



UNIVERSIDADE DE ÉVORA

ANÁLISE DE REBAIXAMENTOS ASSOCIADOS A PÓLOS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO
PÓLO DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DA APOSTIÇA

RICARDINA GUERREIRO FIALHO

DISSERTAÇÃO PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS
PLANEAMENTO E GESTÃO DA ÁGUA

ORIENTADOR: PROFESSOR DOUTOR JÚLIO FERREIRA CARNEIRO

LISBOA, MARÇO DE 2010



UNIVERSIDADE DE ÉVORA

ANÁLISE DE REBAIXAMENTOS ASSOCIADOS A PÓLOS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO
PÓLO DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DA APOSTIÇA

RICARDINA GUERREIRO FIALHO

DISSERTAÇÃO PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS
PLANEAMENTO E GESTÃO DA ÁGUA

ORIENTADOR: PROFESSOR DOUTOR JÚLIO FERREIRA CARNEIRO

LISBOA, MARÇO DE 2010



RESUMO

O Sistema Aquífero da Bacia do Tejo Sado/Margem Esquerda (T3) é uma das massas de água subterrânea mais importantes de Portugal Continental. Deste Sistema Aquífero depende o abastecimento público de cerca de 1.100.000 habitantes.

Com base nos relatórios de captação de água dos treze furos verticais do pólo de captação da Apostiça, que constitui origem de água de um dos sistemas de abastecimento da Câmara Municipal de Sesimbra, efectuou-se a caracterização hidrogeológica da massa de água, na zona em estudo, bem como das estruturas de captação.

Utilizando os logs das captações efectuou-se um corte hidrogeológico na zona do pólo de captação, contribuindo para a definição do modelo conceptual do sistema aquífero naquela zona. Assim, as formações com interesse hidrogeológico são a alternância de areias e argilas, com espessuras entre 50 e 99 m e a alternância de grés, grés calcário e grés margoso, com 291 m de espessura máxima. Considera-se que as areias atingem maiores espessuras à medida que se caminha para Este, com um máximo na captação Ses10, sendo a passagem das formações arenosas para as calcárias directa ou mediante aquitardo de pequena espessura, com o máximo de 14 m.

Adicionalmente foi aplicado o modelo de Theis aos rebaixamentos observados durante os ensaios de caudal, à data de construção, tendo-se obtido valores de transmissividade que variam entre 45 e 208 m²/dia.

A partir das medições do nível da água efectuadas nas captações, sem extracção de água, procedeu-se a uma análise espacial da piezometria, para identificação do sentido de fluxo e do gradiente hidráulico. O sentido de fluxo é Este-Oeste e é coincidente com os referidos na bibliografia, ou seja em direcção ao rio Tejo e ao Oceano Atlântico. O gradiente é de um modo geral inferior a 1%, estando os maiores valores, tal como esperado, associados aos cones de rebaixamento das captações em que não foi possível recuperar os níveis.

Com base na caracterização hidrogeológica anteriormente referida estudaram-se dois cenários de exploração para o pólo de captação de água da Apostiça: exploração actual e redimensionamento do pólo de captação (acréscimo de caudal por implantação de novas captações).

Dos dois cenários de exploração constata-se que os rebaixamentos produzidos pelo caudal de exploração actual na generalidade são inferiores a 35,6 m. Os maiores rebaixamentos, tal como esperado, registam-se na zona próxima da captação a uma distância de cerca de 50 m, na direcção Este. Os rebaixamentos adicionais provocados pela expansão do pólo de captação, são da ordem dos 10 m nas captações Ses 13 e 12, de cerca de 5 m na captação Ses 11, de 3 m na captação Ses 10, de 2 m na captação Ses 8 e 9 e inferior a 1 m nas restantes captações.

Verificou-se que o redimensionamento do pólo de captação não impede que sejam alcançados os objectivos ambientais especificados nos termos dos artigos 44º e 46º da Lei nº 58/2005, de 29 de Dezembro, dado que não são provocadas alterações na direcção do escoamento subterrâneo em consequência da variação de nível, nem intrusões de água salgada dada a proximidade do pólo de captação com a linha de Costa.

PALAVRAS-CHAVE: Sistema Aquífero, Ensaio de Caudal, equação Theis, cenários exploração

Drawdown analysis in Public Groundwater supply fields: the Apostiça abstraction field

ABSTRACT

The Tejo-Sado Aquifer System – left margin (T3) is one of the most important groundwater sources in Portugal. This Aquifer System is the main source of water supply to 1,100,000 people. The Sesimbra Municipality is one of the public supply managers whose water sources are located in this groundwater system.

Based on the logs of thirteen wells of the Apostiça water supply system, a highly relevant system to the Sesimbra Municipality, a hydrogeological characterization was made of the aquifer in this area, including the hydraulic conditions in each of the wells.

The lithological well logs were used to define the a hydrogeological cross-section of the site, contributing to the definition of the conceptual model of the aquifer system in the study area. The formations with hydrogeological interest are composed of alternating sands and clays, with thicknesses between 50 and 99 m and the intercalated layers of sandstone, calcareous sandstone, and thin sandstones, with 291 m of maximum thickness. The thicknesses of sands increase eastwards, with a maximum thickness in the well Ses10, being overlain by sands and limestones or by a thin aquitard layer with a maximum thickness of 14 m.

