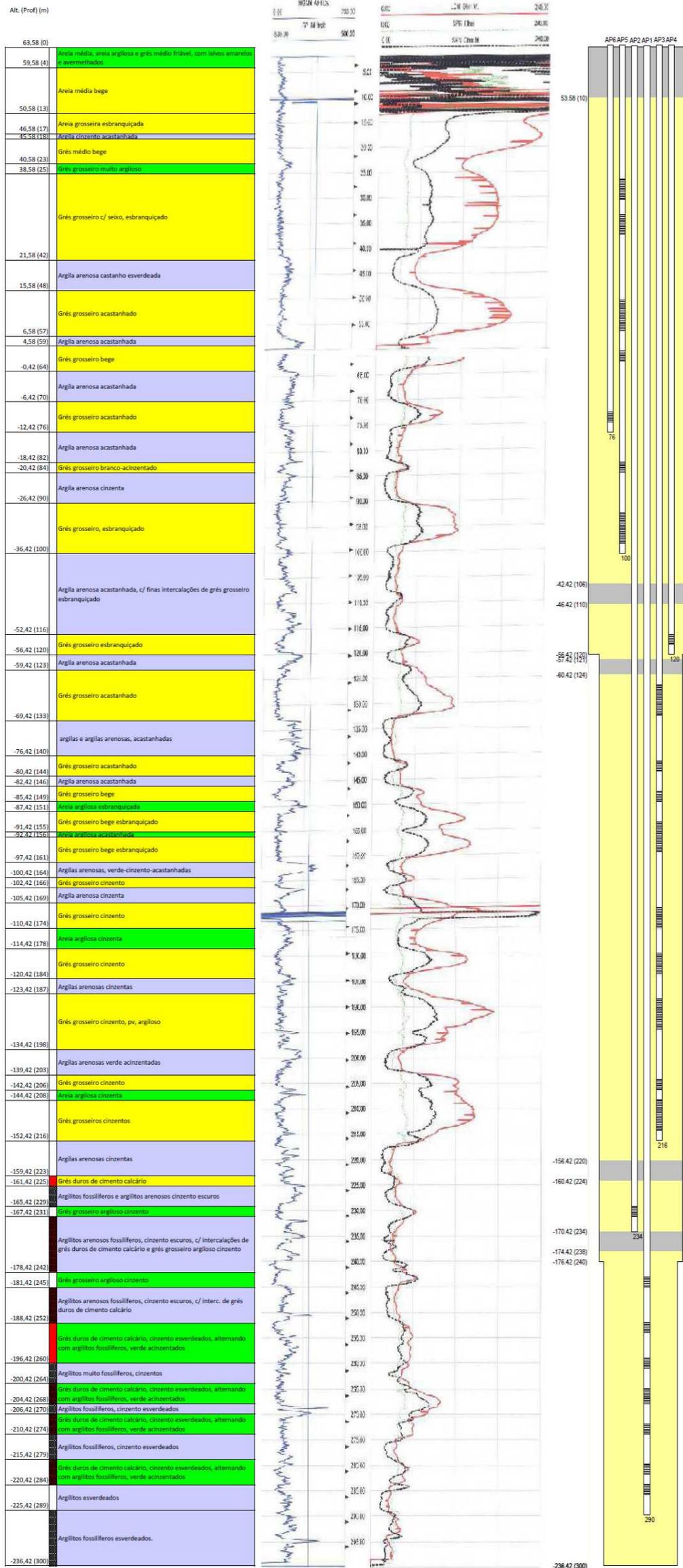
## Furo AB



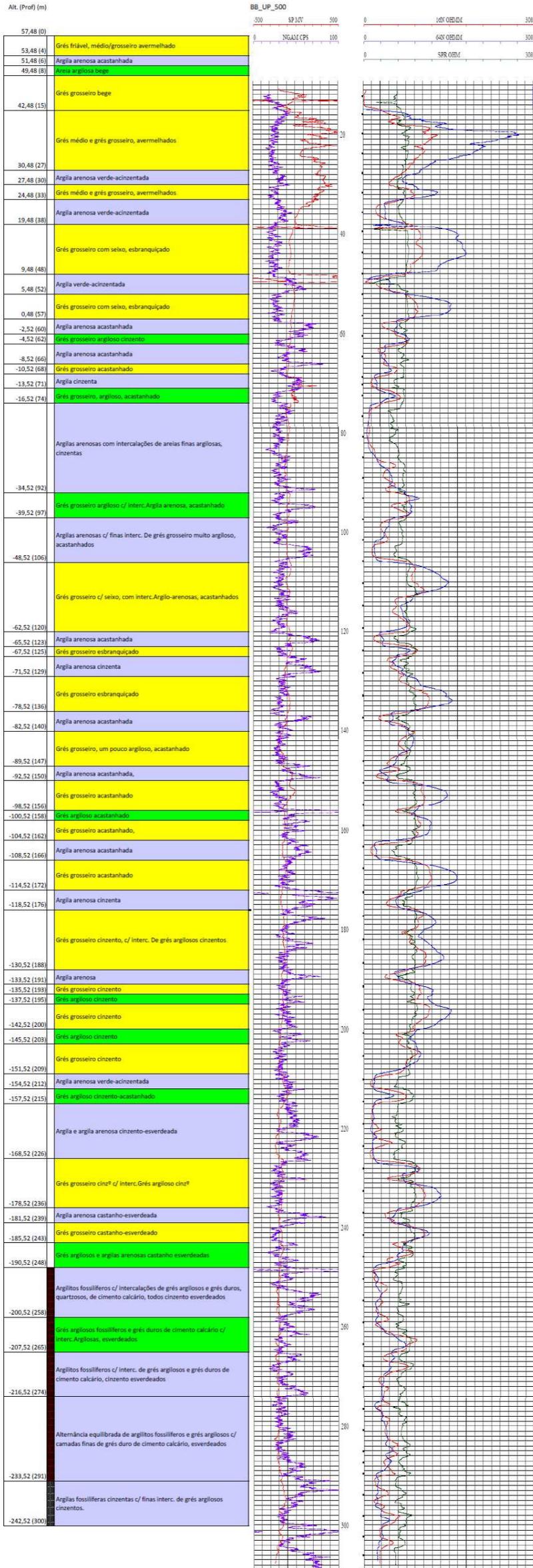
## Furo ABS



# Furo AP



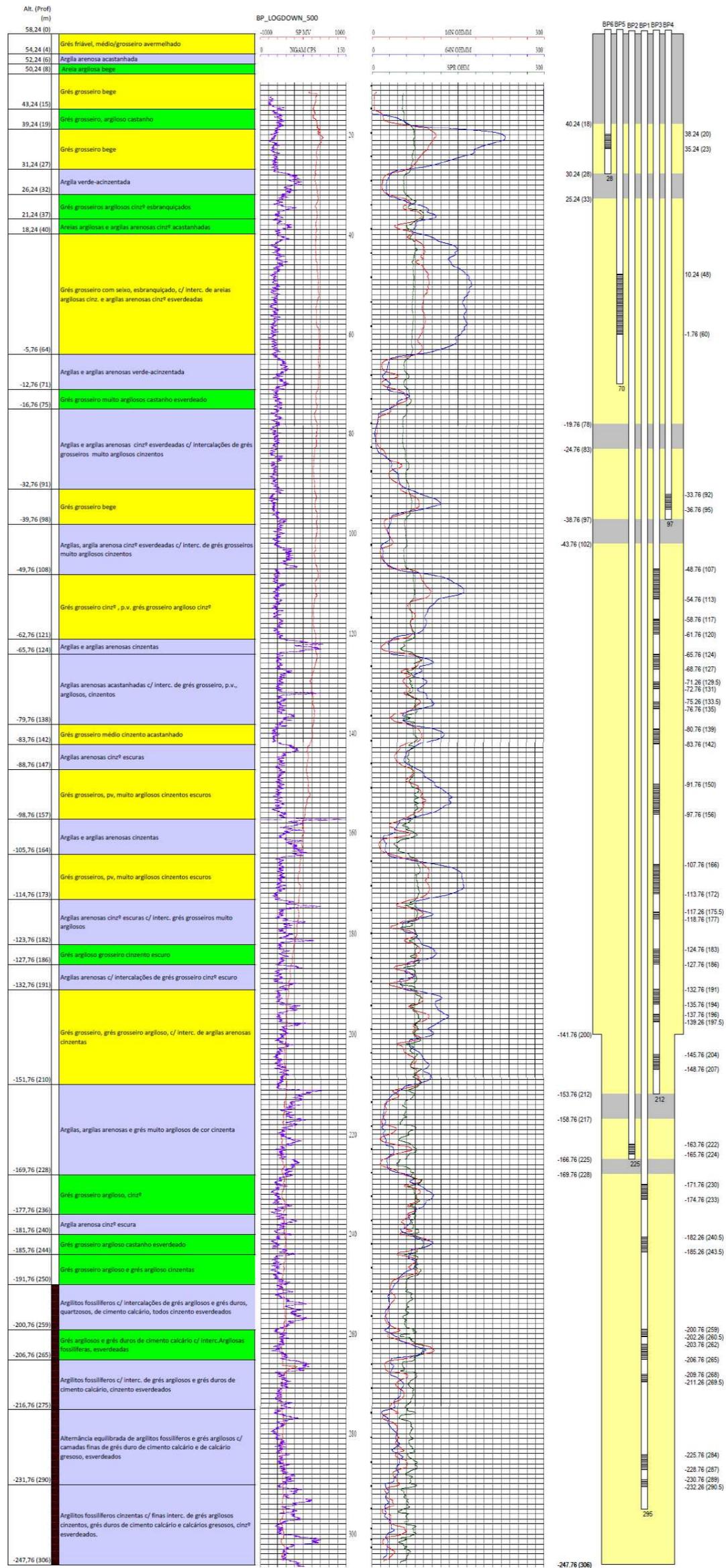
## Furo BB



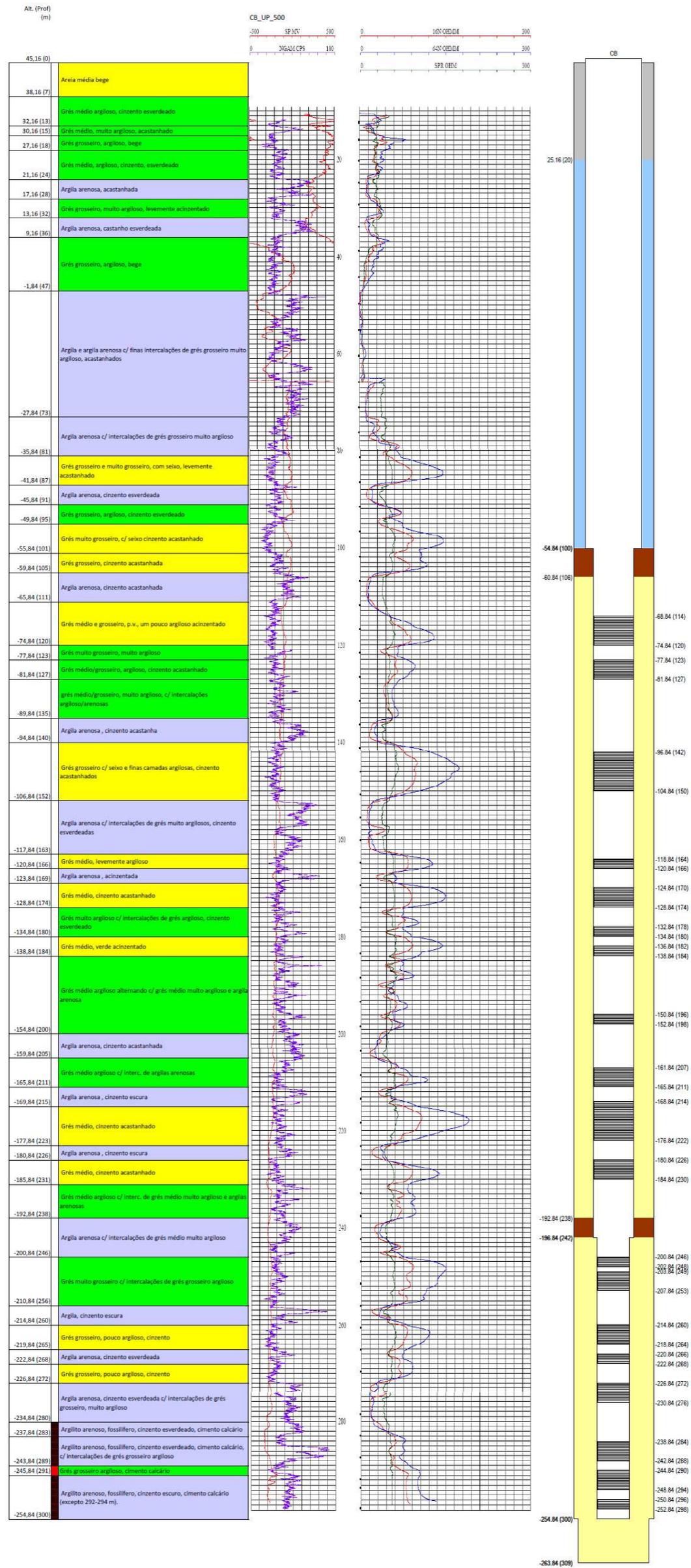
## Furo BBS



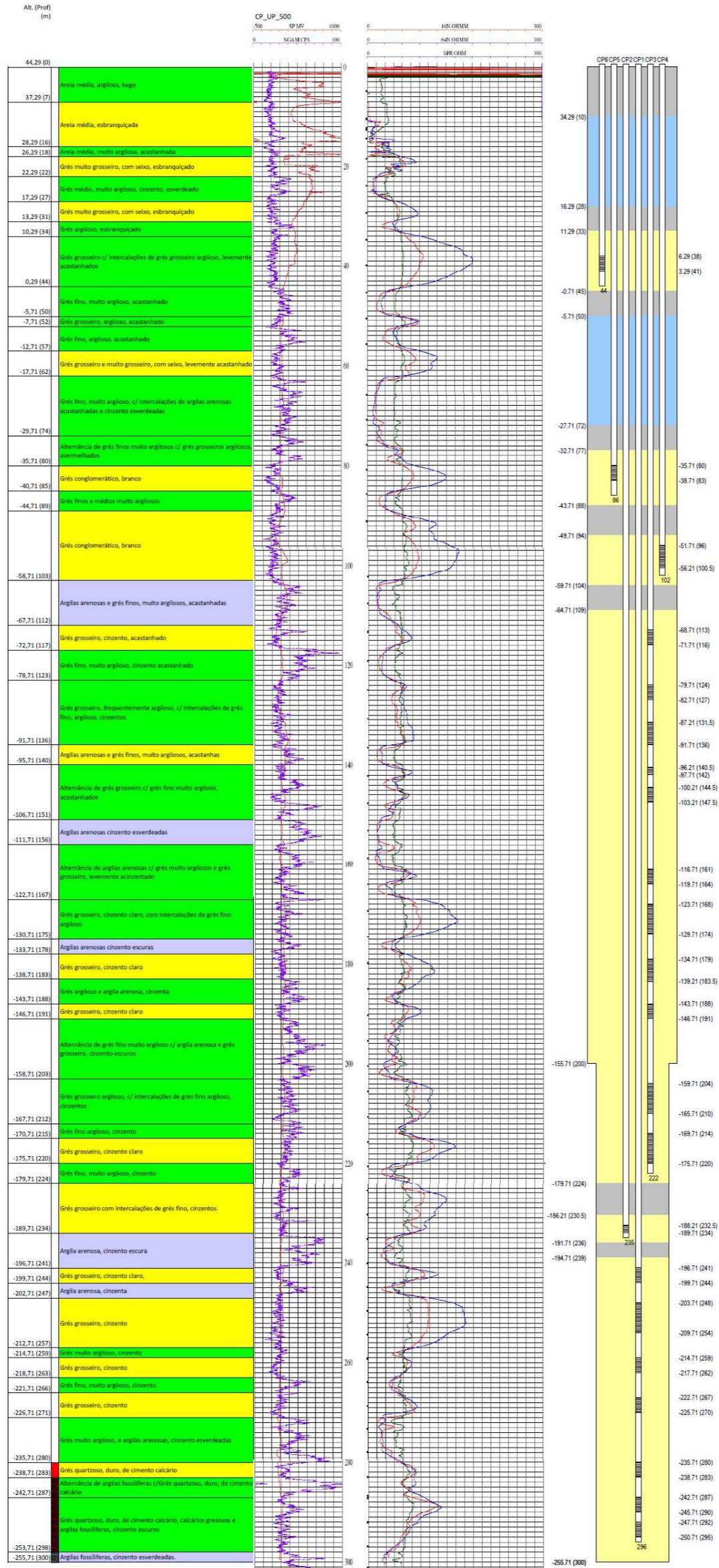
# Furo BP



# Furo CB



# Furo CP





## Anexo 2 – Descrição da base de dados ProspHidrogeoNAL-CTA.mdb

A base de dados ProspHidrogeoNAL-CTA.mdb é composta por 18 tabelas de informação de base e 5 tabelas de consulta, armazenando informação sobre a localização, propriedades dos furos e dos piezómetros (diâmetros, revestimentos, ralos), colunas litológicas, qualidade da água, ensaios de bombagem, parâmetros do aquífero e níveis piezométricos.

Os Quadro 16 e Quadro 17 apresentam os campos contidos em cada tabela assim como a descrição da informação neles contida.

Quadro 16 – Campos das tabelas de informação da base de dados ProspHidrogeoNAL-CTA.mdb

| Tabela                   | Campo                    | Descrição   | Tipo   | Tamanho                         |
|--------------------------|--------------------------|---|--|---------------------------------|
|                          | Fonte de dados           | Origem dos dados  | Texto  | 255                             |
|                          | ID                       | Identificador do ponto de água  | Inteiro Longo                                  | 4                               |
|                          | Nº CARTA                 | Número da carta 1:25000   | Texto  | 4                               |
|                          | Nº ORDEM                 | Nº de ordem dentro da carta   | Inteiro Longo                                  | 4                               |
|                          | TIPO DE PONTO DE ÁGUA    | Código do tipo de ponto de água (liga à tabela de consulta COD_TIPOPA)                      | Integer  | 2                               |
| CARACTERÍSTICAS          | M (m)                    | Localização: Meridiano (coordenadas militares Hayford-Gauss, origem ponto fictício) (m)     | Duplo  | 8                               |
|                          | P (m)                    | Localização: Perpendicular (coordenadas militares Hayford-Gauss, origem ponto fictício) (m) | Duplo  | 8                               |
|                          | COTA (m)                 | Altitude da boca do furo (m)  | Simple   | 4                               |
|                          | LOCAL                    | Designação da localidade onde se encontra o ponto de água                                   | Texto  | 100                             |
|                          | CONCELHO                 | Concelho onde está inserido o ponto de água   | Texto  | 100                             |
|                          | DESIGNAÇÃO               | Designação do ponto de água   | Texto  | 100                             |
|                          | PROF_PERFURADA (m)       | Profundidade perfurada pelo furo (m)  | Simple   | 4                               |
|                          | PROF_PRIMEIRO RALO (m)   | Profundidade do topo do ralo superior do furo (m)   | Simple   | 4                               |
|                          | PROF_ÚLTIMO RALO (m)     | Profundidade da base do ralo inferior do furo (m)   | Simple   | 4                               |
|                          | LITOLOGIAS CAPTADAS      | Descrição sumária das litologias captadas ou medidas pelo ponto de água                     | Texto  | 255                             |
|                          | COORD_MÉTODO             | Método de determinação das coordenadas  | Texto  | 100                             |
|                          | COTA_MÉTODO              | Método de determinação da cota  | Texto  | 100                             |
|                          | COMENTÁRIOS              | Observações em relação ao ponto de água   | Texto  | 255                             |
|                          |                          | ID_CARACTERÍSTICAS  | Identificador do ponto de água (automático)    | Inteiro Longo (Auto-Incremento) |
| ENSAIO BOMBA GEM CAUDAIS | ID_ENSAIO_BOMB           | Identificador do ensaio de bombagem. Liga à tabela <ENSAIO BOMBAGEM GERAL>                  | Inteiro Longo                                  | 4                               |
|                          | TEMPO DE ENSAIO (min)    | Tempo desde o início do ensaio (min)  | Inteiro Longo                                  | 4                               |
|                          | CAUDAL INSTANTANEO (l/s) | Caudal medido nesse tempo (l/s)   | Simple   | 4                               |
|                          | COMENTÁRIOS              | Observações sobre o registo de caudal   | Texto  | 255                             |
|                          |                          | ID_ENSAIO_BOMB_CAUDAIS  | Identificador do caudal de ensaio (automático) | Inteiro Longo (Auto-Incremento) |

| Tabela                        | Campo  | Descrição   | Tipo                            | Tamanho |
|-------------------------------|--|---|---------------------------------|---------|
| ENSAIO BOMBAGEM GERAL         | ID_CHARACTERISTICAS                              | Identificador do ponto de água onde se realiza o ensaio de bombagem. Liga à tabela <CHARACTERISTICAS>                   | Inteiro Longo                   | 4       |
|                               | Fonte de dados                                   | Origem dos dados  | Texto                           | 255     |
|                               | DESIGNACAO_ENSAIO                                | Designação do ensaio de bombagem  | Texto                           | 50      |
|                               | DATA E HORA INICIO BOMBAGEM                      | Data e hora do início do ensaio de bombagem   | Date/Time                       | 8       |
|                               | DATA E HORA FIM BOMBAGEM                         | Data e hora do fim da bombagem  | Date/Time                       | 8       |
|                               | DATA E HORA FIM RECUPERACAO                      | Data e hora do fim dos registos da recuperação  | Date/Time                       | 8       |
|                               | PROF_TOPO DO TROÇO ENSAIADO                      | Profundidade do topo do troço ensaiado (m)  | Texto                           | 50      |
|                               | PROF_BASE DO TROÇO ENSAIADO                      | Profundidade da base do troço ensaiado (m)  | Texto                           | 50      |
|                               | COMENTARIOS                                      | Observações ao ensaio   | Texto                           | 255     |
| ID_ENSAIO_BOMB                | Identificador do ensaio de bombagem (automático) | Inteiro Longo (Auto-Incremento)   | 4                               |         |
| ENSAIO BOMBAGEM NIVEIS        | ID_ENSAIO_BOMB_NIVEIS_GERAL                      | Identificador do ponto de água onde se fazem as medições dos níveis. Liga à tabela <ENSAIO BOMBAGEM NIVEIS GERAL>       | Inteiro Longo                   | 4       |
|                               | TEMPO DE ENSAIO (min)                            | Tempo desde o início do ensaio (min)  | Inteiro Longo                   | 4       |
|                               | PROFUNDIDADE AO NÍVEL(m)                         | Profundidade desde a boca do furo ao nível freático (m)   | Simplex                         | 4       |
|                               | COMENTARIOS                                      | Observações acerca do registo   | Texto                           | 255     |
|                               | ID_ENSAIO_BOMB_NIVEIS                            | Identificador do nível medido durante o ensaio de bombagem (automático)   | Inteiro Longo (Auto-Incremento) | 4       |
| ENSAIO BOMBAGEM NIVELIS GERAL | ID_ENSAIO_BOMB                                   | Identificador do ensaio de bombagem. Liga à tabela <ENSAIO BOMBAGEM GERAL>  | Inteiro Longo (Auto-Incremento) | 4       |
|                               | PONTO DE AGUA OBSERVADO                          | Designação do ponto de água observado   | Texto                           | 50      |
|                               | COMENTARIOS                                      | Observações acerca do ensaio  | Texto                           | 255     |
|                               | ID_ENSAIO_BOMB_NIVEIS_GERAL                      | Identificador do ponto de água onde se fazem as medições dos níveis (automático).                                       | Inteiro Longo (Auto-Incremento) | 4       |
| FURAÇÃO                       | ID_CHARACTERISTICAS                              | Identificador do ponto de água. Liga à tabela <CHARACTERISTICAS>  | Inteiro Longo                   | 4       |
|                               | Fonte de dados                                   | Origem dos dados  | Texto                           | 255     |
|                               | PROF_BASE (m)                                    | Profundidade de perfuração com o diâmetro e método descrito (m)   | Duplo                           | 8       |
|                               | DIAMETRO (mm)                                    | Diâmetro de perfuração (mm)   | Inteiro Longo                   | 4       |
|                               | METODO   | Método de perfuração utilizado  | Texto                           | 255     |
|                               | ID_FURACAO                                       | Identificador do método e diâmetro de perfuração (automático)   | Inteiro Longo (Auto-Incremento) | 4       |
| LITOLOGIA                     | ID_CHARACTERISTICAS                              | Identificador do ponto de água. Liga à tabela <CHARACTERISTICAS>  | Inteiro Longo                   | 4       |
|                               | Fonte de dados                                   | Origem dos dados  | Texto                           | 255     |
|                               | PROF_BASE  | Profundidade da base da camada litológica descrita (m)  | Duplo                           | 8       |
|                               | LITOLOGIA  | Caracterização litológica   | Texto                           | 255     |
|                               | ID_LITOLOGIA                                     | Identificador do camada litológica (automático)   | Inteiro Longo (Auto-Incremento) | 4       |
| MACICO FILTRE ISOLAMENTO      | ID_CHARACTERISTICAS                              | Identificador do ponto de água. Liga à tabela <CHARACTERISTICAS>  | Inteiro Longo                   | 4       |
|                               | Fonte de dados                                   | Origem dos dados  | Texto                           | 255     |
|                               | PROF_TOPO (m)                                    | Profundidade do topo do troço que contém um determinado material (m)  | Duplo                           | 8       |
|                               | PROF_BASE (m)                                    | Profundidade da base do troço que contém um determinado material (m)  | Duplo                           | 8       |
|                               | MATERIAL   | Código do material utilizado para isolamento ou maciço filtrante (Liga à tabela de consulta <COD_MACICO FILTRE ISOLAM>) | Byte                            | 1       |
|                               | ID_MACICO_FILTR_ISOLAM                           | Identificador do maciço filtrante ou isolamento (automático)  | Inteiro Longo (Auto-Incremento) | 4       |

| Tabela                      | Campo  | Descrição   | Tipo                            | Tamanho |
|-----------------------------|--|---|---------------------------------|---------|
| NIVEIS                      | ID_CARACTERISTICAS   | Identificador do ponto de água onde se mede a profundidade aos níveis de água. Liga à tabela <CARACTERISTICAS>    | Inteiro Longo                   | 4       |
|                             | Fonte de dados   | Origem dos dados  | Texto                           | 255     |
|                             | DATA E HORA  | Data e hora da medição  | Date/Time                       | 8       |
|                             | PROFUNDIDADE DO NÍVEL DE ÁGUA (m)  | Profundidade do nível freático em relação ao topo do ponto de água (m)  | Simple                          | 4       |
|                             | SITUAÇÃO   | Código da situação em que é medida a profundidade ao nível de água (Liga à tabela <COD_SITUACAO_NIVEIS>)          | Inteiro                         | 2       |
|                             | COMENTÁRIOS  | Observações relativamente à medição   | Texto                           | 255     |
|                             | ID_NIVEIS  | Identificador da medição manual da profundidade do nível de água  | Inteiro Longo (Auto-Incremento) | 4       |
| PROPRIEDADES HIDRÁULICAS    | ID_ENSAIO_BOMB_NIVEIS_GERAL  | Identificador do ponto de água onde se fazem as medições dos níveis. Liga à tabela <ENSAIO BOMBAGEM NIVEIS GERAL> | Inteiro Longo                   | 4       |
|                             | Fonte de dados   | Origem dos dados  | Texto                           | 255     |
|                             | TRANSMISSIVIDADE (m2/d)  | Transmissividade (m2/d)   | Simple                          | 4       |
|                             | COEFICIENTE DE ARMAZENAMENTO   | Coeficiente de armazenamento (-)  | Simple                          | 4       |
|                             | CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA (m/s)   | Condutividade hidráulica (m/s)  | Simple                          | 4       |
|                             | RESISTÊNCIA HIDRÁULICA (min)   | Resistência hidráulica (min)  | Simple                          | 4       |
|                             | DATA DO ENSAIO DE BOMBAGEM   | Data do ensaio de bombagem  | Date/Time                       | 8       |
|                             | OBSERVAÇÕES  | Observações acerca da interpretação do ensaio   | Texto                           | 255     |
| ID_PROPRIEDADES HIDRAULICAS | Identificador da interpretação das propriedades hidráulicas (automático) | Inteiro Longo (Auto-Incremento)   | 4                               |         |
| QUALIDADE ELEMENTOS         | ID_QUALIDADE_GERAL   | Identificador da amostragem. Liga à tabela <QUALIDADE GERAL>.   | Inteiro Longo                   | 4       |
|                             | DESIGNACAO_ANALISE   | Designação da análise de qualidade da água  | Texto                           | 50      |
|                             | N_ELEMENTO   | Código do número do elemento analisado (Liga à tabela <COD_PARAMETROS_QUAL>)                                      | Inteiro                         | 2       |
|                             | CONCENT  | Concentração observada no elemento (expressa nas unidades definidas para o N_ELEMENTO)                            | Simple                          | 4       |
|                             | METODO_ANALISE   | Método de análise   | Texto                           | 100     |
|                             | ID_QUALIDADE ELEMENTOS   | Identificador do resultado de qualidade do elemento analisado (automático)  | Inteiro Longo (Auto-Incremento) | 4       |
| QUALIDADE GERAL             | ID_CARACTERISTICAS   | Identificador do ponto de água onde se realiza a amostragem. Liga à tabela <CARACTERISTICAS>                      | Inteiro Longo                   | 4       |
|                             | Fonte de dados   | Origem dos dados  | Texto                           | 255     |
|                             | DESIGNACAO_ANALISE   | Designação da análise de qualidade da água  | Texto                           | 50      |
|                             | DATA E HORA COLHEITA   | Data e hora de colheita da amostra  | Date/Time                       | 8       |
|                             | DATA E HORA ANÁLISE  | Data e hora da análise  | Date/Time                       | 8       |
|                             | PROF TOPO DO TROÇO ANALISADO (m)   | Profundidade do topo do troço analisado (m)   | Simple                          | 4       |
|                             | PROF BASE DO TROÇO ANALISADO (m)   | Profundidade da base do troço analisado (m)   | Simple                          | 4       |
|                             | PROF AMOSTRAGEM (m)  | Profundidade da amostragem (m)  | Simple                          | 4       |
|                             | COMENTÁRIOS  | Observações sobre a amostragem  | Texto                           | 255     |
| ID_QUALIDADE GERAL          | Identificador da amostragem (automático)                                 | Inteiro Longo (Auto-Incremento)   | 4                               |         |
| RALOS                       | ID_CARACTERISTICAS   | Identificador do ponto de água. Liga à tabela <CARACTERISTICAS>   | Inteiro Longo                   | 4       |
|                             | Fonte de dados   | Origem dos dados  | Texto                           | 255     |
|                             | PROF_TOPO (m)  | Profundidade do topo do ralo (m)  | Duplo                           | 8       |
|                             | PROF_BASE (m)  | Profundidade da base do ralo (m)  | Duplo                           | 8       |
|                             | DIAMETRO (mm)  | Diâmetro do ralo (mm)   | Inteiro Longo                   | 4       |
| ID_RALOS                    | Identificador do ralo (automático)                                       | Inteiro Longo (Auto-Incremento)   | 4                               |         |
| REVESTIMENTO                | ID_CARACTERISTICAS   | Identificador do ponto de água. Liga à tabela <CARACTERISTICAS>   | Inteiro Longo                   | 4       |
|                             | Fonte de dados   | Origem dos dados  | Texto                           | 255     |
|                             | PROF_BASE (m)  | Profundidade da base do revestimento com um determinado diâmetro e material (m)                                   | Duplo                           | 8       |
|                             | DIAMETRO (mm)  | Diâmetro do revestimento (mm)   | Inteiro Longo                   | 4       |
|                             | MATERIAL   | Material do revestimento  | Texto                           | 255     |
|                             | ID_REVESTIMENTO  | Identificador do revestimento (automático)  | Inteiro Longo (Auto-Incremento) | 4       |

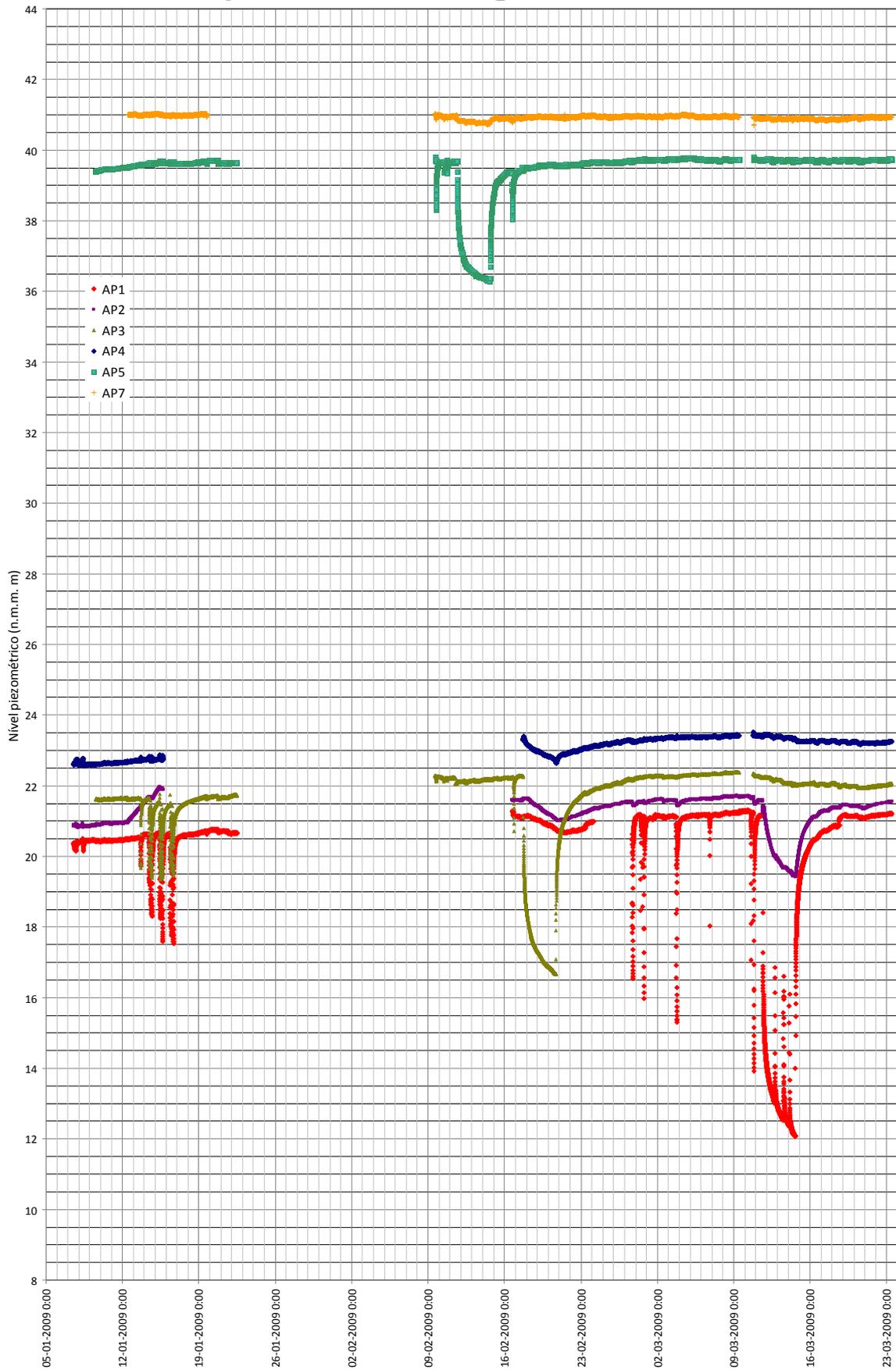
| Tabela              | Campo                           | Descrição  | Tipo                            | Tamanho |
|---------------------|---------------------------------|--|---------------------------------|---------|
| SONDA_AUTOM_BRUTO   | ID_CARACTERISTICAS              | Identificador do ponto de água onde se localiza a sonda de registo automático. Liga à tabela <CARACTERISTICAS> | Inteiro Longo                   | 4       |
|                     | DESIGNACAO_SONDA                | Designação da sonda  | Texto                           | 50      |
|                     | DATA E HORA                     | Data e hora do registo automático  | Date/Time                       | 8       |
|                     | PRESSÃO (cm H2O)                | Pressão da água (expressa em cm de coluna de água)   | Simple                          | 4       |
|                     | TEMPERATURA (°C)                | Temperatura (°C)   | Simple                          | 4       |
|                     | CONDUTIVIDADE ELÉCTRICA (mS/cm) | Condutividade eléctrica (mS/cm)  | Simple                          | 4       |
|                     | ID_SONDA_AUTOM_BRUTO            | Identificador do registo automático (automático)   | Inteiro Longo (Auto-Incremento) | 4       |
| SONDA_AUTOM_TRATADO | ID_CARACTERISTICAS              | Identificador do ponto de água onde se localiza a sonda de registo automático. Liga à tabela <CARACTERISTICAS> | Inteiro Longo                   | 4       |
|                     | DESIGNACAO_SONDA                | Designação da sonda  | Texto                           | 50      |
|                     | DATA E HORA                     | Data e hora do registo automático  | Date/Time                       | 8       |
|                     | NIVEL PIEZOMÉTRICO (m)          | Nível piezométrico (expresso em altitude, em metro)  | Simple                          | 4       |
|                     | ID_SONDA_AUTOM_TRATADO          | Identificador do registo automático tratado (automático)   | Inteiro Longo (Auto-Incremento) | 4       |
| SONDA_BARO          | DESIGNACAO_SONDA                | Designação da sonda  | Texto                           | 50      |
|                     | DATA E HORA                     | Data e hora do registo   | Date/Time                       | 8       |
|                     | PRESSÃO (cm H2O)                | Pressão do ar (expressa em cm de coluna de água)   | Simple                          | 4       |
|                     | TEMPERATURA (°C)                | Temperatura (°C)   | Simple                          | 4       |
|                     | LOCAL DE INSTALAÇÃO             | Local onde a sonda está posicionada  | Texto                           | 50      |
|                     | ID_SONDA_BARO                   | Identificador de registo automático da pressão do ar (automático)  | Inteiro Longo (Auto-Incremento) | 4       |
| UTILIZAÇÃO          | ID_CARACTERISTICAS              | Identificador do ponto de água. Liga à tabela <CARACTERISTICAS>  | Inteiro Longo                   | 4       |
|                     | FONTE DE DADOS                  | Origem dos dados   | Texto                           | 255     |
|                     | ANO INÍCIO                      | Ano de início da utilização  | Inteiro                         | 2       |
|                     | ANO FIM                         | Ano de conclusão da utilização   | Inteiro                         | 2       |
|                     | UTILIZAÇÃO                      | Código da utilização do ponto de água (liga à tabela <COD_UTILIZAÇÃO>)   | Inteiro                         | 2       |
|                     | OBSERVAÇÕES                     | Observações sobre o registo  | Texto                           | 100     |
|                     | ID_UTILIZACAO                   | Identificador da utilização do ponto de água.  | Inteiro Longo (Auto-Incremento) | 4       |

Quadro 17 – Campos das tabelas de consulta da base de dados ProspHidrogeoNAL-CTA.mdb

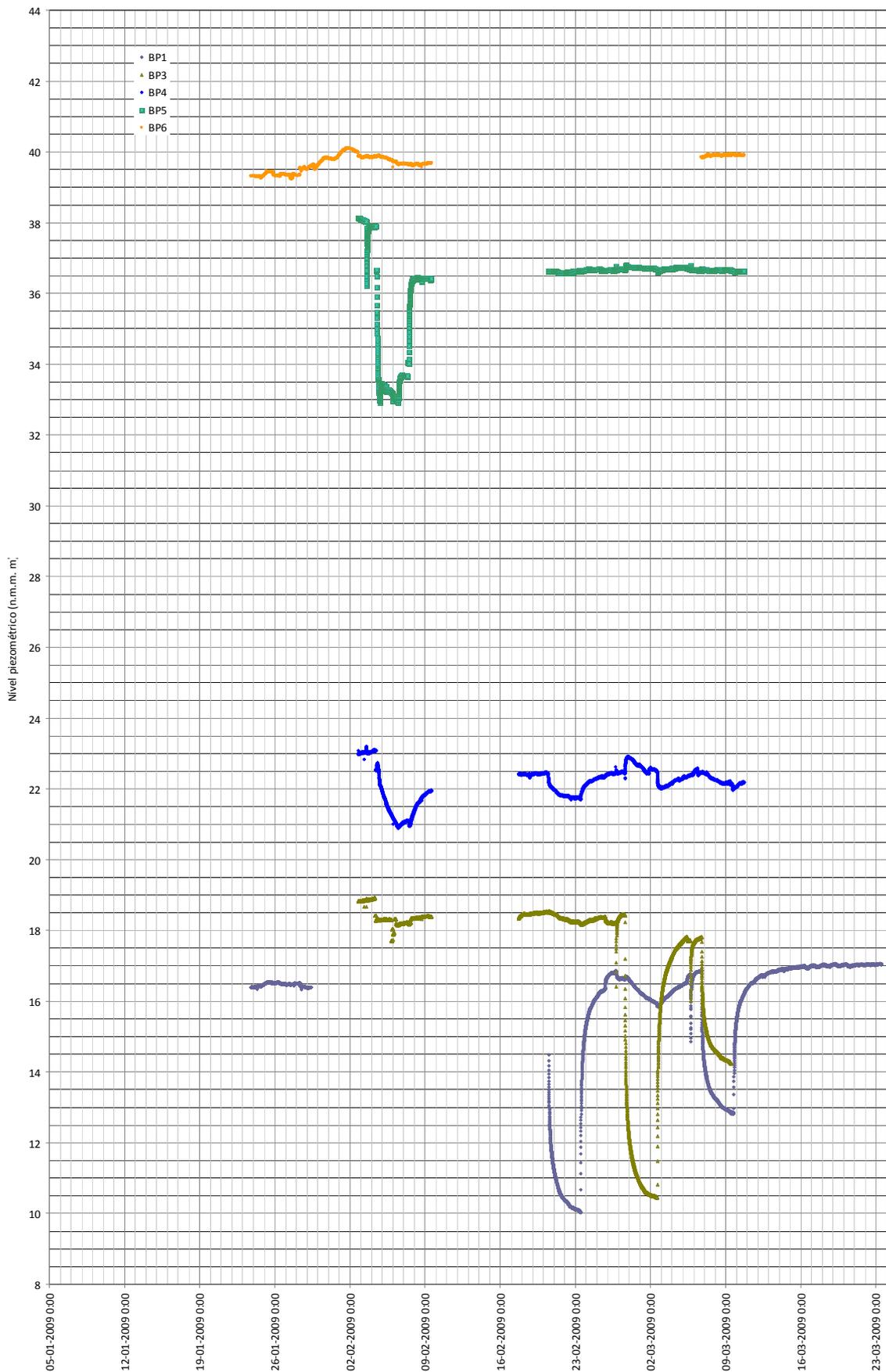
| Campo                                    | Descrição  | Tipo    | Tamanho |
|--|--|---------|---------|
| <b>Tabela: COD_MACICO FILTR E ISOLAM</b> |  |         |         |
| MATERIAL_MAC_FILTR_ISOL                  | Material do maciço filtrante ou do isolamento                  | Texto   | 50      |
| CÓDIGO                                   | Código do material   | Byte    | 1       |
| <b>Tabela: COD_PARAMETROS_QUAL</b>       |  |         |         |
| PARÂMETRO                                | Designação do parâmetro da qualidade da água                   | Texto   | 100     |
| CÓDIGO                                   | Código do parâmetro  | Inteiro | 2       |
| UNIDADES                                 | Unidades em que se expressa o parâmetro                        | Texto   | 20      |
| <b>Tabela: COD_SITUACAO_NIVEIS</b>       |  |         |         |
| SITUACAO_NIVEIS                          | Situação existente no ponto de água durante a medição do nível | Texto   | 50      |
| CÓDIGO                                   | Código da situação   | Inteiro | 2       |
| <b>Tabela: COD_TIPOPA</b>                |  |         |         |
| TIPO PONTO DE ÁGUA                       | Tipo de ponto de água  | Texto   | 50      |
| CÓDIGO                                   | Código do tipo de ponto de água                                | Inteiro | 2       |
| <b>Tabela: COD_UTILIZAÇÃO</b>            |  |         |         |
| UTILIZAÇÃO                               | Utilização dada ao ponto de água                               | Texto   | 100     |
| CÓDIGO                                   | Código da utilização   | Inteiro | 2       |

## **Anexo 3 – Níveis piezométricos registados nas sondas automáticas de registo contínuo de níveis**

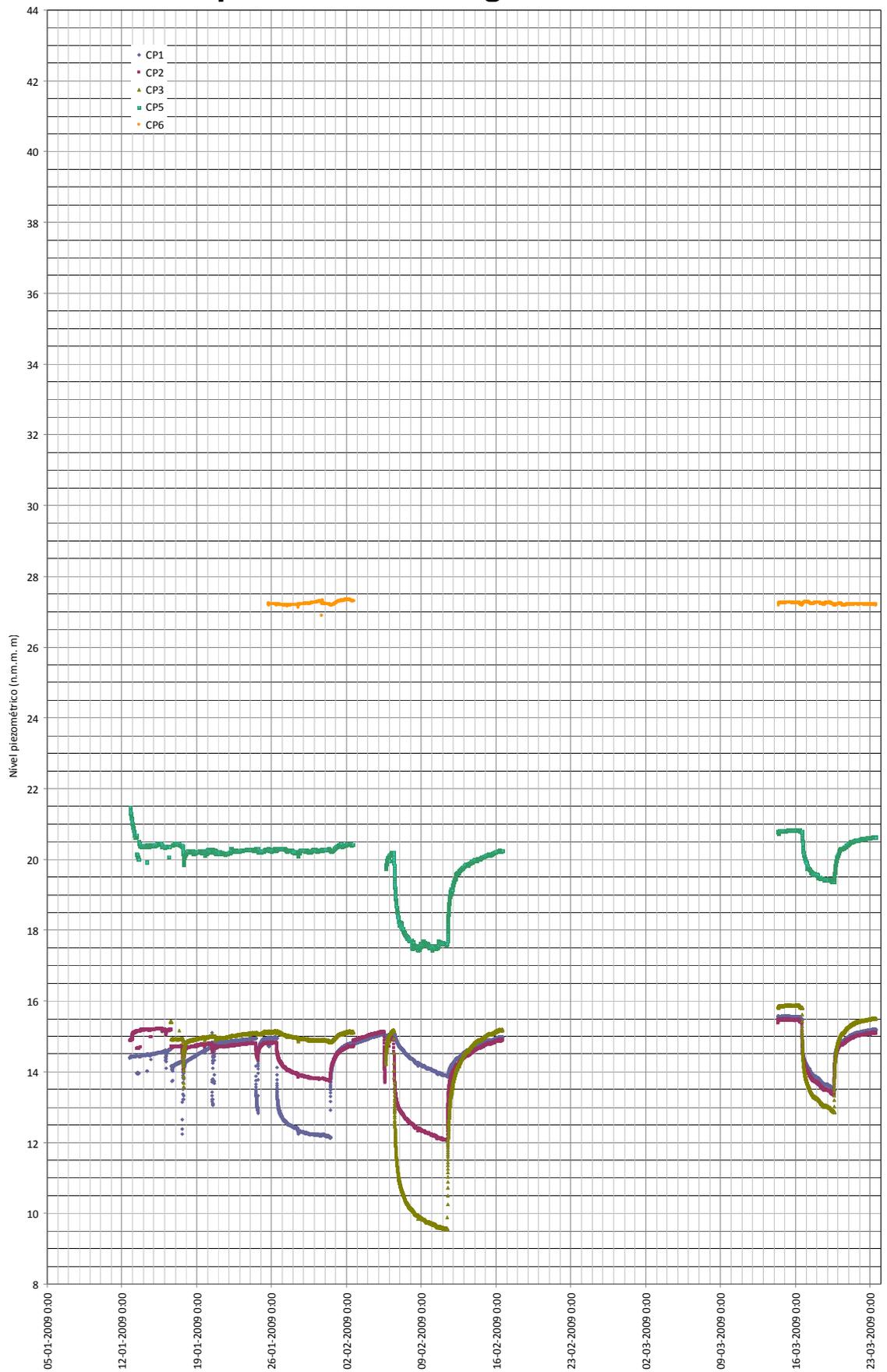
## Níveis piezométricos registados na Zona A



## Níveis piezométricos registados na Zona B



## Níveis piezométricos registados na Zona C



## Anexo 4 – Procedimentos de cálculo da recarga de águas subterrâneas

### 1. O MODELO NUMÉRICO BALSEQ\_MOD

#### 1.1 Introdução

O modelo numérico BALSEQ\_MOD (BALanço SEQuencial – MODelos) apresenta as seguintes características (Oliveira, 2004, 2006):

- A única entrada de água no volume de controlo é a água de precipitação;
- O nível freático está sempre abaixo do *solo* pelo que não há descarga de águas subterrâneas para o meio superficial nem há evapotranspiração a partir da zona saturada;
- O escoamento no *solo* é vertical, pelo que não há saída lateral do volume de controlo por este meio;
- Não há formas de armazenamento de água superficial pelo que também não há evaporação de água superficial ou ambas são desprezáveis;
- Não há extracções de água superficial.