The application of Theis model to piezometric levels measured during pumping tests, led to transmissivity values ranging between 45 and 208 m²/day.

From water level measurements, made without water abstraction, it was possible to identify the direction of flow and its gradient. The main flow direction is East-West, i.e. towards the Tagus River and the Atlantic Ocean, and confirms published references,. The gradient is generally less than 1%, with and the highest values, as expected, being associated with drawdown cones in area where recovery was not complete.

Based on the hydrogeological characterization mentioned above two scenarios of exploitation for the Apostiça area were studied: current exploitation and resizing of the well field (new wells).

Of the two exploitation scenarios, was noted that the drawdown produced by current exploitation rates, generally are less than 35.6 m. The highest drawdowns are located near the wells in east direction. The expansion of the abstraction area cause an



additional drawdown in the order of 10 m in Ses 13 and 12, about 5 m in Ses 11, 3 m in Ses 10, 2 m in Ses 8 and 9 and less than 1 m on the other wells.

It was concluded the resizing of the exploited well field and abstracted volume does not prevent the environmental objectives specified under articles 44 and 46 of law 58/2005 of 29 December.

Keywords: aquifer system, pumping test, Theis equation, exploitation scenarios



AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho resulta de um conjunto de conhecimentos e acções que fui adquirindo e desenvolvendo ao longo da última década, para os quais contribuíram um conjunto de pessoas e entidades a quem expresso o meu sincero agradecimento.

Ao Professor Doutor Júlio Carneiro, meu orientador, pelo apoio, disponibilidade e ensinamentos técnicos.

À Alice Fialho pelo incentivo e intensa dedicação a este trabalho, sugestões técnicas e revisão final do texto.

Ao João Nascimento pelas sugestões técnicas, incentivo, apoio na resolução de dificuldades informáticas.

Ao Ricardo Antunes pelo apoio e compreensão.

Ao Rui Agostinho pelo incentivo, preocupação e apoio.

Ao Eng.º Joaquim Silva, da Câmara Municipal de Sesimbra e ao Sr. Renato Azenha pela disponibilização de informação.

A todos os que de algum modo contribuíram para este trabalho.



ÍNDICE DE TEXTO

1 INTRODUÇÃO E OBJECTIVOS	2
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
3 METODOLOGIAS DE ESTUDO	10
3.1 MODELO DE THEIS	11
3.2 MODELO DE THEIS – RECUPERAÇÃO.....	14
3.3 EQUAÇÃO DE GALOFRÉ.....	15
3.4 EQUAÇÃO DE LOHMAN.....	16
4 ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO E CLIMÁTICO DA ÁREA DE ESTUDO	17
4.1 PÓLOS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA DE ABASTECIMENTO PÚBLICO DO CONCELHO DE SESIMBRA	17
4.2 CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA.....	18
4.3 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA	19
5 ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO DO PÓLO DE CAPTAÇÃO DA APOSTIÇA	21
6 ENQUADRAMENTO HIDROGEOLÓGICO DO PÓLO DE CAPTAÇÃO DA APOSTIÇA	23
6.1 SISTEMA AQUÍFERO DA BACIA DO TEJO-SADO/MARGEM ESQUERDA	23
6.2 MODELO CONCEPTUAL	25
6.3 ASPECTOS GERAIS DAS CAPTAÇÕES DO PÓLO DA APOSTIÇA	26
6.4 CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA E ESTRUTURA DE CAPTAÇÃO	28
6.5 INTERPRETAÇÃO LITOLÓGICA DOS CORTES DE CAPTAÇÃO	77
6.6 SÍNTESE DAS CARACTERÍSTICAS HIDRODINÂMICAS DAS CAPTAÇÕES DO PÓLO DA APOSTIÇA.....	79
7 ANÁLISE DOS REBAIXAMENTOS NO PÓLO DE CAPTAÇÃO DA APOSTIÇA	81
7.1 ANÁLISE ESPACIAL DA PIEZOMETRIA SEM EXTRACÇÃO	81
7.2 ESTIMAÇÃO DA SUPERFÍCIE PIEZOMÉTRICA PARA O CAUDAL DE EXPLORAÇÃO	83
7.3 ESTIMAÇÃO DA SUPERFÍCIE PIEZOMÉTRICA PARA O CENÁRIO DE NOVAS CAPTAÇÕES	85
8 CONCLUSÕES	88
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	90

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1 – Curva tipo de Theis.....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 2 – Sobreposição da curva de Theis com a curva do aquífero em estudo e escolha do ponto de concordância (in Fetter, 1994)</i>	<i>14</i>
<i>Figura 3: Enquadramento da área de estudo na região hidrográfica</i>	<i>18</i>
<i>Figura 4: Enquadramento geológico das captações em estudo (Fonte: Folha nº 38 B da Carta Geológica de Portugal - Serviços Geológicos).....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 5: Enquadramento hidrogeológico da área de estudo.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 6: Enquadramento geográfico das captações em estudo (Fonte: Folha nº 453 da Carta Militar de Portugal dos Serviços Cartográficos do Exército).....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 7: Principais características das captações: profundidade de perfuração, entubamento e zona captante (primeiro e último ralo)</i>	<i>27</i>
<i>Figura 8: Aspecto geral da captação JK14.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 9: Sequência litológica e perfil da zona drenante da captação JK14</i>	<i>30</i>
<i>Figura 10: Ensaio de caudal na captação JK14.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 11: Interpretação do ensaio de caudal da captação Ses1 – JK14.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 12: Aspecto geral da captação JK7.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 13: Sequência litológica e perfil da zona drenante da captação JK7</i>	<i>34</i>
<i>Figura 14: Aspecto geral da captação RA4</i>	<i>35</i>
<i>Figura 15: Sequência litológica e perfil da zona drenante da captação RA4</i>	<i>36</i>
<i>Figura 16: Ensaio de caudal na captação RA4.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 17: Interpretação do ensaio de caudal da captação Ses3 – RA4</i>	<i>38</i>
<i>Figura 18: Aspecto geral da captação RA6</i>	<i>39</i>
<i>Figura 19: Sequência litológica e perfil da zona drenante da captação RA6</i>	<i>40</i>
<i>Figura 20: Ensaio de caudal na captação RA6.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 21: Interpretação do ensaio de caudal da captação Ses4 – RA6</i>	<i>42</i>
<i>Figura 22: Aspecto geral da captação RA11</i>	<i>43</i>



<i>Figura 23: Sequência litológica e perfil da zona drenante da captação RA11.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 24: Ensaio de caudal na captação RA11</i>	<i>45</i>
<i>Figura 25: Interpretação do ensaio de caudal da captação Ses5 - RA11.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 26: Aspecto geral da captação RA9</i>	<i>47</i>
<i>Figura 27: Sequência litológica e perfil da zona drenante da captação RA9</i>	<i>48</i>
<i>Figura 28: Ensaio de caudal da captação RA9.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 29: Interpretação do ensaio de caudal da captação Ses6 – RA9</i>	<i>50</i>
<i>Figura 30: Aspecto geral da captação RA8</i>	<i>51</i>
<i>Figura 31: Sequência litológica e perfil da zona drenante da captação RA8</i>	<i>52</i>
<i>Figura 32: Ensaio de caudal da captação RA8.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 33: Interpretação do ensaio de caudal da captação Ses7 - RA8</i>	<i>54</i>
<i>Figura 34: Aspecto geral da captação RA3</i>	<i>55</i>
<i>Figura 35: Sequência litológica e perfil da zona drenante da captação RA3</i>	<i>56</i>
<i>Figura 36: Ensaio de caudal na captação RA3.....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 37: Interpretação do ensaio de caudal da captação Ses8 - RA3</i>	<i>58</i>
<i>Figura 38: Aspecto geral da captação RA1</i>	<i>59</i>
<i>Figura 39: Sequência litológica e perfil da zona drenante da captação RA1</i>	<i>60</i>
<i>Figura 40: Ensaio de caudal da captação RA1.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 41: Interpretação do ensaio de caudal da captação Ses9 – RA1</i>	<i>62</i>
<i>Figura 42: Aspecto geral da captação PS3</i>	<i>63</i>
<i>Figura 43: Sequência litológica e perfil da zona drenante da captação PS3.....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 44: Aspecto geral da captação Ses11</i>	<i>65</i>
<i>Figura 45: Sequência litológica e perfil da zona drenante da captação Ses11</i>	<i>66</i>
<i>Figura 46: Ensaio de caudal na captação RA2.....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 47: Interpretação do ensaio de caudal da captação Ses11- RA11</i>	<i>68</i>
<i>Figura 48: Aspecto geral da captação RA7</i>	<i>69</i>
<i>Figura 49: Sequência litológica e perfil da zona drenante da captação RA7</i>	<i>70</i>

<i>Figura 50: Ensaio de caudal da captação RA7.....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 51: Interpretação do ensaio de caudal da captação Ses12 – RA7</i>	<i>72</i>
<i>Figura 52: Aspecto da captação RA5</i>	<i>73</i>
<i>Figura 53: Sequência litológica e perfil da zona drenante da captação RA5</i>	<i>74</i>
<i>Figura 54: Ensaio de caudal da captação RA5.....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 55: Interpretação do ensaio de caudal da captação Ses13 – RA5</i>	<i>76</i>
<i>Figura 56: Corte hidrogeológico no local do pólo de captação da Apostiça</i>	<i>77</i>
<i>Figura 57:Diagrama de caixas dos valores obtidos para transmissividade</i>	<i>79</i>
<i>Figura 58:Trasmissividade vs Caudal Específico</i>	<i>80</i>
<i>Figura 59:Carta de Isolinhas da Piezometria do Sistema Aquífero da Bacia do Tejo-Sado/Margem Esquerda na zona do pólo de captação da Apostiça</i>	<i>82</i>
<i>Figura 60:Carta de Gradiente do Sistema Aquífero da Bacia do Tejo-Sado/Margem Esquerda na zona do pólo de captação da Apostiça</i>	<i>82</i>
<i>Figura 61:Carta de Rebaixamentos no Sistema Aquífero da Bacia do Tejo-Sado/Margem Esquerda na zona do pólo de captação da Apostiça</i>	<i>83</i>
<i>Figura 62:Carta de Rebaixamentos no Sistema Aquífero da Bacia do Tejo-Sado/Margem Esquerda na zona do pólo de captação da Apostiça num cenário de expansão.....</i>	<i>85</i>
<i>Figura 63:Carta de Rebaixamentos Adicionais no Sistema Aquífero da Bacia do Tejo-Sado/Margem Esquerda na zona do pólo de captação da Apostiça num cenário de expansão.....</i>	<i>86</i>