Nas circunstâncias apontadas a infiltração profunda,  $I_p$ , que se considera equivalente à recarga de águas subterrâneas, vem dada pela equação:

$$I_p = P - E_{ps} - ETR - \Delta A_l \quad (1)$$

sendo  $P$  a precipitação,  $E_{ps}$  o escoamento directo,  $ETR$  a evapotranspiração real e  $\Delta A_l$  a variação de água armazenada no solo. No modelo numérico de balanço hídrico sequencial diário BALSEQ\_MOD foram incluídas diversas formas de calcular os processos do balanço hídrico referidos na Equação (1). O modelo BALSEQ\_MOD tem como antecedentes o modelo BALSEQ desenvolvido por Lobo Ferreira (1981) para a estimativa da recarga de águas subterrâneas na ilha de Porto Santo.

O modelo BALSEQ\_MOD é constituído por um conjunto de submodelos, relativos, cada submodelo, à quantificação de cada processo considerado na equação de balanço hídrico. Nalgumas opções pode existir mais do que um submodelo para a quantificação de um mesmo processo (ou seja diferentes opções de cálculo). Nas secções seguintes apresentam-se os métodos utilizados para o cálculo de cada um dos processos referidos na aplicação que foi feita à área em estudo.

## 1.2 Modelação da infiltração superficial

O procedimento que se apresenta foi desenvolvido ou apresentado em Oliveira (2004, 2006, 2007b), a partir dos resultados da aplicação do modelo de Philip, que é um modelo de infiltração superficial, a um conjunto de situações que se pretendeu abrangente (nomeadamente a textura do *solo*, precipitação diária e sua distribuição e teor de humidade inicial do *solo*). A infiltração superficial ( $I_s$ ) calcula-se por:

$$I_s = \begin{cases} P & \text{se } P \leq P_{lim} \\ a.P + b & \text{se } P > P_{lim} \end{cases} \quad (2)$$

onde  $P$  é a precipitação e  $P_{lim}$  é calculado pela intersecção das rectas  $I_s = P$  e  $I_s = a.P + b$ ; ou seja  $P_{lim} = b / (1-a)$ .

Os valores de  $P_{lim}$ ,  $a$  e  $b$  são apresentados no Quadro 18, em função da classe textural do *solo* presente (ver Fig. 35 para a definição da classe textural) e do teor de humidade inicial ( $\theta_i$ ). Se o teor de humidade inicial ( $\theta_i$ ) não for um dos apresentados nesse Quadro, os parâmetros da equação de regressão linear são estimados pela equação:

$$\begin{cases} a = a_1 + \frac{(a_2 - a_1)}{(\theta_2 - \theta_1)} \cdot (\theta_i - \theta_1) \\ b = b_1 + \frac{(b_2 - b_1)}{(\theta_2 - \theta_1)} \cdot (\theta_i - \theta_1) \end{cases} \quad (3)$$

onde  $\theta_2$  é o teor de humidade inicial da equação representada no Quadro 18 com teor de humidade imediatamente superior,  $a_2$  e  $b_2$  são os respectivos parâmetros,  $\theta_1$  é o teor de humidade inicial da equação representada no Quadro 18 com teor de humidade imediatamente inferior, e  $a_1$  e  $b_1$  são os respectivos parâmetros.

Quadro 18 – Relação entre  $I_s$  e  $P$  para os casos em que  $P > P_{lim}$ , em função da textura do solo e do teor de humidade inicial.

| Textura  | $P_{lim}$ (cm/d)<br>[ $=b/(1-a)$ ] | $b$ em<br>$I_s = aP + b$ | $a$ em<br>$I_s = aP + b$ | $\theta$                    | $P_{lim}$ (cm/d)<br>[ $=b/(1-a)$ ]                          | $b$ em<br>$I_s = aP + b$ | $a$ em<br>$I_s = aP + b$ | Textura   |
|--|------------------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------------|---|--------------------------|--------------------------|---|
| Arenoso franco<br>$wp = 5.5\%$<br>$cc = 12.5\%$<br>$n = 43.7\%$  | 5,72                               | 0,924                    | 0,838                    | $\theta = wp$               | 1,54  | 1,000                    | 0,351                    | Franco argilo-arenoso<br>$wp = 14.8\%$<br>$cc = 25.5\%$<br>$n = 39.8\%$ |
|  | 5,64                               | 0,967                    | 0,828                    | $\theta = 0,5.wp + 0,5.cc$  | 1,46  | 0,977                    | 0,332                    |   |
|  | 5,55                               | 1,005                    | 0,819                    | $\theta = cc$               | 1,36  | 0,938                    | 0,312                    |   |
|  | 4,75                               | 0,918                    | 0,807                    | $\theta = 0,5.cc + 0,5.n$   | 1,17  | 0,835                    | 0,284                    |   |
|  | 4,40                               | 0,987                    | 0,776                    | $\theta = 0,25.cc + 0,75.n$ | 1,00  | 0,734                    | 0,269                    |   |
|  | 4,03                               | 0,999                    | 0,752                    | $\theta = 0,1.cc + 0,9.n$   | 0,85  | 0,630                    | 0,257                    |   |
|  | 3,34                               | 1,064                    | 0,682                    | $\theta = n$                | 0,50  | 0,376                    | 0,250                    |   |
| Argilo-arenoso<br>$wp = 23.9\%$<br>$cc = 33.9\%$<br>$n = 43.0\%$ | 1,08                               | 0,803                    | 0,255                    | $\theta = wp$               | 2,17  | 1,460                    | 0,327                    | Franco argilo-limoso<br>$wp = 20.8\%$<br>$cc = 36.6\%$<br>$n = 47.1\%$  |
|  | 1,01                               | 0,770                    | 0,235                    | $\theta = 0,5.wp + 0,5.cc$  | 1,59  | 1,018                    | 0,359                    |   |
|  | 0,92                               | 0,729                    | 0,208                    | $\theta = cc$               | 1,37  | 0,942                    | 0,310                    |   |
|  | 0,81                               | 0,677                    | 0,169                    | $\theta = 0,5.cc + 0,5.n$   | 1,12  | 0,809                    | 0,275                    |   |
|  | 0,74                               | 0,637                    | 0,139                    | $\theta = 0,25.cc + 0,75.n$ | 0,94  | 0,713                    | 0,241                    |   |
|  | 0,67                               | 0,598                    | 0,109                    | $\theta = 0,1.cc + 0,9.n$   | 0,78  | 0,629                    | 0,199                    |   |
|  | 0,52                               | 0,489                    | 0,059                    | $\theta = n$                | 0,54  | 0,491                    | 0,093                    |   |
| Argilo-limoso<br>$wp = 25.0\%$<br>$cc = 38.7\%$<br>$n = 47.9\%$  | 1,64                               | 1,028                    | 0,375                    | $\theta = wp$               | 1,63  | 1,022                    | 0,374                    | Franco argiloso<br>$wp = 19.7\%$<br>$cc = 31.8\%$<br>$n = 46.4\%$       |
|  | 1,50                               | 0,995                    | 0,336                    | $\theta = 0,5.wp + 0,5.cc$  | 1,54  | 1,004                    | 0,347                    |   |
|  | 1,28                               | 0,907                    | 0,292                    | $\theta = cc$               | 1,41  | 0,959                    | 0,319                    |   |
|  | 1,09                               | 0,832                    | 0,236                    | $\theta = 0,5.cc + 0,5.n$   | 1,16  | 0,835                    | 0,283                    |   |
|  | 0,95                               | 0,775                    | 0,182                    | $\theta = 0,25.cc + 0,75.n$ | 0,96  | 0,706                    | 0,264                    |   |
|  | 0,81                               | 0,708                    | 0,126                    | $\theta = 0,1.cc + 0,9.n$   | 0,74  | 0,556                    | 0,251                    |   |
|  | 0,47                               | 0,459                    | 0,029                    | $\theta = n$                | 0,44  | 0,357                    | 0,191                    |   |
| Argiloso<br>$wp = 27.2\%$<br>$cc = 39.6\%$<br>$n = 47.5\%$       | 1,44                               | 0,973                    | 0,323                    | $\theta = wp$               | 3,85  | 1,007                    | 0,738                    | Franco limoso<br>$wp = 13.3\%$<br>$cc = 33.0\%$<br>$n = 50.1\%$         |
|  | 1,31                               | 0,928                    | 0,289                    | $\theta = 0,5.wp + 0,5.cc$  | 3,67  | 1,191                    | 0,676                    |   |
|  | 1,15                               | 0,883                    | 0,231                    | $\theta = cc$               | 2,90  | 0,998                    | 0,655                    |   |
|  | 1,00                               | 0,834                    | 0,166                    | $\theta = 0,5.cc + 0,5.n$   | 2,67  | 1,254                    | 0,531                    |   |
|  | 0,87                               | 0,772                    | 0,115                    | $\theta = 0,25.cc + 0,75.n$ | 2,45  | 1,377                    | 0,437                    |   |
|  | 0,73                               | 0,682                    | 0,070                    | $\theta = 0,1.cc + 0,9.n$   | 1,73  | 0,985                    | 0,432                    |   |
|  | 0,38                               | 0,373                    | 0,007                    | $\theta = n$                | 1,24  | 0,867                    | 0,301                    |   |
| Franco<br>$wp = 11.7\%$<br>$cc = 27.0\%$<br>$n = 46.3\%$         | 2,65                               | 1,362                    | 0,487                    | $\theta = wp$               | 2,17  | 1,461                    | 0,327                    | Limoso<br>$wp = 7.2\%$<br>$cc = 29.7\%$<br>$n = 44.3\%$                 |
|  | 2,54                               | 1,420                    | 0,442                    | $\theta = 0,5.wp + 0,5.cc$  | 1,59  | 1,017                    | 0,358                    |   |
|  | 2,40                               | 1,465                    | 0,390                    | $\theta = cc$               | 1,36  | 0,939                    | 0,309                    |   |
|  | 1,67                               | 1,010                    | 0,394                    | $\theta = 0,5.cc + 0,5.n$   | 1,11  | 0,810                    | 0,271                    |   |
|  | 1,48                               | 0,978                    | 0,340                    | $\theta = 0,25.cc + 0,75.n$ | 0,94  | 0,721                    | 0,234                    |   |
|  | 1,27                               | 0,894                    | 0,298                    | $\theta = 0,1.cc + 0,9.n$   | 0,79  | 0,644                    | 0,189                    |   |
|  | 0,76                               | 0,568                    | 0,255                    | $\theta = n$                | 0,53  | 0,491                    | 0,081                    |   |
| Franco Arenoso<br>$wp = 9.5\%$<br>$cc = 20.7\%$<br>$n = 45.3\%$  | 3,79                               | 0,999                    | 0,737                    | $\theta = wp$               | para o solo arenoso $I_s = P$<br>(pelo que $a = 1, b = 0$ ) |                          |                          | Arenoso<br>$wp = 3.3\%$<br>$cc = 9.1\%$<br>$n = 43.7\%$                 |
|  | 3,72                               | 1,077                    | 0,710                    | $\theta = 0,5.wp + 0,5.cc$  |   |                          |                          |   |
|  | 3,63                               | 1,158                    | 0,681                    | $\theta = cc$               |   |                          |                          |   |
|  | 3,32                               | 1,312                    | 0,604                    | $\theta = 0,5.cc + 0,5.n$   |   |                          |                          |   |
|  | 2,67                               | 1,068                    | 0,600                    | $\theta = 0,25.cc + 0,75.n$ |   |                          |                          |   |
|  | 2,49                               | 1,155                    | 0,537                    | $\theta = 0,1.cc + 0,9.n$   |   |                          |                          |   |
|  | 2,14                               | 1,268                    | 0,407                    | $\theta = n$                |   |                          |                          |   |

$cc$  = retenção específica;  $n$  = porosidade;  $wp$  = ponto de emurchecimento permanente. (adaptado de Oliveira, 2004, 2006)

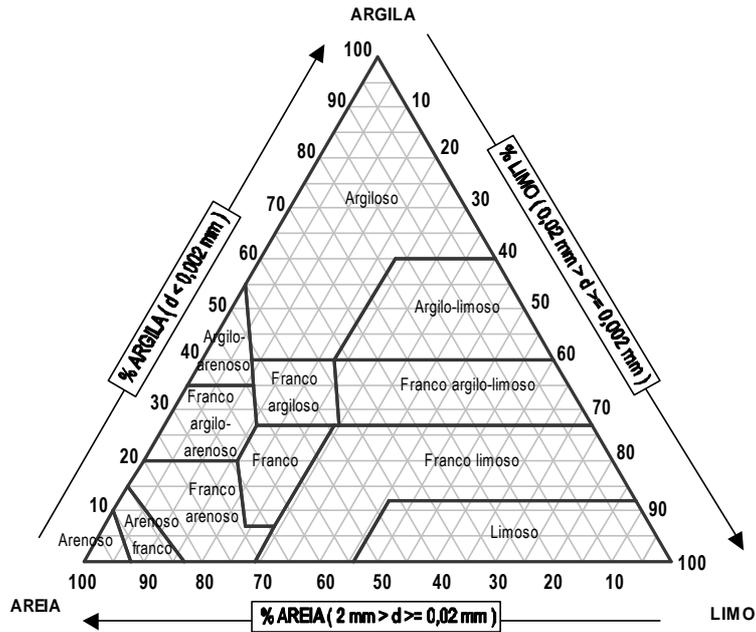


Fig. 35 – Diagrama triangular para a classificação da textura do solo utilizando os limites da classificação portuguesa (adaptado de SROA, 1970, in Oliveira, 2004, 2006)

Com o valor de infiltração superficial calculado pela metodologia apresentada, o escoamento directo será dado pela diferença entre a precipitação e a infiltração superficial:

$$E_{ps} = P - I_s \quad (4)$$

### 1.3 Modelação da evapotranspiração

A evapotranspiração real é estimada com base na formulação apresentada em ALLEN *et al.* (1998):

$$ETR = (K_a \cdot K_{cb} + K_e) \cdot ET_o \quad (5)$$

onde  $ET_o$  é a evapotranspiração de referência de uma cultura hipotética sob determinadas condições climáticas,  $K_{cb}$  é o coeficiente cultural basal,  $K_e$  é o coeficiente de evaporação de água do solo e  $K_a$  é o coeficiente de stress hídrico.

Os termos  $K_{cb}$  e  $K_e$  integram as diferenças físicas e fisiológicas entre a cultura em questão e a cultura de referência, pelo que os seus valores variam ao longo do tempo (dependendo do estado vegetativo). A utilização de dois coeficientes diferentes,  $K_{cb}$  e  $K_e$ , constitui a aproximação do coeficiente cultural dual.

O termo  $K_a$  depende da água disponível no *solo* coberto. O termo  $K_e$  depende da água disponível no *solo* descoberto.

O coeficiente  $K_a$  é determinado em função da quantidade máxima de água utilizável para evapotranspiração, dada por  $rp_{(dia)} \cdot (cc - wp)$ , representando  $rp_{(dia)}$  a profundidade das raízes das plantas no dia do balanço, do limite de depleção da água do *solo* a 100 % ( $p$ ) e da quantidade de água no *solo* [ $A_{I ETR (dia)}$ ]:

$$K_a = 1 \quad \text{se } A_{I ETR (dia)} \geq rp_{(dia)} \cdot [(1 - p) \cdot (cc - wp)] \quad \left| \quad (6) \right.$$

$$K_a = A_{I ETR (dia)} \cdot [rp_{(dia)} \cdot (1 - p) \cdot (cc - wp)]^{-1} \quad \text{caso contrário}$$

Ou seja,  $K_a$  é constante para quantidades de água no *solo* entre o teor de humidade correspondente à retenção específica ( $cc$ ) e o teor de humidade dado por  $\{cc - p \cdot (cc - wp)\}$ ; e  $K_a$  decresce linearmente entre um e zero para teores de humidade entre  $\{cc - p \cdot (cc - wp)\}$  e ( $wp$ ).

A determinação do coeficiente  $K_e$  depende, para além da quantidade de água no *solo*, do poder evaporante da atmosfera, e dos coeficientes culturais basais podendo para a sua determinação serem consultadas as referências bibliográficas referidas anteriormente.

Os procedimentos para caracterizar os parâmetros da equação (5) são apresentados originalmente em Allen *et al.* (1998), e podem também ser consultados em Oliveira (2004, 2006).

O modelo numérico BALSEQ\_MOD é aplicado a uma área de estudo (por exemplo um sistema aquífero) dividindo a sua área de afloramento num conjunto de subáreas que se caracterizam por ter propriedades de solos, ocupação do solo, precipitação e evapotranspiração de referência semelhantes. O modelo é corrido separadamente para cada uma dessas subáreas pelo que os valores obtidos para uma subárea são independentes dos valores obtidos para outra subárea. Dentro de cada subárea a metodologia implementada no modelo numérico BALSEQ\_MOD contempla a possibilidade de existência de até dois cobertos vegetais e de uma superfície descoberta. Dentro de cada subárea, a fracção do espaço ocupada por cada coberto vegetal ou terreno descoberto pode variar no tempo, ao longo de um ano hidrológico, em função do período de desenvolvimento vegetativo. Isto faz com que cada subárea possa ser dividida horizontalmente em até três partes. Para cada porção é realizado um balanço hídrico sequencial diário, em que o balanço hídrico numa parte depende do balanço hídrico das outras

duas partes. Por esse motivo, o balanço hídrico sequencial tem que ser feito simultaneamente. Com a co-existência de dois cobertos vegetais e do terreno descoberto, a equação (5) toma a forma:

$$ETR = (K_{a1} \cdot K_{cb1} + K_{a2} \cdot K_{cb2} + K_e) \cdot ET_o \quad (7)$$

onde os índices 1 e 2 se referem a cada um dos cobertos vegetais.

Para calcular a quantidade de água disponível no *solo*, da qual dependem os coeficientes  $K_a$  e  $K_e$ , o modelo BALSEQ\_MOD realiza o balanço hídrico sequencial diário. A quantidade de água disponível no *solo* ( $A_I$ ) que pode ser mobilizada quer por acção da gravidade quer por acção das plantas para evapotranspiração refere-se à quantidade de água no *solo* acima da quantidade de água armazenada no *solo* quando o seu teor de humidade corresponde ao ponto de emurchecimento permanente ( $w_p$ ).

No balanço hídrico sequencial diário a quantidade de água que existe no *solo* disponível para evapotranspiração [ $A_{IETR}(\text{dia}, \text{coberto } i)$ ], expressa em altura de água na área ocupada pelo coberto  $i$  (que representa o coberto vegetal 1 ou 2 ou o terreno descoberto), é dada por:

$$A_{IETR}(\text{dia}, \text{coberto } i) = A_{Iinício}(\text{dia}, \text{coberto } i) + I_s(\text{dia}, \text{coberto } i) + A_{Iganho}(\text{dia}, \text{coberto } i) \quad (8)$$

sendo  $A_{Iinício}$  a quantidade de água que existe no *solo* no final do dia anterior,  $I_s$  a infiltração superficial calculada para o próprio dia [equação (2)], representando  $A_{Iganho}$ , no caso do coberto vegetal, o aumento de um dia para o outro da quantidade de água devido ao aumento da área coberta pelas plantas ou ao aumento da profundidade das raízes das plantas.

Para o caso do terreno descoberto o termo  $A_{Iganho}$  é nulo, excepto para o dia em que um coberto vegetal passa a estar inactivo. Nesse dia, a quantidade de água do terreno descoberto é incrementada da quantidade de água que existia na zona do coberto, vindo  $A_{Iganho}$  do terreno descoberto dado por:

$$A_{Iganho}(\text{dia}, \text{terreno descob.}) = [A_{Iinício}(\text{dia}, \text{coberto}) / rp\_1(\text{coberto}) \cdot Esp(\text{dia})] \cdot fc(\text{dia-1}, \text{coberto}) / fc(\text{dia}, \text{terreno descob.}) \quad (9)$$

onde  $Esp$  representa a espessura do terreno descoberto sujeita a evaporação,  $rp\_1$  representa a profundidade das raízes das plantas do coberto no dia anterior (equivalente à profundidade máxima alcançável pelas raízes das plantas do coberto),  $fc$  a fracção de área ocupada,  $dia$  o próprio dia, e  $dia-1$  o dia anterior.

Para cada coberto vegetal, são os seguintes os termos relativos ao aumento da quantidade de água no solo, expressos em altura de água na zona ocupada pelo coberto vegetal (Fig. 36):

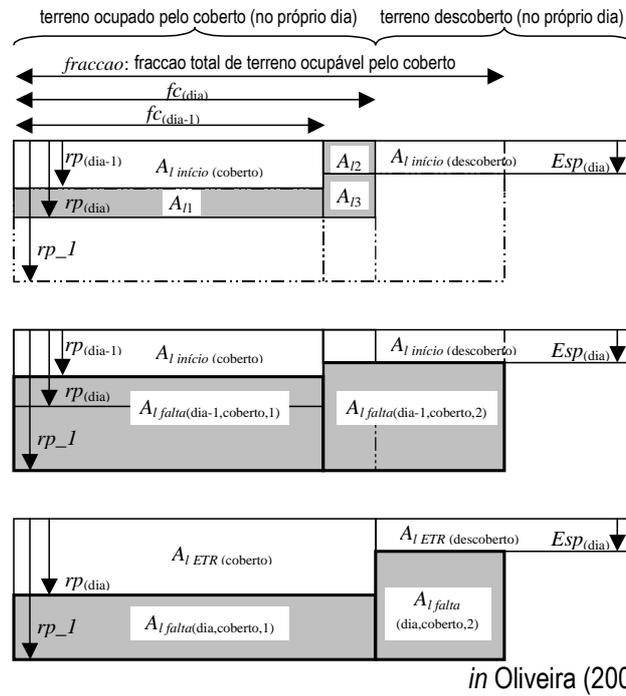


Fig. 36 – Situações consideradas durante o balanço hídrico para o caso do aumento da fracção ocupada por um determinado coberto vegetal ou da espessura do solo sujeita a evapotranspiração.

a) termo relativo ao aumento da espessura do solo ( $A_{I1}$ ), considerando o teor de humidade que existe no solo na zona do crescimento das raízes das plantas:

$$A_{I1} = [rp_{(dia,coberto)} - rp_{(dia-1)}] * (cc - wp - \theta_{falta1}) * fc_{(dia-1,coberto)} / fc_{(dia,coberto)} \quad (10)$$

onde  $\theta_{falta1}$  é dado por:

$$\theta_{falta1} = A_{I \text{ falta(dia-1,coberto,1)}} / [rp_{-1(coberto)} - rp_{(dia-1,coberto)}] \quad (11)$$

$A_{I \text{ falta(dia-1,coberto,1)}}$  representa a quantidade de água do solo em falta para que, na área do solo entre a profundidade das raízes das plantas no dia anterior  $[rp_{(dia-1)}]$  e a profundidade máxima alcançável pelas raízes das plantas ( $rp_{-1}$ ), o teor de humidade do solo atinja a retenção específica ( $cc$ ).

Devido ao aumento da profundidade das raízes das plantas, o termo  $A_{I \text{ falta(dia,coberto,1a)}}$  é actualizado para a nova profundidade que ainda falta preencher pelas raízes das plantas [entre  $rp_{-1}$  e  $rp_{(dia)}$ ]:

$$A_{I\ falta(dia, coberto, 1a)} = A_{I\ falta(dia-1, coberto, 1)} / [rp\_1(coberto) - rp(dia-1, coberto)] \cdot [rp\_1(coberto) - rp(dia, coberto)] \cdot fc(dia-1, coberto) / fc(dia, coberto) \quad (12)$$

b) termo relativo ao aumento de área na zona de terreno descoberto ( $A_{I2}$ ), considerando o teor de humidade existente nesta zona:

$$A_{I2} = [fc(dia, coberto) - fc(dia-1, coberto)] \cdot A_{I\ inicio(dia, terreno\ descoberto)} / fc(dia, coberto) \quad (13)$$

c) termo relativo ao aumento de área abaixo da profundidade sujeita a evaporação no terreno descoberto ( $A_{I3}$ , aplicável se  $rp(dia) >$  espessura da zona evaporante [ $Esp(dia)$ ]), considerando o teor de humidade que existe no *solo* na zona do aumento da profundidade das raízes das plantas:

$$A_{I3} = [rp(dia, coberto) - Esp(dia)] \cdot (cc - wp - \theta_{falta2}) \cdot [fc(dia, coberto) - fc(dia-1, coberto)] / fc(dia, coberto) \quad (14)$$

onde  $\theta_{falta2}$  é dado por:

$$\theta_{falta2} = A_{I\ falta(dia-1, coberto, 2)} / [rp\_1(coberto) - Esp(dia-1)] \quad (15)$$

$A_{I\ falta}$  representa a quantidade de água do *solo* em falta para que, na área do *solo* entre a espessura do terreno descoberto no dia anterior [ $Esp(dia-1)$ ] e a profundidade máxima alcançável pelas raízes das plantas ( $rp\_1$ ), o teor de humidade do *solo* atinja a retenção específica.

É necessário ter em atenção que na área que anteriormente se encontrava por baixo do terreno descoberto e que agora passou a estar também ocupada pelo coberto vegetal, há uma variação da quantidade de água em falta. Uma vez que esta área passou a fazer parte da fracção ocupada pelo coberto vegetal, tem-se que:

$$A_{I\ falta(dia, coberto, 1b)} = A_{I\ falta(dia-1, coberto, 2)} / [rp\_1(coberto) - Esp(dia-1)] \cdot [rp\_1(coberto) - rp(dia, coberto)] \cdot [fc(dia, coberto) - fc(dia-1, coberto)] / fc(dia, coberto) \quad (16)$$

O ganho de água resultante do aumento da espessura e da área do coberto vegetal, expresso em altura de água na zona ocupada pelo coberto vegetal, é de:

$$A_{I\ ganho(dia, coberto)} = A_{I1} + A_{I2} + A_{I3} \quad (17)$$

e a quantidade de água em falta para que o teor de humidade entre a profundidade das raízes das plantas e a sua profundidade máxima preencha a retenção específica é dada por:

$$A_{I\ falta(dia, coberto, 1)} = A_{I\ falta(dia, coberto, 1a)} + A_{I\ falta(dia, coberto, 1b)} \quad (18)$$

No caso do coberto vegetal considerado deixar de existir ou entrar num período de dormência, a quantidade de água no *solo* relativa a esse coberto considera-se nula:

$$A_{I\ ETR(dia, coberto)} = 0 \quad (19)$$

e os termos relativos a  $A_{I\ falta}$  passam a:

$$A_{I\ falta(dia, coberto, 1)} = 0 \quad (20)$$

porque deixa de haver coberto, e por isso, não se define quantidade de água em falta abaixo do coberto. Na área abaixo do terreno que agora ficou descoberto, e que será ocupável pelas raízes das plantas no ciclo vegetativo seguinte, ficará:

$$A_{I\ falta(dia, coberto, 2)} = [rp\_1(coberto) - Esp(dia-1)] * [cc - (wp + A_{I\ inicio(dia, coberto)} / rp(dia-1, coberto))] \quad (21)$$

ou seja, falta a quantidade de água necessária para que o teor de humidade corresponda à retenção específica do *solo* no último dia em que a cultura existiu nesse ciclo vegetativo ( $A_{I\ inicio}$  corresponde à quantidade de água no *solo* no final do dia anterior).

#### 1.4 Modelação da variação do armazenamento de água no *solo* e da infiltração profunda

A variação do armazenamento de água no *solo* ( $\Delta A_I$ ) e a infiltração profunda ( $I_p$ ) são também determinadas pelo balanço hídrico sequencial:

$$\Delta A_I(dia, coberto i) + I_p(dia, coberto i) = I_s(dia, coberto i) + A_{I\ ganho(dia, coberto i)} - ETR(dia, coberto i) \quad (22)$$

Sendo que  $\Delta A_I(dia, coberto i) = A_{I\ fim(dia, coberto i)} - A_{I\ inicio(dia, coberto i)}$  e que no balanço hídrico sequencial já se conhecem  $A_{I\ inicio(dia, coberto i)}$ ,  $I_s(dia, coberto i)$ ,  $A_{I\ ganho(dia, coberto i)}$  e  $ETR(dia, coberto i)$  é necessário calcular e decompor  $A_{I\ fim(dia, coberto i)} + I_p(dia, coberto i)$  da equação seguinte:

$$A_{I\ fim(dia, coberto i)} + I_p(dia, coberto i) = A_{I\ inicio(dia, coberto i)} + I_s(dia, coberto i) + A_{I\ ganho(dia, coberto i)} - ETR(dia, coberto i) \quad (23)$$

Para a aplicação à área de estudo utilizou-se o procedimento referido em Samper *et al.* (1999), onde a infiltração profunda é dada pelo excesso de água que existe no *solo* em relação a  $AG_{cc}(dia, coberto i) = rp(dia, coberto i) \cdot CC$  e é limitada superiormente pela quantidade máxima de água que o *solo* pode transmitir no intervalo de tempo considerado ( $K_s \cdot \Delta t$ ), sendo  $K_s$  a condutividade hidráulica saturada:

$$I_p(dia, coberto i) = \min\{\max[A_{I\ inicio(dia, coberto i)} + I_s(dia, coberto i) + A_{I\ ganho(dia, coberto i)} - ETR(dia, coberto i) - AG_{cc}(dia, coberto i); 0]; (K_s \cdot \Delta t)\} \quad (24)$$

Substituindo  $I_p(dia, coberto i)$  na equação (23) obtém-se  $A_{I\ fim(dia, coberto i)}$ . Mas pela aplicação desta equação pode acontecer que a quantidade de água no *solo* exceda a quantidade máxima de água que o *solo* pode conter ( $AG_I(dia, coberto i) = rp(dia, coberto i) \cdot n$  sendo  $n$  a porosidade). Nesse caso

assume-se que se  $A_{lim}(dia, coberto i)$  dado pela aplicação da equação (23) excede  $AG_I(dia, coberto i)$ , a diferença será acrescentada ao escoamento directo ou ao armazenamento de água no solo (que no BALSEQ\_MOD se considera nulo:  $\Delta A_p = 0$ ), ou seja:

$$E_{ps}(dia, coberto i) = E_{ps \text{ equação (4)}}(dia, coberto i) + (A_{lim}(dia, coberto i) - AG_I(dia, coberto i)) \quad (25)$$

A quantidade de água armazenada no solo passa a ser:

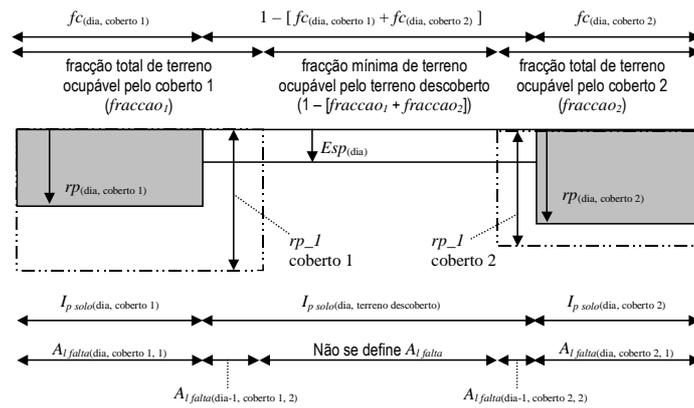
$$A_{lim}(dia, coberto i) = AG_I(dia, coberto i) \quad (26)$$

A infiltração profunda calculada pela metodologia apresentada não traduz, ainda, a infiltração profunda de um determinado dia. Porque, enquanto as raízes das plantas se estão a desenvolver em profundidade, o volume que existe entre a profundidade das raízes das plantas num determinado dia  $[rp_{(dia)}]$  e a profundidade máxima alcançável pelas raízes das plantas ( $rp_1$ ) pode apresentar um teor de humidade abaixo da retenção específica.

A quantidade de água de infiltração profunda calculada pela equação (24), que se designa agora por  $lp_{solo}$ , não drena livremente em profundidade, indo antes colmatar a quantidade de água em falta para se atingir o teor de humidade correspondente à retenção específica nessa área.

Considerem-se as três zonas representadas na Fig. 37:

- 1 – abaixo da fracção de terreno ocupada pelo coberto 1  $[fc_{(dia, 1)}]$ ;
- 2 – abaixo da fracção de terreno ocupada pelo coberto 2  $[fc_{(dia, 2)}]$  – no caso deste existir;
- 3 – abaixo do terreno descoberto, que também se pode decompor em três sub-zonas:
  - 3.1 – aquela que durante o desenvolvimento do coberto vegetal 1 acabará por ficar ocupada por este, ou seja a área por baixo de  $[fraccao_1 - fc_{(dia, coberto 1)}]$ ;
  - 3.2 – aquela que durante o desenvolvimento do coberto vegetal 2 (no caso deste existir) acabará por ficar ocupada por este, ou seja a área por baixo de  $[fraccao_2 - fc_{(dia, coberto 2)}]$ ;
  - 3.3 – abaixo do terreno descoberto que nunca será ocupado por coberto vegetal (1 –  $[fraccao_1 + fraccao_2]$ ).



in Oliveira (2004, 2006)

Fig. 37 – Termos representados no cálculo da infiltração profunda quando se utiliza o coeficiente cultural dual para o cálculo da evapotranspiração

No caso das duas primeiras zonas, a quantidade de água em falta abaixo da fracção de terreno ocupada pelo coberto vegetal [ $fc(dia, coberto 1)$  e  $fc(dia, coberto 2)$ ; Fig. 37] é representada por  $A_{I\ falta}(dia, coberto 1, 1)$  e  $A_{I\ falta}(dia, coberto 2, 1)$  como calculados na equação (18).  $Ip_{solo}$  é o calculado para os cobertos vegetais [ $Ip_{solo}[dia, coberto 1]$  e  $Ip_{solo}[dia, coberto 2]$ ]. A infiltração profunda e os novos valores da quantidade de água em falta, são calculados da seguinte forma:

$$Ip_{[dia, coberto i]} = \max( Ip_{solo} [dia, coberto i] - A_{I\ falta\ equação\ (18)} (dia, coberto i, 1); 0 ) \quad (27)$$

$$A_{I\ falta}(dia, coberto i, 1) = \max(A_{I\ falta\ equação\ (18)} (dia, coberto i, 1) - Ip_{solo} [dia, coberto i]; 0 ) \quad (28)$$

onde  $i$  assume os valores 1 ou 2. No caso do coberto 2 não existir,  $i$  só assume o valor 1.

No caso da terceira zona, para se determinar a infiltração profunda é necessário fazer os cálculos para as três sub-zonas.

No caso das sub-zonas 3.1 e 3.2, a quantidade de água em falta é dada por  $A_{I\ falta}(dia-1, coberto 1, 2)$  e  $A_{I\ falta}(dia-1, coberto 2, 2)$ . Os termos  $A_{I\ falta}$  referem-se aos calculados no dia anterior uma vez que ainda não foram actualizados para o dia corrente do balanço.  $Ip$  e  $A_{I\ falta}$  vêm dados por:

$$Ip_{3.i}(dia) = \max( Ip_{solo} [dia, terreno descoberto] - A_{I\ falta}(dia-1, coberto i, 2); 0 ) \quad (29)$$

$$A_{I\ falta}(dia, coberto i, 2) = \max(A_{I\ falta}(dia-1, coberto i, 2) - Ip_{solo} [dia, terreno descoberto]; 0 ) \quad (30)$$

onde  $i$  assume os valores 1 ou 2 (se existir).

No caso da subzona 3.3 não ocorrem teores de humidade abaixo da retenção específica pelo que aí não se define  $A_{I\ falta}$  e a infiltração profunda é dada directamente por  $Ip_{solo}[dia, terreno descoberto]$ :

$$lp_{3.3}(dia) = lp_{solo}[dia, terreno descoberto] \quad (31)$$

Assim, para a totalidade da área abaixo do terreno descoberto,  $lp$  vem dado por:

$$lp_{[dia, terreno descoberto]} = \{lp_{3.1}(dia) * [fraccao_1 - fc_{(dia, coberto 1)}] + lp_{3.2}(dia) * [fraccao_2 - fc_{(dia, coberto 2)}] + lp_{3.3}(dia) * (1 - [fraccao_1 + fraccao_2])\} / \{1 - [fc_{(dia, coberto 1)} + fc_{(dia, coberto 2)}]\} \quad (32)$$

## 2. Aplicação do modelo numérico BALSEQ\_MOD à área dentro da zona 1 das medidas preventivas

O modelo numérico foi corrido para o período de 01/10/1959 até 30/09/1986.

Para a caracterização da precipitação utilizaram-se as séries de valores diários dos postos udométricos 21D/01 – Alcochete (com algumas lacunas), 20E/02 – Santo Estevão (com dados a partir de 01/10/1979), e 20D/01 – Vila Franca de Xira (com poucas lacunas), disponíveis na página do SNIRH (<http://snirh.pt>).

No cálculo da precipitação diária na área em estudo foi feita uma média ponderada da precipitação diária registada em cada um dos postos, relacionando-se os factores de ponderação com a distância à área em estudo. Pela maior proximidade, Santo Estevão e Alcochete receberam um factor de ponderação 3 e Vila Franca de Xira recebeu um factor de ponderação 1. Nos períodos de lacuna de um posto, este não era considerado no cálculo. De toda a série estudada, apenas o dia 13/02/1979 não apresentou registos de precipitação em nenhuma das séries, tendo sido atribuído a precipitação calculada do dia anterior.

Para a evapotranspiração de referência, utilizou-se a série de dados mensais calculada para o Plano de Bacia Hidrográfica do rio Tejo, desde Outubro de 1959 até Setembro de 1986, a partir dos dados climatológicos registados na estação meteorológica 19E/02 – Salvaterra de Magos. A evapotranspiração diária foi obtida dividindo os valores mensais pelo número de dias do mês. Não havendo disponíveis os dados de humidade relativa mínima diária média e de velocidade do vento diário médio, estes foram assumidos iguais a 45 % e 2 m/s, respectivamente, o que implicou a não correcção dos valores dos coeficientes culturais basais diários ( $K_{cb}$ ), introduzindo-se aqui um pequeno erro no cálculo da evapotranspiração.

A caracterização dos parâmetros relativos ao solo, nomeadamente, o material do horizonte superior do solo, a porosidade, a retenção específica, o ponto de emurchecimento e a

condutividade hidráulica saturada vertical foi feita a partir da Carta de Solos de Portugal, à escala 1:25 000, do IHERA (folhas 419 e 433). Na área em estudo foram identificados dez solos diferentes. Os parâmetros de caracterização do solo foram caracterizados em Oliveira (2004, 2006); detectada uma incongruência nos valores do solo Ap este foi caracterizado com os valores do solo Apr. O Quadro 19 mostra os valores atribuídos.

Quadro 19 – Solos, área de ocorrência e parâmetros característicos do solo

| Solo (IHERA) | Área (km <sup>2</sup> ) | Retenção específica (-) | Ponto de emurchecimento (-) | Porosidade (-) | Condutividade hidráulica vertical (mm/d) | Material do horizonte superior do solo |
|--------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------------|----------------|--|--|
| Al+Al(h)     | 1,77                    | 0,14                    | 0,06                        | 0,44           | 1466                                     | Arenoso franco                         |
| Ap           | 4,17                    | 0,11                    | 0,05                        | 0,44           | 1834                                     | Arenoso franco                         |
| ASoc         | 2,86                    | -                       | -                           | -              | -  | -                                      |
| Ca           | 0,29                    | 0,31                    | 0,17                        | 0,44           | 26                                       | Franco argilo-limoso                   |
| Pag          | 5,80                    | 0,29                    | 0,15                        | 0,42           | 119                                      | Franco argilo arenoso                  |
| Ppr          | 1,03                    | 0,17                    | 0,08                        | 0,44           | 1162                                     | Arenoso franco                         |
| Ppt+Ppt(e,p) | 20,15                   | 0,19                    | 0,07                        | 0,33           | 639                                      | Franco arenoso                         |
| Pz           | 1,67                    | 0,07                    | 0,02                        | 0,26           | 3051                                     | Franco arenoso                         |
| Pzh          | 0,22                    | 0,09                    | 0,03                        | 0,24           | 260                                      | Arenoso franco                         |
| Rg           | 3,01                    | 0,09                    | 0,04                        | 0,44           | 5040                                     | Arenoso                                |
| Vt+Vt(d,e,h) | 6,83                    | 0,13                    | 0,04                        | 0,38           | 1081                                     | Franco arenoso                         |

A caracterização dos parâmetros relativos aos cobertos vegetais, nomeadamente a definição do seu ciclo vegetativo, dos coeficientes culturais basais, das profundidades das raízes das plantas, do limite de depleção da água do solo a 100 %, fracção do terreno ocupada pelo coberto vegetal, e altura máxima atingida pelo coberto vegetal, foi feita a partir da interpretação da legenda da carta de ocupação do solo CORINE Land Cover, do CNIG, à escala 1:100 000, apresentando-se os seus valores no Quadro 20. Na área do sistema aquífero foram identificadas sete ocupações de solos diferentes, tendo em três delas sido considerados dois cobertos vegetais, o que, aliado a uma fracção de terreno descoberta possível em quase todas elas, perfaz um total de onze ocupações individuais dos solos diferentes.

A sobreposição da informação da carta de solos e da carta de ocupação dos solos originou 51 combinações diferentes de solos/ocupação do solo, que foram utilizadas na corrida do modelo.

Quadro 20 – Ocupação do solo de acordo com o Corine Land Cover 2000, área de ocorrência e parâmetros caracterizadores da ocupação do solo

| Ocupação do solo / código                       | Área total (km <sup>2</sup> ) | Nº de culturas | Permeavel | Calcula Kcb_esp | Dia_ini | L_ini | L_des | L_med | L_fim | Kcb_ini | Kcb_med | Kcb_fim | h_cult | rp_1 | rp_0 | sld  | Kc_min | Kcb_tot | fraccao | fraccao_0 | fraccao_nada |
|---|-------------------------------|----------------|-----------|-----------------|---------|-------|-------|-------|-------|---------|---------|---------|--------|------|------|------|--------|---------|---------|-----------|--------------|
| Perímetros não irrigados / 211                  | 1,64                          | 1              | 1         | 0               | 32      | 30    | 140   | 40    | 30    | 0,15    | 1,1     | 0,15    | 1      | 1200 | 150  | 0,55 | 0,15   | 1,1     | 1       | 0,1       | 0            |
| Sistemas culturais e parcelares complexos / 242 | 1,18                          | 2              | 1         | 1               | 198     | 35    | 40    | 50    | 30    | 0,15    | 1,1     | 0,7     | 0,6    | 900  | 150  | 0,4  | 0,15   | 1,1     | 0,5     | 0,1       | 0            |
|   |                               |                | 1         | 1               | 183     | 30    | 35    | 50    | 30    | 0,15    | 1,1     | 0,65    | 0,6    | 500  | 150  | 0,35 | 0,15   | 1,1     | 0,5     | 0,1       | 0            |
| Territórios agro-florestais / 244               | 4,24                          | 2              | 1         | 1               | 32      | 30    | 140   | 40    | 30    | 0,15    | 1,1     | 0,15    | 1      | 1200 | 150  | 0,55 | 0,15   | 1,1     | 0,8     | 0,1       | 0            |
|   |                               |                | 1         | 1               | 1       | 1     | 1     | 361   | 2     | 0,95    | 0,95    | 0,95    | 10     | 2750 | 2750 | 0,7  | 0,15   | 0,95    | 0,2     | 0,2       | 0,2          |
| Floresta Resinosa / 312                         | 0,26                          | 1              | 1         | 1               | 1       | 1     | 361   | 2     | 0,95  | 0,95    | 0,95    | 10      | 2750   | 2750 | 0,7  | 0,15 | 0,95   | 0,7     | 0,7     | 0,7       |              |
| Floresta com mistura de várias espécies / 313   | 1,64                          | 2              | 1         | 1               | 1       | 1     | 1     | 361   | 2     | 1,2     | 1,2     | 1,2     | 10     | 2750 | 2750 | 0,5  | 0,15   | 1,2     | 0,4     | 0,4       | 0,4          |
|   |                               |                | 1         | 1               | 1       | 1     | 1     | 361   | 2     | 0,95    | 0,95    | 0,95    | 10     | 2750 | 2750 | 0,7  | 0,15   | 0,95    | 0,4     | 0,4       | 0,4          |
| Solos descobertos / 331                         | 7,40                          | 0              | -         | -               | -       | -     | -     | -     | -     | -       | -       | -       | -      | -    | -    | -    | -      | -       | -       | -         | -            |
| Florestas Sobreiro + Eucalipto / 311            | 1,44                          | 1              | 1         | 1               | 1       | 1     | 361   | 2     | 1,2   | 1,2     | 1,2     | 10      | 2750   | 2750 | 0,5  | 0,15 | 1,2    | 0,7     | 0,7     | 0,7       |              |

Notas: Em todas as ocupações, os solos descobertos têm espessura sujeita a evaporação de 150 mm e limite de depleção de água do solo a 100 % de 0,42.

Permeável = código para a infiltração superficial: (0) é nula, (1) calculada pelo modelo, Calcula\_Kcb\_esp = código para calcular (1) ou não (0) o coeficiente cultural basal esparso, Dia\_ini = dia de início de desenvolvimento da cultura, L = comprimento (d): L\_ini = da fase inicial, L\_des = da fase de desenvolvimento, L\_med = da meia estação, L\_fim = da fase final, Kcb = coeficiente cultural basal: Kcb\_ini = da fase inicial, Kcb\_med = da meia estação, Kcb\_fim = da fase final, h\_cult = altura da cultura na fase de meia estação (m), rp\_1 = profundidade máxima das raízes das plantas (m), rp\_0 = profundidade mínima das raízes das plantas (m), sld = limite de depleção da água do solo a 100%, Kc\_min = coeficiente cultural mínimo, Kcb\_tot = coeficiente cultural basal total, fraccao = fracção máxima de terreno ocupada pela cultura, fraccao\_0 = fracção mínima de terreno ocupada pela cultura no período inicial.

### 3. Resultados obtidos

As Fig. 11 (secção 7), Fig. 38 e Fig. 39 apresentam, respectivamente, para os 27 anos de corrida do modelo, os resultados finais obtidos para a recarga anual média, o escoamento directo anual médio e a evapotranspiração real anual média. Para cada associação de solo / ocupação de solo, o Quadro 21 apresenta os valores anuais médios obtidos pelo balanço hídrico.

Os valores de recarga anual média variam entre 0 mm/ano em zonas muito pouco permeáveis e com um coberto vegetal que consome muita água na época das chuvas e 341 mm/ano em zonas de solo muito permeável e descoberto. A evapotranspiração real anual média varia entre 213 mm/ano e 405 mm/ano e o escoamento directo anual médio varia entre 0 mm/ano nas zonas de solo muito permeável e 310 mm/ano, nas zonas de solo muito pouco permeável.

O valor de recarga anual média é de 133 mm/ano. A precipitação anual média é de 572 mm/ano. A evapotranspiração real anual média é de 324 mm/ano e o escoamento directo anual médio é de 114 mm/ano. A relação entre a recarga anual média e a precipitação anual média é de 23 %.

Para as associações de solo / ocupação de solo mais representativas apresenta-se, na Fig. 40, a distribuição anual dos valores de recarga. Esta figura permite constatar a variabilidade anual da recarga ao longo do tempo, em dependência das condições climáticas.