ÍNDICE DE TABELAS

<i>Tabela 1 - Valores da função $W(u)$ para vários valores de u .</i>	12
<i>Tabela 2 - Captações de abastecimento público de água do concelho de Sesimbra....</i>	17
<i>Tabela 3 - Média da temperatura e da precipitação na área de estudo</i>	20
<i>Tabela 4 - Classificação climática de Thornthwaite na área de estudo (PBH do Tejo).</i>	20
<i>Tabela 5 - Síntese dos parâmetros hidráulicos calculados</i>	28

1 INTRODUÇÃO E OBJECTIVOS

A Directiva 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Outubro de 2000, que estabelece um quadro de acção comunitária no domínio da política da água foi transposta para o direito interno português pela Lei n.º 58/2005, de 29 de Dezembro (Lei da Água) e restante legislação complementar.

Este quadro legislativo no domínio da água levou a uma reestruturação do modelo de planeamento e gestão de recursos hídricos, a par do qual foram definidos limites físicos para as diferentes categorias de águas: costeiras, de transição e interiores, incluindo estas últimas os recursos hídricos superficiais e subterrâneos.

Assim, no contexto da região hidrográfica surge o conceito de massa de água como unidade de gestão de recursos hídricos, cabendo às Administrações de Região Hidrográfica (Norte, Centro, Tejo, Alentejo e Algarve) em articulação com a Autoridade Nacional da Água a implementação deste novo modelo de gestão. Desta forma, a gestão das massas de água assenta na implementação de medidas correctivas e outras orientações resultantes da caracterização e classificação do Estado das massas de água com vista à obtenção/manutenção do bom estado dos recursos hídricos.

Entre as massas de água subterrâneas delimitadas, a da Bacia do Tejo-Sado/Margem Esquerda é uma das mais importantes de Portugal Continental, dependendo desta o abastecimento público de água de cerca de 1.100.000 habitantes.

Assim, considerando a importância da utilização desta massa de água no abastecimento público às populações, o presente estudo tem como principal objectivo avaliar dois cenários de extracção de água subterrânea associados ao principal pólo de captação da Câmara Municipal de Sesimbra, que é um dos principais utilizadores da massa de água subterrânea da Bacia do Tejo-Sado/Margem Esquerda. Através da aplicação do modelo de Theis serão estimadas as superfícies piezométricas para o cenário actual de extracção de água e para uma situação de implantação de novas captações. Por diferença das duas superfícies piezométricas serão calculados os rebaixamentos expectáveis e as distâncias a que se fazem sentir.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A crescente procura de água nas últimas décadas conduziu ao desenvolvimento de vários estudos e dissertações de mestrado e de doutoramento em hidrogeologia relativos ao Sistema Aquífero da Bacia do Tejo-Sado/Margem Esquerda (T3), dos quais se destacam:

- *Paradela e Zbszewski (1971)* no estudo da Hidrogeologia Geral do Centro Sul de Portugal;

Consideraram que na Península de Setúbal o Pliocénico marinho se estende a Este até ao Montijo e Pinhal Novo. A Este e Nordeste daquelas localidades identificaram a passagem das formações marinhas para continentais, com prolongamento até ao planalto de Pegões e até às proximidades de Canha. O Miocénico Marinho foi identificado a sul do Rio Tejo entre Almada e a Trafaria, bem como nas imediações da Serra da Arrábida.

Dos diversos acidentes tectónicos que deformaram o substrato os autores destacaram o «horst» de Vila Franca, ao qual se seguem diversas estruturas menos desenvolvidas até Lisboa e ao Oceano, até surgir no limite Sudeste da bacia a estrutura complexa da Serra da Arrábida. Sob o Terciário da Península de Setúbal, destacaram ainda as estruturas em Anticlinal no Barreiro e Pinhal Novo.

Hidrogeologicamente os autores consideraram que na Bacia Meso-Cenozóica do Rio Tejo, em quase todos os períodos, desde o Jurássico até ao Moderno, é possível encontrar excelentes condições de permeabilidade e captar caudais elevados. No que respeita ao Pliocénico, na Península de Setúbal, dado o seu grande desenvolvimento identificaram caudais da ordem da centena de litros por segundo, com teores de cloretos por vezes elevados. As formações do topo do Miocénico são constituídas por calcários fossilíferos e grés calcários e podem produzir largas dezenas de litros por segundo. Relativamente a ensaios de caudal o estudo refere caudais específicos de 3 l/s/m.

- *D´Orval (1973)* no Étude Préliminaire a L´Evaluation des Ressources en Eau Souterraines de la Péninsule de Setúbal;

Apresenta um corte hidrogeológico da bacia Mio-Pliocénica da Península de Setúbal, com caracterização hidrodinâmica das unidades aquíferas do Pliocénico e Miocénico e o respectivo modelo conceptual.

Neste modelo conceptual são considerados apenas três tipos de formações: permeáveis, não permeáveis e semipermeáveis. As formações semipermeáveis apresentam forma lenticular nas primeiras camadas de aquífero e assumem uma forma mais contínua em profundidade.

Relativamente à exploração são estudados três cenários, que têm em comum o facto do Miocénico ser alimentado a partir do Pliocénico por infiltração da precipitação e ainda a alimentação lateral do aquífero na Península de Setúbal.

Num cenário de exploração intensiva do sistema aquífero – passa a existir também uma zona de alimentação a partir do mar e dos estuários do Tejo e do Sado, com a camada semipermeável profunda e de maior possança a alimentar as camadas permeáveis da base do aquífero.

Num cenário de exploração moderada do sistema aquífero – este aquífero descarrega nos estuários do Tejo e do Sado e a camada semipermeável profunda e de maior possança estabelece trocas de fluxos ascendentes e descendentes com as camadas permeáveis da base do aquífero.

Num cenário de ausência de exploração do sistema aquífero - o aquífero descarrega nos estuários do Tejo e do Sado. Ocorre artesianismo repuxante do Pliocénico e a camada semipermeável profunda e de maior possança estabelece trocas de fluxos ascendentes e descendentes com as camadas permeáveis da base do aquífero.

- *PNUD (1980) no Étude des Eaux Souterraines de la Péninsule de Setúbal*;

Efectuou um inventário hidrogeológico de 5000 pontos de água, análises químicas completas para determinar a qualidade da água subterrânea em especial a sua variabilidade espacial e temporal. Elaborou uma carta hidrogeológica à escala 1/250 000 para os sistemas da Bacia Terciária do Baixo Tejo e uma outra à escala 1/100 000 para a Península de Setúbal. Com os vários perfis geofísicos efectuados foi identificado o sistema de graben Setúbal-Alcochete que sectoriza a Península de Setúbal (Astier, 1979).

O modelo conceptual deste estudo considera um sistema aquífero Mio-Pliocénico na Península de Setúbal com duas sub-unidades: um sistema Plio-Quaternário livre e um sistema profundo cativo ou artesiano de idade Miocénica. Estes dois sistemas são separados por um nível argiloso de permeabilidade reduzida, mas que permite um intercâmbio de água entre os dois subsistemas. A drenância, em geral fraca à escala local, é muito significativa numa extensão geográfica de vários milhares de

quilómetros. As transferências entre os dois sistemas dependem do potencial hidráulico de ambos (Guillen, 1978).

Com base em modelos analíticos foram interpretados quinze ensaios de caudal e estimadas as propriedades hidráulicas do sistema aquífero na Península de Setúbal. Os valores de transmissividade situam-se entre 432 e 2592 m²/dia e o coeficiente de armazenamento entre 10⁻³ e 10⁻⁴.

Tendo em consideração que as soluções analíticas das equações de fluxo requerem a adopção de hipóteses simplificativas relativamente às condições de fronteira e à uniformidade das propriedades hidráulicas assumiram-se:

- Valores médios de transmissividade e coeficiente de armazenamento, respectivamente de 864 m²/dia e 10⁻⁴;
- 20 m de espessura média do aquífero;
- Que as alterações nos caudais de drenância não afectam os níveis piezométricos do aquífero livre.

Para o cálculo da drenância foram comparados os rebaixamentos piezométricos, provocados pela bombagem nos centros de extracção do Barreiro, Seixal e Almada, nos piezómetros 442/36 e 442/94, com os calculados pela equação de Theis admitindo que não há drenância e tendo verificado que os rebaixamentos são inferiores aos estimados por aquela equação analítica, concluindo que o fenómeno de drenância desempenha um papel relevante no funcionamento do sistema.

Para este cálculo foi aplicado o modelo analítico de Hantush e Jacob que assume que há troca de água entre o aquífero livre e o confinado.

Da aplicação da equação de DeGlee para aquíferos semiconfinados com drenância e em regime permanente, os autores estimam um factor de drenância de 5200 a 6900 m e uma condutividade hidráulica vertical do aquífero da ordem dos 5,6x10⁻⁹ m/s (Papadopulos, 1979).

Neste estudo foi ainda efectuada a modelação matemática à escala da bacia hidrogeológica, utilizando um modelo de diferenças finitas, com condições de fronteira do tipo impermeável, fluxo de alimentação lateral e potencial imposto.

Para a área total modelada, o estudo caracterizou o potencial global do sistema em 50 m³/s, com 4 m³/s explorados e 6 m³/s de perdas directas ou indirectas do

subsistema confinado para o mar. O subsistema livre alimenta por drenância o aquífero confinado com 8 m³/s, perdendo para o mar 40 m³/s.

Durante a execução deste projecto foram ainda utilizadas pela primeira vez em Portugal técnicas geoestatísticas para estimação de variáveis hidrogeológicas, nomeadamente a piezometria e a transmissividade (Ribeiro, 1981). Os valores estimados por Krigagem da variável transmissividade e respectivos erros de estimação foram utilizados na fase de calibração do modelo numérico.