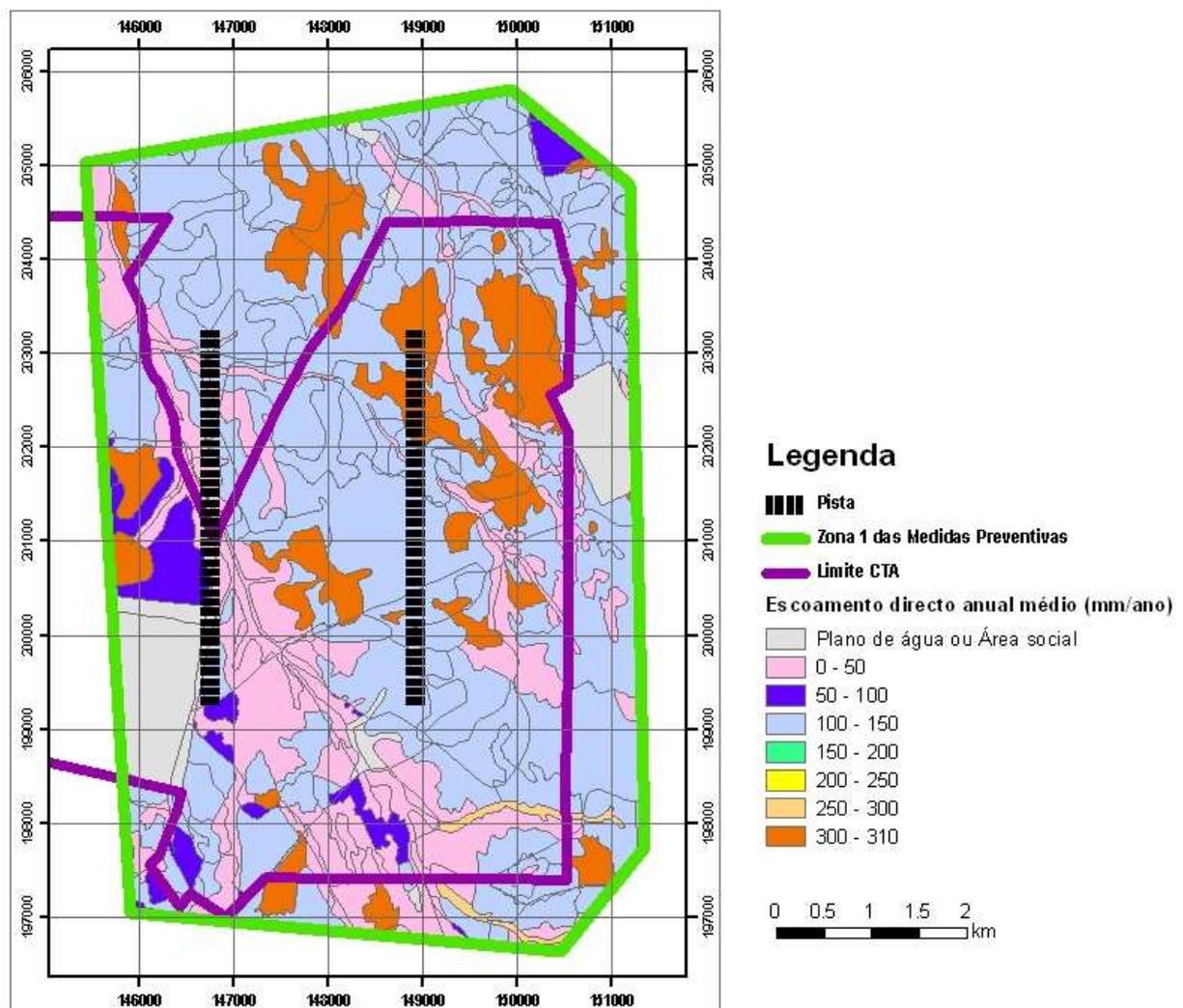


Fig. 38 – Escoamento directo anual médio

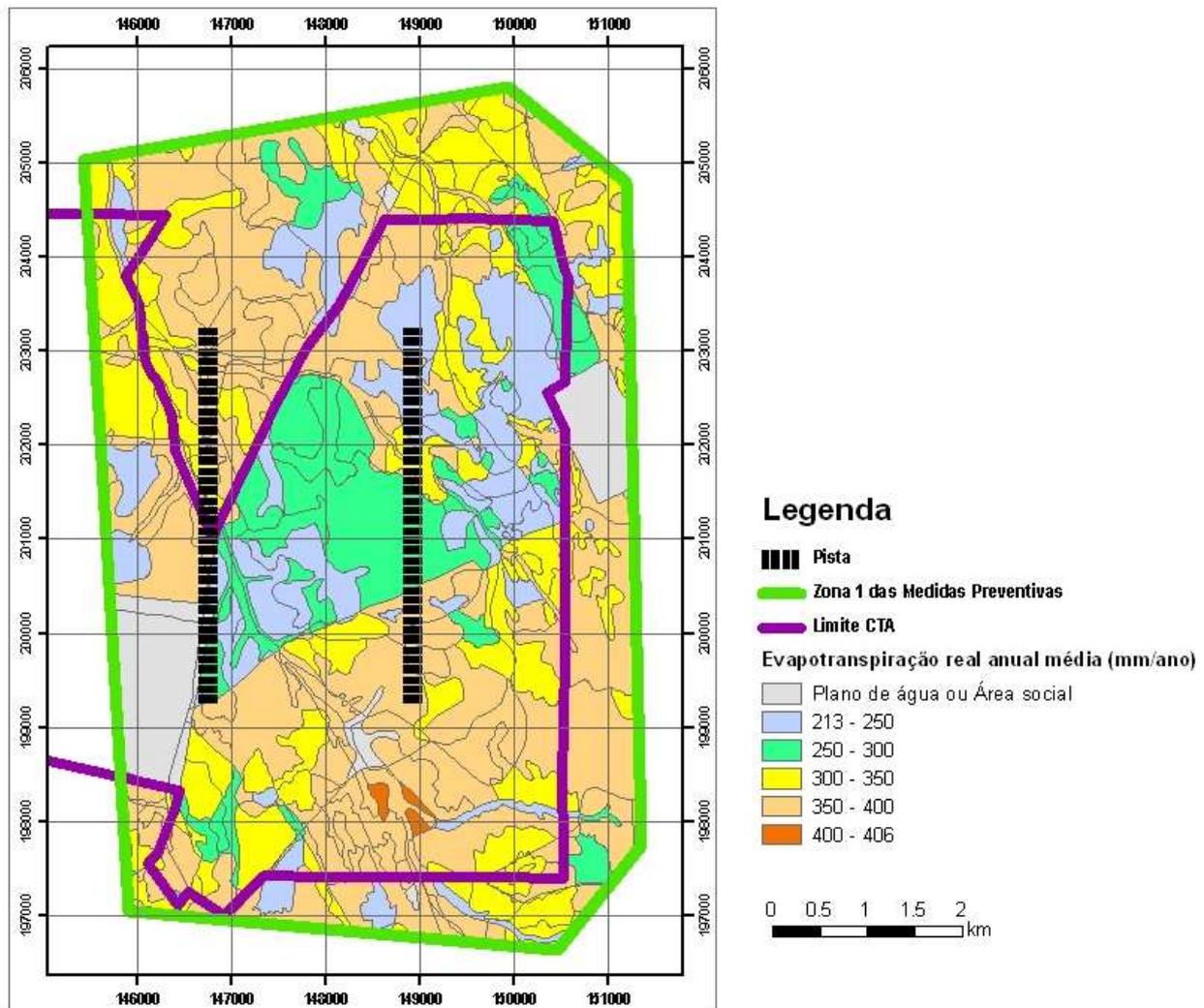


Fig. 39 – Evapotranspiração real anual média

Por sua vez, e como exemplo para ganhar percepção acerca da variabilidade da recarga em função do tempo, apresenta-se na Fig. 41 a variação mensal da recarga para a associação de ocupação de solo / solo mais representada na área em estudo, com 11 km<sup>2</sup> (24,5 % da área onde se calculou a recarga). Trata-se da associação “Florestas Sobreiro + Eucalipto” (código 311) e do solo Ppt “Podzóis (Não Hidromórficos) com surraipa de ou sobre arenitos”. Como se pode verificar há dois meses de recarga praticamente nula, Julho e Agosto; há dois meses com alguma variabilidade anual, mas com recarga média baixa, Junho e Setembro; e há os meses de Novembro a Fevereiro, com uma grande variabilidade, representando os meses com mais elevada taxa de recarga média.

Quadro 21 – Associações de solo / ocupação do solo, áreas de ocorrência e resultados anuais médios do balanço hídrico sequencial diário

| Ocupação de solo / Código                       | Solo  | Área (km <sup>2</sup> ) | Evapotranspiração (mm/ano) | Escoamento Directo (mm/ano) | Recarga (mm/ano) |
|---|-------|-------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------|
| Solos descobertos / 331                         | Vt    | 0,710                   | 253                        | 104                         | 215              |
|   | Rg    | 0,883                   | 231                        | 0                           | 341              |
|   | Pz    | 0,110                   | 226                        | 104                         | 242              |
|   | Ppt   | 3,818                   | 266                        | 104                         | 202              |
|   | Pag   | 1,094                   | 213                        | 310                         | 49               |
|   | Ap    | 0,379                   | 239                        | 48                          | 285              |
|   | Al    | 0,333                   | 253                        | 48                          | 271              |
| Floresta com mistura de várias espécies / 313   | Vt    | 0,142                   | 382                        | 101                         | 89               |
|   | Rg    | 0,083                   | 374                        | 0                           | 198              |
|   | Pzh   | 0,045                   | 373                        | 47                          | 151              |
|   | Pz    | 0,656                   | 343                        | 102                         | 126              |
|   | Ppt   | 1,477                   | 399                        | 100                         | 72               |
|   | Ppr   | 0,140                   | 405                        | 47                          | 119              |
|   | Pag   | 0,634                   | 238                        | 304                         | 29               |
|   | Ap    | 2,351                   | 373                        | 47                          | 151              |
| Floresta Resinosa / 312                         | Al    | 0,672                   | 395                        | 47                          | 129              |
|   | Vt    | 0,010                   | 379                        | 101                         | 92               |
|   | Ppt   | 0,241                   | 398                        | 100                         | 73               |
| Florestas Sobreiro + Eucalipto / 311            | Pag   | 0,010                   | 248                        | 304                         | 19               |
|   | Vt    | 4,744                   | 343                        | 102                         | 126              |
|   | Rg    | 1,682                   | 339                        | 0                           | 232              |
|   | Pzh   | 0,068                   | 338                        | 48                          | 186              |
|   | Pz    | 0,617                   | 311                        | 103                         | 158              |
|   | Ppt   | 10,996                  | 357                        | 101                         | 113              |
|   | Ppr   | 0,828                   | 365                        | 47                          | 159              |
|   | Pag   | 3,391                   | 215                        | 306                         | 50               |
|   | Ca    | 0,261                   | 226                        | 295                         | 50               |
|   | Ap    | 1,004                   | 338                        | 48                          | 186              |
|   | Al    | 0,637                   | 356                        | 47                          | 167              |
| Territórios agro-florestais / 244               | Vt    | 1,077                   | 357                        | 103                         | 111              |
|   | Pzh   | 0,024                   | 339                        | 48                          | 184              |
|   | Pz    | 0,134                   | 312                        | 103                         | 155              |
|   | Ppt   | 2,092                   | 379                        | 103                         | 89               |
|   | Ppr   | 0,016                   | 374                        | 48                          | 150              |
|   | Pag   | 0,646                   | 262                        | 308                         | 2                |
|   | Ca    | 0,029                   | 272                        | 298                         | 2                |
|   | Ap    | 0,205                   | 339                        | 48                          | 184              |
|   | Al(h) | 0,013                   | 363                        | 48                          | 160              |
|   | Pzh   | 0,087                   | 273                        | 48                          | 251              |
| Sistemas culturais e parcelares complexos / 242 | Pz    | 0,126                   | 255                        | 104                         | 213              |
|   | Ppt   | 0,755                   | 329                        | 104                         | 139              |
|   | Pag   | 0,007                   | 252                        | 310                         | 10               |
|   | Ap    | 0,132                   | 273                        | 48                          | 251              |
| Perímetros não irrigados / 211                  | Vt    | 0,148                   | 350                        | 104                         | 117              |
|   | Rg    | 0,362                   | 311                        | 0                           | 259              |
|   | Pz    | 0,022                   | 298                        | 104                         | 168              |
|   | Ppt   | 0,769                   | 376                        | 105                         | 90               |
|   | Ppr   | 0,049                   | 361                        | 48                          | 162              |
|   | Pag   | 0,012                   | 263                        | 309                         | 0                |
|   | Ap    | 0,103                   | 322                        | 48                          | 200              |
| Al  | 0,118 | 350                     | 48                         | 173                         |                  |
| Média   |       |                         | 324                        | 114                         | 133              |

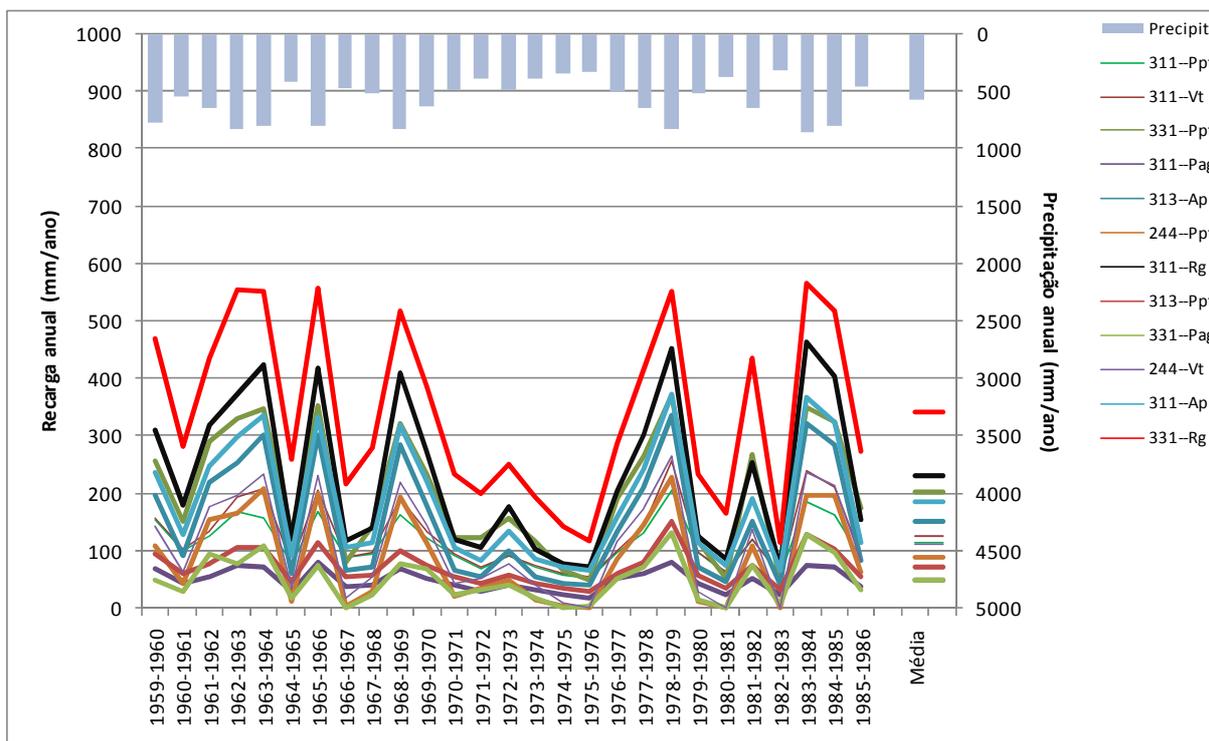


Fig. 40 – Variação da recarga anual para as associações de ocupação de solo / solo mais representativas (área > 0,85 km<sup>2</sup>)

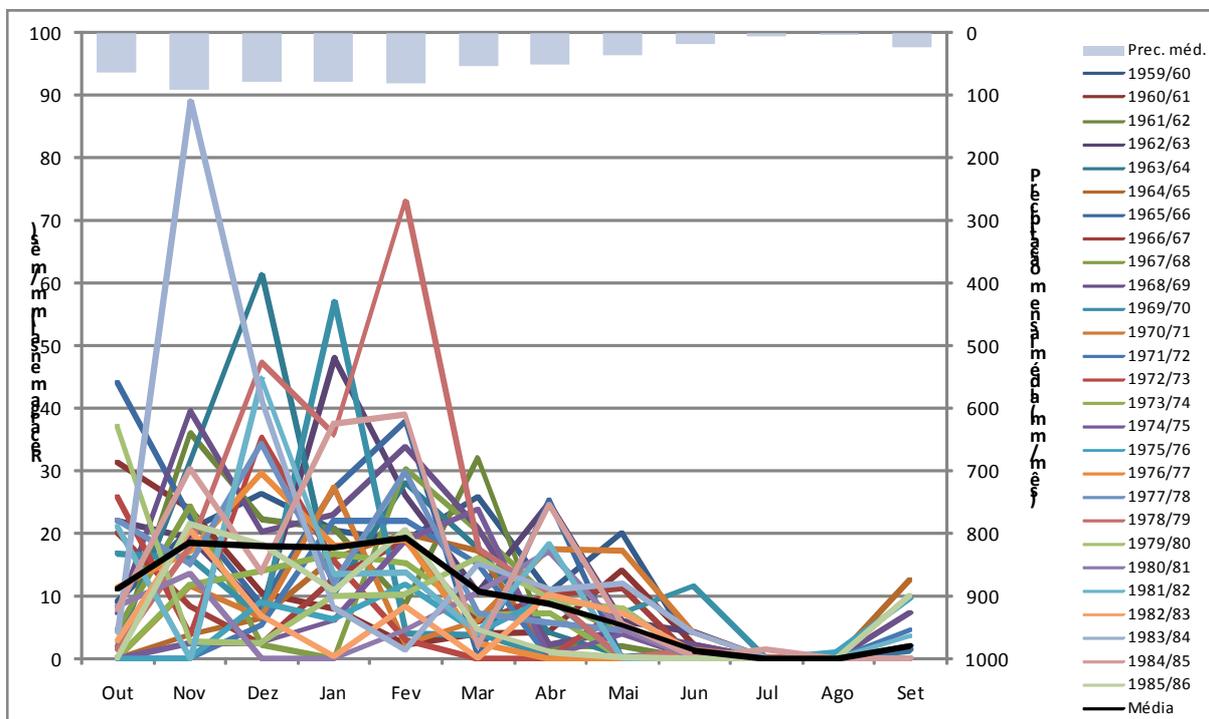


Fig. 41 – Variação mensal da recarga para a associação de ocupação de solo / solo mais representada na área em estudo (311 / Ppt)

## **Anexo 5 – Interpretação dos ensaios de bombagem**

### **1. Introdução**

Nas três zonas em estudo foram realizados ao todo 10 ensaios de bombagem. Para dar apoio à monitorização de níveis piezométricos e de condutividade eléctrica da água subterrânea, particularmente útil para conhecer o comportamento temporal destas variáveis e poder complementar os dados dos ensaios de bombagem, fez-se uso de um total de 9 sondas de registo contínuo de níveis e de temperatura (sondas TD), uma das quais barométrica, e 5 sondas de registo contínuo de níveis, temperatura e condutividade eléctrica (sondas CTD). A distribuição das sondas nos vários piezómetros é a indicada no Quadro 22. O Anexo 3 e a base de dados apresentam os valores registados pelas sondas.

A utilização das sondas CTD durante os ensaios de bombagem pretende auxiliar na interpretação de eventuais processos de drenância entre camadas durante os ensaios de bombagem, possível se as várias camadas solicitadas pelo ensaio apresentarem diferenças assinaláveis de condutividade eléctrica.

Para se fazer a interpretação dos ensaios de bombagem utilizou-se o software AquiferTest Pro 4.2, da Schlumberger Water Services, tendo-se utilizado cinco métodos de interpretação de ensaios de bombagem:

- método de Theis para aquífero confinado;
- método de Theis com correcção de Jacob para aquífero livre;
- método de Hantush para aquífero semi-confinado;
- método de Boulton para aquífero livre com drenagem diferida;
- método de Theis para a recuperação do ensaio de bombagem.

A descrição dos métodos utilizados pode ser consultada em bibliografia diversa, sugerindo-se Kruseman & De Rieder (1990) ou Röhrich, T. & SWS (2007).

Quadro 22 – Ensaio de bombagem e localização das sondas de registo automático nos vários piezómetros

| Dia | Data       | Zona C                                       | Zona B   | Zona A                                       | TD 74598      | TD 25664      | TD 76000     | TD 25904     | Mini-diver C7500 | Mini-diver C7628 | CTD 86223    | CTD 86472 | CTD 86689    | CTD 86878 | CTD 86882 | CTD 86910 | TD BARO 81082 | TROLL 45660  | TROLL 45661 |      |
|-----|------------|--|--|--|---------------|---------------|--------------|--------------|------------------|------------------|--------------|-----------|--------------|-----------|-----------|-----------|---------------|--------------|-------------|------|
| 1   | 2009-01-05 |  |  |  |               |               |              |              |                  |                  |              |           |              |           |           |           |               |              |             |      |
| 2   | 2009-01-06 |  |  |  |               |               |              |              |                  |                  |              |           |              |           |           |           |               |              |             |      |
| 3   | 2009-01-07 |  |  |  | AP2 i         | AP4 i         |              |              |                  |                  |              | AP1 i     |              |           |           |           | AP5 i         |              |             |      |
| 4   | 2009-01-08 |  |  |  | AP2           | AP4           |              |              |                  |                  |              | AP1       |              |           |           |           | AP5           |              |             |      |
| 5   | 2009-01-09 |  |  |  | AP2           | AP4           | AP3 i        |              |                  |                  |              | AP1       | AP5 i        |           |           |           | AP5           |              |             |      |
| 6   | 2009-01-10 |  |  |  | AP2           | AP4           | AP3          |              |                  |                  |              | AP1       | AP5          |           |           |           | AP5           |              |             |      |
| 7   | 2009-01-11 |  |  |  | AP2           | AP4           | AP3          |              |                  |                  |              | AP1       | AP5          |           |           |           | AP5           |              |             |      |
| 8   | 2009-01-12 |  |  |  | AP2           | AP4           | AP3          | CP2 i        | AP7 i            | CP5 i            |              | AP1       | AP5          |           |           |           | AP5           | CP1 i        | CP6 i       |      |
| 9   | 2009-01-13 |  |  |  | AP2           | AP4           | AP3          | CP2          | AP7              | CP5              |              | AP1       | AP5          |           |           |           | AP5           | CP1          | CP6         |      |
| 10  | 2009-01-14 |  |  |  | AP2           | AP4           | AP3          | CP2          | AP7              | CP5              |              | AP1       | AP5          |           |           |           | AP5           | CP1          | CP6         |      |
| 11  | 2009-01-15 |  |  |  | AP2 f         | AP4 f         | AP3          | CP2          | AP7              | CP5              |              | AP1       | AP5          |           |           |           | AP5           | CP1          | CP6         |      |
| 12  | 2009-01-16 |  |  |  | CP4 i         | CP3 i         | AP3          | CP2          | AP7              | CP5              |              | AP1       | AP5          |           |           |           | AP5           | CP1          | CP6         |      |
| 13  | 2009-01-17 |  |  |  | CP4           | CP3           | AP3          | CP2          | AP7              | CP5              |              | AP1       | AP5          |           |           |           | AP5           | CP1          | CP6         |      |
| 14  | 2009-01-18 |  |  |  | CP4           | CP3           | AP3          | CP2          | AP7              | CP5              |              | AP1       | AP5          |           |           |           | AP5           | CP1          | CP6         |      |
| 15  | 2009-01-19 |  |  |  | CP4           | CP3           | AP3          | CP2          | AP7 f            | CP5              |              | AP1       | AP5          |           |           |           | AP5           | CP1          | CP6         |      |
| 16  | 2009-01-20 |  |  |  | CP4           | CP3           | AP3          | CP2          | CP1 i            | CP5              |              | AP1       | AP5          |           |           |           | AP5 f / CP6 i | CP1          | CP6         |      |
| 17  | 2009-01-21 |  |  |  | CP4           | CP3           | AP3          | CP2          | CP1              | CP5              |              | AP1       | AP5          |           |           |           | CP6           | CP1          | CP6         |      |
| 18  | 2009-01-22 |  |  |  | CP4           | CP3           | AP3 f        | CP2          | CP1              | CP5              |              | AP1 f     | AP5 f        |           |           |           | CP6           | CP1          | CP6         |      |
| 19  | 2009-01-23 |  |  |  | CP4           | CP3           | BP6 i        | CP2          | CP1              | CP5              |              |           | BP1 i        |           |           |           | CP6           | CP1          | CP6         |      |
| 20  | 2009-01-24 |  |  |  | CP4           | CP3           | BP6          | CP2          | CP1              | CP5              |              |           | BP1          |           |           |           | CP6           | CP1          | CP6 f       |      |
| 21  | 2009-01-25 |  |  |  | CP4           | CP3           | BP6          | CP2          | CP1              | CP5              |              |           | BP1          |           |           |           | CP6           | CP1          | CP6 i       |      |
| 22  | 2009-01-26 |  |  |  | CP4           | CP3           | BP6          | CP2          | CP1              | CP5              |              |           | BP1          |           |           |           | CP6           | CP1          | CP6         |      |
| 23  | 2009-01-27 | Bombagem CB-8 Q = 50 l/s (início às 11:50h)  |  |  | CP4           | CP3           | BP6          | CP2          | CP1              | CP5              |              |           | BP1          |           |           |           | CP6           | CP1          | CP6         |      |
| 24  | 2009-01-28 |  |  |  | CP4           | CP3           | BP6          | CP2          | CP1              | CP5              |              |           | BP1          |           |           |           | CP6           | CP1          | CP6         |      |
| 25  | 2009-01-29 |  |  |  | CP4           | CP3           | BP6          | CP2          | CP1              | CP5              |              |           | BP1          |           |           |           | CP6           | CP1          | CP6         |      |
| 26  | 2009-01-30 |  |  |  | CP4           | CP3           | BP6          | CP2          | CP1              | CP5              |              |           | BP1          |           |           |           | CP6           | CP1          | CP6         |      |
| 27  | 2009-01-31 |  |  |  | CP4           | CP3           | BP6          | CP2          | CP1              | CP5              |              |           | BP1          |           |           |           | CP6           | CP1          | CP6         |      |
| 28  | 2009-02-01 | Recuperação CB-8 (início às 11:50)           |  |  | CP4           | CP3           | BP6          | CP2          | CP1              | CP5              |              |           | BP1          |           |           |           | CP6           | CP1          | CP6         |      |
| 29  | 2009-02-02 |  |  |  | CP4 f / BP4 i | CP3 f / BP5 i | BP6          | CP2          | CP1 f / BP3 i    | CP5 f            |              |           | BP1          |           |           |           | CP6           | CP1          | CP6 f       |      |
| 30  | 2009-02-03 |  |  |  | BP4           | BP5           | BP6          | CP2          | BP3              |                  |              |           | BP1          |           |           |           | CP6           | CP1          |             |      |
| 31  | 2009-02-04 |  | Bombagem BBS Q = 25-15 l/s (início às 12:00)     |  | BP4           | BP5           | BP6          | CP2          | BP3              |                  |              |           | BP1          |           |           |           | CP6           | CP1          |             |      |
| 32  | 2009-02-05 |  |  |  | BP4           | BP5           | BP6          | CP2          | BP3              | CP5 i            | CP4i         |           | BP1 f / CP3i |           |           |           | CP6           | CP1 f / CP3i |             |      |
| 33  | 2009-02-06 |  |  |  | BP4           | BP5           | BP6          | CP2          | BP3              | CP5              | CP4          | CP3       |              |           |           |           | CP6           | CP1          |             |      |
| 34  | 2009-02-07 |  |  |  | BP4           | BP5           | BP6          | CP2          | BP3              | CP5              | CP4          | CP3       |              |           |           |           | CP6           | CP1          |             |      |
| 35  | 2009-02-08 | Bombagem CB-10 Q = 100 l/s (início às 11:03) | Recuperação BBS (início às 12:00)                |  | BP4           | BP5           | BP6          | CP2          | BP3              | CP5              | CP4          | CP3       |              |           |           |           | CP6           | CP1          |             |      |
| 36  | 2009-02-09 |  |  |  | BP4 f / AP4i  | BP5 f / AP5i  | BP6 f / AP7i | CP2          | BP3 f / AP3i     | CP5              | CP4          | CP3       |              |           |           |           | CP6           | CP1          |             |      |
| 37  | 2009-02-10 |  |  |  | AP4           | AP5           | AP7          | CP2          | AP3              | CP5              | CP4          | CP3       |              |           |           |           | CP6           | CP1          |             |      |
| 38  | 2009-02-11 |  |  |  | AP4           | AP5           | AP7          | CP2          | AP3              | CP5              | CP4          | CP3       |              |           |           |           | CP6           | CP1          |             |      |
| 39  | 2009-02-12 |  |  | Bombagem ABS Q = 30 l/s (início às 15:25)    | AP4           | AP5           | AP7          | CP2          | AP3              | CP5              | CP4          | CP3       |              |           |           |           | CP6           | CP1          |             |      |
| 40  | 2009-02-13 |  |  |  | AP4           | AP5           | AP7          | CP2          | AP3              | CP5              | CP4          | CP3       |              |           |           |           | CP6           | CP1          |             |      |
| 41  | 2009-02-14 |  |  |  | AP4           | AP5           | AP7          | CP2          | AP3              | CP5              | CP4          | CP3       |              |           |           |           | CP6           | CP1          |             |      |
| 42  | 2009-02-15 |  |  | Recuperação ABS (início às 15:25)            | AP4           | AP5           | AP7          | CP2          | AP3              | CP5              | CP4          | CP3       |              |           |           |           | CP6           | CP1          |             |      |
| 43  | 2009-02-16 |  |  |  | AP4           | AP5           | AP7          | CP2 f        | AP3              | CP5 f / AP2i     | CP4 f        | CP3 f     |              |           |           |           | CP6           | CP1 f / AP1i |             |      |
| 44  | 2009-02-17 |  |  | Bombagem AB-10 Q = 102 l/s (início às 17:10) | AP4 f / BP3i  | AP5           | AP7          | BP4i         | AP3 f / BP1i     | AP2              | AP4i         | AP3i      |              |           |           |           | CP6           | AP1          |             |      |
| 45  | 2009-02-18 |  |  |  | BP3           | AP5           | AP7          | BP4          | BP1              | AP2              | AP4          | AP3       |              |           |           |           | CP6           | AP1          |             |      |
| 46  | 2009-02-19 |  |  |  | BP3           | AP5           | AP7          | BP4          | BP1              | AP2              | AP4          | AP3       |              |           |           |           | CP6           | AP1          |             |      |
| 47  | 2009-02-20 |  | Bombagem BB-8 Q = 50 l/s (início às 11:45)       | Recuperação AB-10 (início às 17:10)          | BP3           | AP5           | AP7          | BP4          | BP1 f / BP5i     | AP2              | AP4          | AP3       |              |           |           |           | BP1i          | CP6          | AP1         |      |
| 48  | 2009-02-21 |  |  |  | BP3           | AP5           | AP7          | BP4          | BP5              | AP2              | AP4          | AP3       |              |           |           |           | BP1           | CP6          | AP1         |      |
| 49  | 2009-02-22 |  |  |  | BP3           | AP5           | AP7          | BP4          | BP5              | AP2              | AP4          | AP3       |              |           |           |           | BP1           | CP6          | AP1         |      |
| 50  | 2009-02-23 |  |  |  | BP3           | AP5           | AP7          | BP4          | BP5              | AP2              | AP4          | AP3       |              |           |           |           | BP1           | CP6          | AP1         |      |
| 51  | 2009-02-24 |  |  |  | BP3           | AP5           | AP7          | BP4          | BP5              | AP2              | AP4          | AP3       |              |           |           |           | BP1           | CP6          | AP1         |      |
| 52  | 2009-02-25 |  |  |  | BP3           | AP5           | AP7          | BP4          | BP5              | AP2              | AP4          | AP3       |              |           |           |           | BP1           | CP6          | AP1         |      |
| 53  | 2009-02-26 |  |  |  | BP3           | AP5           | AP7          | BP4          | BP5              | AP2              | AP4          | AP3       |              |           |           |           | BP1           | CP6          | AP1         |      |
| 54  | 2009-02-27 |  | Bombagem BB-10 Q = 100 l/s (início às 15:00)     |  | BP3 f / BP1i  | AP5           | AP7          | BP4          | BP5              | AP2              | AP4          | AP3       |              |           |           |           | BP1 f / BP3i  | CP6          | AP1 f       |      |
| 55  | 2009-02-28 |  |  |  | BP1           | AP5           | AP7          | BP4          | BP5              | AP2              | AP4          | AP3       |              |           |           |           | BP3           | CP6          | AP1         |      |
| 56  | 2009-03-01 |  |  |  | BP1           | AP5           | AP7          | BP4          | BP5              | AP2              | AP4          | AP3       |              |           |           |           | BP3           | CP6          | AP1         |      |
| 57  | 2009-03-02 |  | Recuperação BB-10 (início às 15:00)              |  | BP1           | AP5           | AP7          | BP4          | BP5              | AP2              | AP4 f / AP1i | AP3       |              |           |           |           | AP4i          | BP3          | CP6         |      |
| 58  | 2009-03-03 |  |  |  | BP1           | AP5           | AP7          | BP4          | BP5              | AP2              | AP1          | AP3       |              |           |           |           | AP4           | BP3          | CP6         |      |
| 59  | 2009-03-04 |  |  |  | BP1           | AP5           | AP7          | BP4          | BP5              | AP2              | AP1          | AP3       |              |           |           |           | AP4           | BP3          | CP6         |      |
| 60  | 2009-03-05 |  |  |  | BP1           | AP5           | AP7          | BP4          | BP5              | AP2              | AP1          | AP3       |              |           |           |           | AP4           | BP3          | CP6         |      |
| 61  | 2009-03-06 |  |  |  | BP1           | AP5           | AP7          | BP4          | BP5              | AP2              | AP1          | AP3       |              |           |           |           | BP6i          | AP4          | BP3         |      |
| 62  | 2009-03-07 |  | Bombagem BB total Q = 75 l/s (início às 18:15)   |  | BP1           | AP5           | AP7          | BP4          | BP5              | AP2              | AP1          | AP3       |              |           |           |           | BP6           | AP4          | BP3         |      |
| 63  | 2009-03-08 |  |  |  | BP1           | AP5           | AP7          | BP4          | BP5              | AP2              | AP1          | AP3       |              |           |           |           | BP6           | AP4          | BP3         |      |
| 64  | 2009-03-09 |  |  | Recuperação BB total (início às 18:15)       | BP1           | AP5 f / BP3i  | AP7 f / BP6i | BP4          | BP5              | AP2              | AP1 f        | AP3 f     |              |           |           |           | BP6 f         | AP4 f        | BP3 f       |      |
| 65  | 2009-03-10 |  |  |  | BP1           | BP3 f / AP5i  | BP6 f / AP7i | BP4 f / AP4i | BP5 f / AP3i     | AP2              |              |           |              |           |           |           |               | CP6          |             | AP1i |
| 66  | 2009-03-11 |  |  | Bombagem AB-8 Q = 40 l/s (início às 16:00)   | BP1           | AP5           | AP7          | AP4          | AP3              | AP2              |              |           |              |           |           |           |               |              | AP1         |      |
| 67  | 2009-03-12 |  |  |  | BP1           | AP5           | AP7          | AP4          | AP3              | AP2              |              |           |              |           |           |           |               |              | AP1         |      |
| 68  | 2009-03-13 |  |  |  | BP1           | AP5           | AP7          | AP4          | AP3              | AP2              |              |           |              |           |           |           |               |              | AP1         |      |
| 69  | 2009-03-14 |  |  |  | BP1           | AP5           | AP7          | AP4          | AP3              | AP2              | CP3          | CP5       | CP1          | CP2       | CP6       |           |               |              | AP1         |      |
| 70  | 2009-03-15 |  |  | Recuperação AB-8 (início às 15:33)           | BP1           | AP5           | AP7          | AP4          | AP3              | AP2              | CP3          | CP5       | CP1          | CP2       | CP6       |           |               |              | AP1         |      |
| 71  | 2009-03-16 |  |  |  | BP1           | AP5           | AP7          | AP4          | AP3              | AP2              | CP3          | CP5       | CP1          | CP2       | CP6       |           |               |              | AP1         |      |
| 72  | 2009-03-17 |  | Bombagem CB total Q = 76,1 l/s (início às 15:00) |  | BP1           | AP5           | AP7          | AP4          | AP3              | AP2              | CP3          | CP5       | CP1          | CP2       | CP6       |           |               |              | AP1         |      |
| 73  | 2009-03-18 |  |  |  | BP1           | AP5           | AP7          | AP4          | AP3              | AP2              | CP3          | CP5       | CP1          | CP2       | CP6       |           |               |              | AP1         |      |
| 74  | 2009-03-19 |  | Recuperação CB total (início às 15:00)           |  | BP1           | AP5           | AP7          | AP4          | AP3              | AP2              | CP3          | CP5       | CP1          | CP2       | CP6       |           |               |              | AP1         |      |
| 75  | 2009-03-20 |  |  |  | BP1           | AP5           | AP7          | AP4          | AP3              | AP2              | CP3          | CP5       | CP1          | CP2       | CP6       |           |               |              | AP1         |      |
| 76  | 2009-03-21 |  |  |  | BP1           | AP5           | AP7          | AP4          | AP3              | AP2              | CP3          | CP5       | CP1          | CP2       | CP6       |           |               |              | AP1         |      |
| 77  | 2009-03-22 |  |  |  | BP1           | AP5           | AP7          | AP4          | AP3              | AP2              | CP3          | CP5       | CP1          | CP2       | CP6       |           |               |              | AP1         |      |
| 78  | 2009-03-23 |  |  |  | BP1           | AP5           | AP7          | AP4          | AP3              | AP2              | CP3          | CP5       | CP1          | CP2       | CP6       |           |               |              | AP1         |      |

## 2. Zona A

Na zona A foram realizados três ensaios de bombagem, com bombagem no troço inferior do furo AB (AB-8), no troço intermédio do furo AB (AB-10) e no furo ABS.

### 2.1 Ensaio AB-8 (Furo AB – troço inferior)

#### 2.1.1 Observação de níveis e rebaixamentos

Início do ensaio: 2009-03-11; 16:00.

Início da recuperação: 2009-03-14; 15:33.

Paragem das medições da recuperação: 2009-03-16.

Caudal de extracção: variável devido a várias paragens da bomba durante o ensaio. O caudal médio de extracção foi de 40,20 l/s, com os caudais ao longo do tempo registados no Quadro 23.

Quadro 23 – Caudais do ensaio de bombagem AB-8

| Caudal (l/s) | Tempo até ao qual se regista o caudal referido (min após início do ensaio) |
|--------------|--|
| 54           | 14   |
| 40           | 1570   |
| 0            | 1593   |
| 40           | 2714   |
| 0            | 2732   |
| 40           | 2757   |
| 0            | 2787   |
| 40           | 3503   |
| 0            | 3516   |
| 40           | 4293   |
| 0            | 7173   |

Durante a bombagem do troço inferior do furo AB, os piezómetros AP1 e AP2 responderam à solicitação. O piezómetro AP2 (1,59 m), rebaixa muito menos que o piezómetro AP1 (8,18m), e depois da paragem da bombagem continua a rebaixar. Tal situação indicia escoamento vertical deste aquífero para as camadas solicitadas directamente pela bombagem.

O piezómetro AP3 e o troço intermédio do furo AB (AB-10) reagem aproximadamente da mesma forma, embora com rebaixamentos máximos de 20 cm. Os rebaixamentos registados no AB-10 são ligeiramente inferiores aos do AP3. Esta situação indicia escoamento vertical para as camadas directamente solicitadas pela bombagem.

O piezómetro AP4 exhibe o efeito de Noordbergum, reagindo inicialmente com uma subida do nível piezométrico, acabando por registar durante a bombagem um rebaixamento máximo de 8 cm em relação ao nível no início do ensaio, e continuando o nível a descer durante 24 horas após a paragem da bombagem.

Na fase de bombagem, os piezómetros AP5, AP6, AP7 e o furo ABS reagem quer com subidas quer com descidas de níveis, no máximo de 5 cm, reagindo às paragens e arranques da bomba durante este ensaio. O piezómetro AP7 mostra alguma tendência de descida (máximo 5 cm), mas, uma vez que se situa acima do furo ABS e este não revela este comportamento, esta descida não deverá estar directamente relacionada com o ensaio.

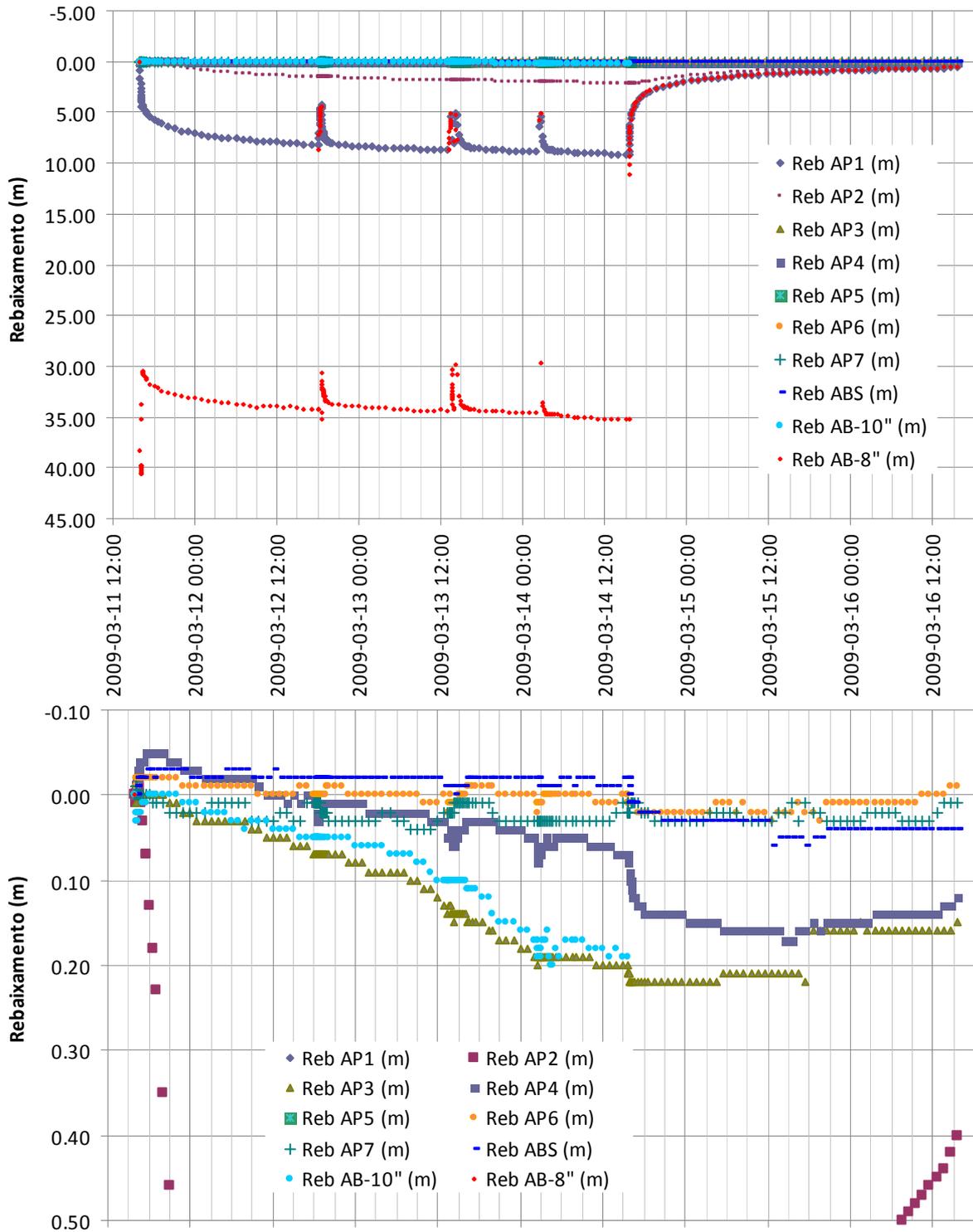


Fig. 42 – Rebaixamentos do ensaio AB-8

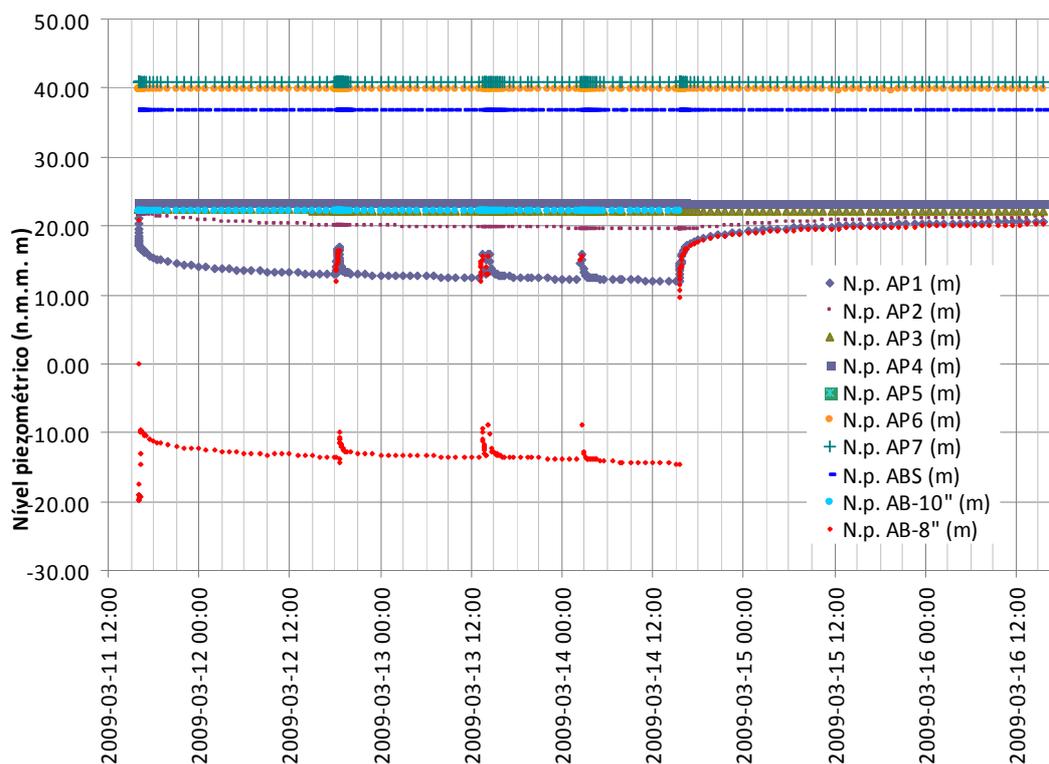


Fig. 43 – Níveis piezométricos observados durante o ensaio AB-8

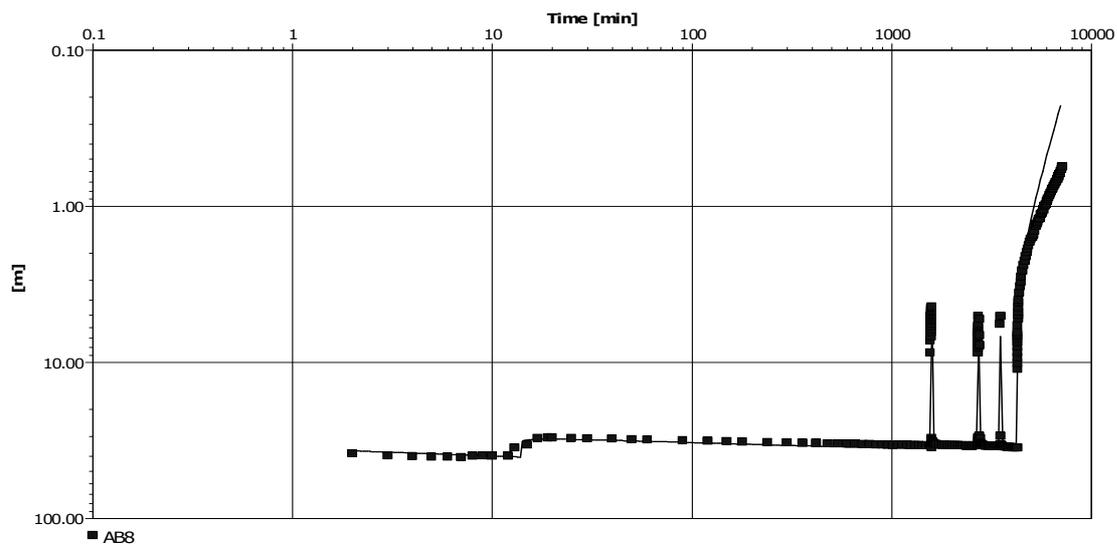
### 2.1.2 Interpretação do ensaio

O piezómetro correspondente à bombagem do troço inferior do furo AB (AB-8) é o AP1. As interpretações das bombagens foram feitas considerando o método de Hantush, com caudal variável de acordo com as paragens da bomba (Quadro 23), que permitiu fazer bons ajustamentos aos dados do ensaio (Fig. 44 e Fig. 45). As Fig. 46 e Fig. 47 mostram os resultados da recuperação.

Os resultados obtidos estão sumarizados no Quadro 24.

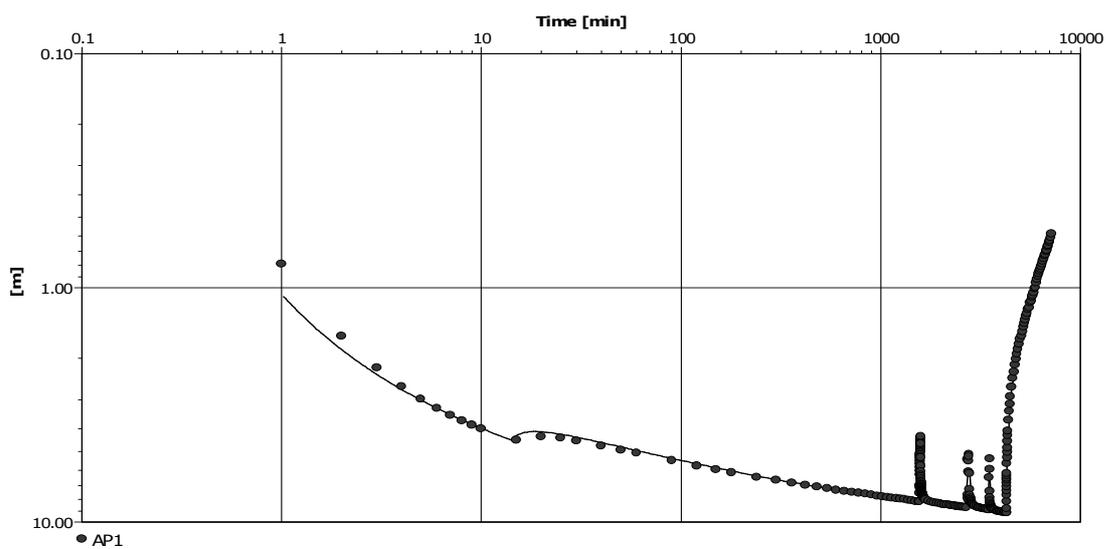
Quadro 24 – Resultados da interpretação do ensaio AB-8

| Furo/Piez | NHE (m) | NHD (m) | Rebaix (m) | Caudal Esp (l/s/m) | Método            | T (m <sup>2</sup> /d) | S (-)   | c (min)  |
|-----------|---------|---------|------------|--------------------|-------------------|-----------------------|---------|----------|
| AB-8      | 42,90   | 78,18   | 35,28      | 1,14               | Hantush           | 200                   | -       | 1,67E+10 |
| AP1       | 42,71   | 51,85   | 9,14       |                    | Hantush           | 253                   | 9,82E-5 | 1,02E+8  |
| AB-8      |         |         |            |                    | Recuperação Theis | 216                   |         |          |
| AP1       |         |         |            |                    | Recuperação Theis | 247                   |         |          |



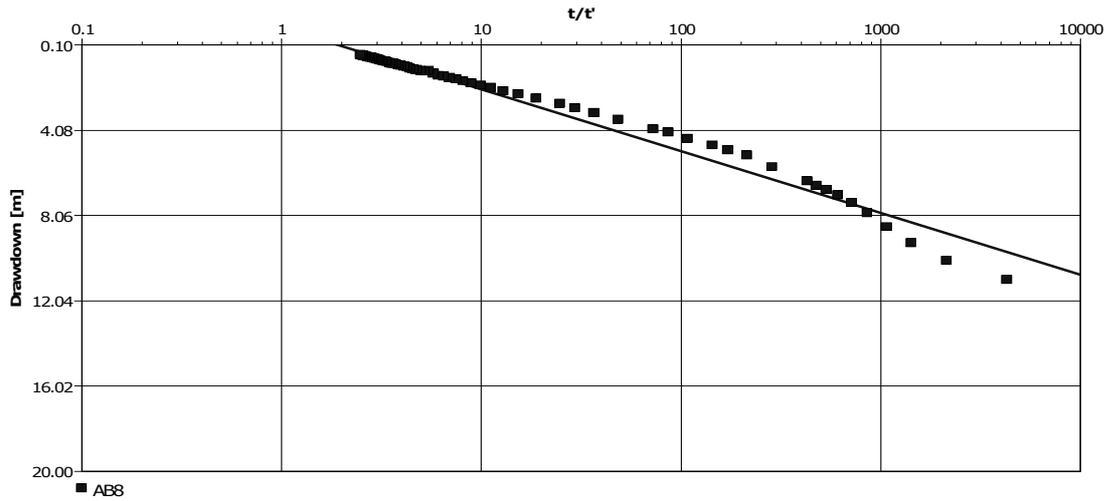
$T = 200\text{m}^2/\text{dia}$                        $S = 1.46\text{e-}7$                        $c = 1.67\text{e}10$

Fig. 44 – Interpretação do ensaio de bombagem AB-8, rebaixamentos no troço inferior do furo AB, método de Hantush



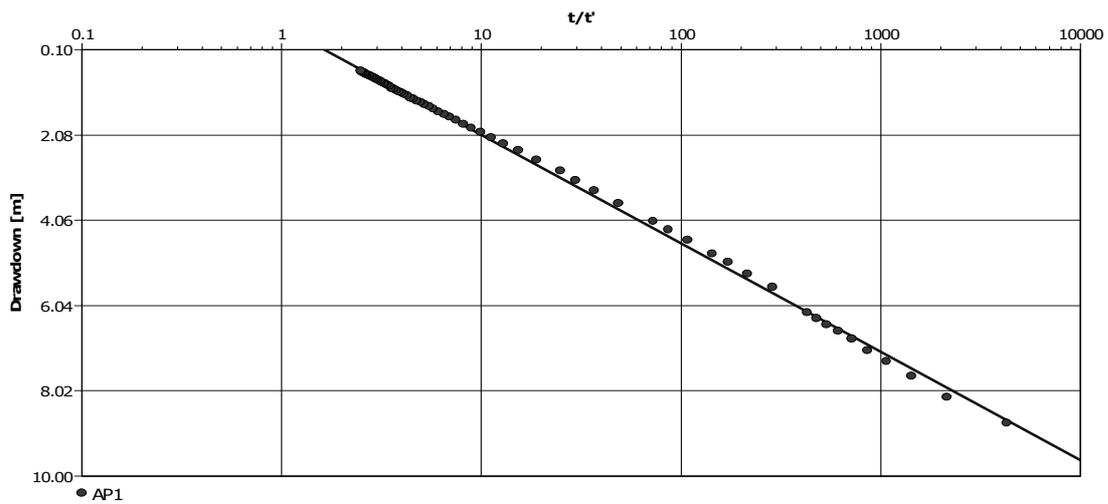
$T = 253\text{m}^2/\text{dia}$                        $S = 9.82\text{e-}5$                        $c = 1.02\text{e}8$

Fig. 45 – Interpretação do ensaio de bombagem AB-8, rebaixamentos no piezómetro AP1, método de Hantush



$T = 216 \text{m}^2/\text{dia}$

Fig. 46 – Interpretação da recuperação do ensaio de bombagem AB-8, rebaixamentos no trecho inferior do furo AB



$T = 247 \text{m}^2/\text{dia}$

Fig. 47 – Interpretação da recuperação do ensaio de bombagem AB-8, rebaixamentos no piezômetro AP1

## **2.2 Ensaio AB-10 (Furo AB – troço intermédio)**

### 2.2.1 Observação de níveis e rebaixamentos

Início do ensaio: 2009-02-17; 17:10.

Início da recuperação: 2009-02-20; 17:10.

Paragem das medições da recuperação: 2009-02-22.

Caudal de extracção: 102 l/s.

Durante a bombagem do troço intermédio do furo AB, o piezómetro AP3 respondeu à solicitação, com rebaixamentos que atingem os 5,62 m.

Todos os piezómetros, excepto o AP3, o troço inferior do furo AB (AB-8) e o furo ABS apresentam no início do ensaio subida dos respectivos níveis. O AP6 e o ABS inclusivamente estão sempre a subir, só recuperando um pouco após a paragem da bomba, mas continuando a sua tendência de subida nos tempos seguintes.

O piezómetro AP4 começa por subir o nível, apresentando o seu máximo de subida (9 cm) aos 30 min de ensaio, e começando a baixar em relação ao seu nível inicial após os 120 min, atingindo o seu rebaixamento máximo também 30 min após a paragem da bomba. Este é o piezómetro que apresenta maiores rebaixamentos (para além do AP3).

O AP2 chega a atingir um rebaixamento máximo de 64 cm, 480 min após a paragem da bombagem. O AP1 atinge um valor máximo de rebaixamento de 39 cm, 29 horas após a paragem da bomba. O troço inferior do furo AB (AB-8) rebaixa menos do que o piezómetro AP1 embora apresente uma evolução de níveis semelhante. Estes factos indiciam escoamento vertical entre as camadas intersectadas pelos piezómetros AP2 e AP1 e a camada solicitada pela bombagem, não transparecendo passagem através da própria captação uma vez que os rebaixamentos observados no troço inferior da mesma (AB-8) são inferiores.

Os piezómetros AP5, AP6, AP7 e o furo ABS apresentam reacções semelhantes entre si que no entanto são distintas das reacções dos restantes piezómetros do ensaio, não demonstrando conexão hidráulica com as camadas ensaiadas.

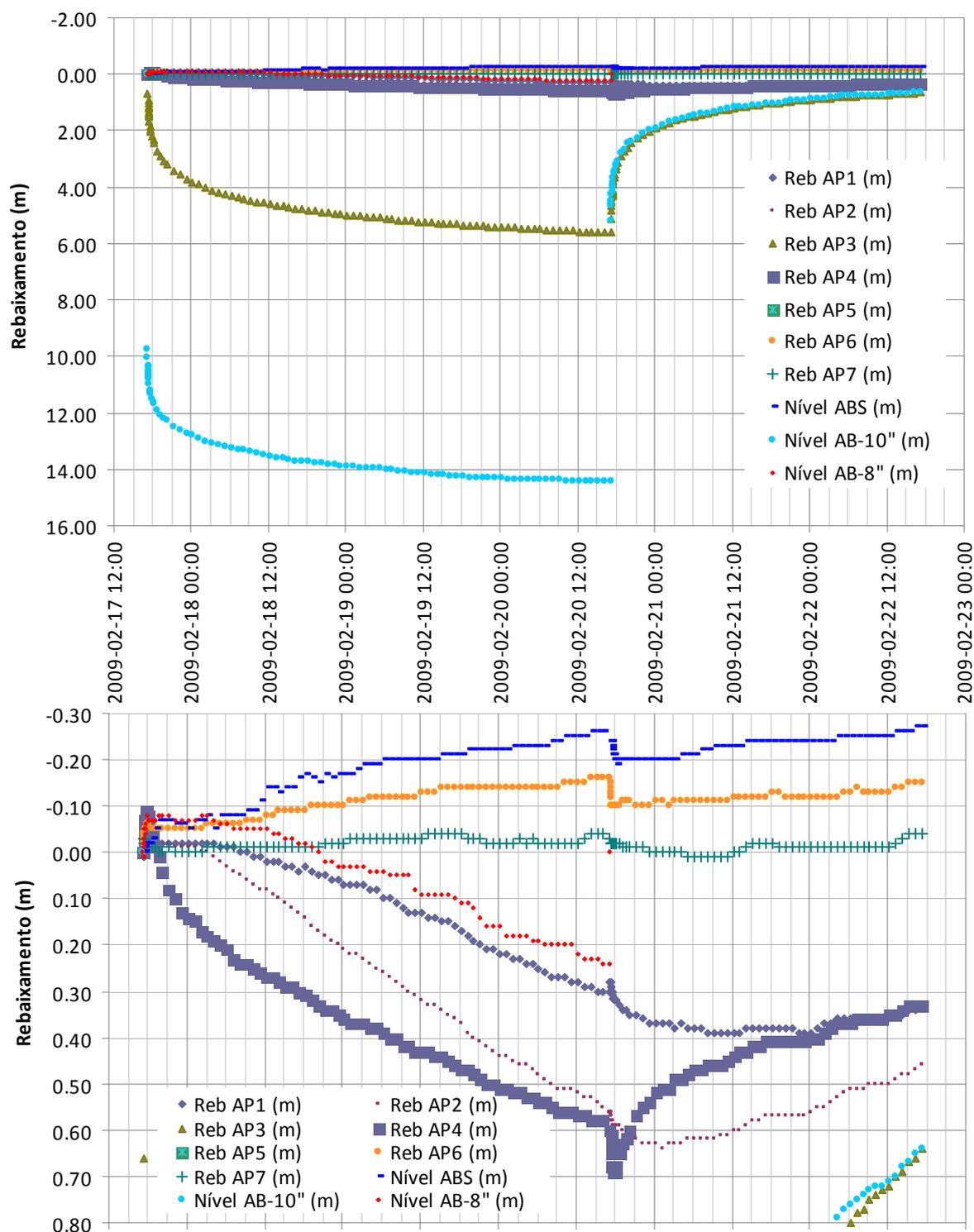


Fig. 48 – Rebaixamentos do ensaio AB-10

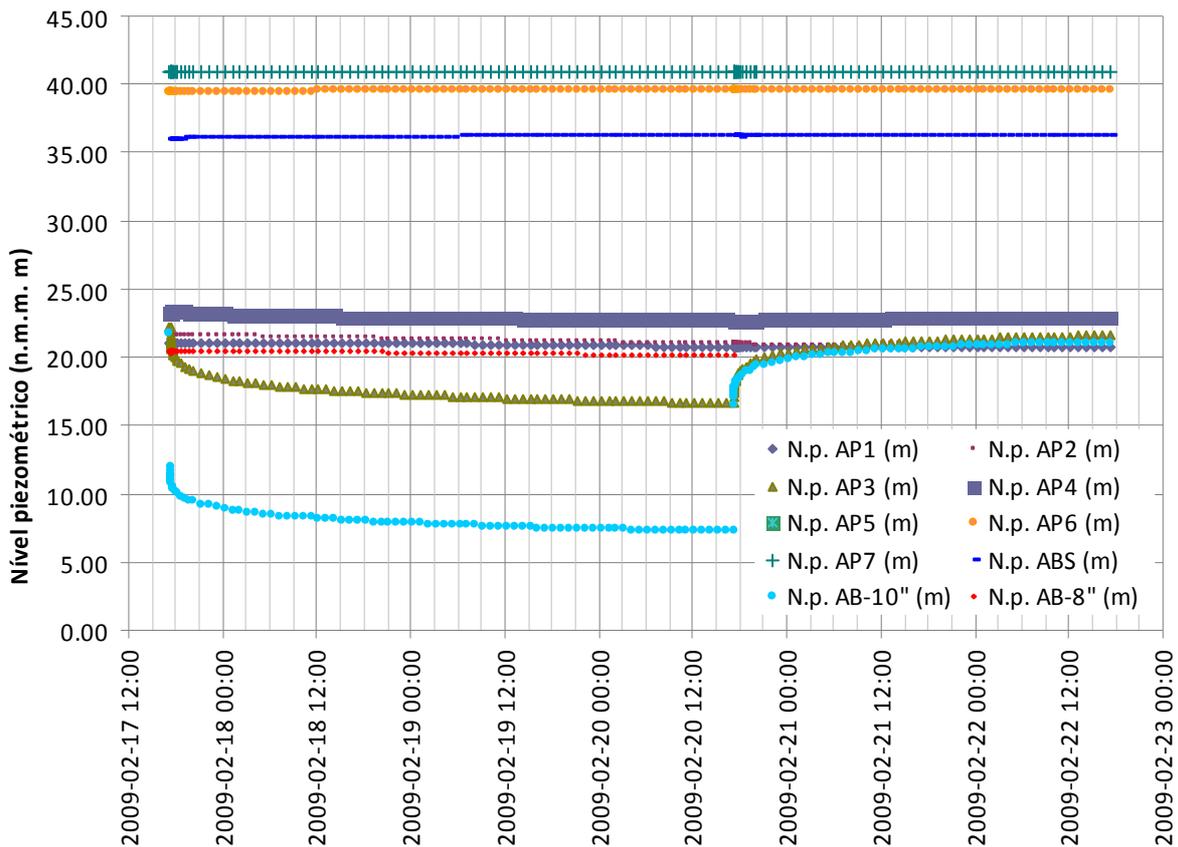


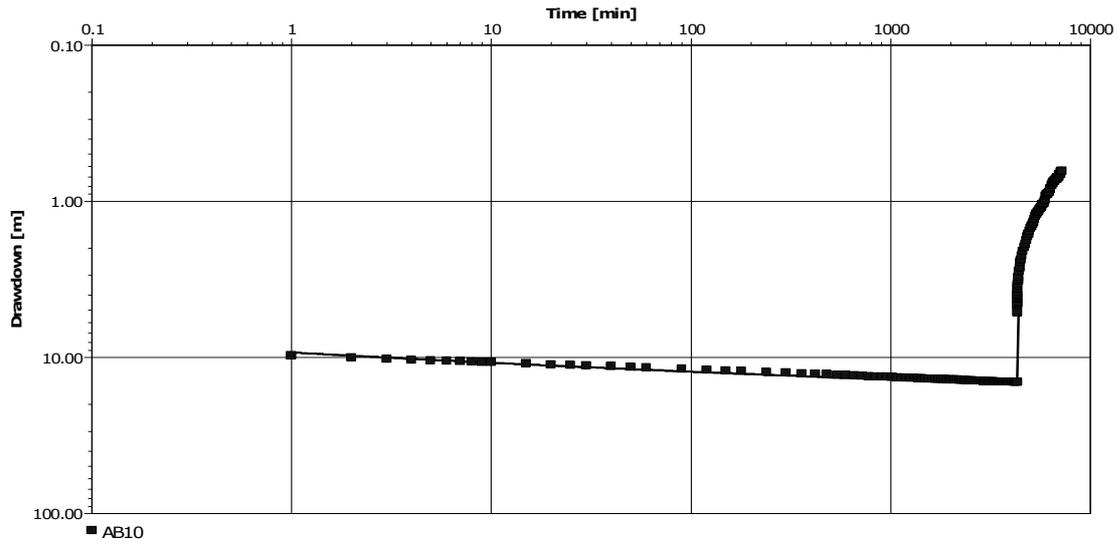
Fig. 49 – Níveis piezométricos observados durante o ensaio AB-10

## 2.2.2 Interpretação do ensaio

O piezómetro que mede as camadas aquíferas solicitadas pela bombagem no troço intermédio do furo AB é o AP3. Neste caso tanto o método de Theis como o de Hantush deram bons resultados na interpretação dos ensaios, embora o método de Hantush tenha produzido um melhor ajuste na parte de caudal nulo (correspondente à recuperação) dos registos no piezómetro AP3. Os resultados da interpretação do ensaio sumarizam-se no Quadro 25. As Fig. 50 a Fig. 55 mostram os ajustamentos realizados.

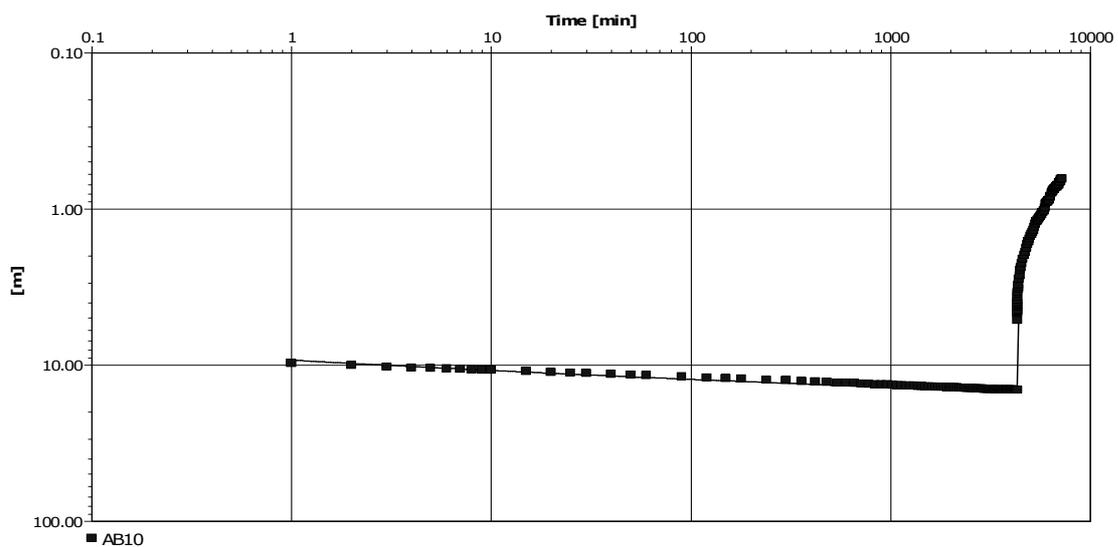
Quadro 25 – Resultados da interpretação do ensaio AB-10

| Furo/Piez | NHE (m) | NHD (m) | Rebaix (m) | Caudal Esp (l/s/m) | Método            | T (m <sup>2</sup> /d) | S (-)   | c (min) |
|-----------|---------|---------|------------|--------------------|-------------------|-----------------------|---------|---------|
| AB-10     | 41,94   | 56,38   | 14,44      | 6,93               | Theis             | 1040                  | -       |         |
|           |         |         |            |                    | Hantush           | 1040                  | -       | 4,94E+9 |
| AP3       | 41,69   | 47,31   | 5,62       |                    | Theis             | 1100                  | 5,36E-4 |         |
|           |         |         |            |                    | Hantush           | 1050                  | 5,36E-4 | 2,89E+8 |
| AB-10     |         |         |            |                    | Recuperação Theis | 1100                  |         |         |
| AP3       |         |         |            |                    | Recuperação Theis | 1070                  |         |         |



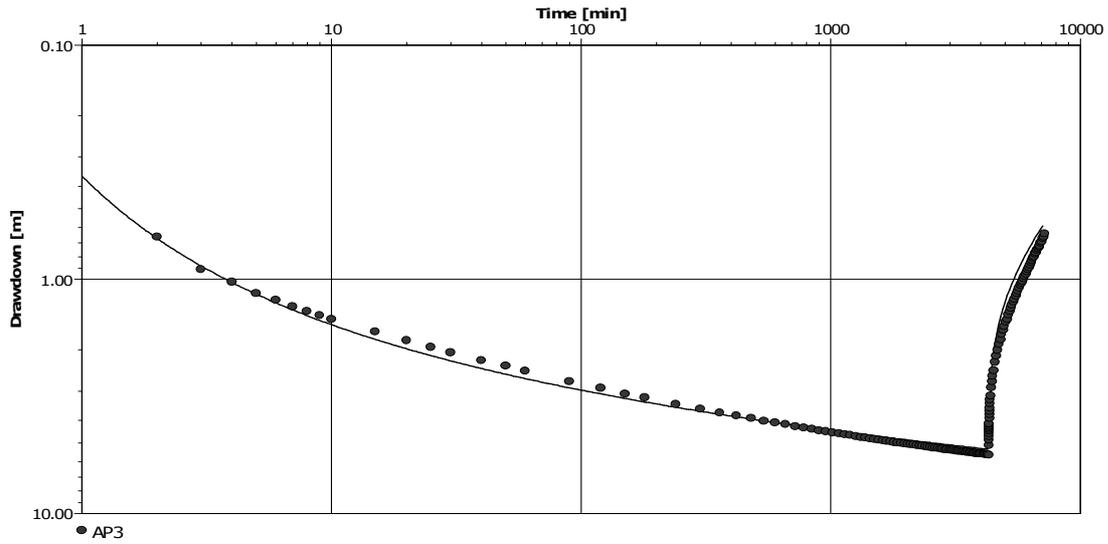
$T = 1040\text{m}^2/\text{dia}$        $S = 7.74\text{e-}5$

Fig. 50 – Interpretação do ensaio de bombagem AB-10, rebaixamentos no trecho intermédio do furo AB, método de Theis



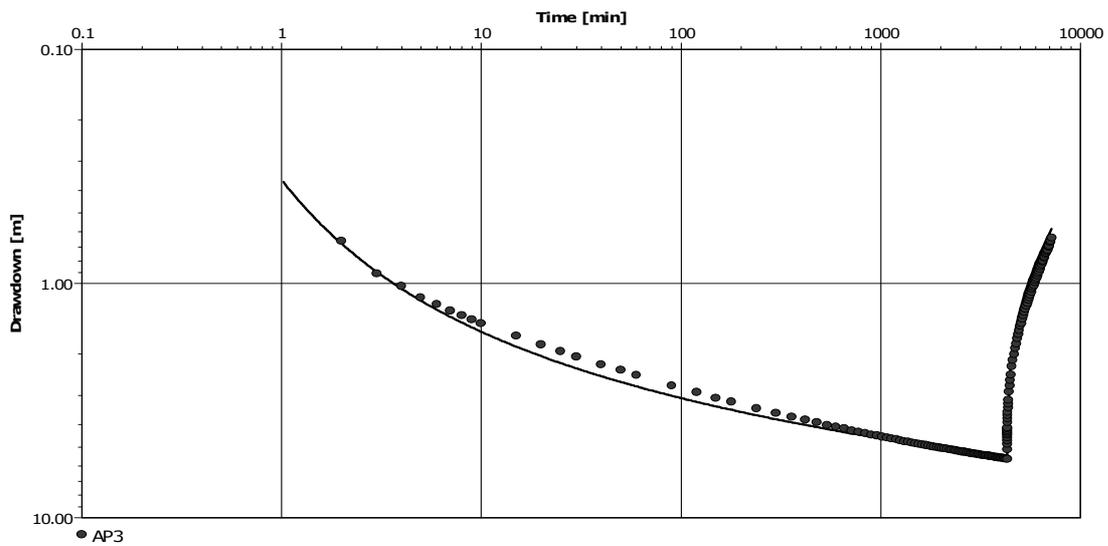
$T = 1040\text{m}^2/\text{dia}$        $S = 7.92\text{e-}5$        $c = 4.94\text{e}9$

Fig. 51 – Interpretação do ensaio de bombagem AB-10, rebaixamentos no trecho intermédio do furo AB, método de Hantush



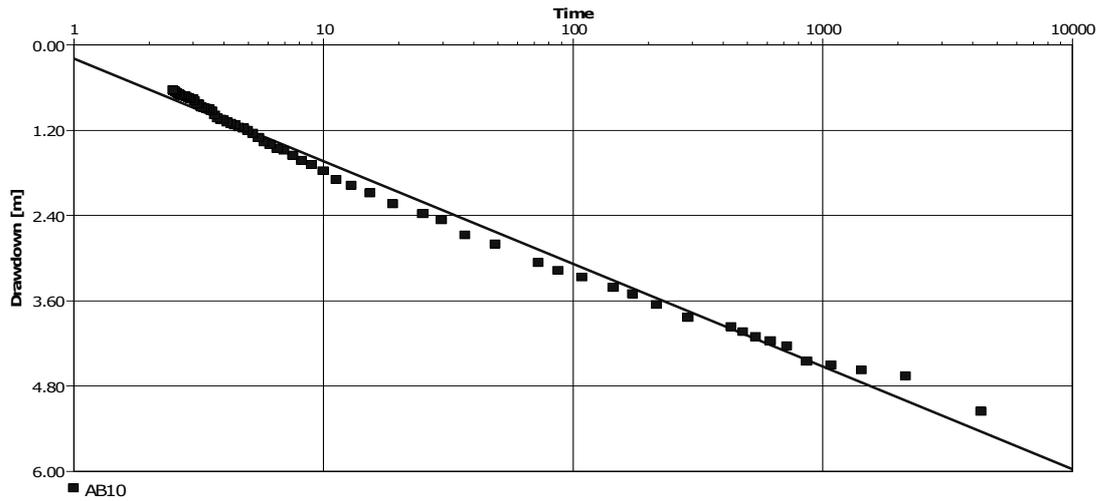
$T = 1100\text{m}^2/\text{dia}$        $S = 5.36\text{e-}4$

Fig. 52 – Interpretação do ensaio de bombagem AB-10, rebaixamentos no piezómetro AP3, método de Theis



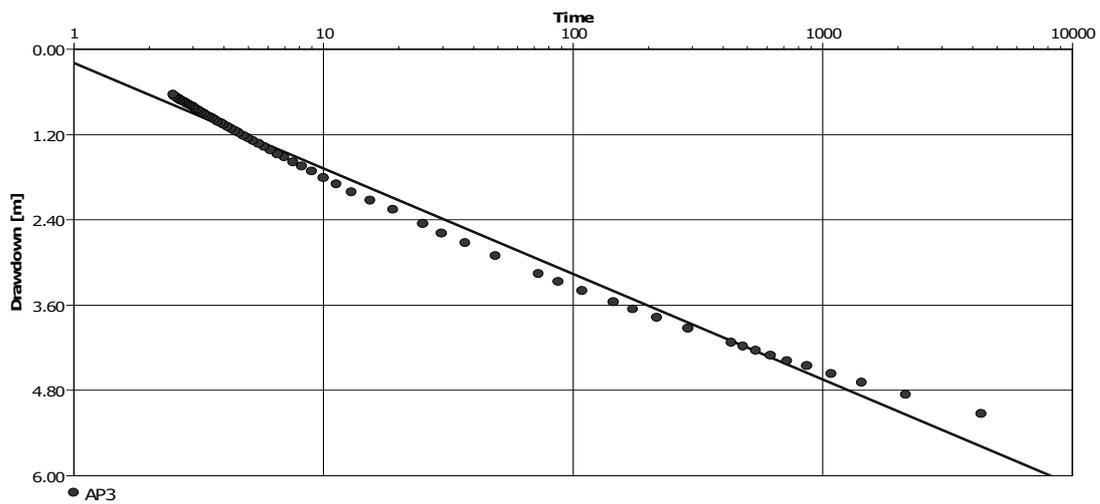
$T = 1050\text{m}^2/\text{dia}$        $S = 5.36\text{e-}4$        $c = 2.89\text{e}8$

Fig. 53 – Interpretação do ensaio de bombagem AB-10, rebaixamentos no piezómetro AP3, método de Hantush



$T=1100\text{m}^2/\text{dia}$

Fig. 54 – Interpretação da recuperação do ensaio de bombagem AB-10, rebaixamentos no troço intermédio do furo AB



$T=1070\text{m}^2/\text{dia}$

Fig. 55 – Interpretação da recuperação do ensaio de bombagem AB-10, rebaixamentos no piezómetro AP3

## 2.3 Ensaio ABS (Furo ABS)

### 2.3.1 Observação de níveis e rebaixamentos

Início do ensaio: 2009-02-11; 15:25.

Início da recuperação: 2009-02-14; 15:25.

Paragem das medições da recuperação: 2009-02-16.

Caudal de extracção: 30 l/s.

A extracção de água no furo ABS (rebaixamento de 17,95 m) provoca rebaixamentos importantes (máximo de 3,41 m) no piezómetro AP6 (e AP5 que lê os mesmos níveis).

O piezómetro AP7 é o que a seguir apresenta os maiores rebaixamentos, que atingem no máximo 23 cm. Esta situação, embora não apresente rebaixamentos elevados, revela alguma ligação hidráulica com as camadas ensaiadas. Apesar do piezómetro se situar ao lado da captação, pensa-se que a ligação hidráulica se faz por escoamento vertical através das camadas geológicas, ou através do maciço filtrante instalado nos próprios piezómetros AP5 e AP6.

Mais uma vez o piezómetro AP4 revela o efeito de Noordbergum, com níveis sempre superiores ao nível medido antes do início do ensaio durante toda a bombagem, e com o efeito contrário, i.e. ocorrência de níveis inferiores ao nível inicial, imediatamente após a paragem da bombagem. A subida máxima observada foi de 12 cm e o rebaixamento máximo observado foi de 8 cm.

Os níveis observados nos restantes piezómetros (AP1, AP2 e AP3) subiram sempre durante o ensaio, baixaram um pouco após a paragem da bombagem e depois continuaram a subir, pondo-se a hipótese de ainda estarem a recuperar de bombagens realizadas anteriormente nas camadas que medem e, como tal, não revelando conexão hidráulica com as camadas bombeadas.

Neste ensaio não foram observados os níveis no furo AB.

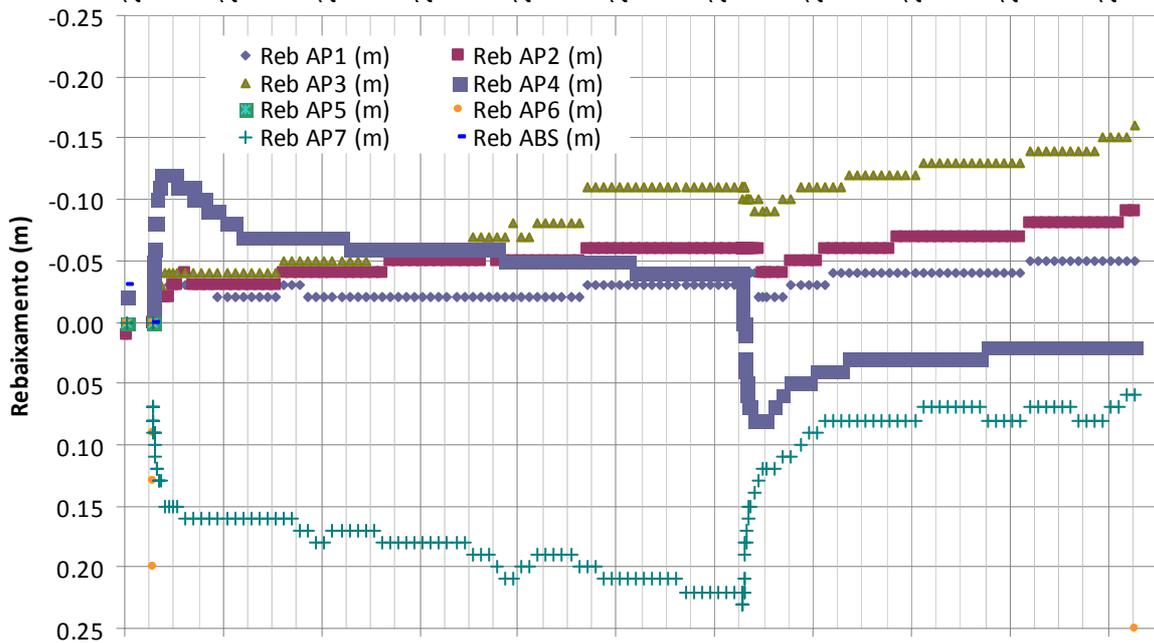
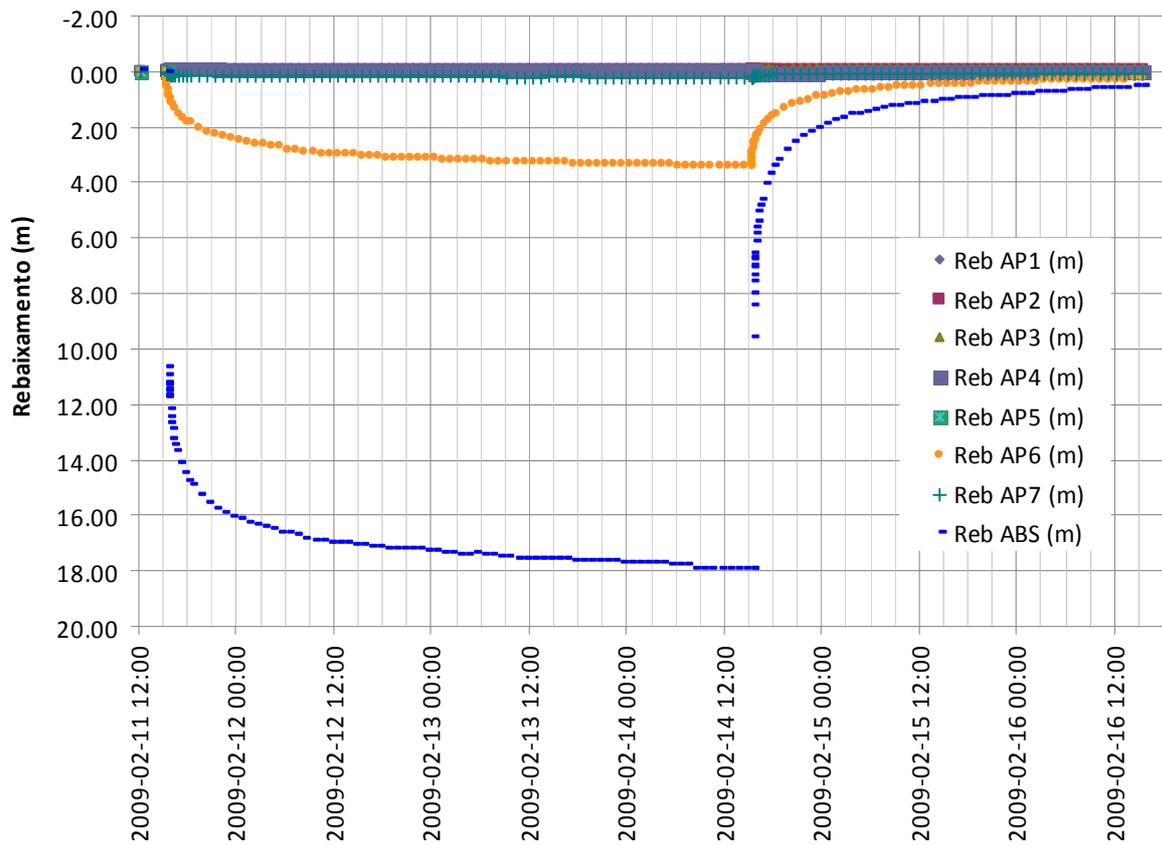


Fig. 56 – Rebaixamentos do ensaio ABS

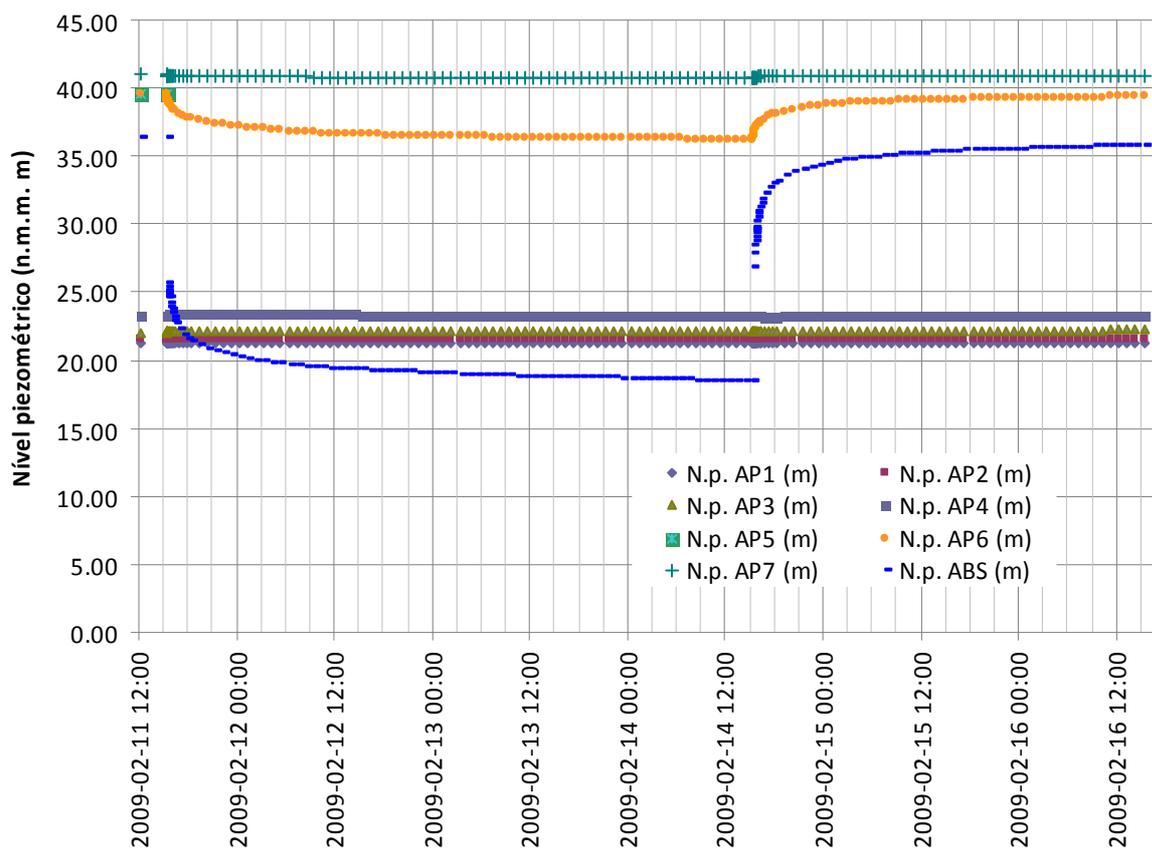


Fig. 57 – Níveis piezométricos observados durante o ensaio ABS

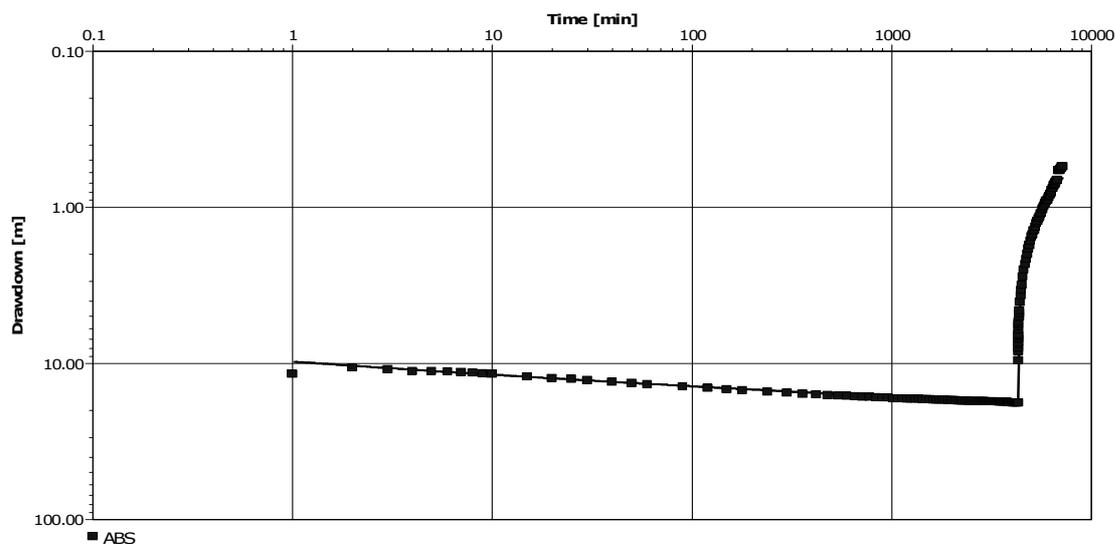
### 2.3.2 Interpretação do ensaio

As camadas solicitadas pelo furo de bombagem ABS são monitorizadas igualmente pelos piezómetros AP5 e AP6, pelo que apenas um deles é suficiente para traduzir a reacção do sistema aquífero à bombagem. Contudo, refira-se que estes piezómetros medem também a camada aquífera superior pelo que o resultado da análise do ensaio nestes piezómetros utilizando os métodos seleccionados sobreavaliaria a transmissividade. O piezómetro AP7 mede exclusivamente a camada superior do aquífero e o ensaio de bombagem revela que a conexão entre as camadas solicitadas e a camada superior do sistema aquífero é relativamente baixa nesta zona. Sendo assim, os rebaixamentos medidos nos piezómetros AP5 e AP6 são menores do que aqueles que seriam observados se não estivessem também a medir a camada superior, constituindo os próprios piezómetros um local pontual de passagem de água entre a camada aquífera superior e as camadas aquíferas subjacentes.

A reacção observada significa que as camadas solicitadas pelo ensaio se apresentam semi-confinadas, embora os registos dos piezómetros sejam uma mistura de aquífero livre e de aquífero semi-confinado. Dada a configuração dos piezómetros e apesar de se ter explorado a interpretação do ensaio com os vários métodos disponíveis, apenas se apresenta a interpretação dos dados observados no furo de bombagem ABS, utilizando o método de Hantush para aquífero semi-confinado, por ser o que reúne as melhores condições de aplicação. Apresenta-se também a interpretação da recuperação pelo método de Theis. Os valores obtidos são apresentados no Quadro 26. As Fig. 58 e Fig. 59 representam os ajustamentos realizados.

Quadro 26 – Resultados da interpretação do ensaio ABS

| Furo/<br>Piez | NHE<br>(m) | NHD<br>(m) | Rebaix<br>(m) | Caudal Esp<br>(l/s/m) | Método      | T<br>(m <sup>2</sup> /d) | S (-) | c (min) |
|---------------|------------|------------|---------------|-----------------------|-------------|--------------------------|-------|---------|
| ABS           | 27,58      | 45,53      | 17,95         | 1,67                  | Hantush     | 186                      | -     | 3,1E+6  |
| ABS           |            |            |               |                       | Recuperação | 177                      |       |         |

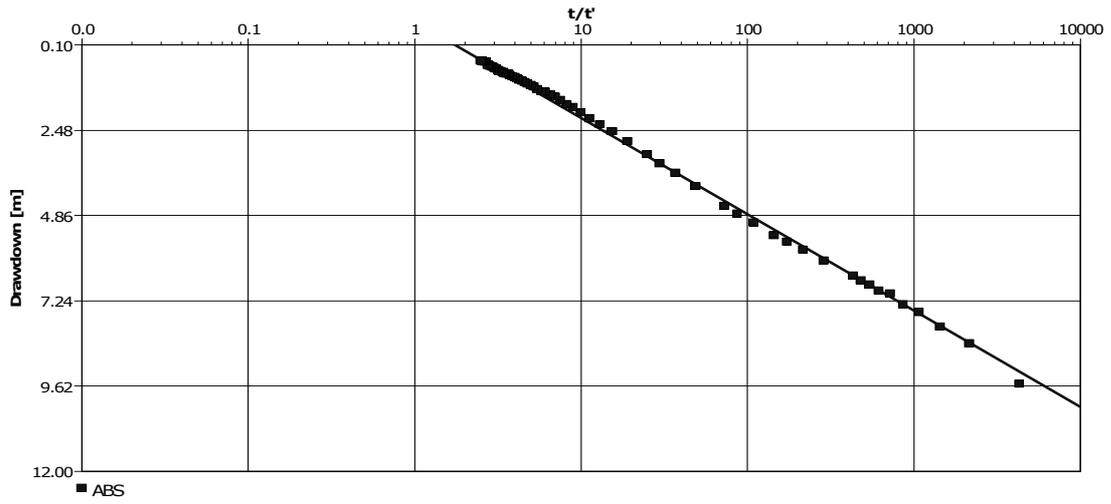


T= 186 m<sup>2</sup>/dia

S=2.89e-3

c = 3,13E+6

Fig. 58 – Interpretação dos rebaixamentos do ensaio de bombagem ABS, método de Hantush



$T=177\text{m}^2/\text{dia}$

Fig. 59 – Interpretação dos rebaixamentos da recuperação do ensaio de bombagem ABS

## 2.4 Interpretação dos valores das sondas CTD

Foram efectuados registos, nos piezómetros, dos parâmetros físico-químicos CE e T para análise de: (1) valores de referência (piezómetros AP1, AP3, AP4 e AP5) e (2) valores durante o período de influência do ensaio de caudal AB-10 (piezómetros AP3 e AP4). O Quadro 22 e a Fig. 60 apresentam os resultados obtidos.

A análise do Quadro 22 e das Fig. 60 e Fig. 49 permite retirar as seguintes conclusões:

- Os valores de referência de CE apresentam-se, em cada piezómetro, estáveis ao longo do período de registo e são idênticos aos medidos em laboratório.
- Os valores de referência de CE apresentam diferenças entre níveis hidrogeológicos, regra geral diminuindo dos estratos mais profundos para os mais superficiais, i.e.: AP1 (todo o período de tempo) varia entre 0,36 e 0,37 mS/cm (laboratório: 0,366 mS/cm); AP3 (de 23/02/2009 a 09/03/2009) varia entre 0,23 e 0,24 mS/cm (laboratório: 0,252 mS/cm); AP4 (de 23/02/2009 a 09/03/2009) varia entre 0,28 e 0,29 mS/cm (laboratório: 0,278 mS/cm); AP5 (todo o período de tempo) varia entre 0,13 e 0,16 mS/cm (laboratório: 0,151 mS/cm).
- Os valores de CE foram registados durante o período de influência do ensaio de caudal AB-10, nos piezómetros AP3 e AP4, para o período de 17/02/2009 a 22/02/2009, i.e. no período onde se registou uma diminuição dos níveis piezométricos e posterior recuperação (Fig. 49). A observação da Fig. 60 (AP3 e AP4) permite concluir que não se registam alterações, pelo que não se observa, do ponto de vista físico-químico, qualquer efeito de drenância de água induzida pelos ensaios de caudal, o que se traduziria numa diminuição da CE causada pela mistura com águas menos mineralizadas do estrato suprajacente.
- Os valores de temperatura variam, em todos piezómetros, entre 18,5° e 19°C, quer nos períodos de referência quer durante os ensaios. Não permitem retirar quaisquer conclusões por não haver diferenças.