- *HP (1994)* no âmbito do Estudo da Caracterização dos Aquíferos e dos Consumos de Água na Península de Setúbal;

Desenvolveu trabalhos de campo, nomeadamente colheitas de água, medição de níveis e execução de oito piezómetros. O modelo conceptual foi baseado num sistema multicamada com três aquíferos:

- Aquífero Livre - correspondente às camadas do topo do Pliocénico com grandes variações laterais.
 - Primeiro Aquífero Cativo - correspondente às formações atribuídas à base do Pliocénico e topo do Miocénico.
 - Segundo Aquífero Cativo - correspondente às formações referentes à base do Miocénico.
 - Aquitardo - localizado entre os dois sistemas aquíferos cativos e constituído por margas, com possança superior a 100 metros.
- *Gestáguas (1996)* no Plano Director de Desenvolvimento do Sistema de Abastecimento da EPAL;

Efectuou uma avaliação das disponibilidades subterrâneas e da caracterização das origens subterrâneas exteriores à Bacia Terciária do Tejo e na Bacia Mio-Pliocénica do Tejo, neste último caso com recurso a um modelo numérico.

Os autores apresentam uma estrutura para a bacia Mio-Pliocénica que é individualizada, a Este e a Norte, por afloramentos graníticos que constituem uma fronteira estanque, a Sul pelos terrenos impermeáveis na Serra da Arrábida e a Noroeste e Oeste, pelos maciços calcários do Jurássico e do Cretácico. Sendo referida a baixa comunicação entre os sistemas aquíferos calcários do Oeste e a bacia Mio-Pliocénica.

O modelo conceptual apresentado define:

- Uma espessa série Mio-Pliocénica alimentada por águas pluviais infiltradas ao nível de afloramentos nas orlas da bacia.
- Um aquífero Plio-Quaternário que ocupa a zona axial da bacia do Tejo na Península de Setúbal.
- Um outro aquífero constituído pelas aluviões com comunicação com o Tejo.
- Os dois aquíferos, Mio-Pliocénico e Plio-Quaternário, encontram-se quase sempre separados por uma camada de 50 a 100 m de margas e argilas pouco permeáveis, que desempenha um papel de divisória parcial, em comunicação hidráulica em todo o seu domínio de coexistência.

No âmbito deste estudo foi efectuado um modelo matemático com o objectivo de estudar o potencial aquífero do conjunto, trocas verticais e horizontais. Resultam, para a zona da Península de Setúbal, transmissividades de 1 a 3×10^{-3} m²/s e coeficientes de armazenamento no aquífero livre de 2 a 1×10^{-2} , no semi-cativo 1 a 5×10^{-3} e no cativo entre 1 a 2×10^{-4} .

Para o conjunto da Bacia do Tejo o modelo matemático apresenta um total de entradas (por recarga proveniente da precipitação, de caudais laterais das orlas e de infiltrações por rega) de 1220 hm³/ano e de caudais de saída (por captação de água, drenagem pelo Tejo e saídas para o mar) de 1220 hm³/ano.

- *Simões (1998)* no relatório "Contributo para o Conhecimento Hidrogeológico do Cenozóico na Bacia do Baixo Tejo";

Considera que com base na composição físico-química das águas, no Cenozóico do Baixo Tejo existem três subunidades aquíferas:

- Miocénica, nas margens direita e esquerda do rio Tejo, Península de Setúbal;
- Plisto-Holocénica, formações do Plistocénico e Holocénico do Vale do Tejo;
- Pliocénica, formações do Pliocénico das margens esquerda e direita do rio Tejo.

O comportamento hidráulico destas litologias gerou um sistema aquífero multicamada onde os aquíferos, aquíferos e aquíferos estabelecem relações

hidrodinâmicas de extrema complexidade e durante a exploração de água subterrânea ocorrem regimes livre, semi-confinado e confinado.

Relativamente a parâmetros hidráulicos são apontados valores para o coeficiente de armazenamento entre 10^{-3} (Valada) e 10^{-5} (Soltróia) e transmissividades médias de $15 \text{ m}^2/\text{dia}$ para o Miocénico e $125 \text{ m}^2/\text{dia}$ para o Pliocénico, enquanto o caudal específico é de $0,5 \text{ l/s/m}$ e $1,7 \text{ l/s/m}$, respectivamente.

- *Almeida et al.(2000)* no relatório de Cartografia dos Sistemas Aquíferos de Portugal Continental;

Caracterizou o sistema aquífero designado por T3 – Bacia do Tejo-Sado/Margem Esquerda. Nesta cartografia, na Península de Setúbal o sistema é constituído por:

- Um aquífero superior livre, instalado nas camadas do topo do Pliocénico e depósitos detríticos mais recentes.
- Subjacente ao conjunto anterior existe um aquífero multicamada, cujo topo e base são as camadas inferiores do Pliocénico e superiores do Miocénico.
- Ainda subjacente a este conjunto, separado por formações margosas espessas existe um aquífero confinado, multicamada que tem como suporte formações greso-calcárias da base do Miocénico.

Relativamente a parâmetros hidráulicos é apontado para o Miocénico Marinho um coeficiente de armazenamento de 10^{-3} . A transmissividade mediana varia entre 728 e $456 \text{ m}^2/\text{dia}$ para o Miocénico e 100 a $3000 \text{ m}^2/\text{dia}$ para o Pliocénico. Quanto ao caudal mediano das formações do Miocénico e Pliocénico é respectivamente, $15,5 \text{ l/s}$ e 35 l/s .