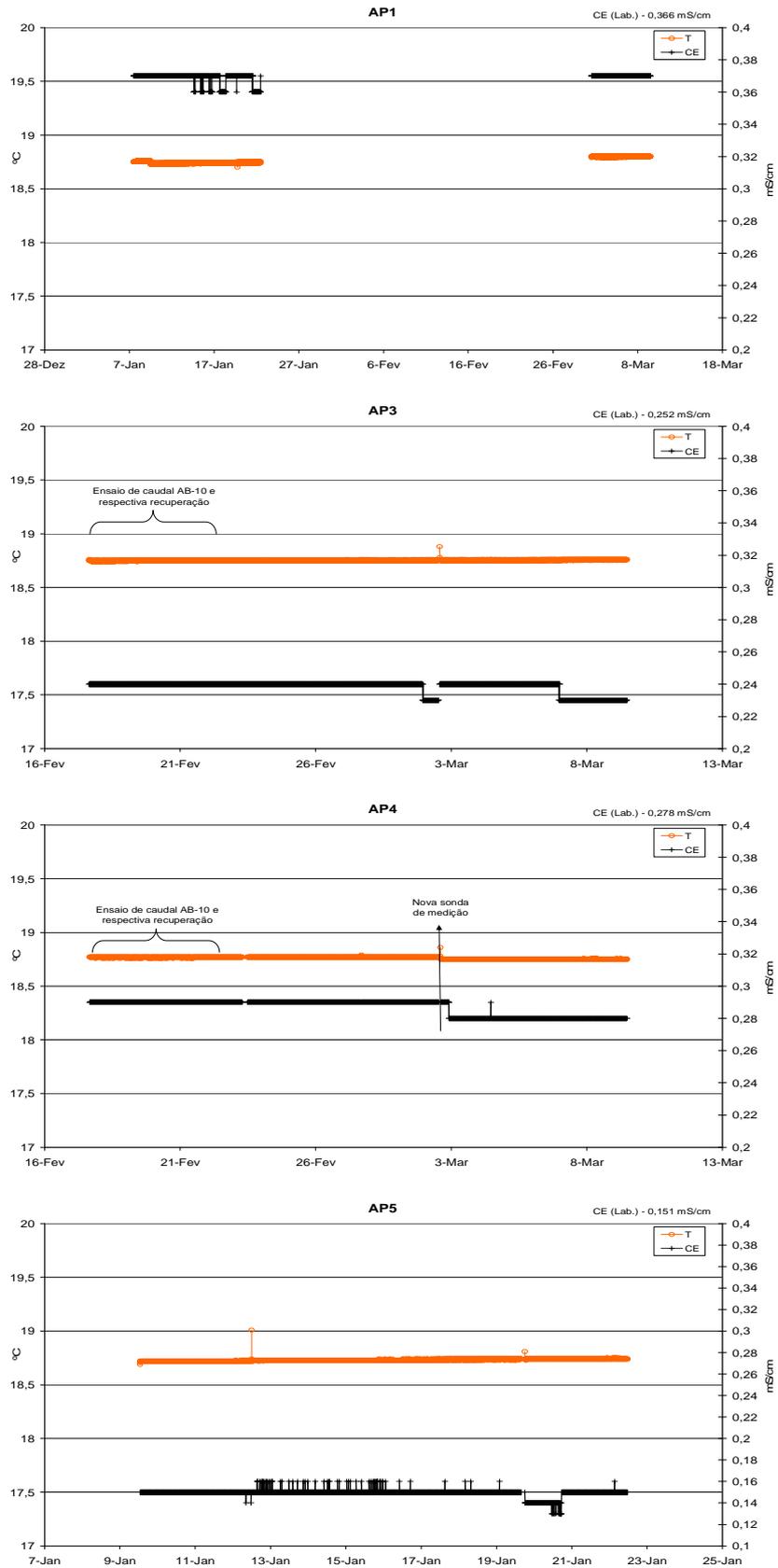


Fig. 60 - Valores de condutividade eléctrica e de temperatura em piezómetros, Zona A

### **3. Zona B**

Na zona B foram realizados quatro ensaios de bombagem, com bombagem no troço inferior do furo BB (BB-8), no troço intermédio do furo BB (BB-10), no furo BBS e na totalidade do furo BB.

Questões relacionadas com a construção do piezómetro BP2 fizeram com que este piezómetro apresentasse um comportamento atípico durante os ensaios de bombagem. Por esse motivo, apesar de os registos efectuados estarem representados nas figuras, este piezómetro não foi considerado na análise efectuada.

#### **3.1 Ensaio BB-8 (Furo BB – troço inferior)**

##### **3.1.1 Observação de níveis e rebaixamentos**

Início do ensaio: 2009-02-20; 11:45.

Início da recuperação: 2009-02-23; 11:45.

Paragem das medições da recuperação: 2009-02-25.

Caudal de extracção: 49 l/s.

O ensaio realizado por extracção de água na parte inferior do furo BB (rebaixamento máximo de 14,79 m) fez sentir os seus efeitos nos piezómetros BP1 e BP2.

O piezómetro BP4 também reagiu, com rebaixamento máximo de 74 cm. Este piezómetro reagiu mais do que o piezómetro BP3, que se situa entre as camadas medidas pelo piezómetro BP4 e as camadas ensaiadas. Tal facto pode dever-se à espessura das camadas medidas por cada um dos piezómetros.

O piezómetro BP3 regista um rebaixamento máximo de 35 cm que ocorre já depois da paragem da bombagem.

O troço intermédio do furo (BB-10) apresenta rebaixamentos máximos de 50 cm. Até às 13 horas de ensaio apresenta um rebaixamento semelhante ao do piezómetro BP3. A partir deste tempo a diferença de rebaixamentos entre o BB-10 e o BP3 vai aumentando a uma taxa aproximadamente constante, o que pode denotar escoamento vertical através das camadas

geológicas, que é tanto maior quanto mais próximo se está da captação por haver um gradiente hidráulico vertical maior à medida que se está mais próximo da captação.

Os piezómetros BP5 e BP6 não apresentam variações significativas.

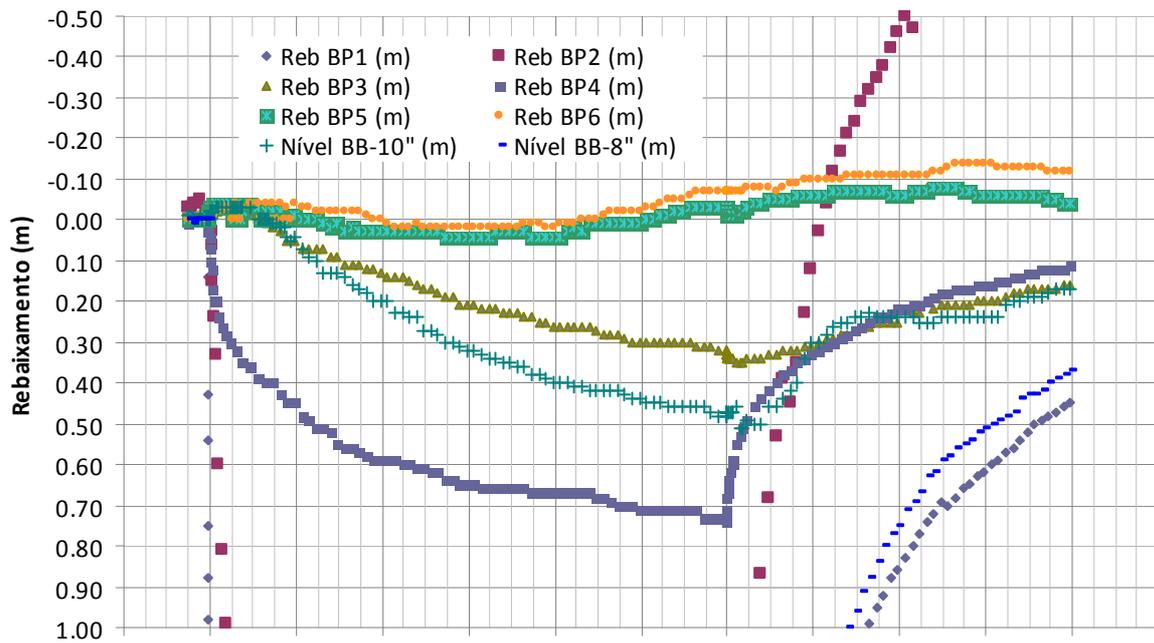
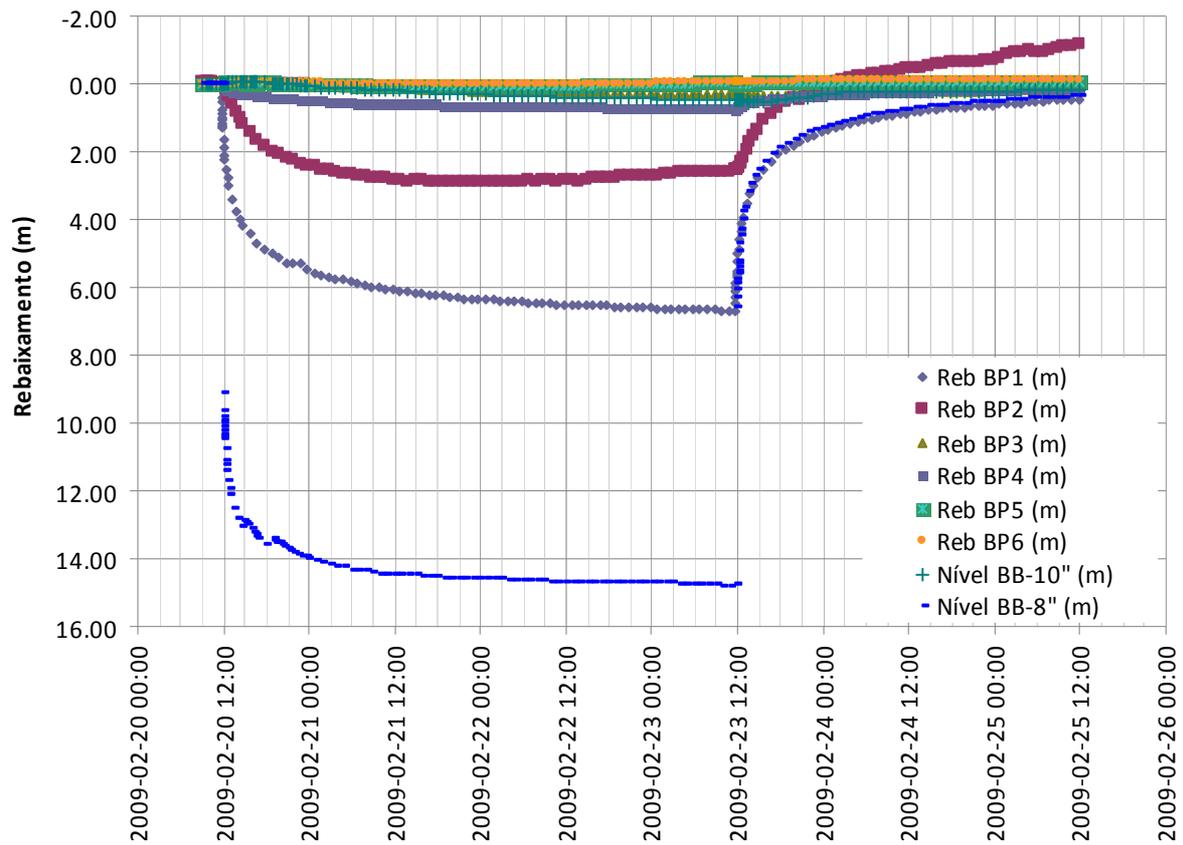


Fig. 61 – Rebaixamentos do ensaio BB-8

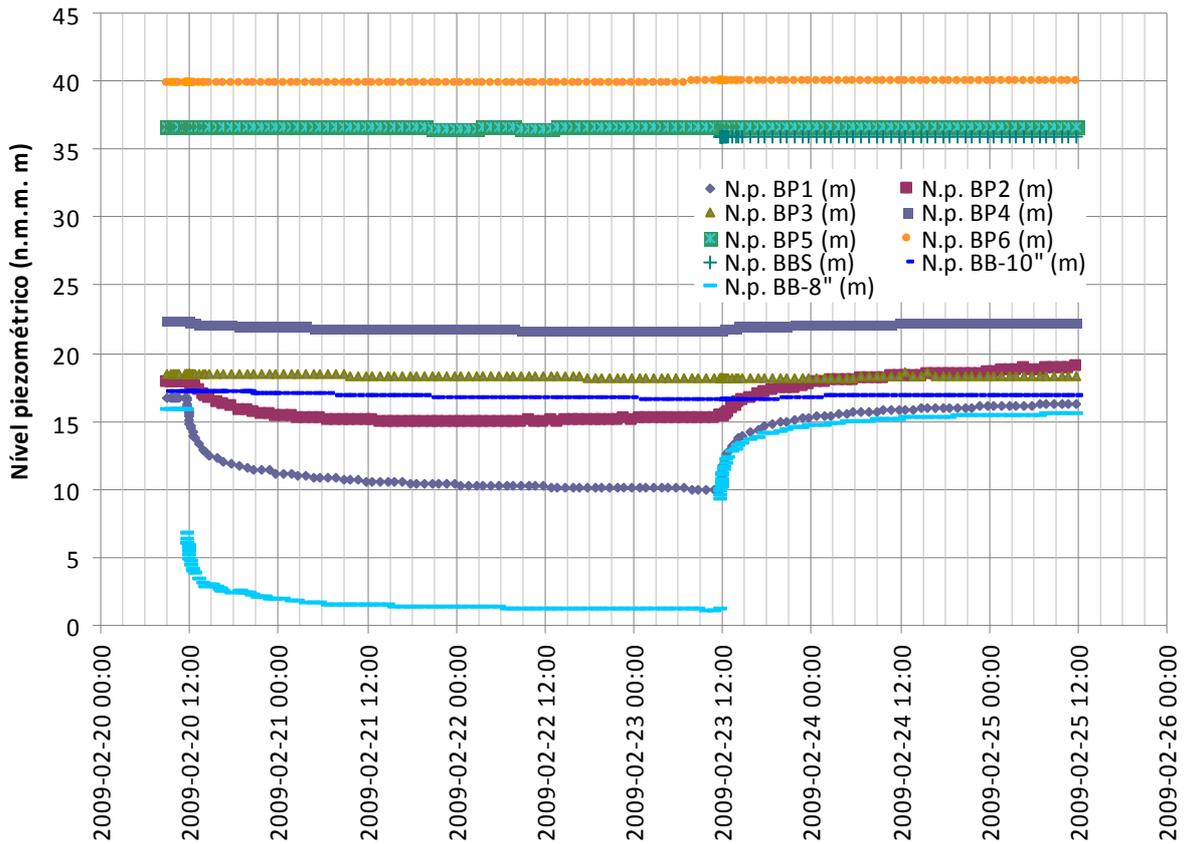


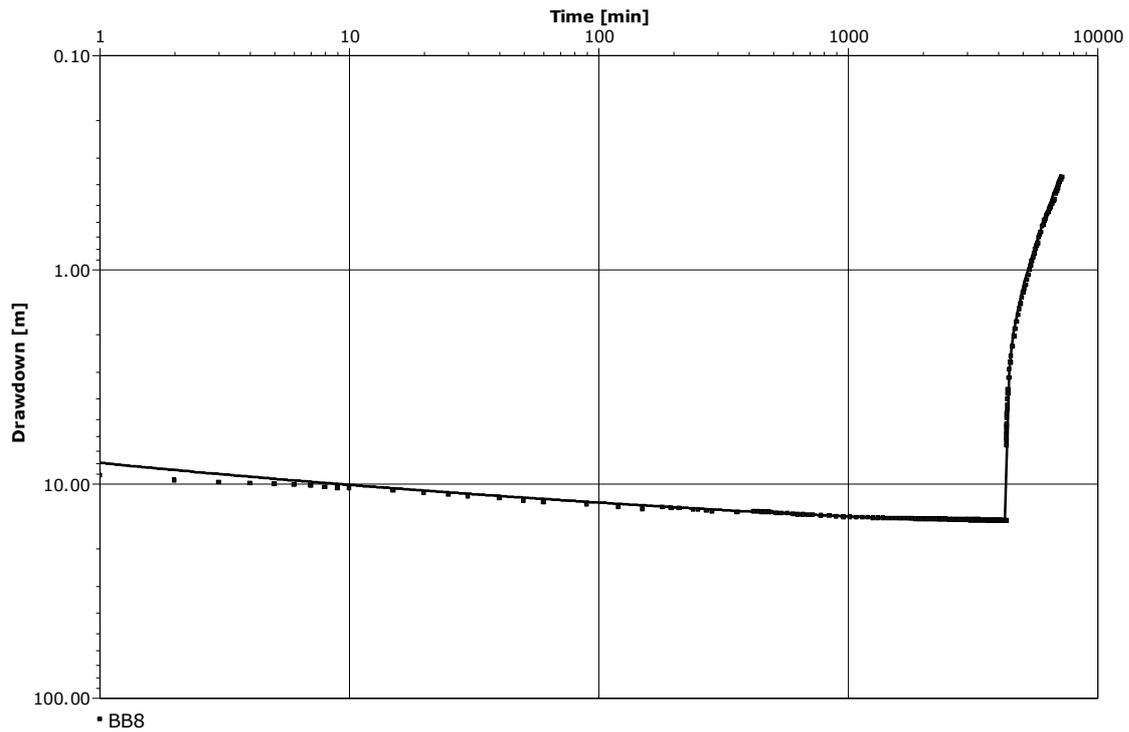
Fig. 62 – Níveis piezométricos observados durante o ensaio BB-8

### 3.1.2 Interpretação do ensaio

O ensaio de bombagem no trecho inferior do furo BB solicita as camadas monitorizadas pelo piezômetro BP1. Os rebaixamentos foram interpretados pelo método de Hantush, para o ensaio total e pelo método de recuperação de Theis para a recuperação. Os resultados estão resumidos no Quadro 27. Os ajustamentos podem ser visualizados nas Fig. 63 a Fig. 66.

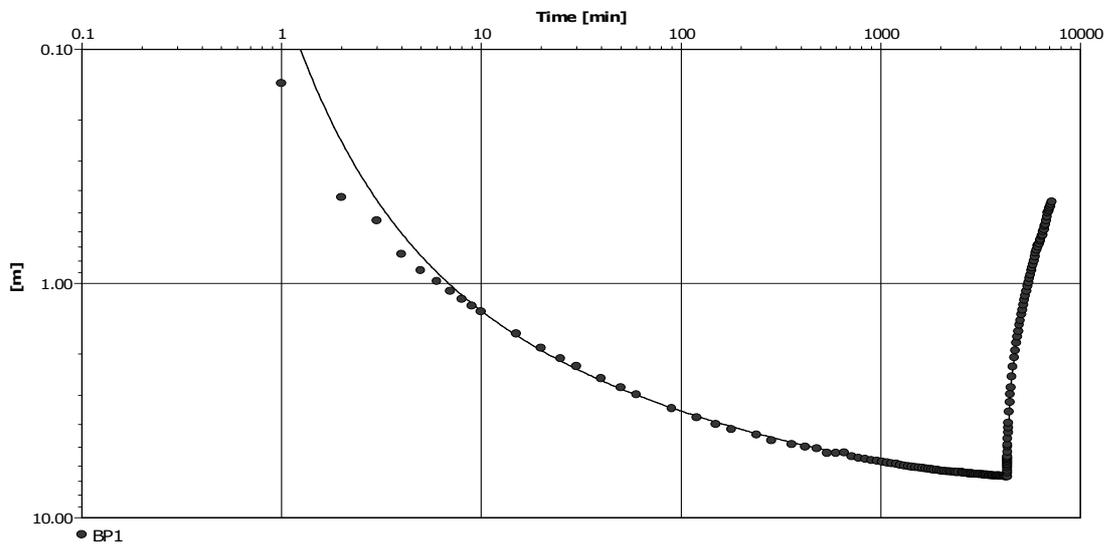
Quadro 27 – Resultados da interpretação do ensaio BB-8

| Furo/Piez | NHE (m) | NHD (m) | Rebaix. (m) | Caudal Esp (l/s/m) | Método      | T (m <sup>2</sup> /d) | S (-)   | c (min) |
|-----------|---------|---------|-------------|--------------------|-------------|-----------------------|---------|---------|
| BB-8      | 41,86   | 56,65   | 14,79       | 3,31               | Hantush     | 365                   | -       | 5,0E+5  |
| BP1       | 42,18   | 48,88   | 6,7         |                    | Hantush     | 326                   | 3,86E-4 | 1,6E+7  |
| BB-8      |         |         |             |                    | Recuperação | 365                   |         |         |
| BP1       |         |         |             |                    | Recuperação | 325                   |         |         |



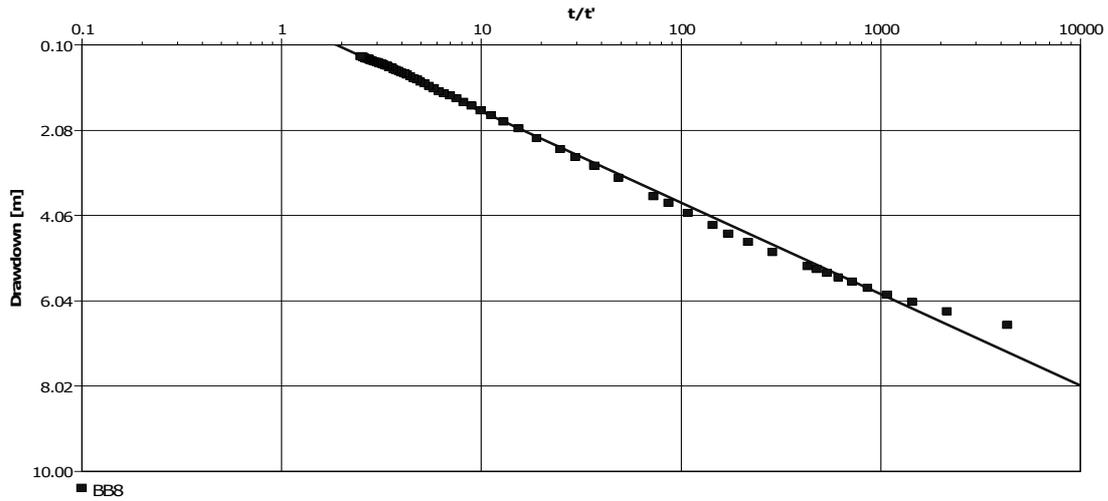
$T = 365 \text{m}^2/\text{dia}$        $S = 1 \times 10^{-2}$        $c = 5 \times 10^5$

Fig. 63 – Interpretação do ensaio de bombagem BB-8, rebaixamentos no troço inferior do furo BB, método de Hantush



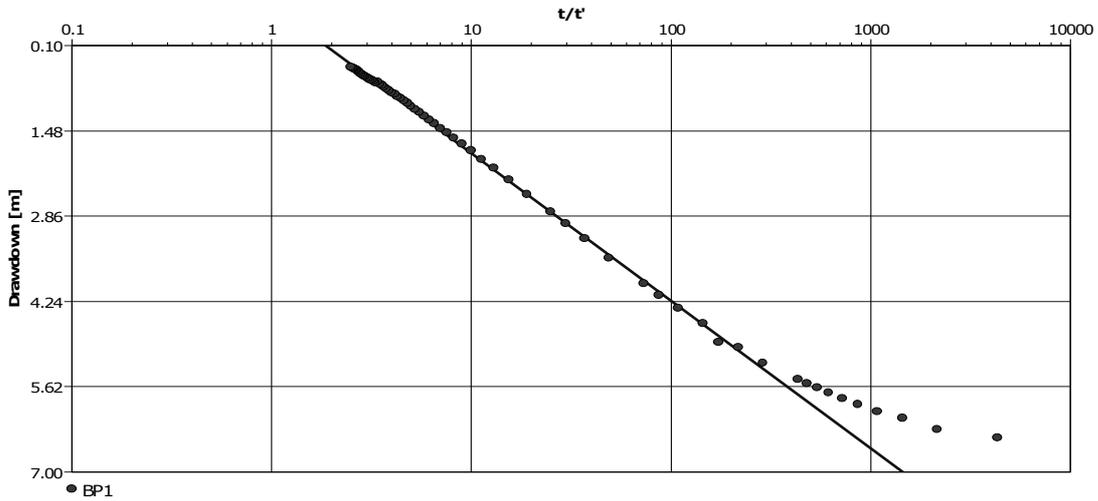
$T = 326 \text{m}^2/\text{dia}$        $S = 3.86 \times 10^{-4}$        $c = 1.56 \times 10^7$

Fig. 64 – Interpretação do ensaio de bombagem BB-8, rebaixamentos no piezómetro BP1, método de Hantush



$T = 365 \text{ m}^2/\text{dia}$

Fig. 65 – Interpretação da recuperação do ensaio de bombagem BB-8, rebaixamentos no trecho inferior do furo BB



$T = 325 \text{ m}^2/\text{dia}$

Fig. 66 – Interpretação da recuperação do ensaio de bombagem BB-8, rebaixamentos no piezômetro BP1

## **3.2 Ensaio BB-10 (Furo BB – troço intermédio)**

### **3.2.1 Observação de níveis e rebaixamentos**

Início do ensaio: 2009-02-27; 15:00.

Início da recuperação: 2009-03-02; 15:00.

Paragem das medições da recuperação: 2009-03-04.

Caudal de extracção: 100 l/s.

A extracção de água no sector intermédio do furo BB (BB-10, rebaixamento máximo de 17,52 m) provoca resposta sensível no piezómetro BP3, que rebaixa até aos 8,01 m.

Os restantes piezómetros (BP1, BP4, BP5, BP6), o furo BBS e o troço inferior do furo de bombagem (BB-8) apresentam nos primeiros tempos de ensaio subidas de nível de no máximo 11 cm, excepto o piezómetro BP4 que apresenta uma subida de nível de 45 cm ao fim de 7 horas de ensaio. Esta situação, semelhante à registada noutros ensaios, poderá ser devida ao efeito de Noordbergum.

O piezómetro BP1 e o sector inferior do furo BB (BB-8) apresentam um comportamento semelhante até às 12 horas de ensaio, aumentando progressivamente, a partir daí, a diferença de rebaixamentos, registando-se os rebaixamentos maiores no furo BB-8. Esta situação é justificável de forma análoga à do ensaio no sector inferior, quando se observou um comportamento semelhante entre o piezómetro BP3 e o sector BB-10, devendo traduzir escoamento vertical entre as camadas medidas pelo piezómetro BP1 e as camadas solicitadas pelo ensaio, tanto maior quanto mais próximo se está da captação devido ao gradiente hidráulico vertical entre estas camadas aumentar com a proximidade à captação.

A variação pouco sensível, ou até contrária dos piezómetros BP5, BP6 e do furo BBS, que terminam o ensaio com o nível piezométrico muito próximo do nível inicial, indicia que as camadas por eles intersectadas não têm, no horizonte espaço-temporal analisado, conexão hidráulica com o restante sistema.

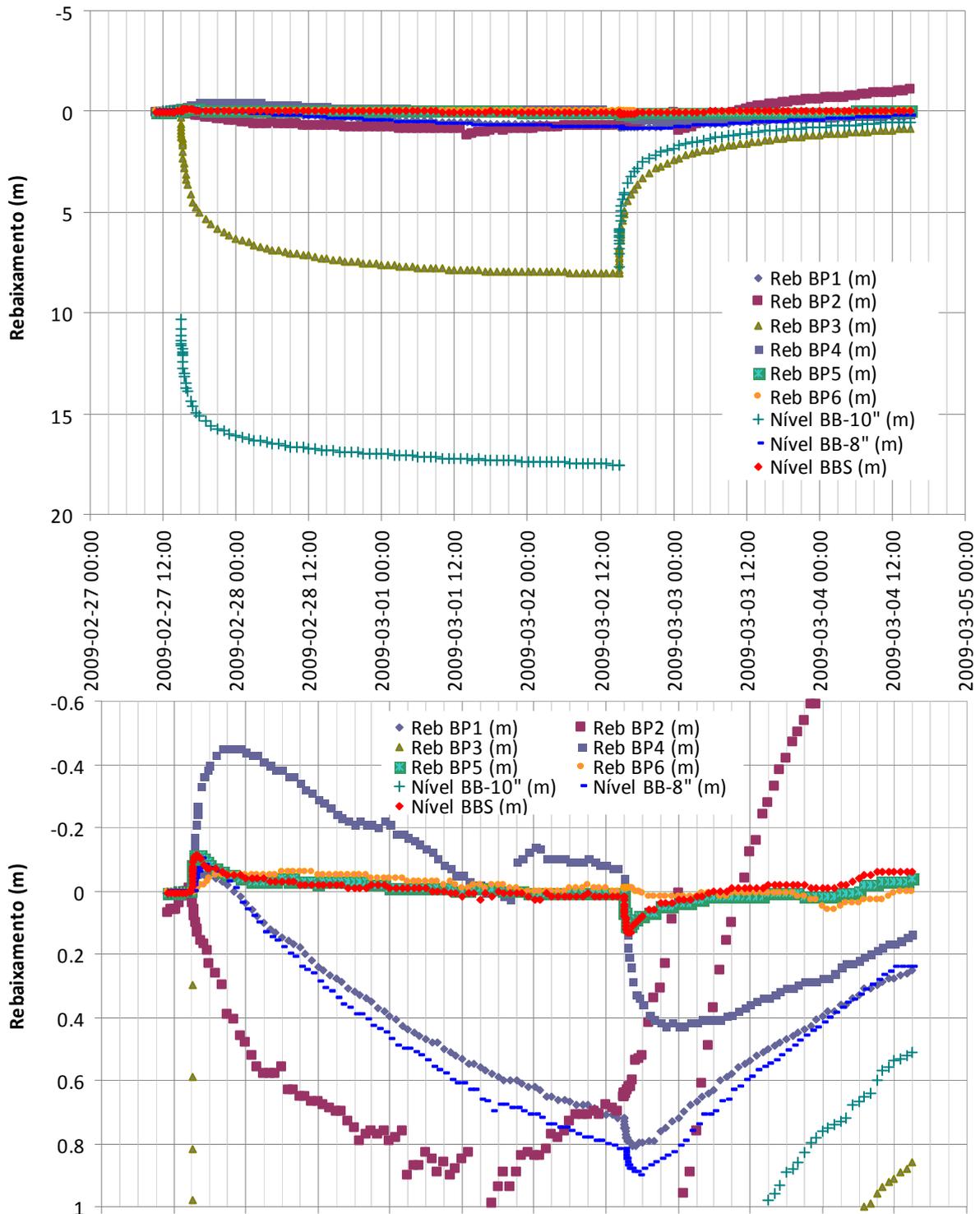


Fig. 67 – Rebaixamentos do ensaio BB-10

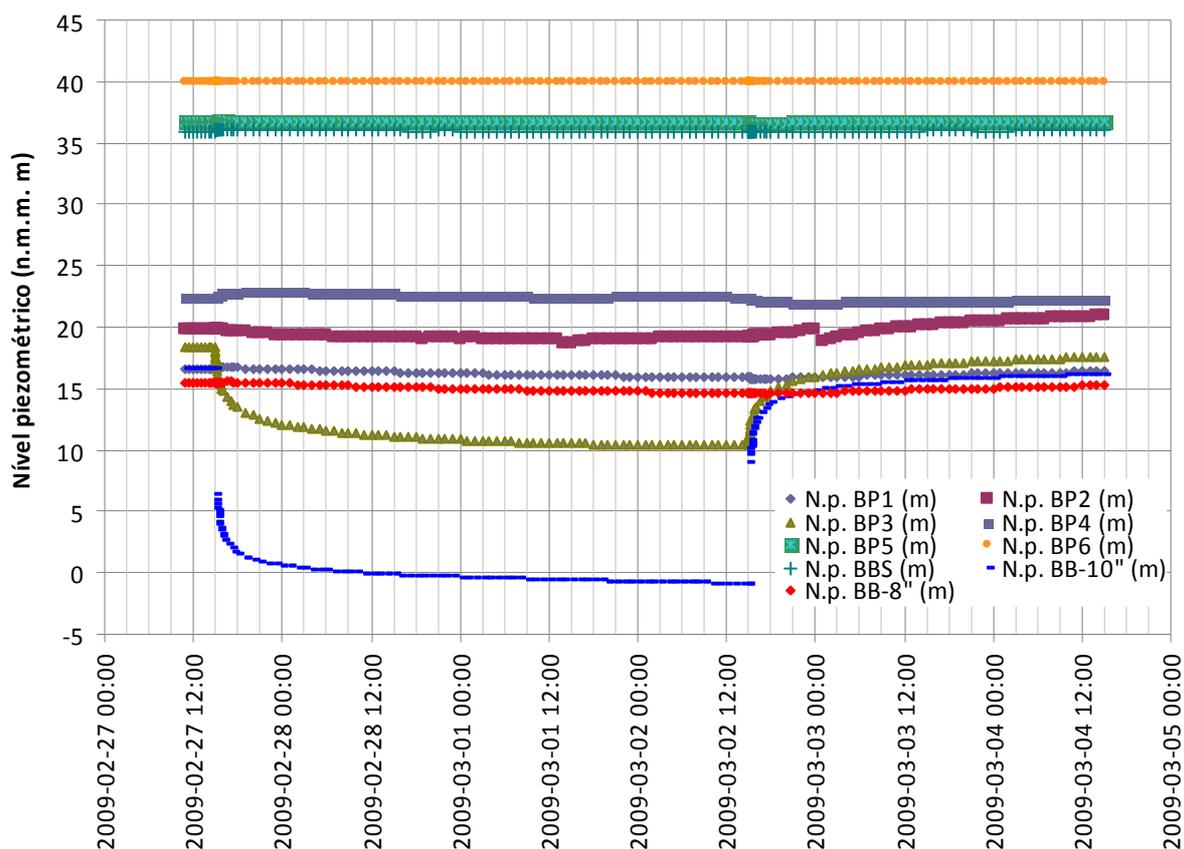


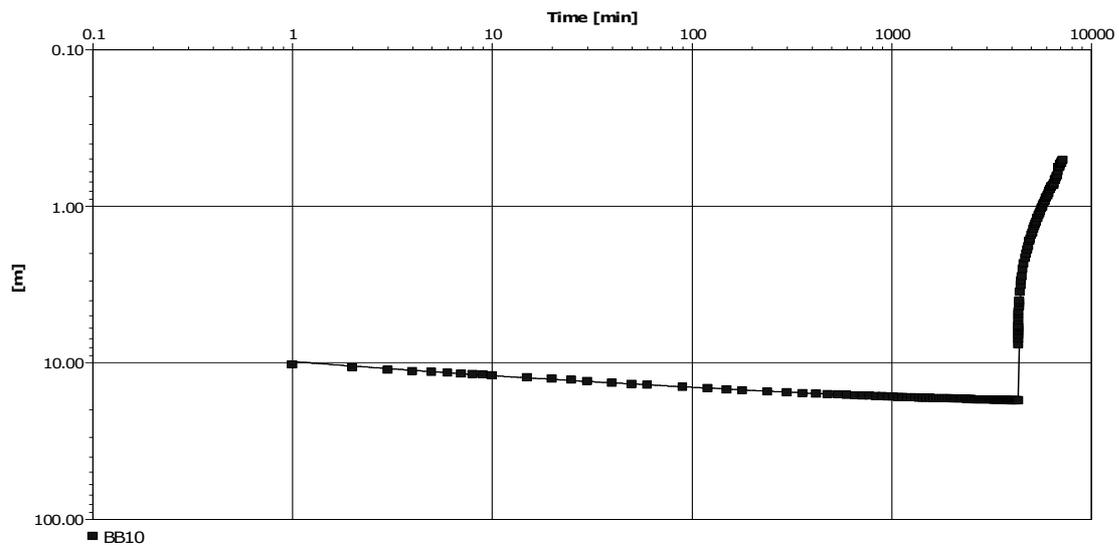
Fig. 68 – Níveis piezométricos observados durante o ensaio BB-10

### 3.2.2 Interpretação do ensaio

O piezómetro que mede as camadas solicitadas pelo ensaio realizado no troço intermédio do furo BB é o piezómetro BP3. O ensaio foi interpretado quer para o furo de bombagem quer para o piezómetro BP3 utilizando o método de Hantush. A recuperação também foi interpretada pelo método de recuperação de Theis. Os resultados estão resumidos no Quadro 28 e os ajustamentos estão representados nas Fig. 69 a Fig. 72.

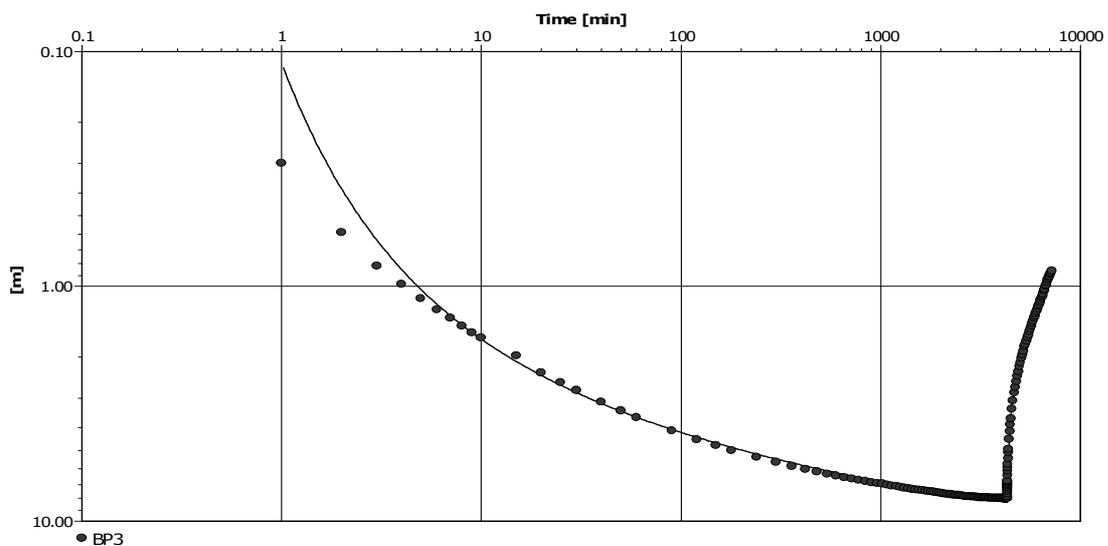
Quadro 28 – Resultados da interpretação do ensaio BB-10

| Furo/Piez | NHE (m) | NHD (m) | Rebaix (m) | Caudal Esp (l/s/m) | Método      | T (m <sup>2</sup> /d) | S (-)   | c (min)  |
|-----------|---------|---------|------------|--------------------|-------------|-----------------------|---------|----------|
| BB-10     | 41,13   | 58,65   | 17,52      | 5,71               | Hantush     | 701                   | -       | 3,20E+6  |
| BP3       | 40,62   | 48,63   | 8,01       |                    | Hantush     | 593                   | 5,66E-4 | 4,05E+07 |
| BB-10     |         |         |            |                    | Recuperação | 684                   |         |          |
| BP3       |         |         |            |                    | Recuperação | 590                   |         |          |



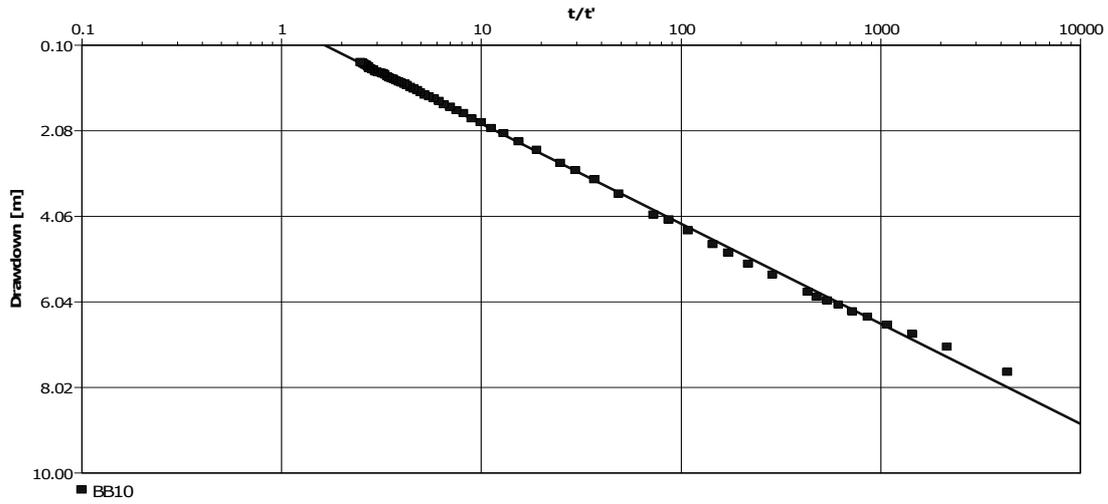
$T = 701 \text{ m}^2/\text{dia}$     $S = 3.04 \times 10^{-3}$     $c = 3.20 \times 10^{-6}$

Fig. 69 – Interpretação do ensaio de bombagem BB-10, rebaixamentos no trecho intermédio do furo BB, método de Hantush



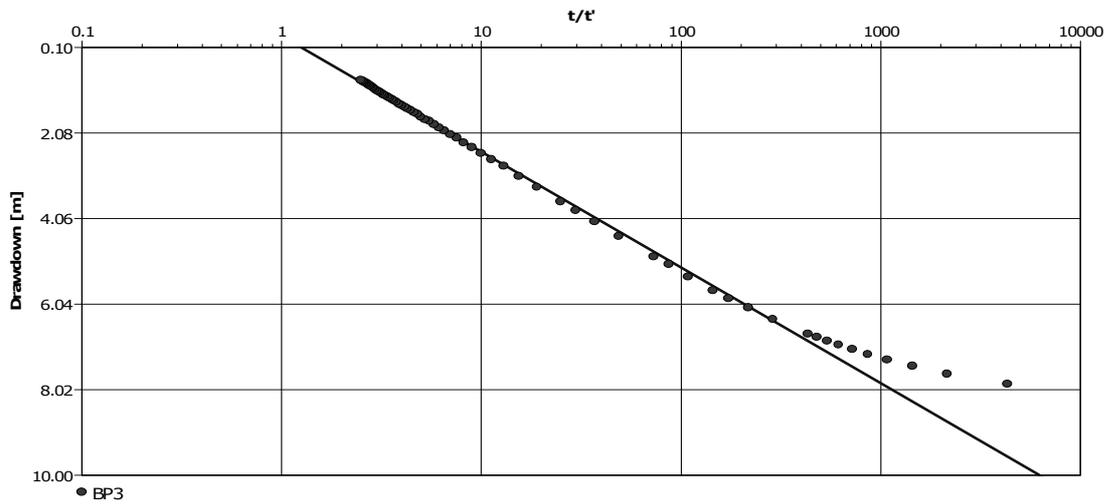
$T = 593 \text{ m}^2/\text{dia}$     $S = 5.66 \times 10^{-4}$     $c = 4.05 \times 10^{-7}$

Fig. 70 – Interpretação do ensaio de bombagem BB-10, rebaixamentos no piezómetro BP3, método de Hantush



$T = 684\text{m}^2/\text{dia}$

Fig. 71 – Interpretação da recuperação do ensaio de bombagem BB-10, rebaixamentos no troço intermédio do furo BB



$T = 590\text{m}^2/\text{dia}$

Fig. 72 – Interpretação da recuperação do ensaio de bombagem BB-10, rebaixamentos no piezómetro BP3

### 3.3 Ensaio BBS (Furo BBS)

#### 3.3.1 Observação de níveis e rebaixamentos

Início do ensaio: 2009-02-04; 12:00.

Início da recuperação: 2009-02-07; 12:00.

Paragem das medições da recuperação: 2009-02-09.

Caudal de extracção: variável entre 25 l/s no início e 15 l/s no fim, de acordo com o Quadro 29.

Quadro 29 – Caudais do ensaio de bombagem BBS

| Caudal (l/s) | Tempo até ao qual se regista o caudal referido (min após início do ensaio) |
|--------------|--|
| 25           | 360  |
| 20           | 2910   |
| 15           | 4320   |
| 0            | 7328   |

O ensaio de bombagem realizado no furo BBS, fez reagir em maior quantidade o piezómetro BP5 (rebaixamento máximo de 3,55 m) e, em menor escala, o piezómetro BP4 (rebaixamento máximo de 1,60).

O piezómetro BP4 apresentou, também, o efeito de Noordbergum, cujo valor máximo de subida, de 21 cm, ocorreu 90 min após o início do ensaio. Contudo, este piezómetro depois reagiu de acordo com a bombagem o que de alguma forma demonstra ligação hidráulica com o furo de bombagem, inclusivamente, provavelmente, por escoamento horizontal.

O piezómetro BP6 também reagiu, primeiro com o efeito de Noordbergum, com subida máxima de nível de 5 cm, e depois com rebaixamentos que atingiram os 25 cm abaixo do nível no início do ensaio, podendo indiciar escoamento vertical ou conexão hidráulica com as camadas bombeadas fora do local onde se encontra o piezómetro ou o furo de captação.

Os piezómetros BP1 e BP3 tiveram uma reacção que se considera independente do ensaio em curso.

Não foram feitos registos no furo de bombagem BB.

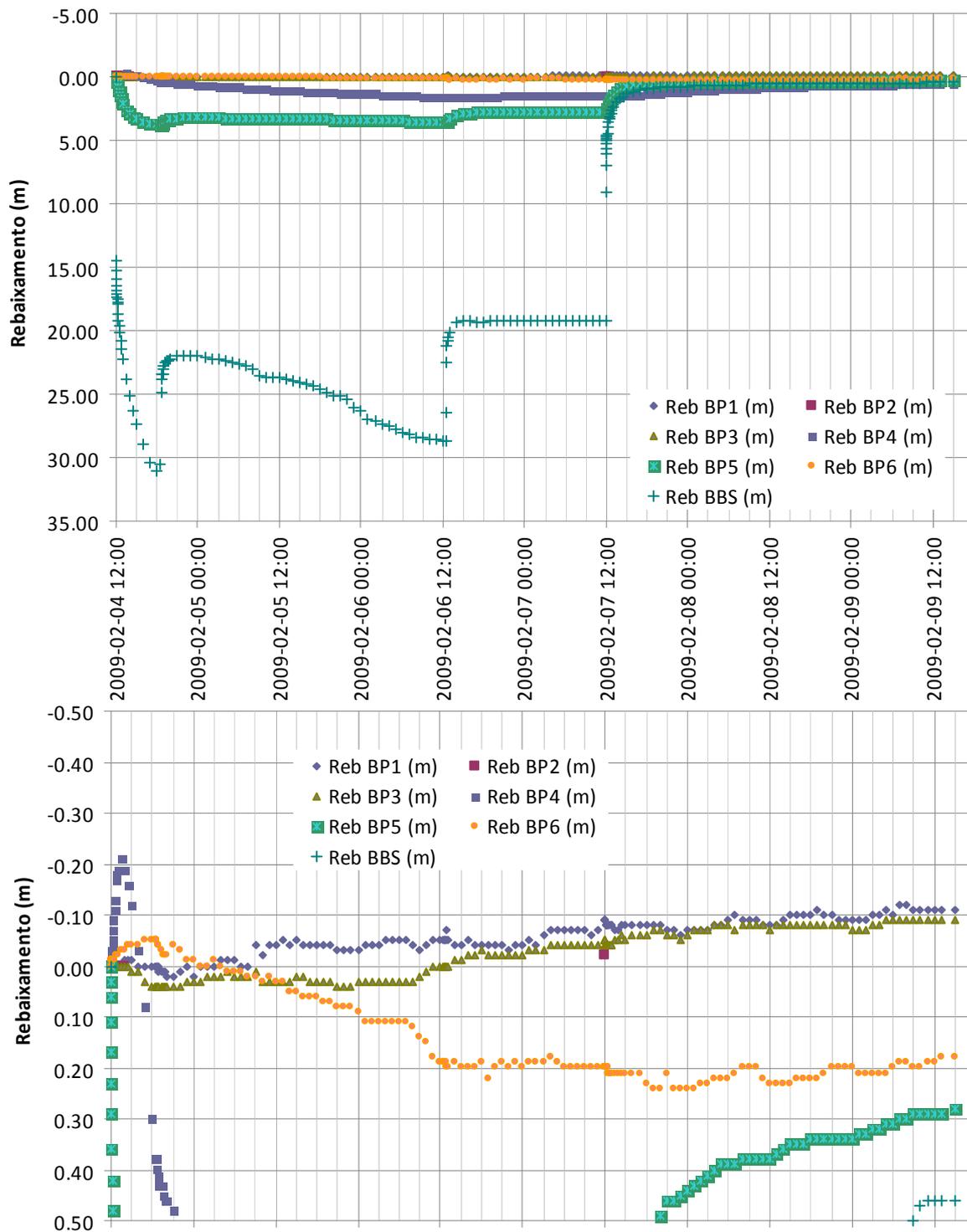


Fig. 73 – Rebaixamentos do ensaio BBS

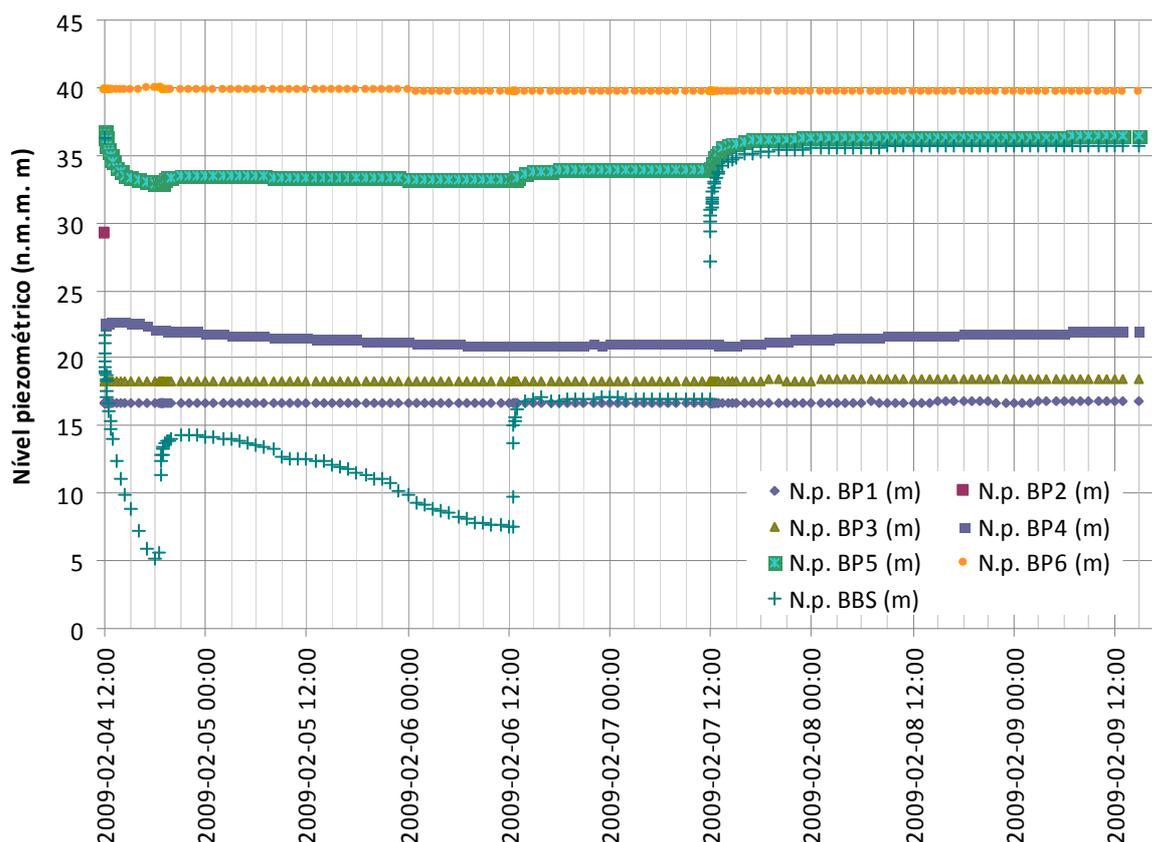


Fig. 74 – Níveis piezométricos observados durante o ensaio BBS

### 3.3.2 Interpretação do ensaio

As camadas solicitadas pelo furo BBS são monitorizadas pelo piezómetro BP5. As camadas bombeadas apesar de confinadas, ficaram parcialmente não saturadas na sua parte superior durante o ensaio de bombagem, na zona envolvente ao furo de bombagem (BBS). As camadas monitorizadas pelo piezómetro BP5 mantiveram-se sempre saturadas. Assim as camadas ensaiadas, dependendo da zona e do tempo de ensaio ficaram em situação de aquífero livre e de aquífero confinado ou semi-confinado, tendo-se utilizado na interpretação os métodos de Theis com correcção de Jacob, de Boulton e de Hantush.