- *INAG (2001)* no Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Tejo – Relatório Final;

Considera que o sistema aquífero da Bacia do Tejo-Sado/Margem Esquerda, na zona da Península de Setúbal é caracterizado por:

- Séries de rochas detríticas e carbonatadas do Miocénico, séries detríticas, ocasionalmente com formações carbonatadas do Pliocénico e as rochas detríticas do Quaternário.
- Formações do Pliocénico e formações do Miocénico (detríticas continentais e série Greso-Calcária marinha).

- Transmissividades mínima e máxima para o Miocénico entre 29 e 4100 m²/dia e para o Pliocénico entre 19 a 2029 m²/dia.
- O sistema aquífero é denominado como um sistema com produtividade alta, livre, confinado e multicamada com escoamento em meio poroso.
- *Fialho (2009)* no relatório "Caracterização dos Parâmetros Hidráulicos do Sistema Aquífero da Bacia do Tejo-Sado/Margem Esquerda na Área do Concelho do Seixal";

Para uma área ligeiramente superior ao Concelho do Seixal, através das descrições litológicas de 26 sondagens evidencia três tipos de formações com comportamentos hidrogeológicos distintos:

- Formações Arenosas (FA) – correspondem a uma sequência de areias e argilas em que a espessura das formações argilosas tem carácter descontínuo do tipo lenticular.
- Formações Gresosas e/ou Calcárias (FGC) – essencialmente calcários e grés calcários, fossilíferos, conquíferos e por vezes margosos.
- Formações Margosas e/ou Argilosas (FAM) – essencialmente margas ou argilas.

Representa a espessura e a estrutura do aquífero até uma profundidade de 512 m recorrendo a 24 sólidos de forma sequencial, do topo para a base. Com a representação dos sólidos sobrepostos obtém a extensão, a espessura e a estrutura das três formações numa área próxima ao concelho do Seixal, propõe o seguinte modelo conceptual:

- As Formações Arenosas (FA) - aquíferos - apresentam continuidade espacial e volume de 187 x 103 m³;
- As Formações Gresosas e/ou Calcárias (FGC) – aquíferos - apresentam fraca continuidade espacial e volume de 182 x 103 m³;
- As Formações Margosas e/ou Argilosas (FAM) – aquíferos - apresentam fraca continuidade espacial e volume de 412 x 103 m³.

Todos os trabalhos de investigação consideram que o escoamento subterrâneo é resultado das características de multiaquífero, com camadas muito permeáveis, separadas por outras de comportamento de aquífero a aquífero.

3 METODOLOGIAS DE ESTUDO

A bombagem de água a partir de furos constitui uma técnica de rebaixamento do nível aquífero aplicada com muita frequência. O estudo de rebaixamentos assenta no conhecimento das leis de escoamento de água para furos e a aplicação dessas leis permite:

- A determinação das características físicas de funcionamento dos aquíferos,;
- Antecipar comportamentos das captações, nomeadamente, os caudais óptimos de exploração;
- Determinar os efeitos sobre os aquíferos e captações vizinhas e modelar a configuração da superfície piezométrica no decurso da bombagem.

No subcapítulo seguinte apresentam-se as formulações analíticas de furos de bombagem totalmente penetrantes em aquíferos confinados em regime transitório. As formulações analíticas são válidas para as seguintes condições:

- O aquífero é infinito na sua extensão;
- O aquífero é homogéneo, isotrópico e na área de influência da bombagem é uniforme;
- A superfície piezométrica é horizontal antes da bombagem;
- Os furos são totalmente penetrantes e a bombagem efectua-se a caudal constante;
- A água extraída produz rebaixamentos imediatos na captação e não volta a entrar no aquífero durante o ensaio;
- O diâmetro do furo é reduzido, pelo que a água armazenada no seu interior é negligenciável;
- O rebaixamento em cada instante é registado num furo de observação;
- A distância entre o furo de bombagem e o furo de observação é finita;
- Não existem recargas exteriores.

3.1 Modelo de Theis

Theis (1935) apresenta uma solução analítica, numa situação hipotética, para as equações do fluxo subterrâneo em regime variável e aquíferos confinados (equação (3.1)).

$$s(r,t) = \frac{Q}{4\pi T} \int_u^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} du \quad (3.1)$$

Em que:

$s(r,t)$ - Rebaixamento (m) de um ponto situado a uma distância (m) do furo de bombagem, observado num tempo t (dia)

Q - Caudal extraído (m³/dia)

T - Transmissividade do aquífero (m²/dia)

u - Função auxiliar cujo valor é $u = \frac{r^2 S}{4tT}$ (adimensional)

Sendo:

S - Coeficiente de armazenamento (adimensional)

t - Tempo decorrido desde o início da bombagem (dia)

Para a definição específica de u , o integral é conhecido como função furo $W(u)$ equação (3.2).

$$W(u) = \int_u^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} du \quad (3.2)$$

O valor $W(u)$ é calculado a partir de tabelas que relacionam alguns valores de u com $W(u)$ (Tabela 1) ou estimado a partir do desenvolvimento da série de Taylor da expressão (3.11) (Equação (3.3)).

$$W(u) = -0,5772 - \ln(u) + u - \frac{u^2}{2 \times 2!} + \frac{u^3}{3 \times 3!} - \dots \quad (3.3)$$

Tabela 1 - Valores da função $W(u)$ para vários valores de u .