Os resultados da interpretação do ensaio encontram-se resumidos no Quadro 30.

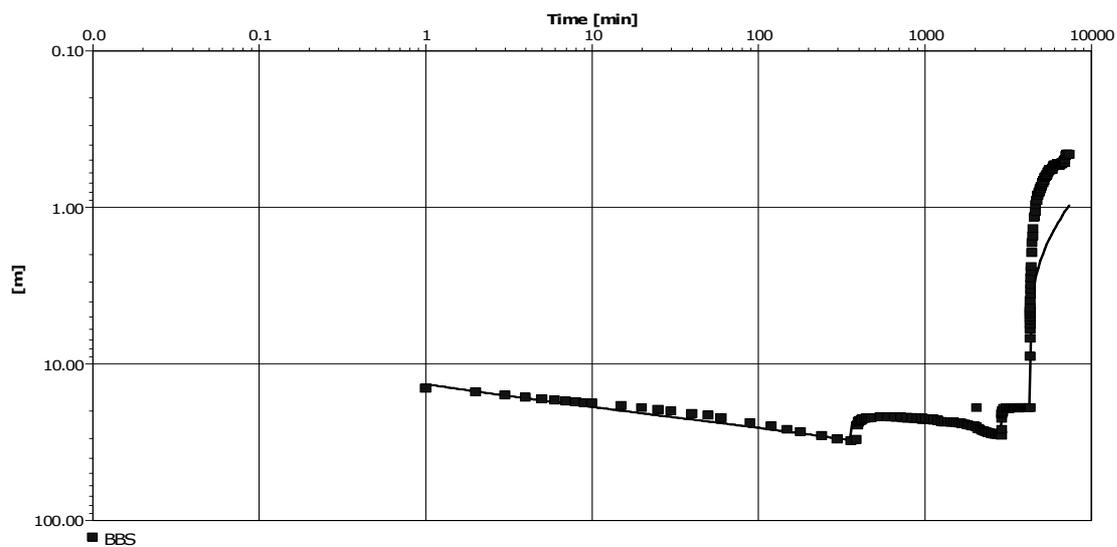
Quadro 30 – Resultados da interpretação do ensaio BBS

| Furo/<br>Piez | NHE<br>(m) | NHD<br>(m) | Rebaix.<br>(m) | Caudal<br>Esp<br>(l/s/m) | Método                    | T<br>(m <sup>2</sup> /d) | S (-)  | Sy (-)  | φ       | Sy/S<br>(-) | c (min) |
|---------------|------------|------------|----------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|--------|---------|---------|-------------|---------|
| BBS           | 21,38      | 40,60      | 19,22          | 0,69                     | Theis com correcção Jacob | 115                      | -      |         |         |             |         |
|               |            |            |                |                          | Boulton                   | 95                       |        | -       | 1,0E-5  | 1,0E+6      |         |
| BP5           | 22,45      | 25,20      | 2,75           |                          | Boulton                   | 112                      |        | 1,87E-2 | 2,84E-3 | 39,8        |         |
|               |            |            |                |                          | Hantush                   | 171                      | 4,5E-4 |         |         | 2,61E6      |         |
| BBS           |            |            |                |                          | Recuperação               | 148                      |        |         |         |             |         |
| BP5           |            |            |                |                          | Recuperação               | 325                      |        |         |         |             |         |

No caso dos rebaixamentos observados no furo de bombagem o método de Theis com correcção de Jacob (Fig. 75) forneceu resultados mais interessantes que o de Boulton (Fig. 76), embora o final da recuperação não tenha sido bem ajustado pelas curvas.

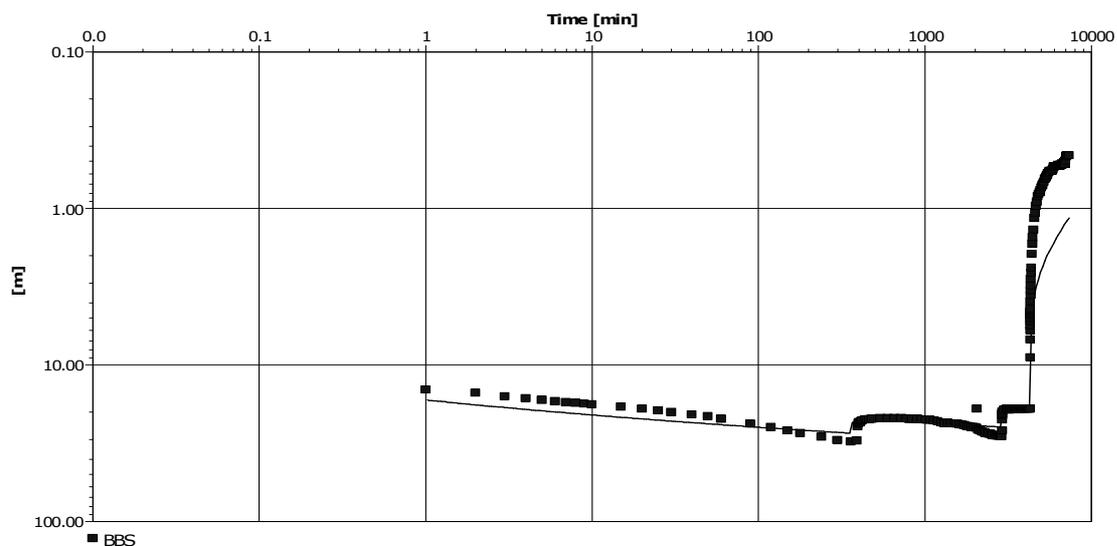
No caso dos registos do piezómetro o método de Hantush (Fig. 77) e o método de Boulton (Fig. 78) deram resultados mais interessantes. Uma vez que as camadas do piezómetro BP5 se mantiveram sempre saturadas e que os níveis do piezómetro BP6 reagiram pouco ao ensaio optou-se pelos resultados do método de Hantush relativo a aquífero semi-confinado. O ajustamento pelo método de Theis com correcção de Jacob também foi tentado mas não permitiu obter um resultado satisfatório.

A análise da recuperação permitiu verificar o comportamento atípico deste aquífero, revelando que ele não segue as condições teóricas do modelo de recuperação de Theis. Os resultados que se apresentam (Fig. 79 e Fig. 80) resultam da aplicação da recta que melhor se ajusta aos dados.



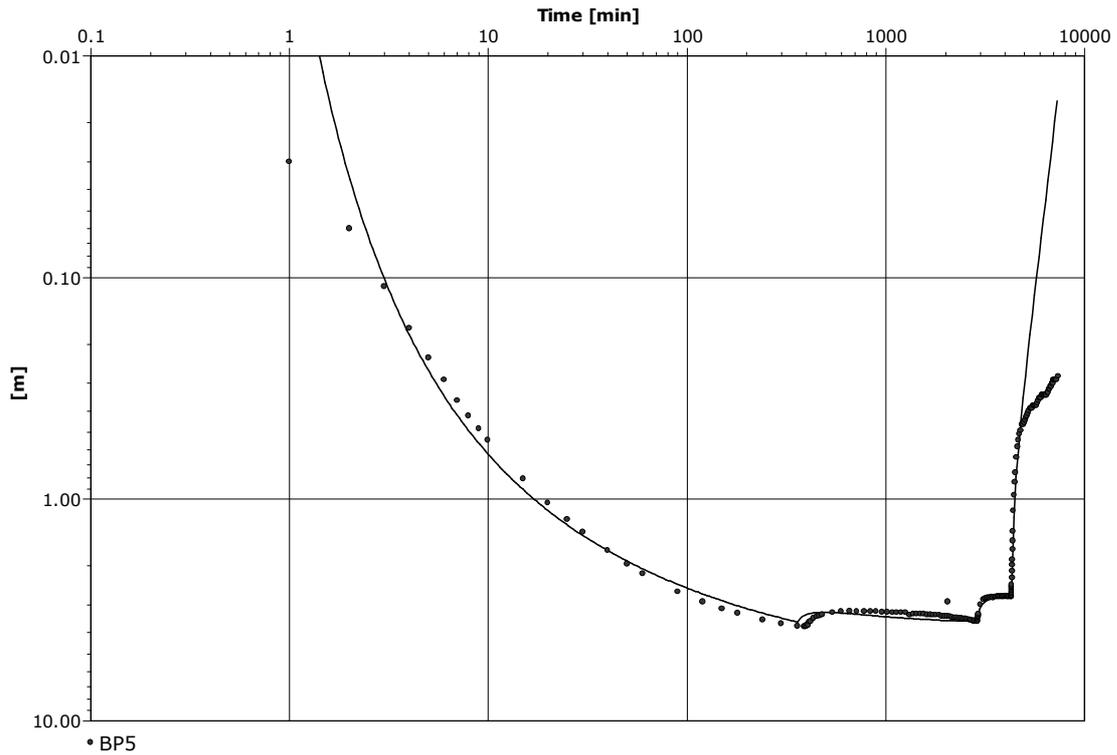
$T = 115\text{m}^2/\text{dia}$        $S = 3.38\text{e-}3$

Fig. 75 – Interpretação dos rebaixamentos do ensaio de bombagem BBS, método de Theis com correcção de Jacob



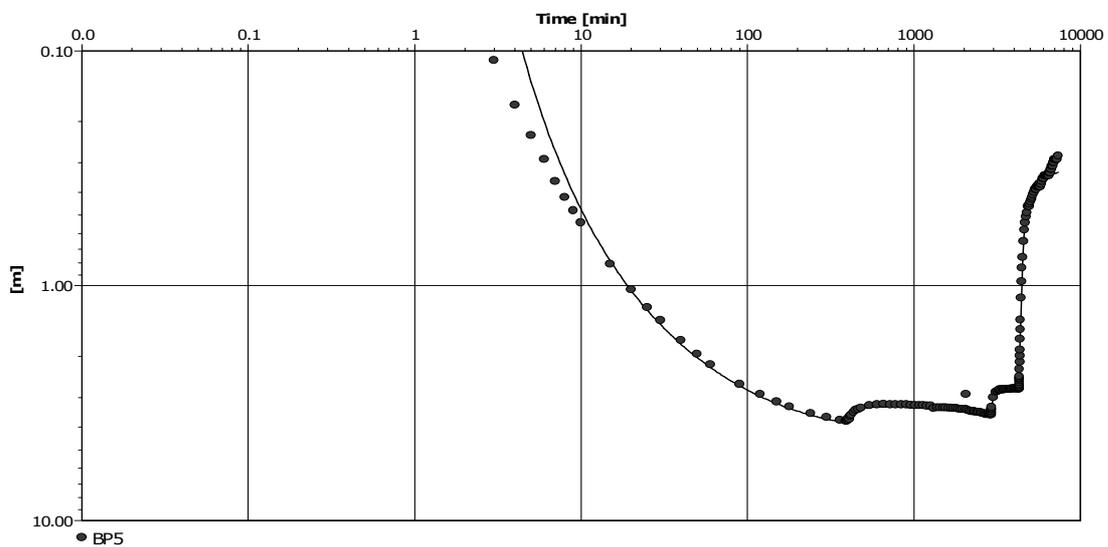
$T = 95\text{m}^2/\text{dia}$        $S_y = 5.30\text{e-}4$        $\Phi = 1\text{e-}5$        $S_y/S = 1\text{e}6$

Fig. 76 – Interpretação dos rebaixamentos do ensaio de bombagem BBS, método de Boulton



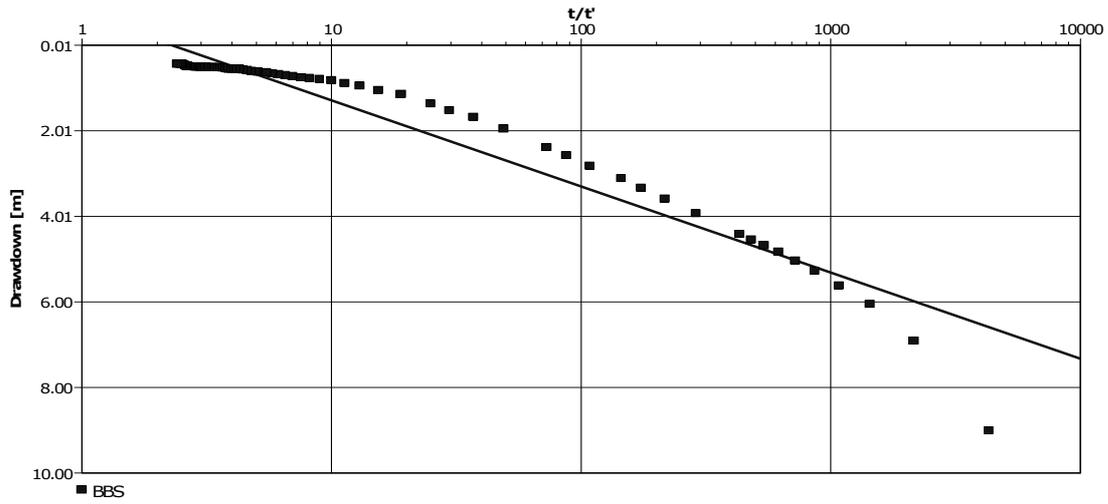
$T = 171 \text{ m}^2/\text{d}$        $S = 4.5\text{e-}4$        $c = 2.61\text{e}6 \text{ min}$

Fig. 77 – Interpretação do ensaio de bombagem BBS, rebaixamentos no piezômetro BP5, método de Hantush



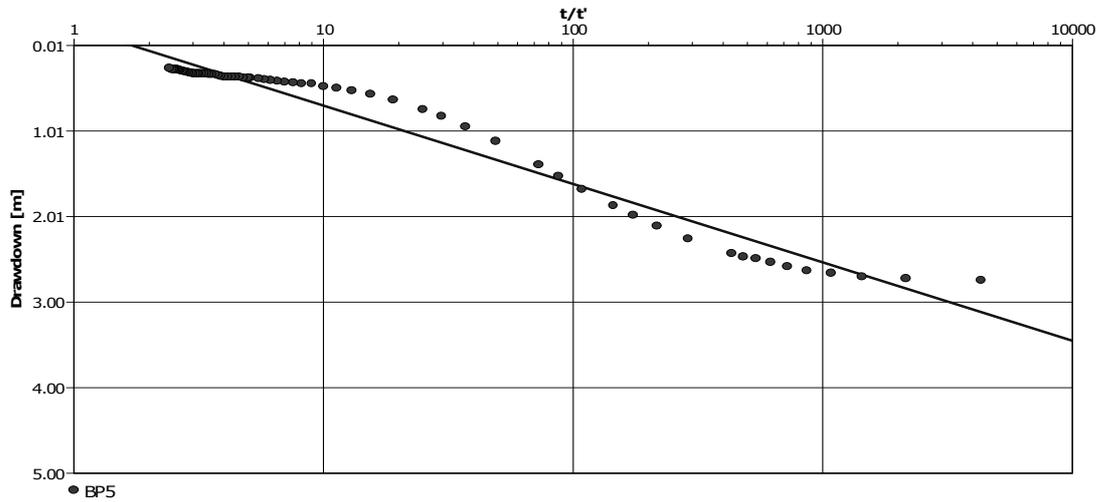
$T = 112\text{m}^2/\text{dia}$      $S_y = 1.87\text{e-}2$        $\text{Phi} = 2.84\text{e-}3$        $S_y/S = 3.98\text{e}1$

Fig. 78 – Interpretação do ensaio de bombagem BBS, rebaixamentos no piezômetro BP5, método de Boulton



$T = 148\text{m}^2/\text{dia}$

Fig. 79 – Interpretação dos rebaixamentos da recuperação do ensaio de bombagem BBS



$T = 325\text{m}^2/\text{dia}$

Fig. 80 – Interpretação da recuperação do ensaio de bombagem BBS, rebaixamentos no piezômetro BP5

### **3.4 Ensaio BB total (Furo BB – troço intermédio e inferior)**

#### **3.4.1 Observação de níveis e rebaixamentos**

Início do ensaio: 2009-03-06; 18:15.

Início da recuperação: 2009-03-09; 18:15.

Paragem das medições da recuperação: 2009-03-10.

Caudal de extracção: 71 l/s durante 40 minutos e 76 l/s durante o restante tempo da bombagem.

O ensaio da totalidade da captação BB solicitou as camadas medidas pelos piezómetros BP1 (rebaixamento máximo de 4,06 m), BP3 (rebaixamento máximo de 3,59 m), BP2 e, com menos intensidade, BP4, que registou os rebaixamentos mais elevados (40 cm) duas horas após a paragem da bombagem.

Os piezómetros superiores BP5 e BP6 e o furo BBS registaram o efeito de Noordbergum (especialmente o BP5 e o BBS), apresentando níveis acima ou próximo do nível piezométrico inicial.

O piezómetro BP4 reagiu ao ensaio indiciando drenância entre esta camada e as camadas subjacentes solicitadas.

O nível piezométrico no furo BB mostrou uma tendência para estabilizar perto dos 8 m de altitude, apresentando esta captação um caudal específico de 9,5 l/s/m.

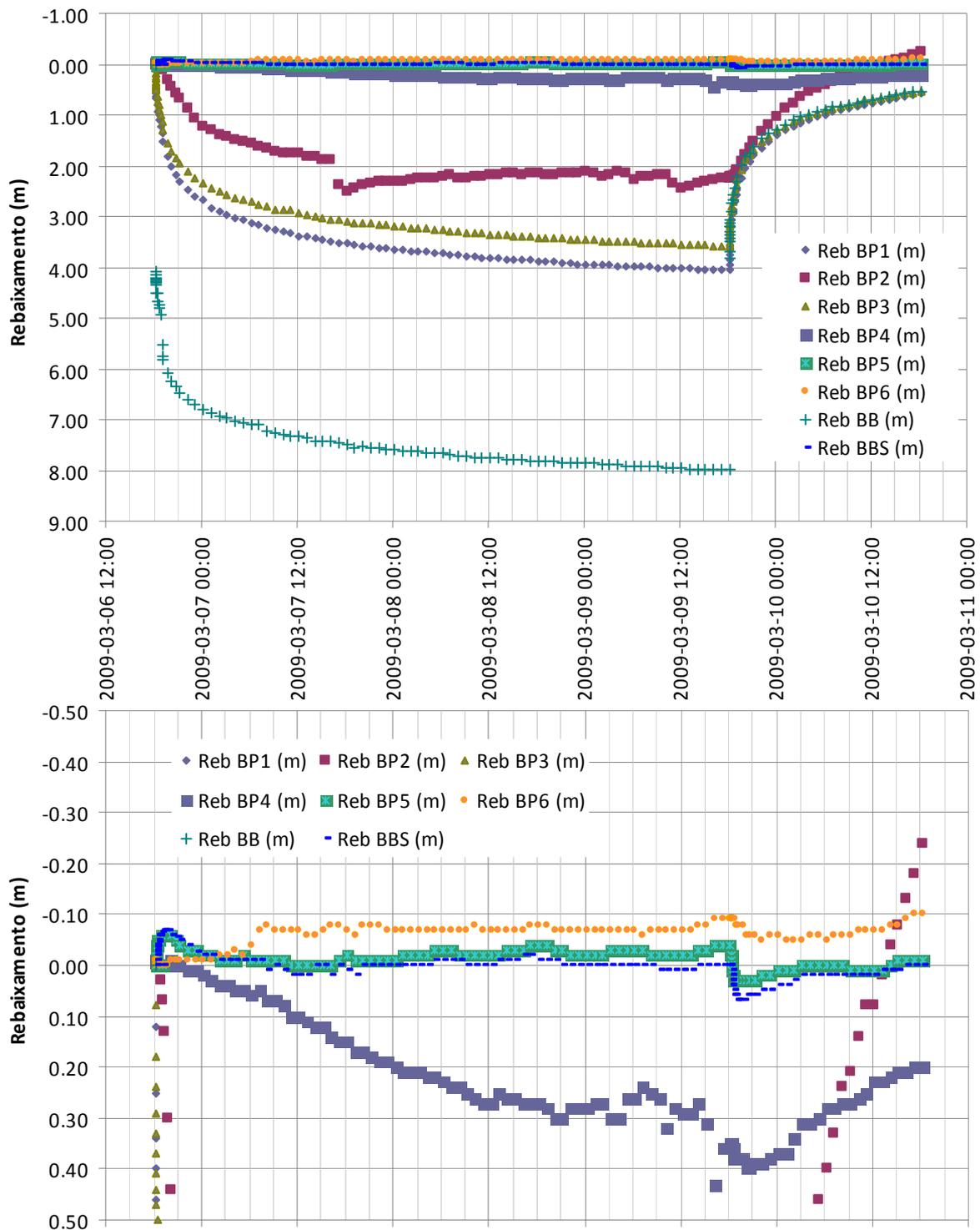


Fig. 81 – Rebaixamentos do ensaio BB total

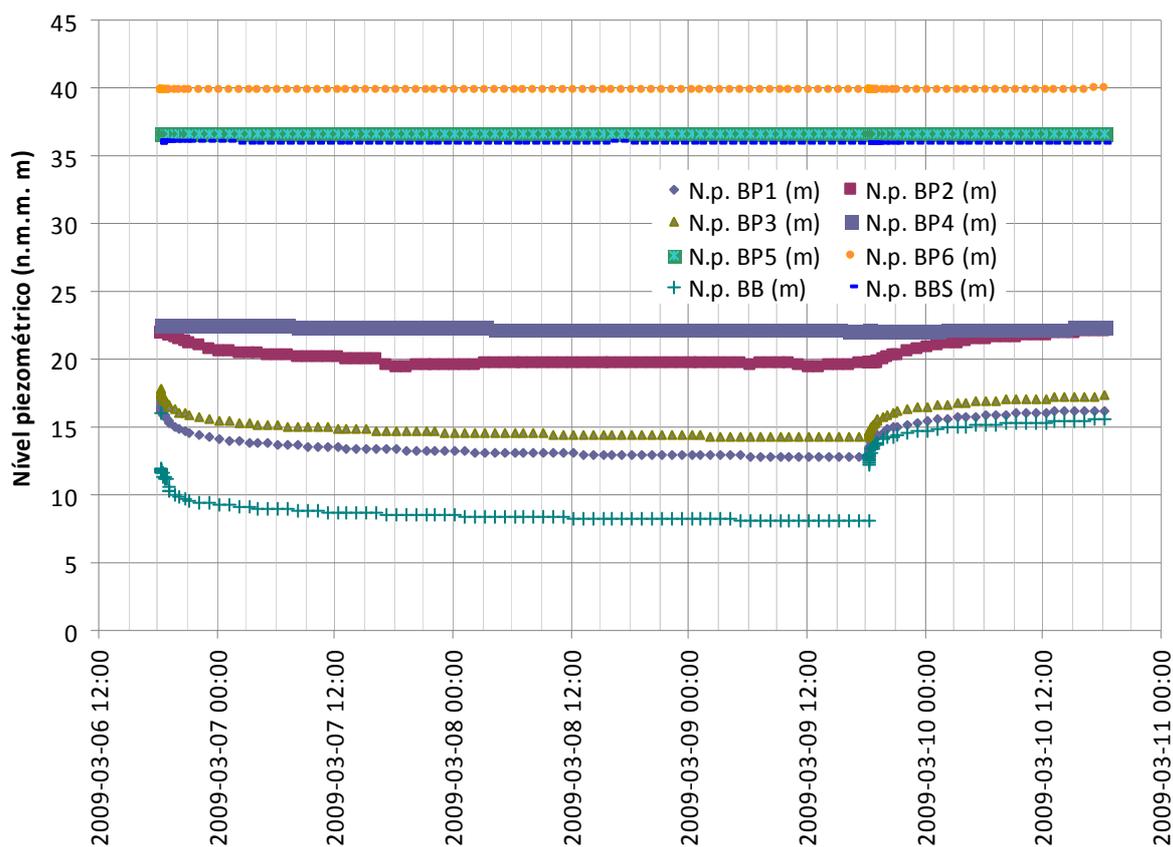


Fig. 82 – Níveis piezométricos observados durante o ensaio BB total

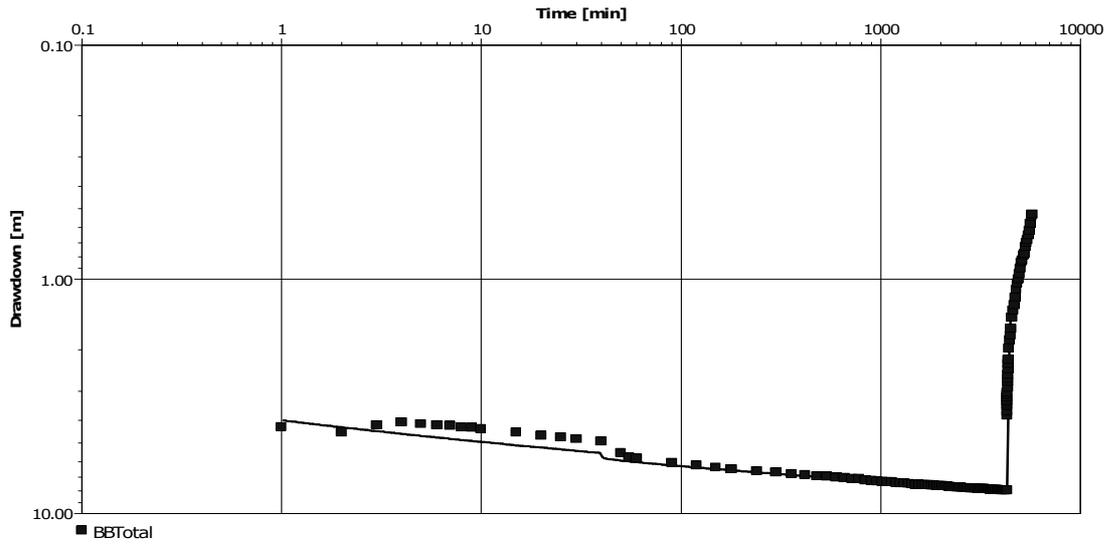
### 3.4.2 Interpretação do ensaio

Dado que não havia um piezómetro que medisse simultaneamente todas as camadas ensaiadas em conjunto, só se analisaram os rebaixamentos da captação. Utilizaram-se os métodos de Theis e de Hantush e analisou-se a recuperação pelo método de recuperação de Theis.

Os resultados obtidos estão sumarizados no Quadro 31. Os ajustamentos obtidos estão representados nas Fig. 83 a Fig. 85.

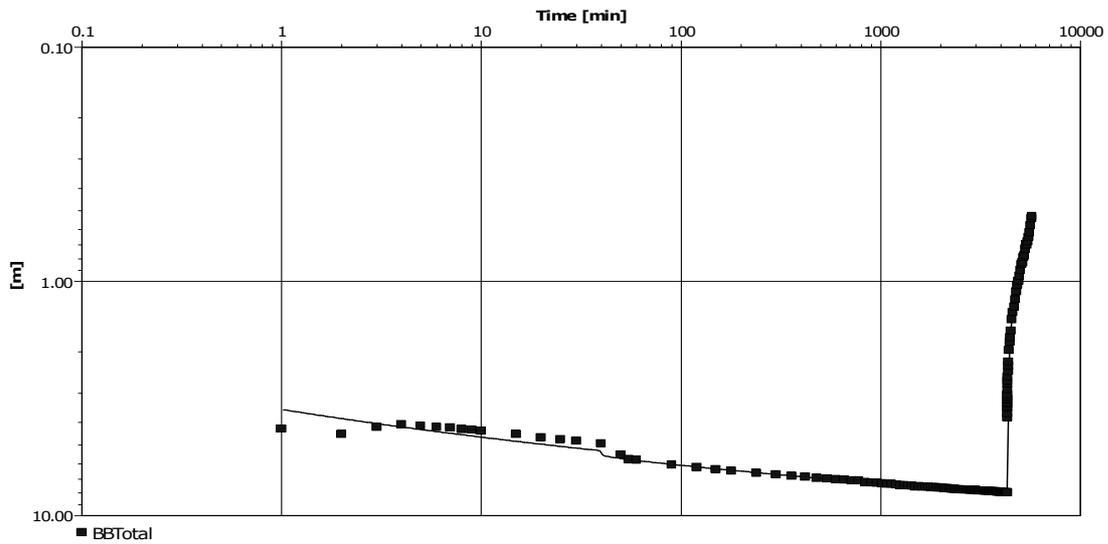
Quadro 31 – Resultados da interpretação do ensaio BB total

| Furo/Piez | NHE (m) | NHD (m) | Rebaix (m) | Caudal Esp (l/s/m) | Método      | T (m <sup>2</sup> /d) | S (-) | c (min)  |
|-----------|---------|---------|------------|--------------------|-------------|-----------------------|-------|----------|
| BBTotal   | 41,69   | 49,67   | 7,98       | 9,54               | Theis       | 1190                  | -     |          |
|           |         |         |            |                    | Hantush     | 1020                  | -     | 4,21E+05 |
|           |         |         |            |                    | Recuperação | 1030                  |       |          |



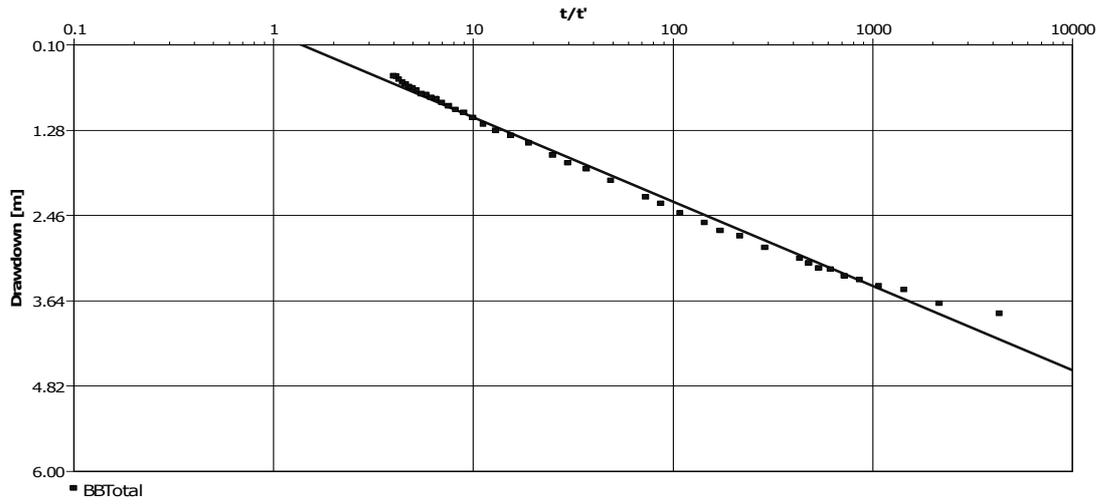
$T = 1190\text{m}^2/\text{dia}$        $S = 8.26\text{e-}3$

Fig. 83 – Interpretação do ensaio de bombagem BB total, método de Theis



$T = 1020\text{m}^2/\text{dia}$        $S = 7.61\text{e-}2$        $c = 4.21\text{e}5\text{min}$

Fig. 84 – Interpretação do ensaio de bombagem BB total, método de Hantush



$T = 1030 \text{m}^2/\text{dia}$

Fig. 85 – Interpretação da recuperação do ensaio de bombagem BB total

### 3.5 Interpretação dos valores das sondas CTD

Foram efectuados registos, nos piezómetros, dos parâmetros físico-químicos CE e T para análise de: (1) valores de referência (piezómetro BP1) e (2) valores durante o período de influência do ensaio de caudal BB-8 (piezómetro BP1), BB-10 (piezómetro BP3) e BB total (piezómetro BP3 e BP6). O Quadro 22 e as Fig. 86, Fig. 68 e Fig. 82 apresentam os resultados obtidos, permitindo a sua análise retirar as seguintes conclusões:

- Os valores de referência de CE medidos em laboratório apresentam diferenças entre níveis hidrogeológicos, embora os registados nos estratos captados pelo BP3 (0,257 mS/cm) sejam equivalentes ao BP6 (0,281 mS/cm) e inferiores ao BP1 (0,617 mS/cm).
- Os valores de CE no BP1 apresentaram variações assinaláveis para um período julgado como de referência (anterior a qualquer ensaio de caudal). Esta variação, juntamente com a variação da temperatura, para um período aparentemente sem solicitações, pode indiciar um processo pontual de poluição durante os trabalhos de hidrogeologia em curso na área.
- Os valores de CE foram registados durante os períodos de influência dos seguintes ensaios de caudal: BB-8, no piezómetro BP1, de 20/02/2009 a 25/02/2009; BB-10, no piezómetro BP3, de 27/02/2009 a 04/03/2009; e BB total, nos piezómetros BP3 e BP6, no período entre 06/03/2009 e 10/03/2009. As Fig. 68 e Fig. 82 mostram uma diminuição dos níveis piezométricos e posterior recuperação para os referidos piezómetros e correspondentes períodos.
- A observação da Fig. 86 (BP3) permite observar uma pequena diminuição da CE. Em princípio tal não se deverá a um efeito de drenância de água de outros estratos dada a maior CE que apresentam. Por outro lado, a diferença registada entre a CE medida em laboratório da registada em campo faz supor alguma instabilidade da CE neste estrato.
- Os resultados da sonda colocada no BP6 são interpretados como um problema no registo, na medida em que os valores se situam fora dos valores registados para a CE daquele ponto de água (mais do que uma ordem de grandeza).

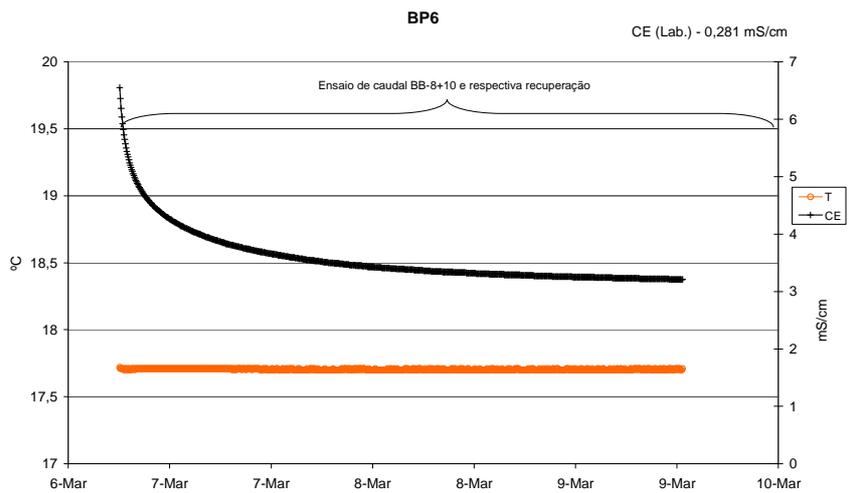
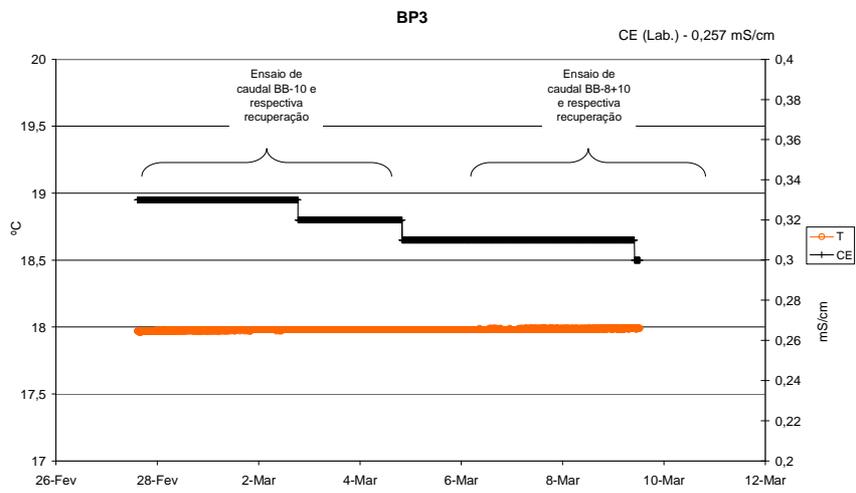
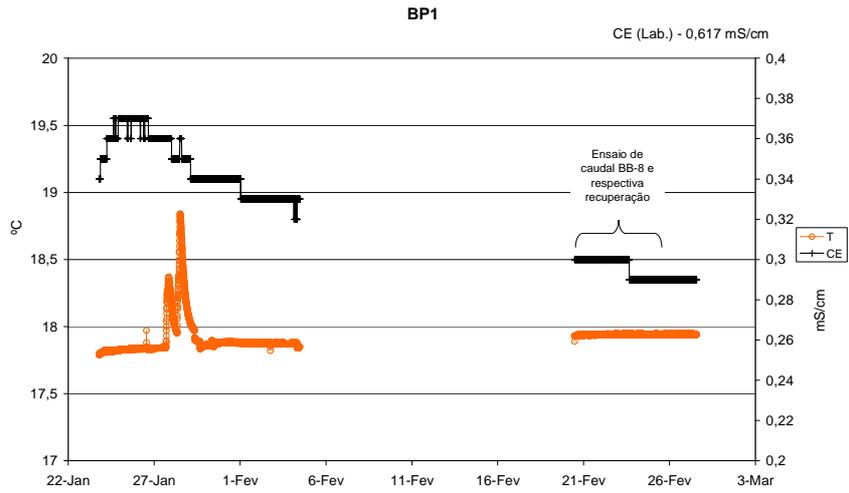


Fig. 86 - Valores de condutividade eléctrica e de temperatura em piezómetros, Zona B

## **4. Zona C**

Na zona C foram realizados três ensaios de bombagem, com bombagem nos troços inferior (CB-8), intermédio (CB-10) e na totalidade da captação CB.

### **4.1 Ensaio CB-8 (Furo CB – troço inferior)**

#### **4.1.1 Observação de níveis e rebaixamentos**

Início do ensaio: 2009-01-26; 11:50.

Início da recuperação: 2009-01-31; 11:50.

Paragem das medições da recuperação: 2009-02-02.

Caudal de extracção: 50 l/s.

O ensaio de bombagem na parte inferior do furo CB (CB-8) provocou rebaixamentos nos piezómetros CP1 (rebaixamento máximo de 2,72 m) e CP2 (rebaixamento máximo de 1,02 m).

O piezómetro CP3, que mede os mesmos registos do piezómetro CP4, apresentou rebaixamento máximo de 26 cm, registado 10 min após o final da paragem.

O troço intermédio do furo CB (CB-10) também reagiu, com rebaixamento máximo de 39 cm. A evolução dos níveis no piezómetro CP3 e no furo CB-10 faz supor escoamento vertical através das camadas adjacentes às camadas bombeadas, com rebaixamentos crescentes ao longo do tempo no furo CB-10 em relação aos registados no piezómetro CP-3, devido ao maior gradiente hidráulico provocado junto à captação devido à extracção de água para o ensaio.

Não se consideram significativas as reacções dos piezómetros CP5 e CP6.

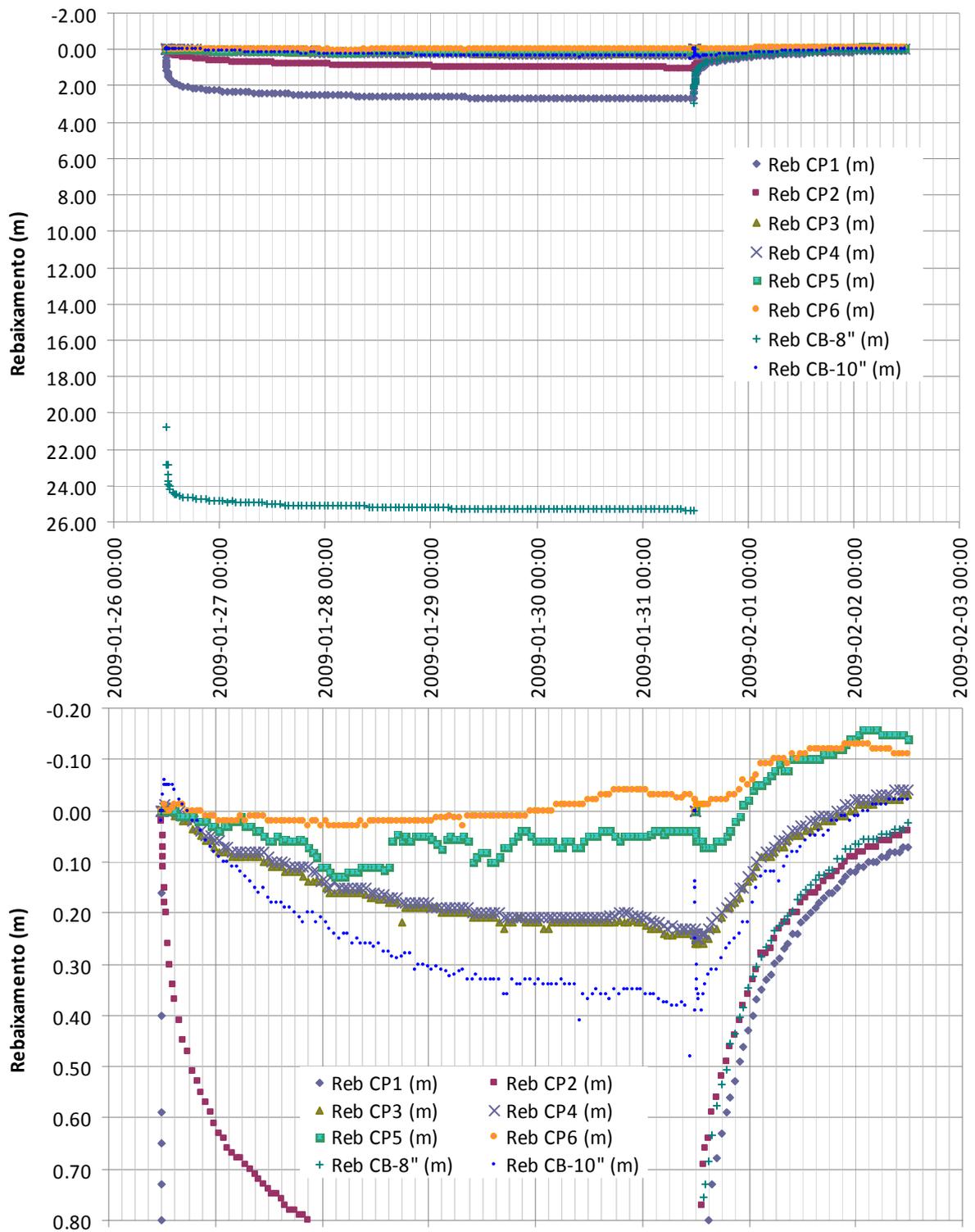


Fig. 87 – Rebaixamentos do ensaio CB-8

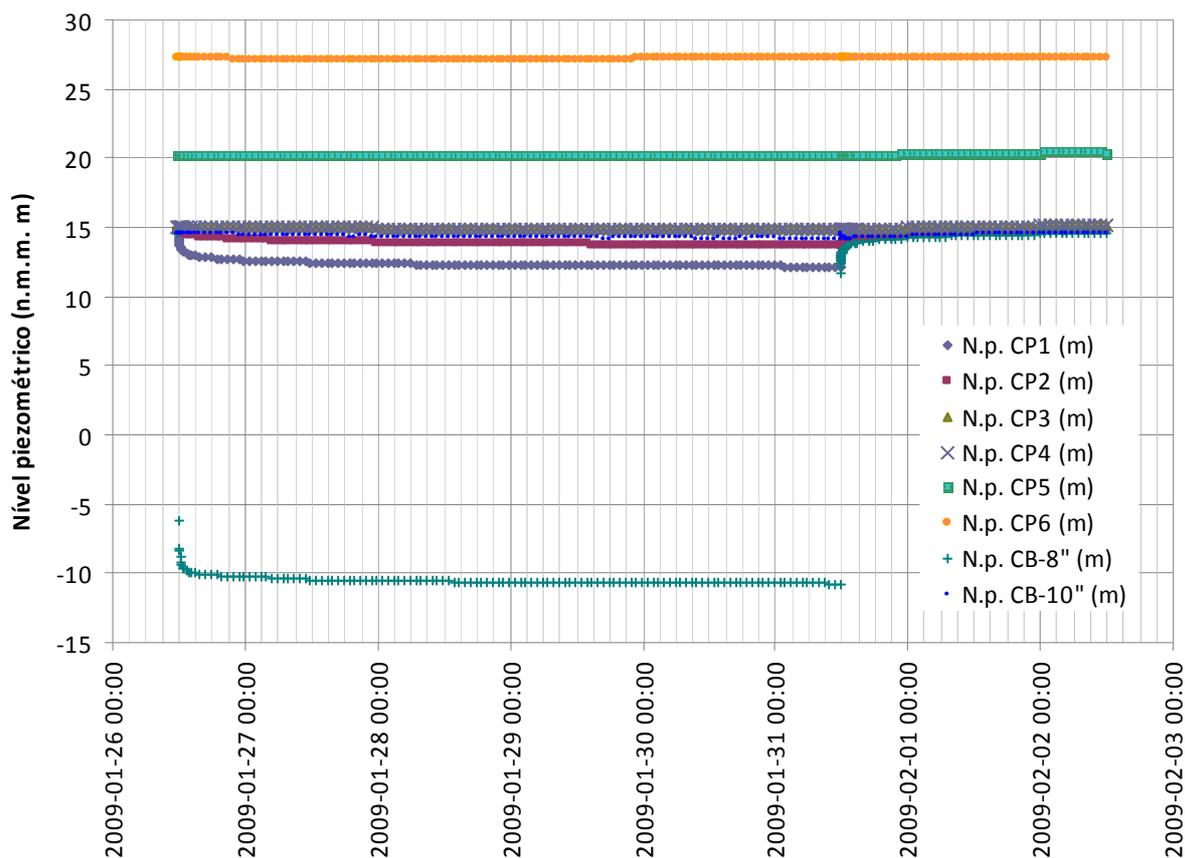


Fig. 88 – Níveis piezométricos observados durante o ensaio CB-8

#### 4.1.2 Interpretação do ensaio

O ensaio de bombagem no troço inferior do furo CB solicita as camadas monitorizadas pelo piezómetro CP1. Os rebaixamentos foram interpretados pelo método de Hantush, para o ensaio total e pelo método de recuperação de Theis para a recuperação. Os resultados estão resumidos no Quadro 32. Consta-se que desde os 420 minutos de ensaio os rebaixamentos no furo de bombagem CB-8 e no piezómetro CP1 são aproximadamente constantes (Fig. 89), o que demonstra que nesta zona o aquífero começou a responder da mesma forma. Dado que no furo CB-8 a projecção dos rebaixamentos em escala log-log não permite definir uma curva, é mais difícil fazer coincidir uma curva teórica aos resultados pelo que os rebaixamentos medidos no furo CB-8 durante a bombagem não são interpretados. As Fig. 90, Fig. 91 e Fig. 92 mostram os ajustamentos efectuados.

Quadro 32 – Resultados da interpretação do ensaio CB-8

| Furo/Piez | NHE (m) | NHD (m) | Rebaix (m) | Caudal Esp (l/s/m) | Método      | T (m <sup>2</sup> /d) | S (-)   | c (min)  |
|-----------|---------|---------|------------|--------------------|-------------|-----------------------|---------|----------|
| CP1       | 29,94   | 32,66   | 2,72       |                    | Hantush     | 1070                  | 1,82E-4 | 2,14E+07 |
| CB-8      |         |         |            |                    | Recuperação | 1080                  |         |          |
| CP1       |         |         |            |                    | Recuperação | 1110                  |         |          |

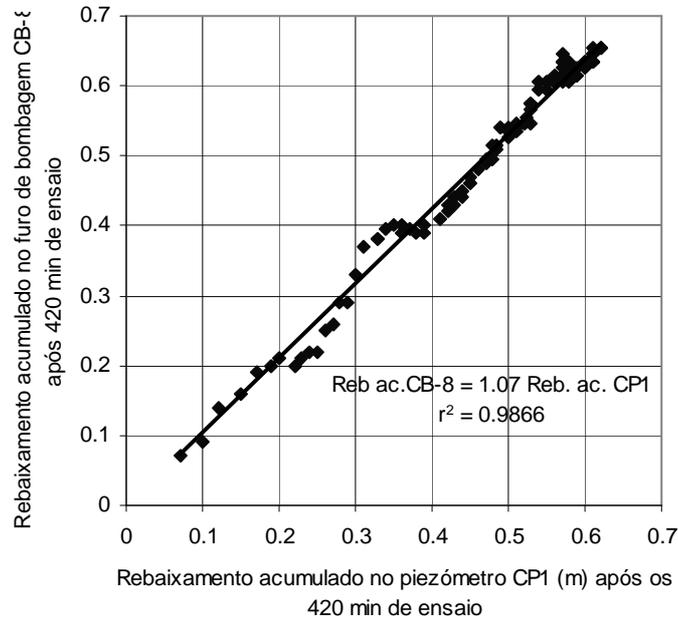
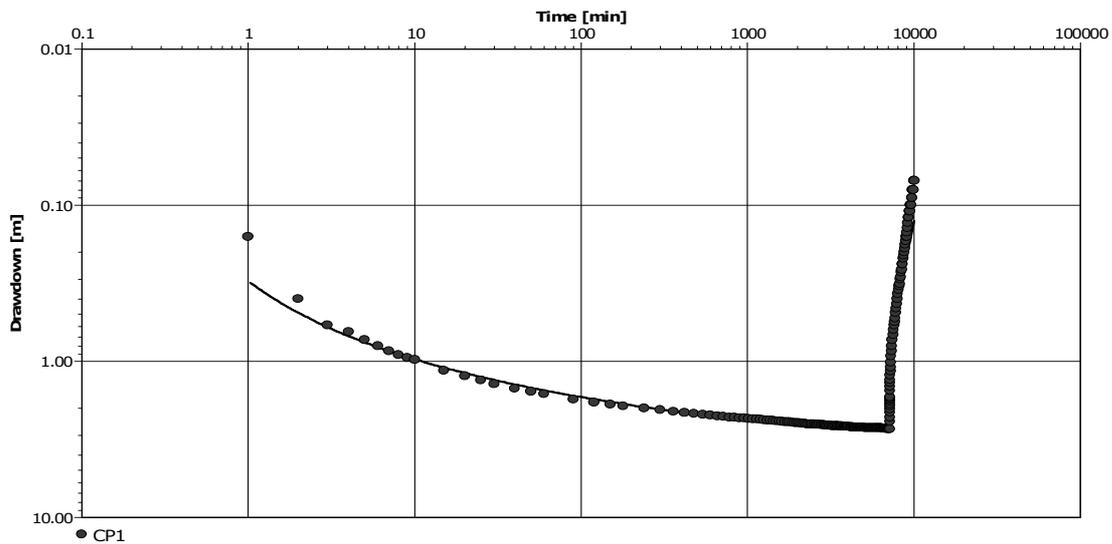
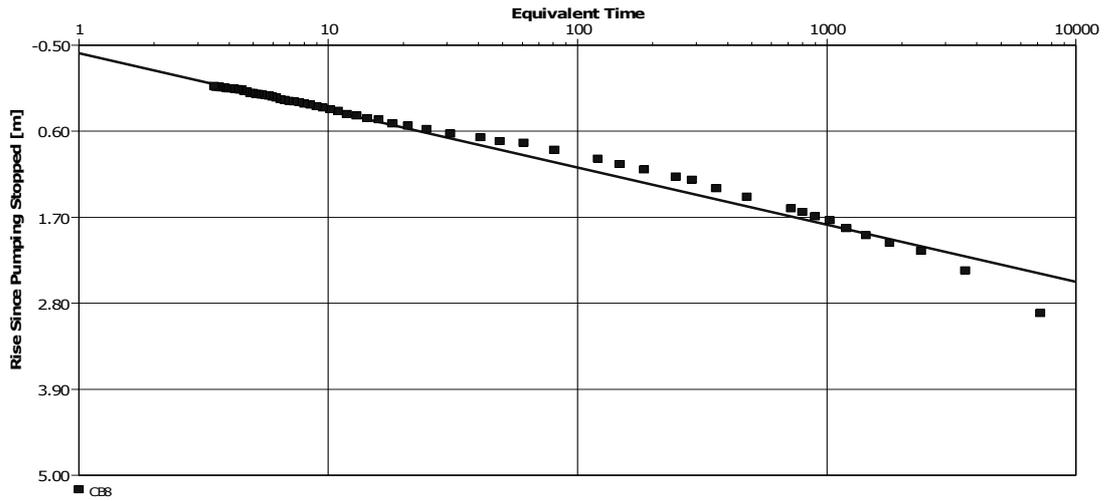


Fig. 89 – Comparação dos rebaixamentos do ensaio de bombagem CB-8 acumulados após os 420 minutos de ensaio



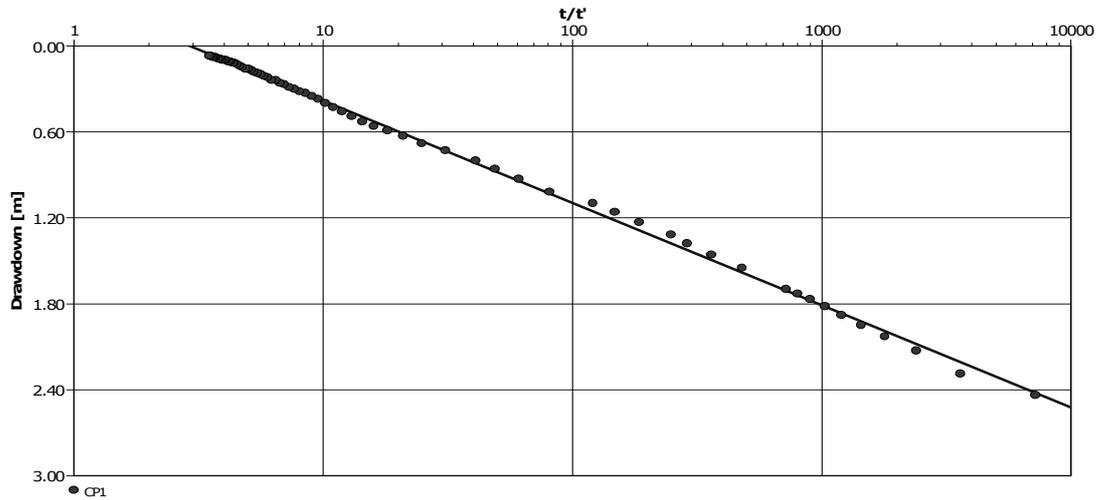
T=1070m<sup>2</sup>/dia      S=1.82e-4      c=2.14e7min

Fig. 90 – Interpretação do ensaio de bombagem CB-8, rebaixamentos no piezômetro CP1, método de Hantush



$T = 1080 \text{m}^2/\text{dia}$

Fig. 91 – Interpretação da recuperação do ensaio de bombagem CB-8, rebaixamentos no trecho inferior do furo CB



$T = 1110 \text{m}^2/\text{dia}$

Fig. 92 – Interpretação da recuperação do ensaio de bombagem CB-8, rebaixamentos no piezômetro CP1

## **4.2 Ensaio CB-10 (Furo CB – troço intermédio)**

### **4.2.1 Observação de níveis e rebaixamentos**

Início do ensaio: 2009-02-09; 11:03.

Início da recuperação: 2009-02-12; 11:03.

Paragem das medições da recuperação: 2009-02-26.

Caudal de extracção: 100 l/s.

Os piezómetros CP3 e CP4 reagiram de forma semelhante e registaram os maiores rebaixamentos (máximo de 5,69 m) devido à bombagem no troço intermédio do furo CB (CB-10). Estes piezómetros deverão estar a medir as mesmas camadas.

Os rebaixamentos nos piezómetros CP2 e CP5 são semelhantes (rebaixamentos máximos de 2,93 m e 2,63 m), embora os níveis distem mais de 5 m entre si. Estes piezómetros estão nas camadas imediatamente acima e abaixo da zona solicitada, denotando uma contribuição semelhante para a camada solicitada. Dados os rebaixamentos observados é provável que haja escoamento horizontal para a captação em extracção.

Os rebaixamentos registados no troço de 8" do furo CB (CB-8) são semelhantes aos rebaixamentos observados no piezómetro CP1, o que indicia que o CP1 mede o mesmo troço do aquífero que é captado no CB-8. Indicia também contribuição por escoamento vertical para as camadas solicitadas pela bombagem.

Somente o piezómetro CP6 tem uma reacção reduzida à extracção de água no CB-10, mesmo assim com rebaixamentos que atingem os 9 cm no final da bombagem, e os 14 cm, 20 min após o fim da bombagem. Apesar dos rebaixamentos serem reduzidos, este comportamento indicia alguma conectividade hidráulica da camada medida por este piezómetro com o restante sistema.

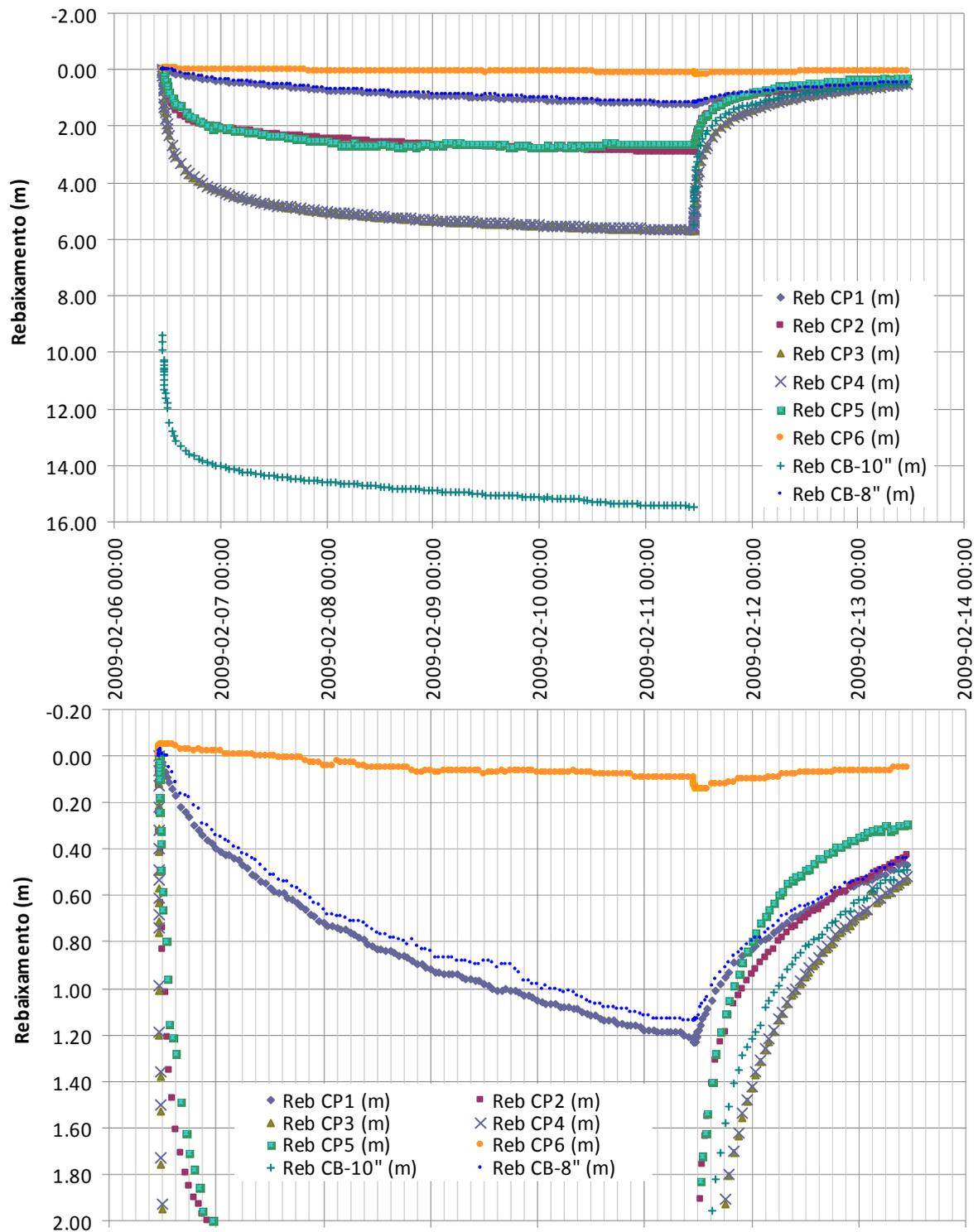


Fig. 93 – Rebaixamentos do ensaio CB-10

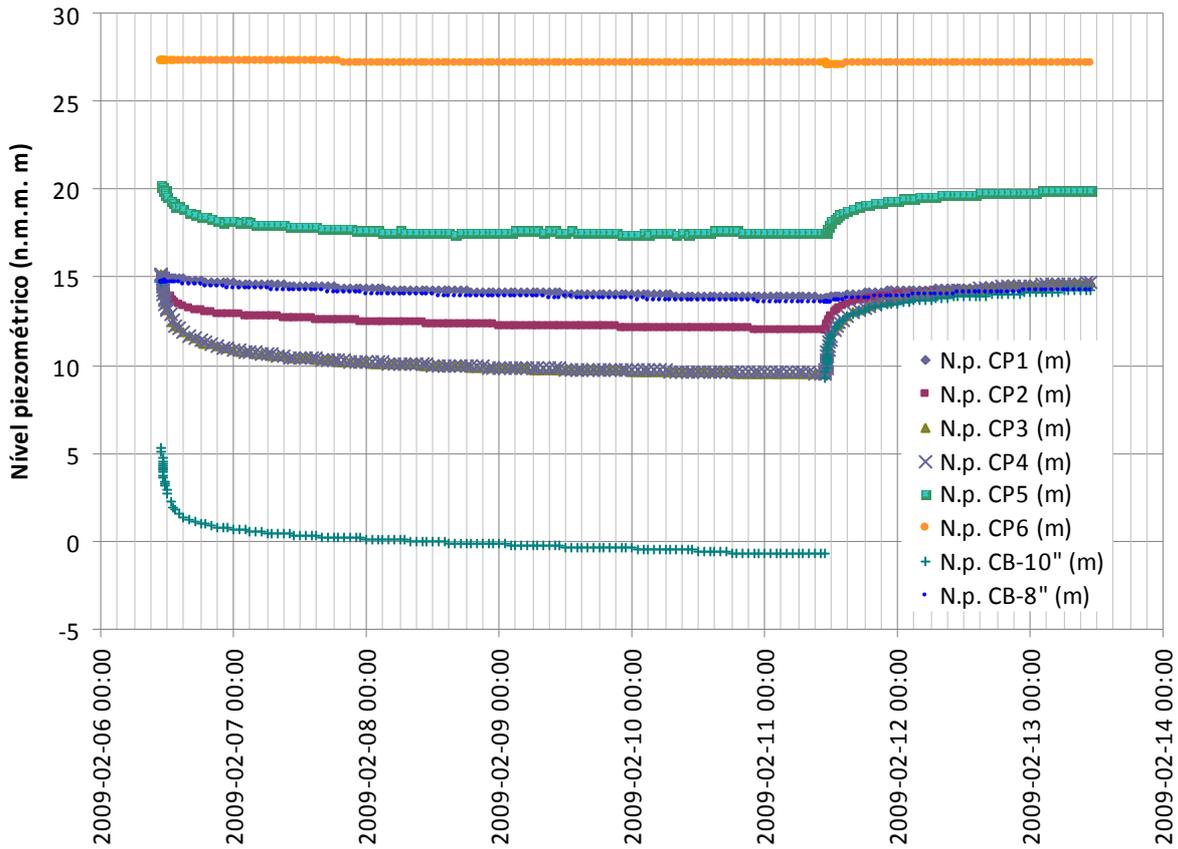


Fig. 94 – Níveis piezométricos observados durante o ensaio CB-10

#### 4.2.2 Interpretação do ensaio

O piezómetro CP3 mede as mesmas camadas que são solicitadas pela bombagem do troço intermédio da captação CB. O ensaio foi interpretado quer para o furo de bombagem quer para o piezómetro CP3 utilizando o método de Hantush. A recuperação também foi interpretada pelo método de recuperação de Theis. Os resultados estão resumidos no Quadro 33 e a interpretação é apresentada nas Fig. 95 a Fig. 98.

Quadro 33 – Resultados da interpretação do ensaio CB-10

| Furo/Piez | NHE (m) | NHD (m) | Rebaix (m) | Caudal Esp (l/s/m) | Método      | T (m <sup>2</sup> /d) | S (-)    | c (min) |
|-----------|---------|---------|------------|--------------------|-------------|-----------------------|----------|---------|
| CB-10     | 31,33   | 46,79   | 15,46      | 6,47               | Hantush     | 1050                  | -        | 8,00E+8 |
| CP3       | 29,63   | 35,32   | 5,69       |                    | Hantush     | 771                   | 1,53E-03 | 5,00E+6 |
| CB-10     |         |         |            |                    | Recuperação | 1020                  |          |         |
| CP3       |         |         |            |                    | Recuperação | 791                   |          |         |

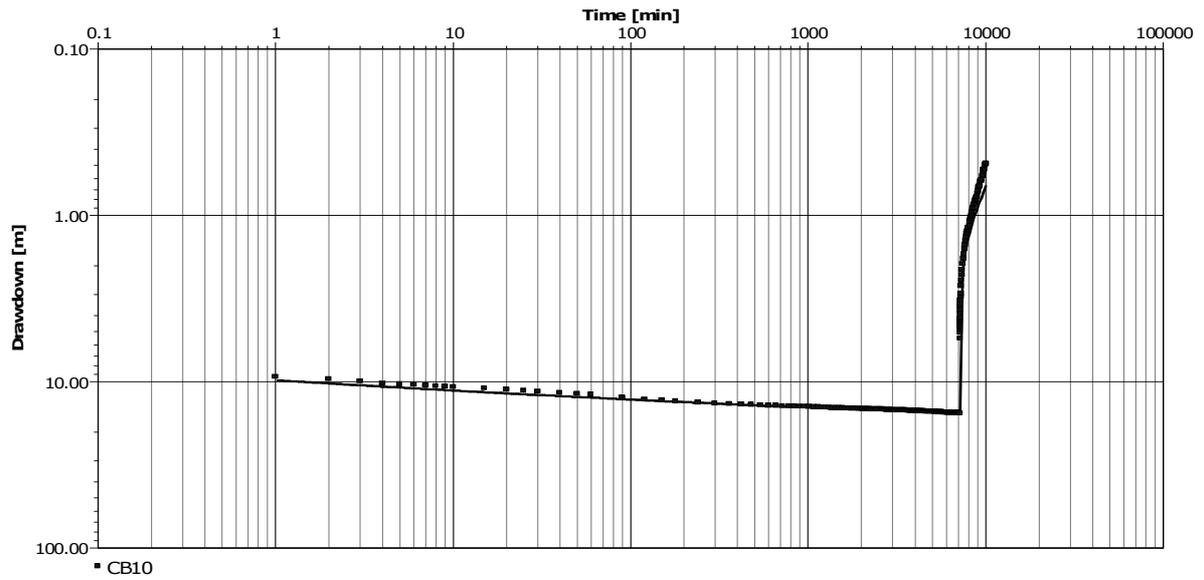


Fig. 95 – Interpretação do ensaio de bombagem CB-10, rebaixamentos no trecho intermédio do furo CB, método de Hantush

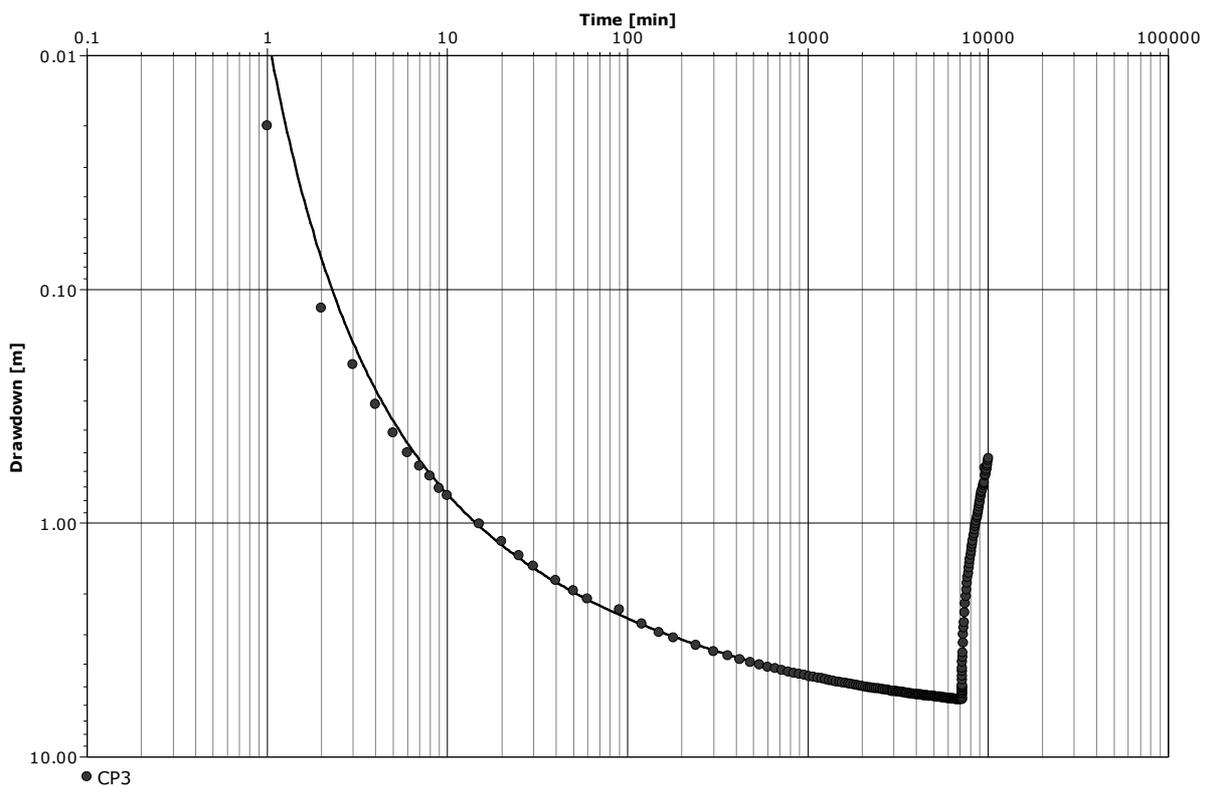
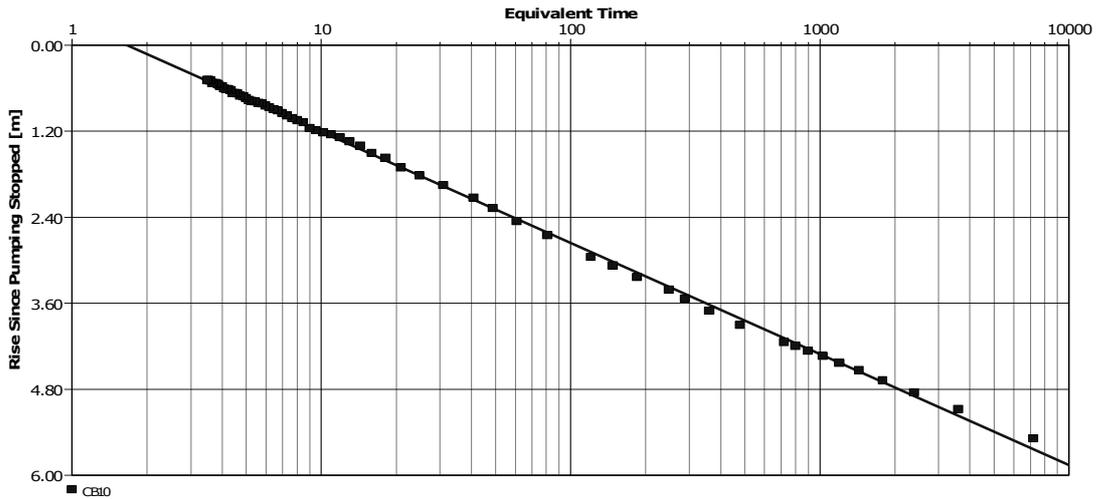
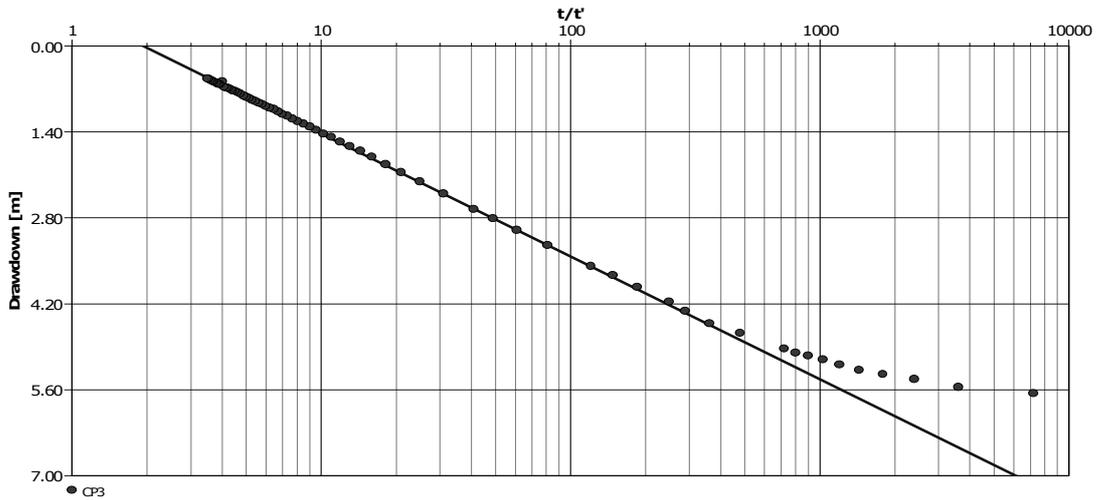


Fig. 96 – Interpretação do ensaio de bombagem CB-10, rebaixamentos no piezómetro CP3, método de Hantush



$T=1020\text{m}^2/\text{d}$

Fig. 97 – Interpretação da recuperação do ensaio de bombagem CB-10, rebaixamentos no troço intermédio do furo CB



$T=791\text{m}^2/\text{d}$

Fig. 98 – Interpretação da recuperação do ensaio de bombagem CB-10, rebaixamentos no piezómetro CP3

### **4.3 Ensaio CB total (Furo CB – troço intermédio e inferior)**

#### **4.3.1 Observação de níveis e rebaixamentos**

Início do ensaio: 2009-03-16; 15:00.

Início da recuperação: 2009-03-19; 15:00.

Paragem das medições da recuperação: 2009-03-20.

Caudal de extracção: 78 l/s.

O ensaio de bombagem do furo CB (CB total) provocou rebaixamentos maiores nos piezómetros CP3 e CP4 (2,93 m de rebaixamento máximo), rebaixamentos semelhantes nos piezómetros CP1 e CP2 (1,99 m e 2,04 m de rebaixamentos máximos, respectivamente), 1,40 m de rebaixamento máximo no piezómetro CP5 e não provocou variação de nível no CP6. Esta situação indicia que todo o sistema em análise reagiu ao ensaio, excepto a camada monitorizada pelo piezómetro superior (CP6).

O nível hidrodinâmico do furo CB mostrou tendência para estabilizar perto dos 7,75 m de altitude, tendo-se obtido um caudal específico de 10,3 l/s/m.

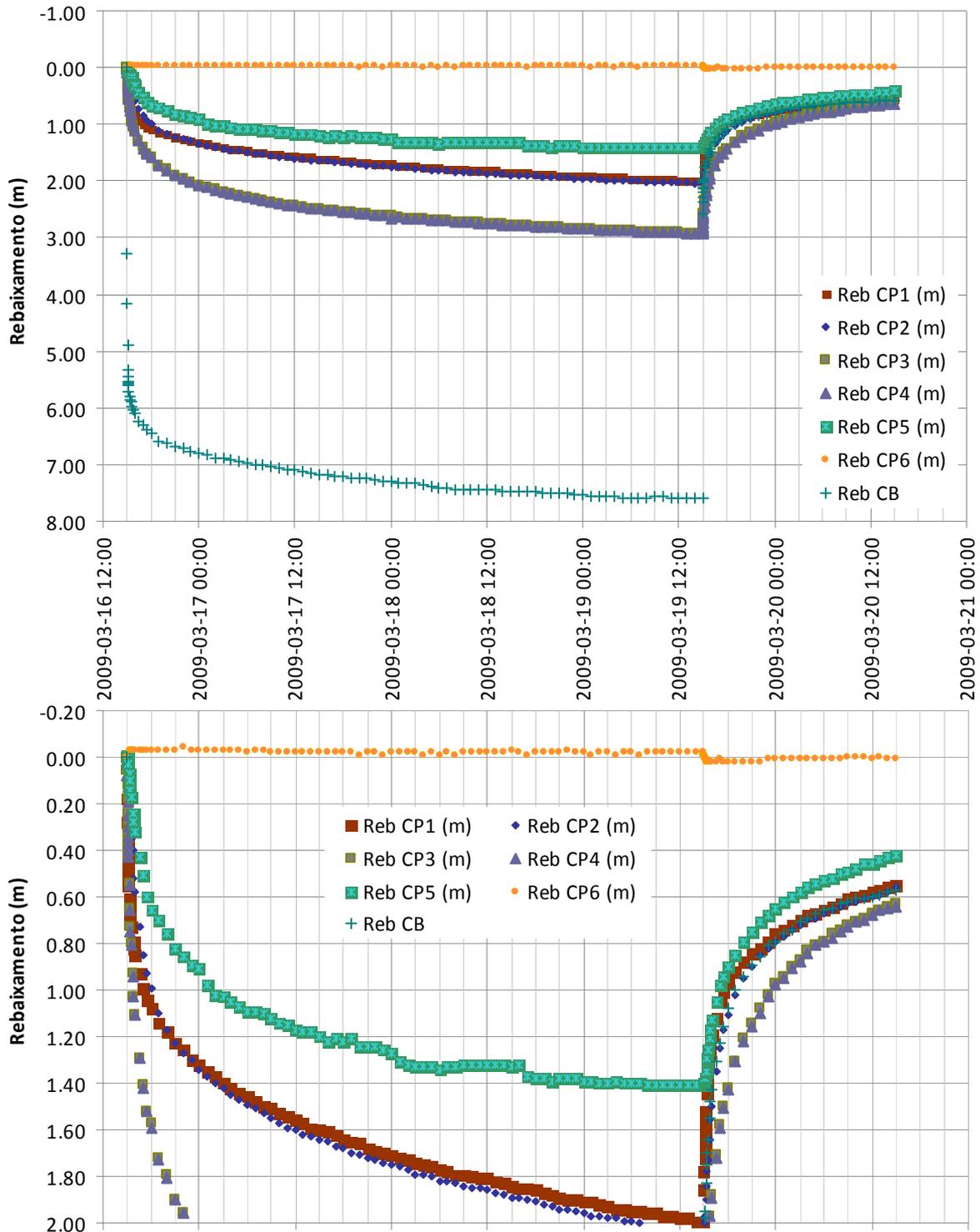


Fig. 99 – Rebaixamentos do ensaio CB total

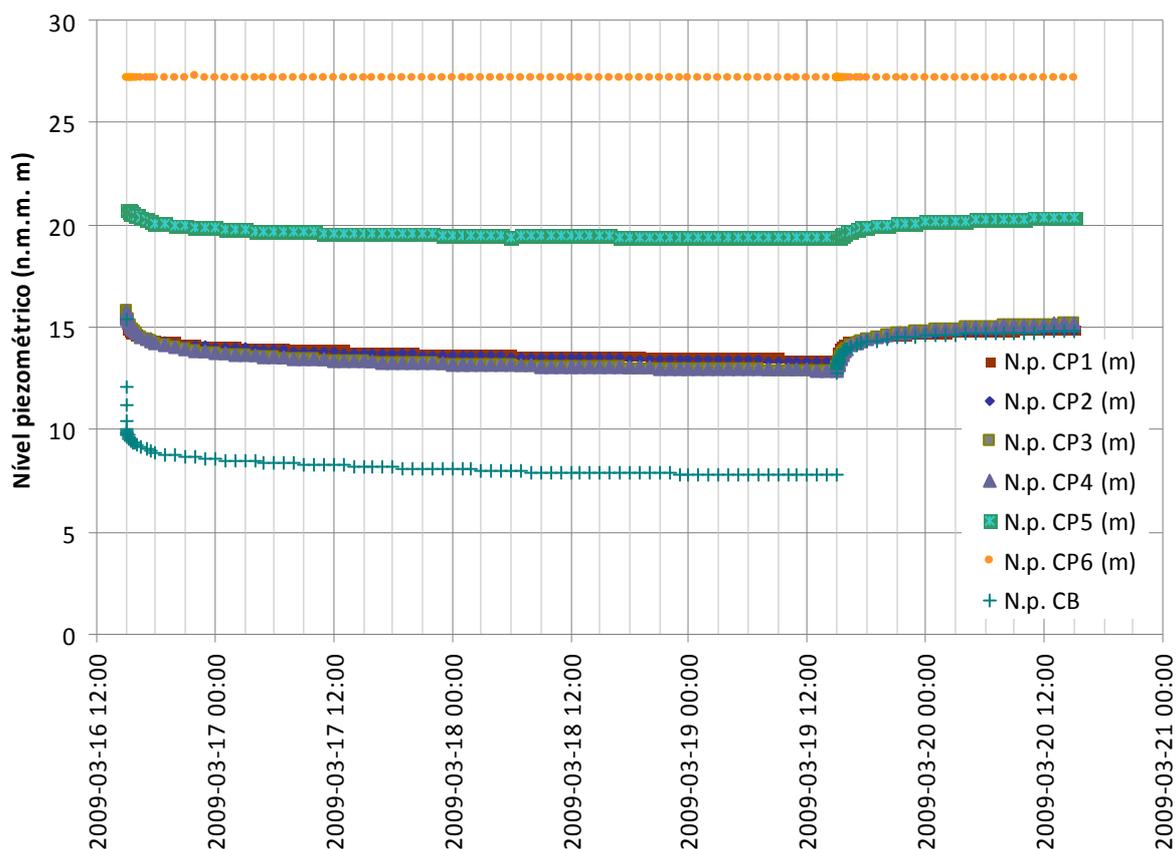


Fig. 100 – Níveis piezométricos observados durante o ensaio CB total

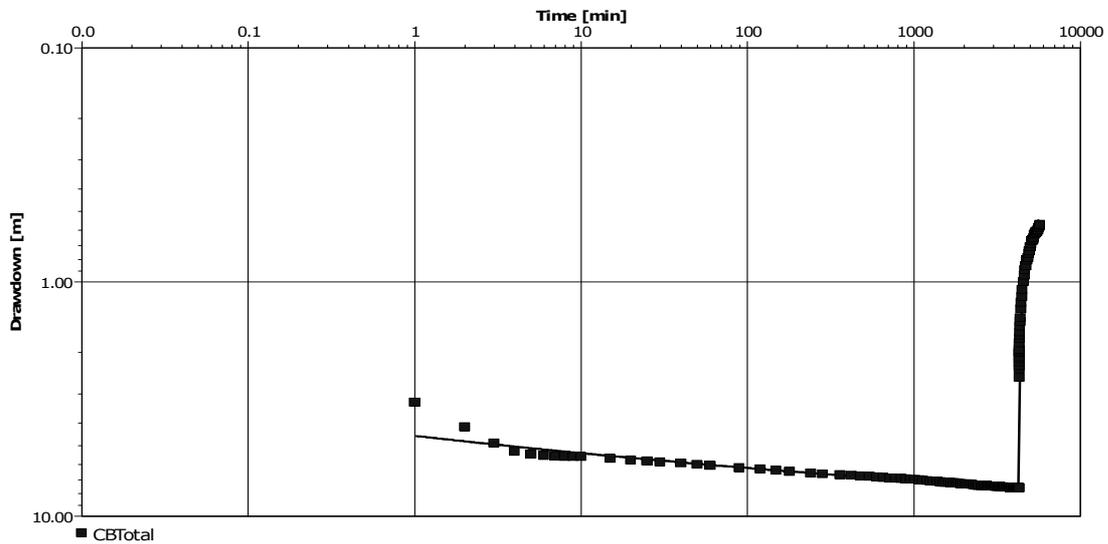
#### 4.3.2 Interpretação do ensaio

A exemplo da interpretação feita para o furo BB total, só se analisaram os rebaixamentos da captação. Utilizaram-se os métodos de Theis e de Hantush e analisou-se a recuperação pelo método de recuperação de Theis.

Os resultados obtidos estão sumarizados no Quadro 34. Os valores de transmissividade obtidos são diferentes consoante o método utilizado. Dado que os ajustamentos representados nas Fig. 101 a Fig. 103 são bons, e que se considera a possibilidade de haver semi-confinamento e que o método de Hantush permite considerar este aspecto, considera-se que o valor de  $T = 1410 \text{ m}^2/\text{d}$  é mais representativo. Constata-se, no entanto, que o valor de  $T = 1820 \text{ m}^2/\text{d}$  corresponde aproximadamente à soma dos valores de  $T$  obtidos nos ensaios dos troços separados (secções 4.1.2 e 4.2.2)

Quadro 34 – Resultados da interpretação do ensaio CB total

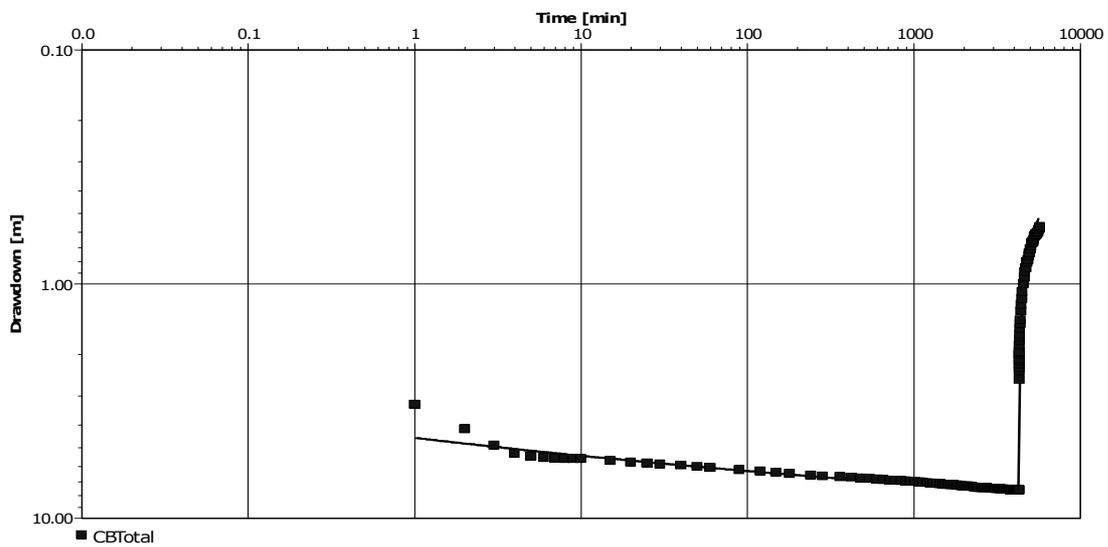
| Furo/Piez | NHE (m) | NHD (m) | Rebaix (m) | Caudal Esp (l/s/m) | Método      | T (m <sup>2</sup> /d) | S (-) | c (min)  |
|-----------|---------|---------|------------|--------------------|-------------|-----------------------|-------|----------|
| CBTotal   | 30,70   | 38,29   | 7,59       | 10,29              | Theis       | 1460                  | -     |          |
|           |         |         |            |                    | Hantush     | 1410                  | -     | 3,82E+07 |
|           |         |         |            |                    | Recuperação | 1820                  |       |          |



T=1460m<sup>2</sup>/dia

S=6.90e-4

Fig. 101 – Interpretação do ensaio de bombagem CB total, método de Theis

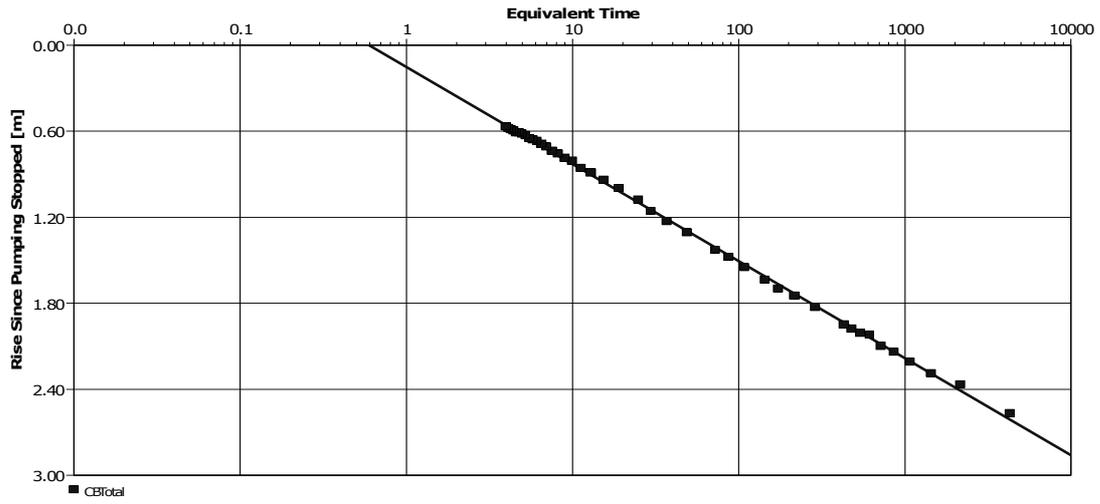


T=1410m<sup>2</sup>/dia

S=1.06e-3

c=3.82e7min

Fig. 102 – Interpretação do ensaio de bombagem CB total, método de Hantush



T=1820m<sup>2</sup>/dia

Fig. 103 – Interpretação da recuperação do ensaio de bombagem CB total

#### 4.4 Interpretação dos valores das sondas CTD

Foram efectuados registos, nos piezómetros, dos parâmetros físico-químicos CE e T para análise de valores durante o período de influência dos ensaios de caudal CB-10 (piezómetros CP3 e CP4) e do ensaio CB total (piezómetros CP1, CP2, CP3, CP5 e CP6). O Quadro 22 e a Fig. 104 apresentam os resultados obtidos.

A análise do Quadro 22 e das Fig. 104, Fig. 94 e Fig. 100 permite retirar as seguintes conclusões:

- Os valores de CE apresentam-se idênticos aos medidos em laboratório para os pontos CP3 (1.<sup>a</sup> parte das medições), CP4 e CP5. Nos restantes três pontos os valores medidos em laboratório são superiores aos registados *in situ*.
- Os valores de referência de CE medidos em laboratório apresentam diferenças entre níveis hidrogeológicos, com o valor mais alto no piezómetro CP2 (0,509 mS/cm).
- Os valores de CE foram registados durante os períodos de influência dos seguintes ensaios de caudal: CB-10, nos piezómetros CP3 e CP4, de 06/02/2009 a 13/02/2009; e CB total, nos piezómetros CP1, CP2, CP3, CP5 e CP6, no período entre 16/03/2009 e 20/03/2009. As Fig. 94 e Fig. 100 mostram uma diminuição dos níveis piezométricos e posterior recuperação para os referidos piezómetros e correspondentes períodos.
- Embora os piezómetros CP1 a CP5 apresentem um claro efeito do ensaio de caudal em termos de rebaixamento dos níveis piezométricos com posterior recuperação, não se regista qualquer alteração significativa de CE nos piezómetros CP1, CP3 (a diferença observada nos dois períodos diferentes é atribuída a erros de calibração entre as duas sondas utilizadas), CP4, CP5 e CP6. Excepção a esta observação é o CP2, piezómetro onde poderá ser interpretada uma ligeira subida do valor da CE que poderá resultar da drenância de água dos aquíferos adjacentes, caso a água intersticial apresente CE mais elevadas.

Em relação à temperatura, todos os piezómetros apresentam valores entre 18° e 18,5°C, pelo que não se podem retirar quaisquer conclusões por não haver diferenças.

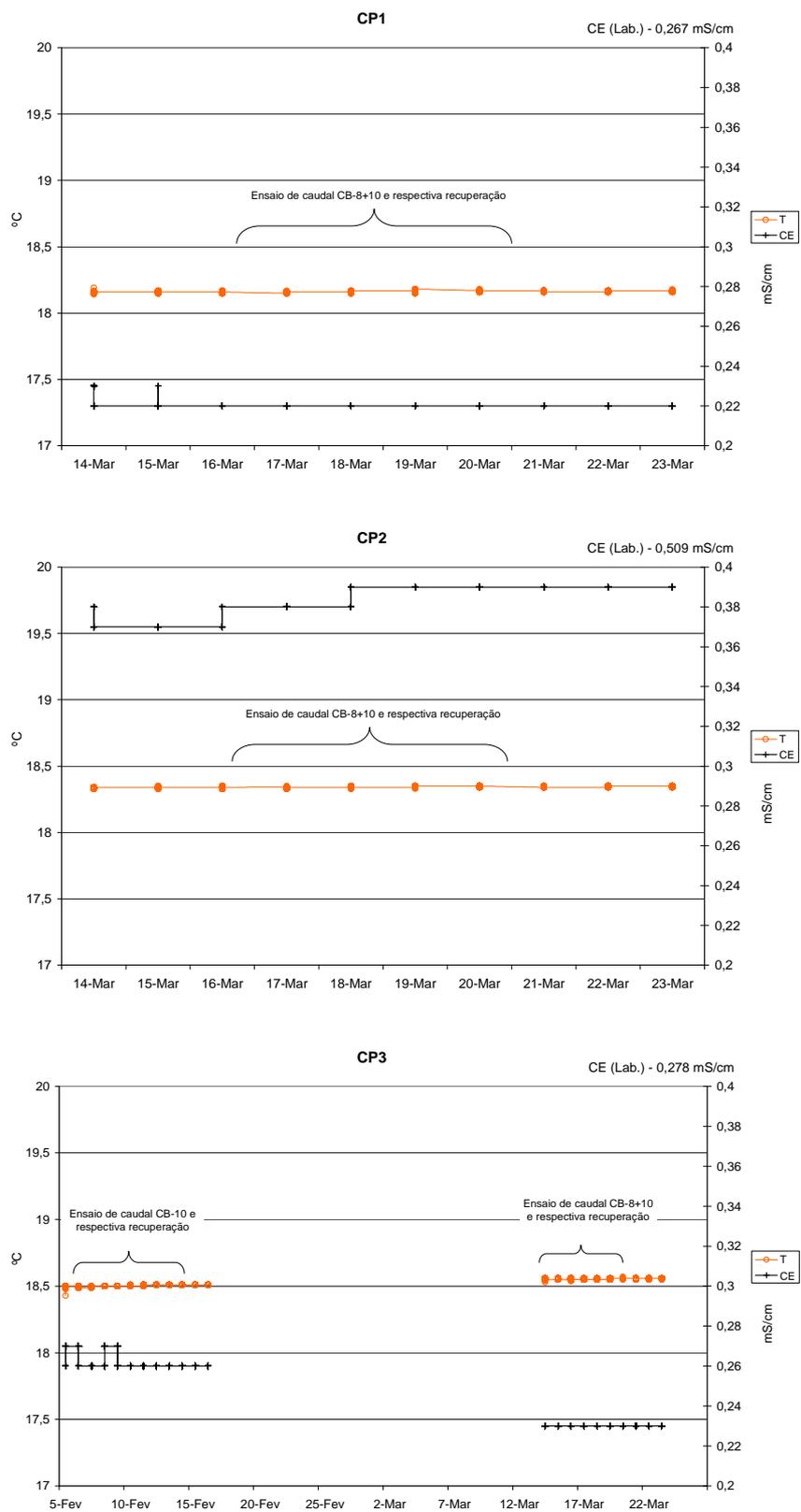


Fig. 104 - Valores de condutividade eléctrica e de temperatura em piezómetros, Zona C

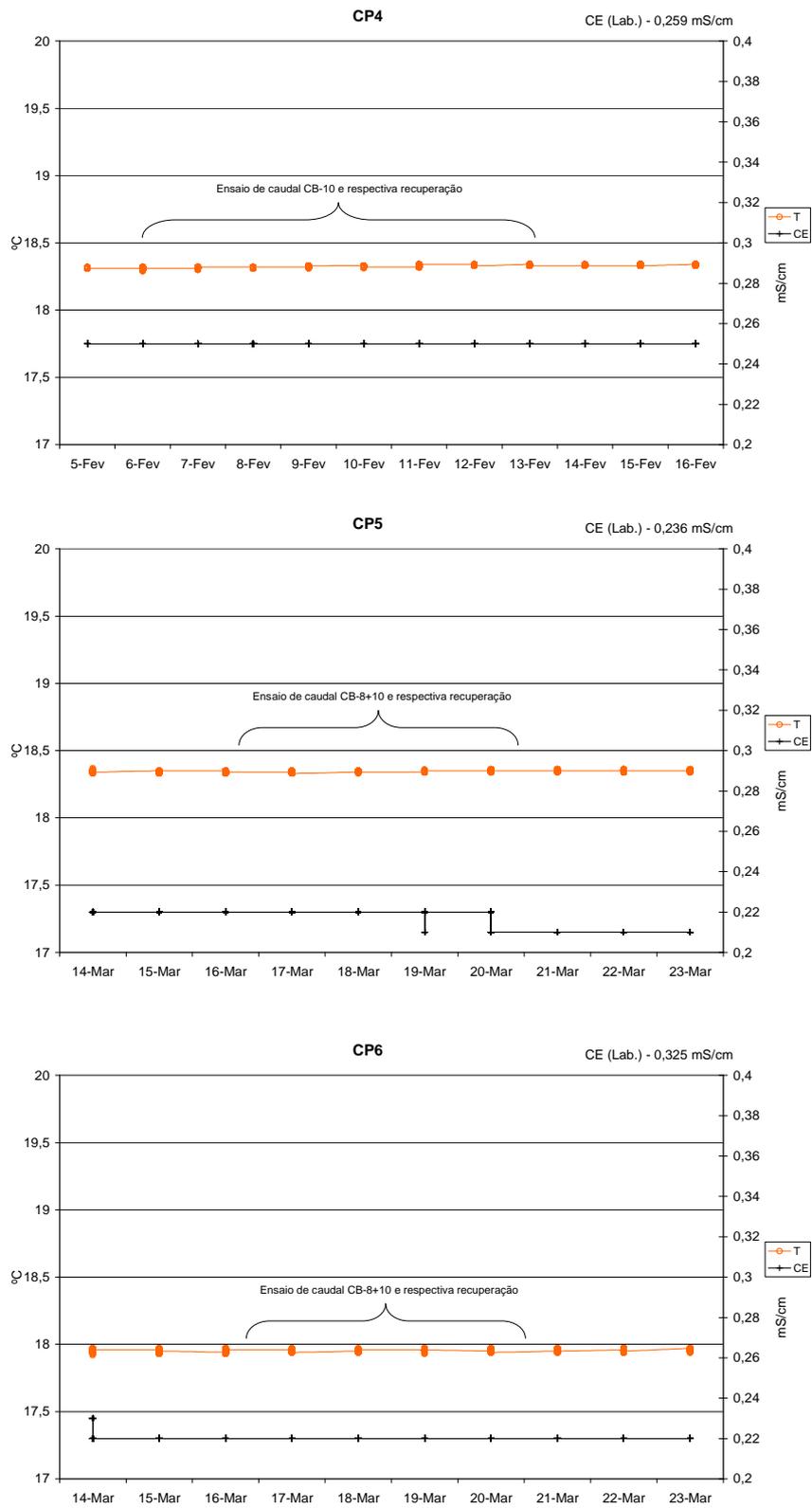


Fig. 104 - Valores de condutividade eléctrica e de temperatura em piezómetros, Zona C (cont.)

## Anexo 6 – Ensaio de laboratório de caracterização hidráulica da sondagem carotada CC.

| Amostra NBOA | Sondagem | Amostra nº | Prof. (m)     | K (m/s)  | Gradiente hidráulico | G    | Porosidade n (%) | Análise gran. | H <sub>2</sub> O (%) |
|--------------|----------|------------|---------------|----------|----------------------|------|------------------|---------------|----------------------|
| 4663         | CC1      | 1          | 3,60-4,20     | 7,8E-10  | 23                   | 2,78 | 37,7             | Fig.1         | 21,1                 |
| 4664         | CC1      | 2          | 5,40-6,00     | 1,1E-08  | 23                   | 2,71 | 28,3             | Fig.2         | 10,4                 |
| 4665         | CC1      | 3          | 18,30-18,90   | 1,5E-07  | 24                   | 2,75 | 27,2             | Fig.3         | 15,0                 |
| 4665 Rep     | CC1      | 3          | 18,30-18,90   | 4,2E-11  | 21                   | 2,75 | 26,4             | -             | 13,0                 |
| 4666         | CC1      | 4          | 20,00-20,60   | 4,5E-08  | 23                   | 2,64 | 36,6             | Fig.4         | 19,6                 |
| 4667         | CC1      | 5          | 27,25-27,85   | 4,9E-07  | 23                   | 2,74 | 31,1             | Fig.5         | 15,8                 |
| 4668(*)      | CC1      | 6          | 32,70-33,20   | 3,8E-11  | 23                   | 2,77 | 37,2             | Fig.6         | 20,6                 |
| 4669(*)      | CC1      | 7          | 39,50-40,00   | 2,9E-09  | 24                   | 2,69 | 37,5             | Fig.7         | 19,5                 |
| 4670         | CC2      | 8          | 51,80-52,40   | 8,6E-07  | 22                   | 2,85 | 36,8             | Fig.8         | 16,8                 |
| 4671         | CC2      | 9          | 55,40-56,00   | 6,4E-11  | 23                   | 2,76 | 34,3             | Fig.9         | 18,2                 |
| 4672         | CC2      | 10         | 68,15-68,75   | 1,6E-10  | 22                   | 2,73 | 28,5             | Fig.10        | 14,4                 |
| 4673         | CC2      | 11         | 71,20-71,80   | 4,1E-09  | 21                   | 2,77 | 33,4             | Fig.11        | 17,0                 |
| 4674         | CC2      | 12         | 76,00-76,60   | 4,0E-9   | 22                   | 2,66 | 29,4             | Fig.12        | 15,5                 |
| 4675         | CC2      | 13         | 87,10-87,70   | 8,8E-9   | 22                   | 2,71 | 33,0             | Fig.13        | 18,0                 |
| 4676         | CC2      | 14         | 87,75-88,35   | 7,2E-11  | 22                   | 2,72 | 29,8             | Fig.14        | 15,2                 |
| 4735         | CC3      | 15         | 109,10-109,70 | 1,5E-10  | 23                   | 2,74 | 32,0             | Fig.15        | 17,0                 |
| 4736         | CC3      | 16         | 119,40-120,00 | 1,96E-10 | 22                   | 2,74 | 31,3             | Fig.16        | 15,7                 |
| 4737         | CC3      | 17         | 121,00-121,60 | 1,94E-10 | 21                   | 2,69 | 29,1             | Fig.17        | 15,0                 |
| 4738         | CC3      | 18         | 138,80-139,40 | 7,2E-11  | 23                   | 2,75 | 31,7             | Fig.18        | 14,2                 |

K= permeabilidade em m/s

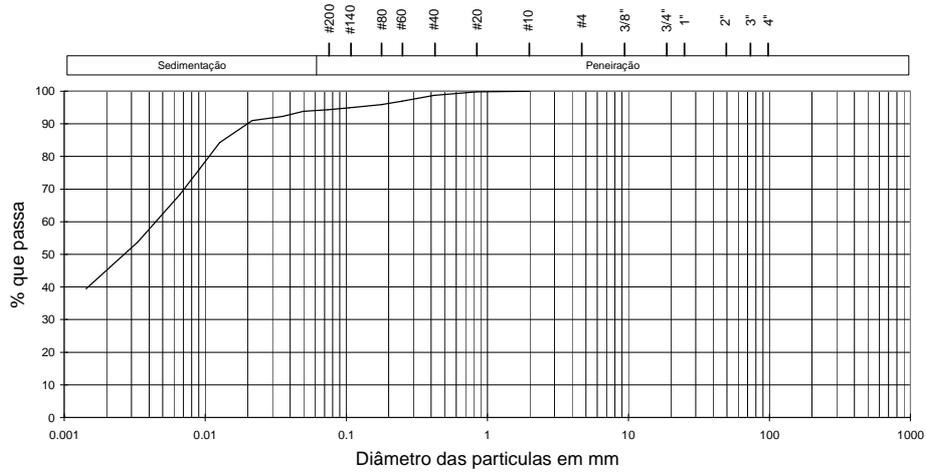
Gradiente hidráulico = (altura da coluna de água) / (altura da amostra)

G= Peso volúmico das partículas sólidas

4665 Rep – Repetição para confirmação do valor medido na 1ª amostra. O valor da Repetição é o considerado

(\*) Amostra remexida (recolhida com amostrador modificado)

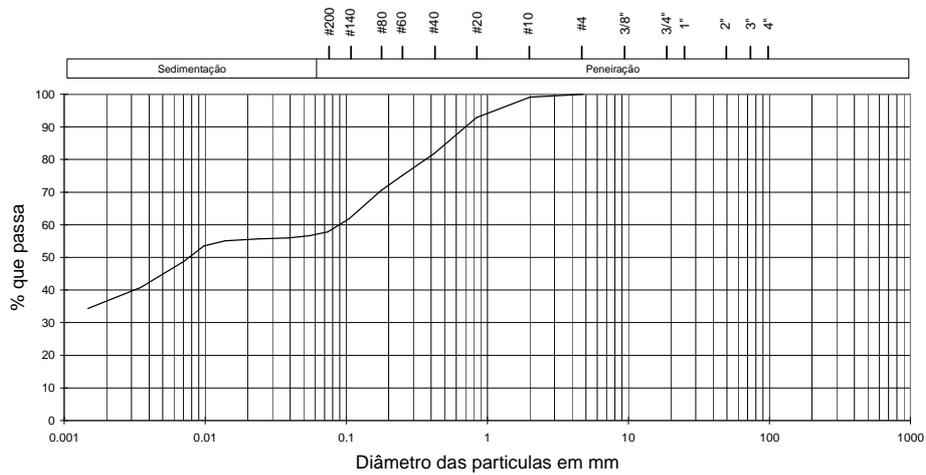
Amostra n°4663, Sondagem CC1, Profundidade 3,60-4,20 (m)



| Açulha | Finos  |  |  | Médias |  |  | Grossas    |  |  | Blocos |  |
|--------|--------|--|--|--------|--|--|------------|--|--|--------|--|
|        | Siltes |  |  | Areias |  |  | Cascaalhos |  |  |        |  |

| Peneiro | #200  | #140  | #80   | #60   | #40   | #20   | #10 | #4   | 3/8" | 3/4" | 1"   | 1.5" | 2"   |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|------|------|------|------|------|------|
| # (mm)  | 0.074 | 0.105 | 0.177 | 0.25  | 0.42  | 0.841 | 2   | 4.76 | 9.51 | 19   | 25.4 | 38.1 | 50.8 |
| % passa | 94.36 | 94.93 | 95.9  | 96.98 | 98.73 | 99.75 | 100 |      |      |      |      |      |      |

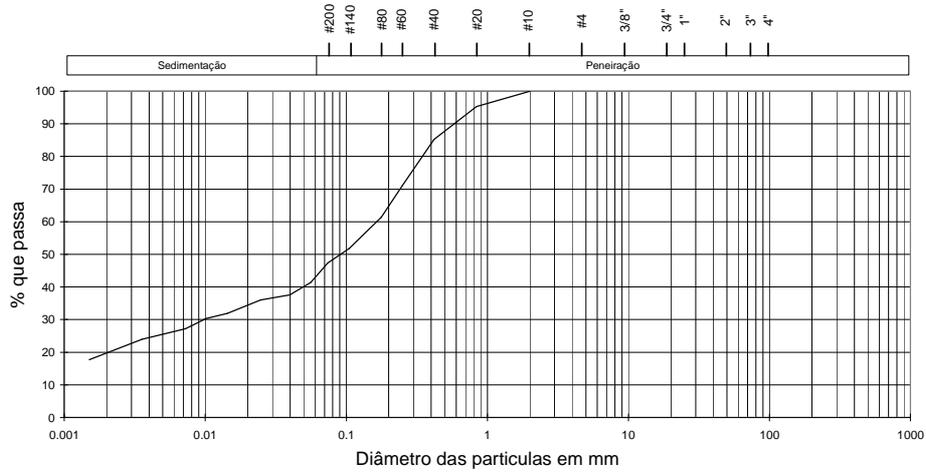
Amostra n°4664, Sondagem CC1, Profundidade 5,40-6,00 (m)



| Açulha | Finos  |  |  | Médias |  |  | Grossas    |  |  | Blocos |  |
|--------|--------|--|--|--------|--|--|------------|--|--|--------|--|
|        | Siltes |  |  | Areias |  |  | Cascaalhos |  |  |        |  |

| Peneiro | #200  | #140  | #80   | #60   | #40   | #20   | #10   | #4   | 3/8" | 3/4" | 1"   | 1.5" | 2"   |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|
| # (mm)  | 0.074 | 0.105 | 0.177 | 0.25  | 0.42  | 0.841 | 2     | 4.76 | 9.51 | 19   | 25.4 | 38.1 | 50.8 |
| % passa | 57.84 | 61.85 | 70.5  | 75.18 | 81.77 | 92.85 | 99.13 | 100  |      |      |      |      |      |

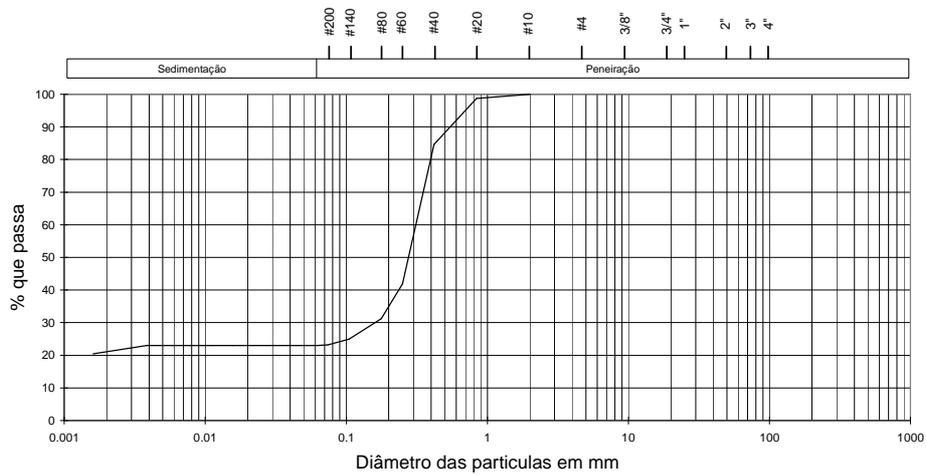
Amostra n°4665, Sondagem CC1, Profundidade 18,30-18,90 (m)



| Açulha | Finos  |  |  | Médias |  |  | Grossos   |  |  | Blocos |  |  |
|--------|--------|--|--|--------|--|--|-----------|--|--|--------|--|--|
|        | Siltos |  |  | Areias |  |  | Cascalhos |  |  | Blocos |  |  |

| Peneiro | #200  | #140  | #80   | #60   | #40   | #20   | #10 | #4   | 3/8" | 3/4" | 1"   | 1.5" | 2"   |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|------|------|------|------|------|------|
| # (mm)  | 0,074 | 0,105 | 0,177 | 0,25  | 0,42  | 0,841 | 2   | 4,76 | 9,51 | 19   | 25,4 | 38,1 | 50,8 |
| % passa | 47,4  | 51,76 | 61,32 | 71,16 | 85,23 | 95,28 | 100 |      |      |      |      |      |      |

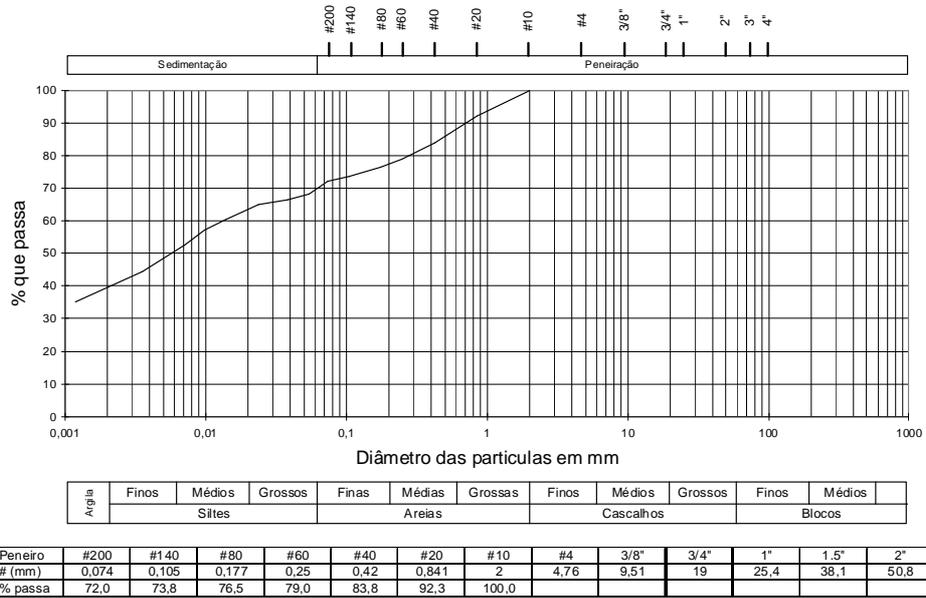
Amostra n°4666, Sondagem CC1, Profundidade 20,00-20,60 (m)



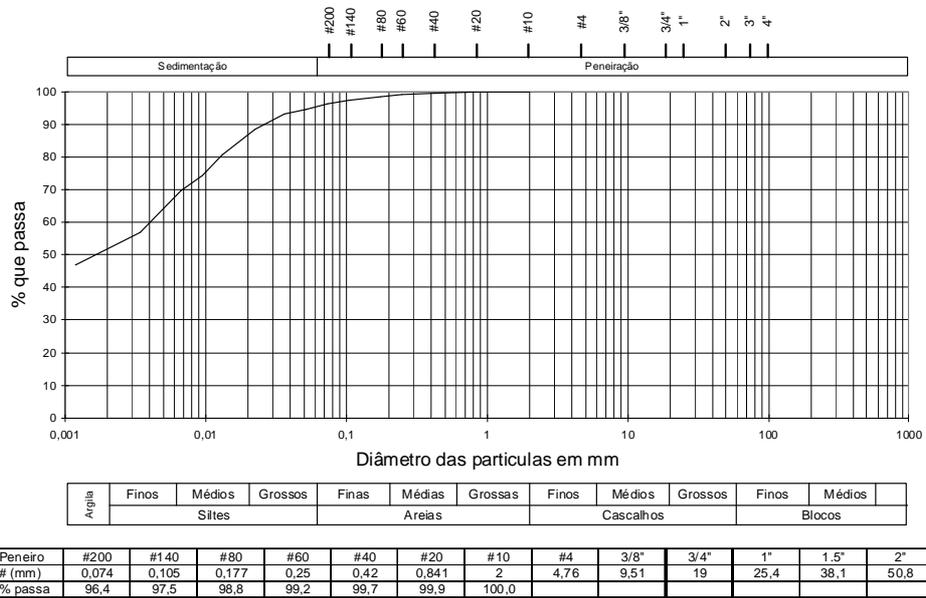
| Açulha | Finos  |  |  | Médias |  |  | Grossos   |  |  | Blocos |  |  |
|--------|--------|--|--|--------|--|--|-----------|--|--|--------|--|--|
|        | Siltos |  |  | Areias |  |  | Cascalhos |  |  | Blocos |  |  |

| Peneiro | #200  | #140  | #80   | #60  | #40   | #20   | #10 | #4   | 3/8" | 3/4" | 1"   | 1.5" | 2"   |
|---------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-----|------|------|------|------|------|------|
| # (mm)  | 0,074 | 0,105 | 0,177 | 0,25 | 0,42  | 0,841 | 2   | 4,76 | 9,51 | 19   | 25,4 | 38,1 | 50,8 |
| % passa | 23,23 | 24,98 | 31,16 | 41,9 | 84,63 | 98,73 | 100 |      |      |      |      |      |      |

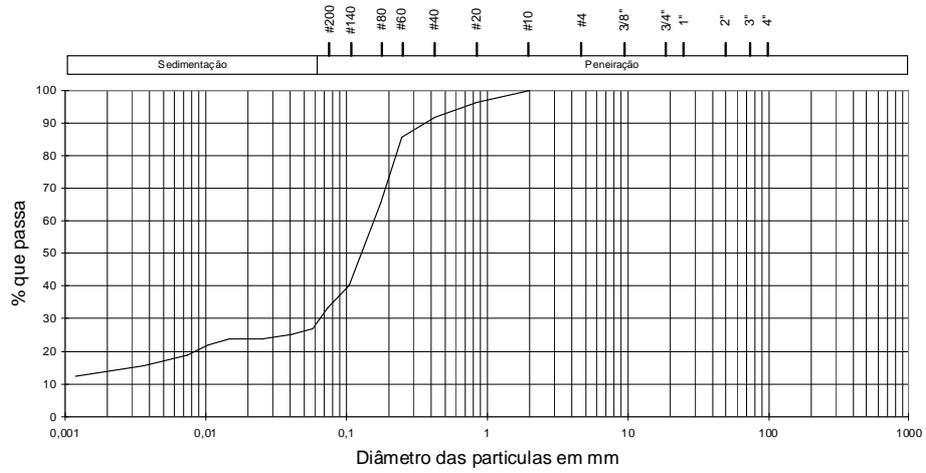
Amostra nº4667, Sondagem CC1, Profundidade 27,25-27,85 (m)



Amostra nº4668, Sondagem CC1, Profundidade 32,70-33,20 (m)



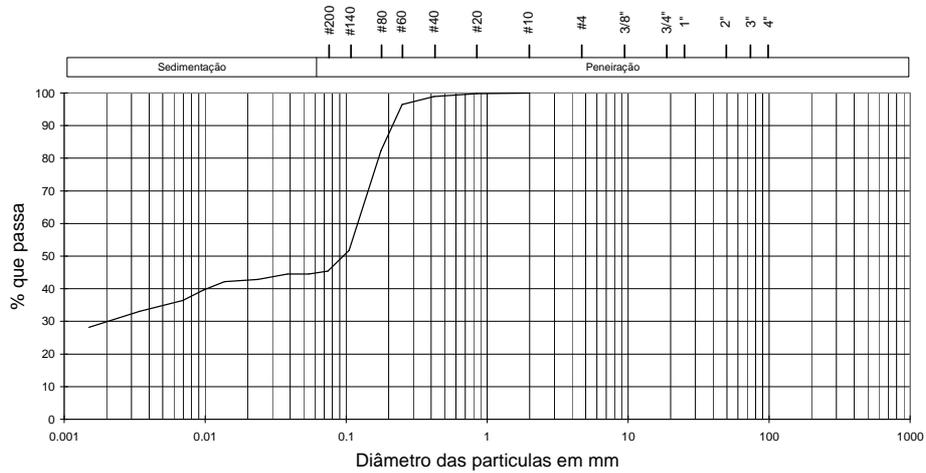
Amostra n°4669, Sondagem CC1, Profundidade 39,50-40,00 (m)



| Argila | Siltos |        |         | Areias |        |         | Cascalhos |        |         | Blocos |        |
|--------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|-----------|--------|---------|--------|--------|
|        | Finos  | Médios | Grossos | Finas  | Médias | Grossas | Finos     | Médios | Grossos | Finos  | Médios |

| Peneiro | #200  | #140  | #80   | #60  | #40  | #20   | #10   | #4   | 3/8" | 3/4" | 1"   | 1.5" | 2"   |
|---------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|
| # (mm)  | 0,074 | 0,105 | 0,177 | 0,25 | 0,42 | 0,841 | 2     | 4,76 | 9,51 | 19   | 25,4 | 38,1 | 50,8 |
| % passa | 33,3  | 40,0  | 65,2  | 85,7 | 91,9 | 96,3  | 100,0 |      |      |      |      |      |      |

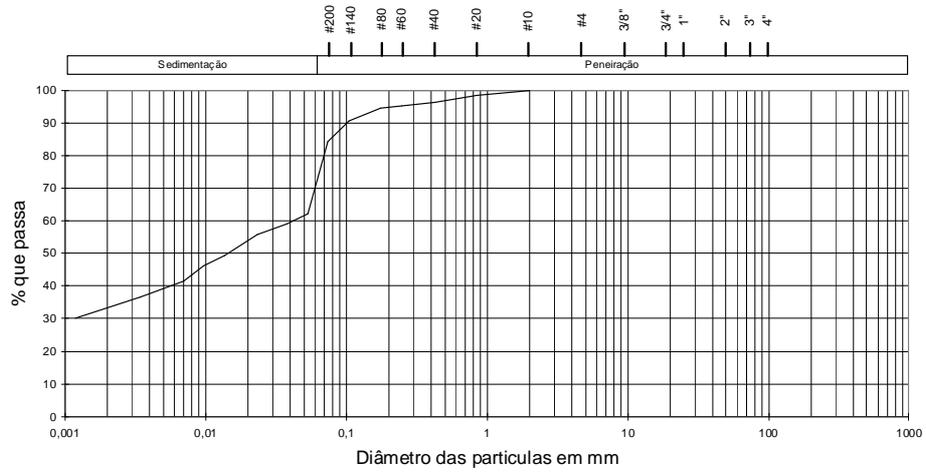
Amostra n°4670, Sondagem CC2, Profundidade 51,80-52,40 (m)



| Argila | Siltos |        |         | Areias |        |         | Cascalhos |        |         | Blocos |        |
|--------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|-----------|--------|---------|--------|--------|
|        | Finos  | Médios | Grossos | Finas  | Médias | Grossas | Finos     | Médios | Grossos | Finos  | Médios |

| Peneiro | #200  | #140  | #80   | #60   | #40  | #20   | #10 | #4   | 3/8" | 3/4" | 1"   | 1.5" | 2"   |
|---------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-----|------|------|------|------|------|------|
| # (mm)  | 0,074 | 0,105 | 0,177 | 0,25  | 0,42 | 0,841 | 2   | 4,76 | 9,51 | 19   | 25,4 | 38,1 | 50,8 |
| % passa | 45,42 | 51,78 | 82,28 | 96,44 | 98,9 | 99,78 | 100 |      |      |      |      |      |      |

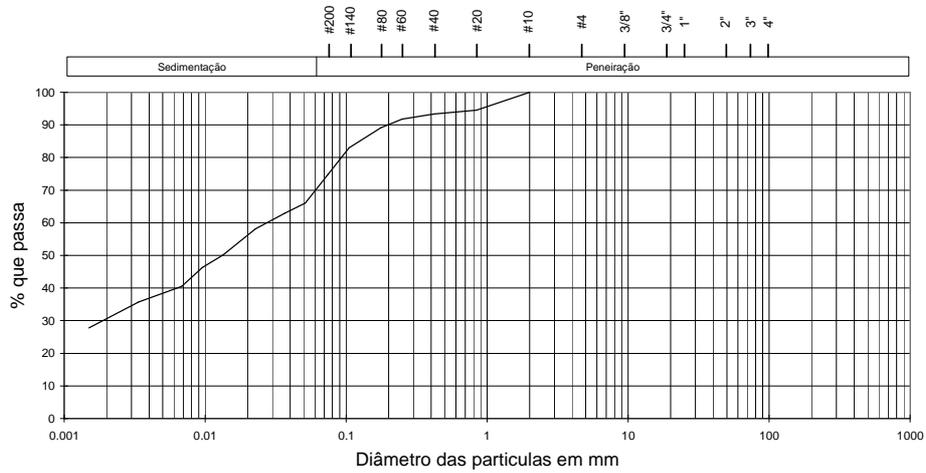
Amostra n°4671, Sondagem CC2, Profundidade 55,40-56,00 (m)



| Argila | Siltos |        |         | Areias |        |         | Cascalhos |        |         | Blocos |        |
|--------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|-----------|--------|---------|--------|--------|
|        | Finos  | Médios | Grossos | Finas  | Médias | Grossas | Finos     | Médios | Grossos | Finos  | Médios |

| Peneiro | #200  | #140  | #80   | #60  | #40  | #20   | #10   | #4   | 3/8" | 3/4" | 1"   | 1.5" | 2"   |
|---------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|
| # (mm)  | 0,074 | 0,105 | 0,177 | 0,25 | 0,42 | 0,841 | 2     | 4,76 | 9,51 | 19   | 25,4 | 38,1 | 50,8 |
| % passa | 84,2  | 90,6  | 94,7  | 95,4 | 96,3 | 98,6  | 100,0 |      |      |      |      |      |      |

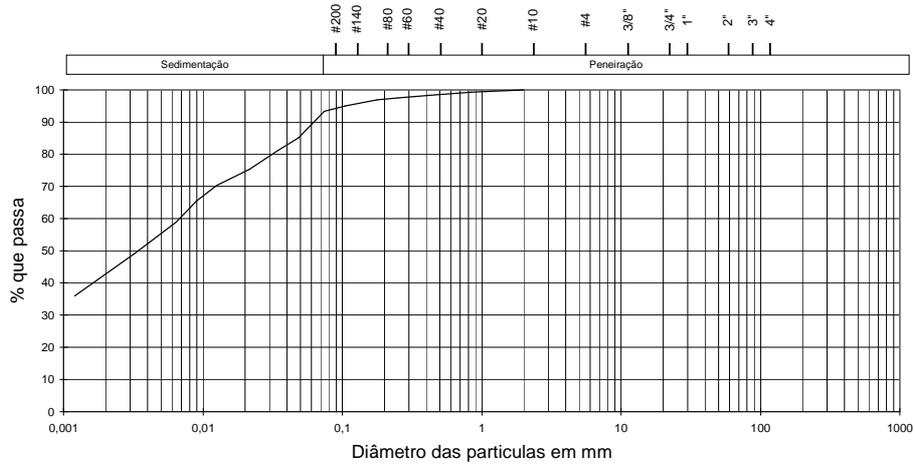
Amostra n°4672, Sondagem CC2, Profundidade 68,15-68,75 (m)



| Argila | Siltos |        |         | Areias |        |         | Cascalhos |        |         | Blocos |        |
|--------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|-----------|--------|---------|--------|--------|
|        | Finos  | Médios | Grossos | Finas  | Médias | Grossas | Finos     | Médios | Grossos | Finos  | Médios |

| Peneiro | #200  | #140  | #80   | #60   | #40   | #20   | #10 | #4   | 3/8" | 3/4" | 1"   | 1.5" | 2"   |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|------|------|------|------|------|------|
| # (mm)  | 0,074 | 0,105 | 0,177 | 0,25  | 0,42  | 0,841 | 2   | 4,76 | 9,51 | 19   | 25,4 | 38,1 | 50,8 |
| % passa | 74,74 | 82,93 | 89,15 | 91,72 | 93,32 | 94,48 | 100 |      |      |      |      |      |      |

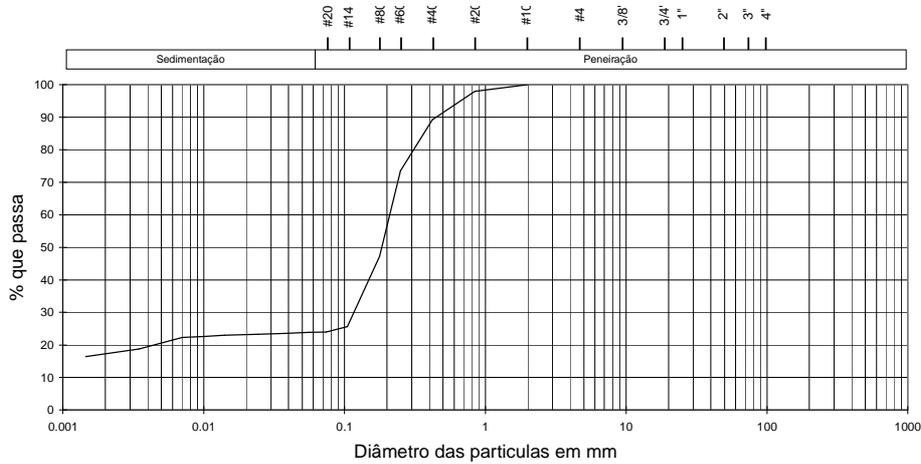
Amostra n°4673, Sondagem CC2, Profundidade 71,20-71,80 (m)



| Argila | Siltos |        |         | Areias |        |         | Cascalhos |        |         | Blocos |        |
|--------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|-----------|--------|---------|--------|--------|
|        | Finos  | Médios | Grossos | Finas  | Médias | Grossas | Finos     | Médios | Grossos | Finos  | Médios |

| Peneiro | #200  | #140  | #80   | #60  | #40  | #20   | #10   | #4   | 3/8" | 3/4" | 1"   | 1.5" | 2"   |
|---------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|
| # (mm)  | 0,074 | 0,105 | 0,177 | 0,25 | 0,42 | 0,841 | 2     | 4,76 | 9,51 | 19   | 25,4 | 38,1 | 50,8 |
| % passa | 93,3  | 95,0  | 96,9  | 97,5 | 98,2 | 99,3  | 100,0 |      |      |      |      |      |      |

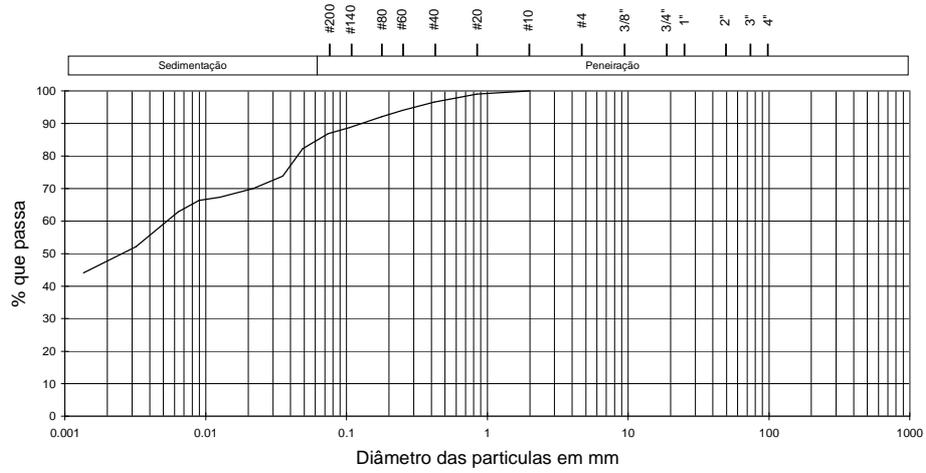
Amostra n°4674, Sondagem CC2, Profundidade 76,30-76,60 (m)



| Argila | Siltos |        |         | Areias |        |         | Cascalhos |        |         | Blocos |        |
|--------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|-----------|--------|---------|--------|--------|
|        | Finos  | Médios | Grossos | Finas  | Médias | Grossas | Finos     | Médios | Grossos | Finos  | Médios |

| Peneiro | #200  | #140  | #80   | #60  | #40  | #20   | #10   | #4   | 3/8" | 3/4" | 1"   | 1.5" | 2"   |
|---------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|
| # (mm)  | 0,074 | 0,105 | 0,177 | 0,25 | 0,42 | 0,841 | 2     | 4,76 | 9,51 | 19   | 25,4 | 38,1 | 50,8 |
| % passa | 24,0  | 25,6  | 47,2  | 73,5 | 89,2 | 97,9  | 100,0 |      |      |      |      |      |      |

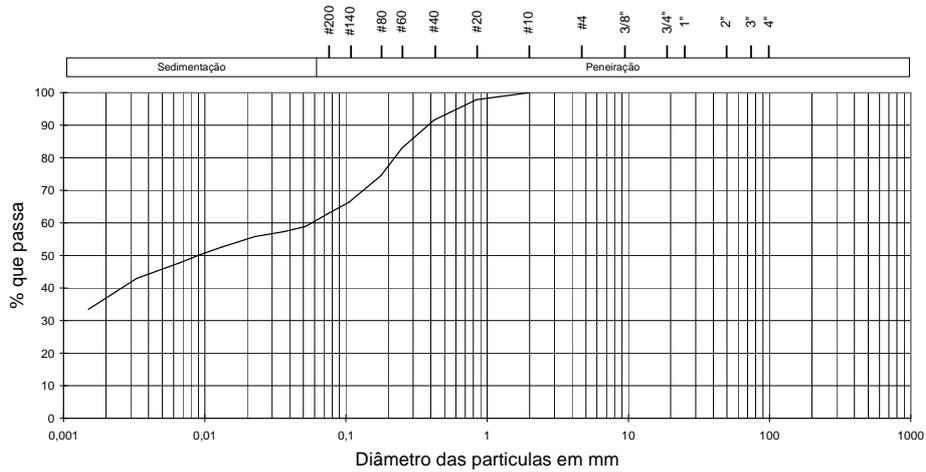
Amostra n°4675, Sondagem CC2, Profundidade 87,10-87,70 (m)



| Argila | Siltos |        |         | Areias |        |         | Cascalhos |        |         | Blocos |        |
|--------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|-----------|--------|---------|--------|--------|
|        | Finos  | Médios | Grossos | Finas  | Médias | Grossas | Finos     | Médios | Grossos | Finos  | Médios |

| Peneiro | #200  | #140  | #80   | #60  | #40  | #20   | #10   | #4   | 3/8" | 3/4" | 1"   | 1.5" | 2"   |
|---------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|
| # (mm)  | 0,074 | 0,105 | 0,177 | 0,25 | 0,42 | 0,841 | 2     | 4,76 | 9,51 | 19   | 25,4 | 38,1 | 50,8 |
| % passa | 86,8  | 88,7  | 92,0  | 94,0 | 96,6 | 99,0  | 100,0 |      |      |      |      |      |      |

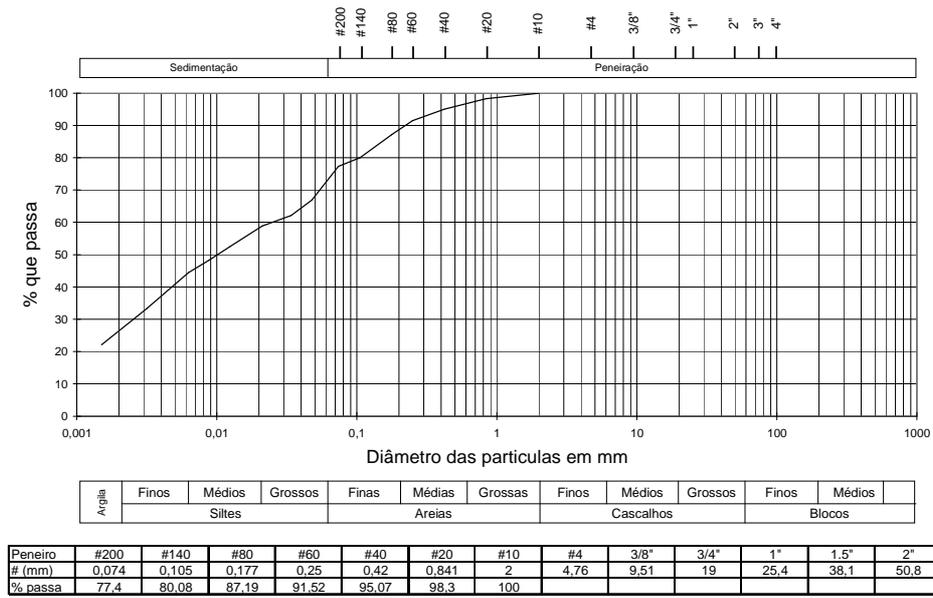
Amostra n°4676, Sondagem CC2, Profundidade 87,75-88,35 (m)



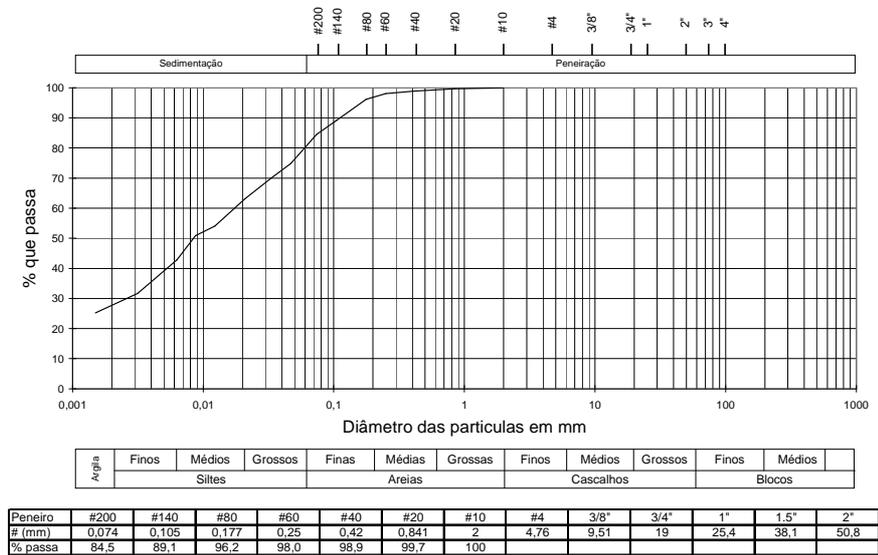
| Argila | Siltos |        |         | Areias |        |         | Cascalhos |        |         | Blocos |        |
|--------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|-----------|--------|---------|--------|--------|
|        | Finos  | Médios | Grossos | Finas  | Médias | Grossas | Finos     | Médios | Grossos | Finos  | Médios |

| Peneiro | #200  | #140  | #80   | #60  | #40  | #20   | #10   | #4   | 3/8" | 3/4" | 1"   | 1.5" | 2"   |
|---------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|
| # (mm)  | 0,074 | 0,105 | 0,177 | 0,25 | 0,42 | 0,841 | 2     | 4,76 | 9,51 | 19   | 25,4 | 38,1 | 50,8 |
| % passa | 62,8  | 66,4  | 74,5  | 83,1 | 91,6 | 97,9  | 100,0 |      |      |      |      |      |      |

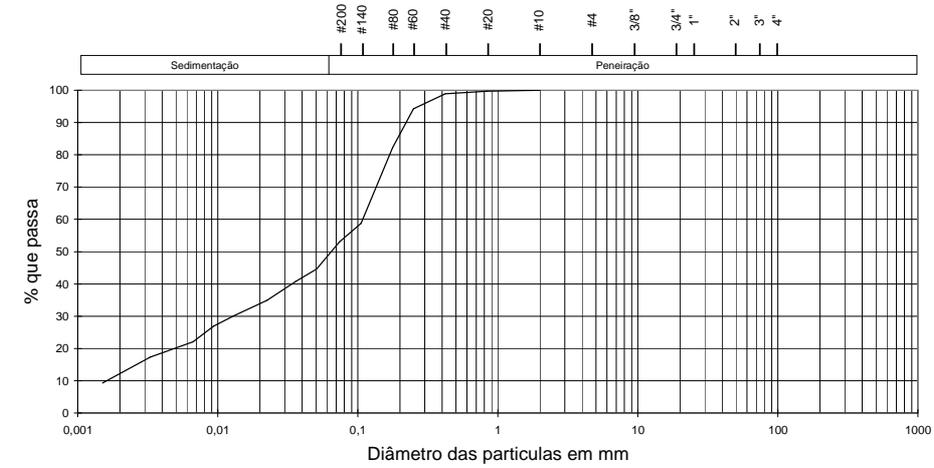
Amostra n°4735, Sondagem CC3, Profundidade 109,10-109,70 (m)



Amostra n°4736, Sondagem CC3, Profundidade 119,40-120,00 (m)



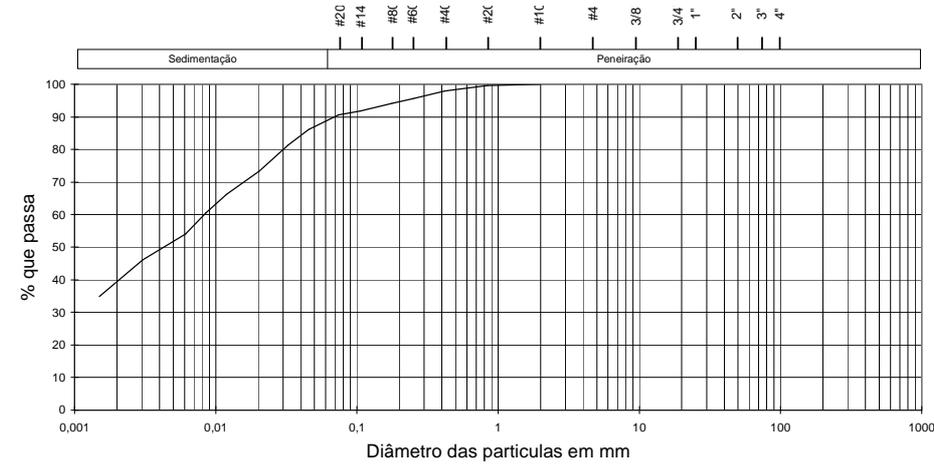
Amostra n°4737, Sondagem CC3, Profundidade 121,00-121,60 (m)



| Argila | Finos  | Médios | Grossos | Finas  | Médias | Grossas | Finos     | Médios | Grossos | Finos  | Médios |
|--------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|-----------|--------|---------|--------|--------|
|        | Siltos |        |         | Areias |        |         | Cascalhos |        |         | Blocos |        |

| Peneiro | #200  | #140  | #80   | #60  | #40  | #20   | #10 | #4   | 3/8" | 3/4" | 1"   | 1.5" | 2"   |
|---------|-------|-------|-------|------|------|-------|-----|------|------|------|------|------|------|
| # (mm)  | 0,074 | 0,105 | 0,177 | 0,25 | 0,42 | 0,841 | 2   | 4,76 | 9,51 | 19   | 25,4 | 38,1 | 50,8 |
| % passa | 53,1  | 58,8  | 82,1  | 94,2 | 98,9 | 99,7  | 100 |      |      |      |      |      |      |

Amostra n°4738, Sondagem CC3, Profundidade 138,80-139,40 (m)



| Argila | Finos  | Médios | Grossos | Finas  | Médias | Grossas | Finos     | Médios | Grossos | Finos  | Médios |
|--------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|-----------|--------|---------|--------|--------|
|        | Siltos |        |         | Areias |        |         | Cascalhos |        |         | Blocos |        |

| Peneiro | #200  | #140  | #80   | #60  | #40  | #20   | #10 | #4   | 3/8" | 3/4" | 1"   | 1.5" | 2"   |
|---------|-------|-------|-------|------|------|-------|-----|------|------|------|------|------|------|
| # (mm)  | 0,074 | 0,105 | 0,177 | 0,25 | 0,42 | 0,841 | 2   | 4,76 | 9,51 | 19   | 25,4 | 38,1 | 50,8 |
| % passa | 90,6  | 91,8  | 94,2  | 95,6 | 98,0 | 99,7  | 100 |      |      |      |      |      |      |