u	W(u)	U	W(u)	u	W(u)	u	W(u)
1×10^{-10}	22,45	7	15,90	4	9,55	1×10^{-2}	4,04
2	21,76	8	15,76	5	9,33	2	3,35
3	21,35	9	15,65	6	9,14	3	2,96
4	21,06	1×10^{-7}	15,54	7	8,99	4	2,68
5	20,84	2	14,85	8	8,86	5	2,47
6	20,66	3	14,44	9	8,74	6	2,30
7	20,50	4	14,15	1×10^{-4}	8,63	7	2,15
8	20,37	5	13,93	2	7,94	8	2,03
9	20,25	6	13,75	3	7,53	9	1,92
1×10^{-9}	20,15	7	13,60	4	7,25	1×10^{-1}	1,823
2	19,45	8	13,46	5	7,02	2	1,223
3	19,05	9	13,34	6	6,84	3	0,906
4	18,76	1×10^{-6}	13,24	7	6,69	4	0,702
5	18,54	2	12,55	8	6,55	5	0,560
6	18,35	3	12,14	9	6,44	6	0,454
7	18,20	4	11,85	1×10^{-3}	6,33	7	0,374
8	18,07	5	11,63	2	5,64	8	0,311
9	17,95	6	11,45	3	5,23	9	0,260
1×10^{-8}	17,84	7	11,29	4	4,95	1×10^0	0,260
2	17,15	8	11,16	5	4,73	2	0,049
3	16,74	9	11,04	6	4,54	3	0,013
4	16,46	1×10^{-5}	10,94	7	4,39	4	0,004
5	16,23	2	10,24	8	4,26	5	0,001
6	16,05	3	9,84	9	4,14		

Os valores de s são assim calculados com a Equação (3.4).

$$s(r,t) = \frac{Q}{4\pi T} W(u) \quad (3.4)$$

Com base nos valores da Tabela 1, Theis construiu uma curva tipo (Figura 1) em que no eixo das ordenadas está $W(u)$ e no das abcissas $\frac{1}{u}$.

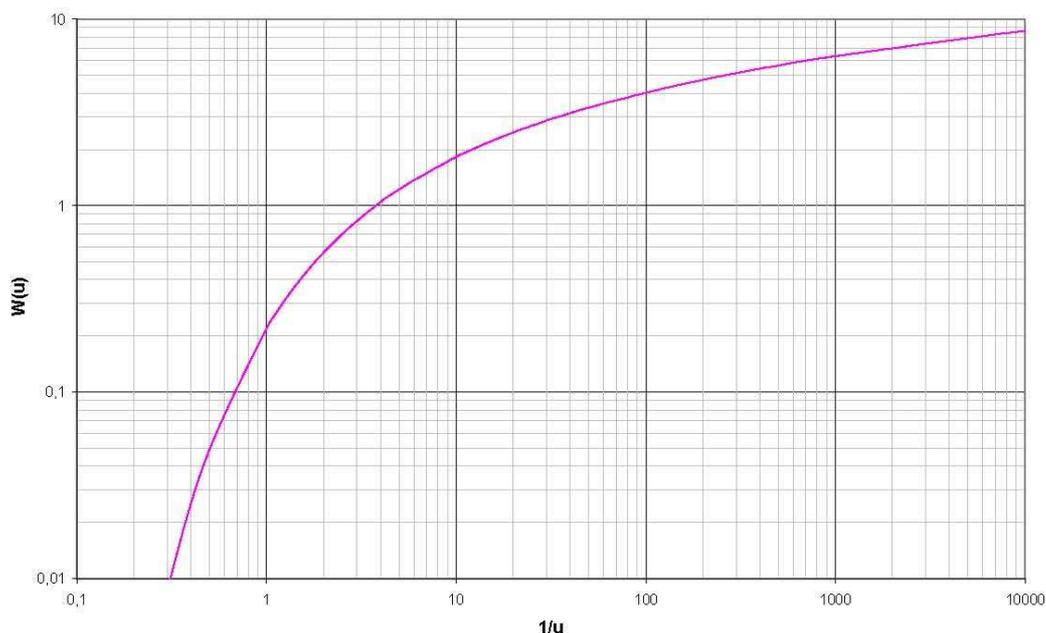


Figura 1 - Curva tipo de Theis.

A curva do ensaio de caudal do aquífero obtém-se representando graficamente os dados observados durante o ensaio com os rebaixamentos (s) no eixo das ordenadas e o tempo (t) no eixo das abcissas. Sobrepondo a curva do ensaio do aquífero com a curva de Theis, estas têm a mesma configuração, embora deslocadas pelos valores constantes de $\frac{Q}{4\pi T}$ e $\frac{4T}{S}$.

As propriedades do aquífero transmissividade e coeficiente de armazenamento são calculadas com as equações (3.5) e (3.6), respectivamente e por leitura no gráfico, de valores de rebaixamento e tempo. Os valores de rebaixamento e tempo são obtidos por selecção do ponto de concordância entre as duas curvas sobrepostas. O ponto de concordância é obtido pelo ponto $W(u)=1,0$ e $\frac{1}{u}=1,0$ da curva tipo de Theis (Figura 2).

$$T = \frac{Q}{4\pi s} W(u) \quad (3.5)$$

$$S = \frac{4Ttu}{r^2} \quad (3.6)$$

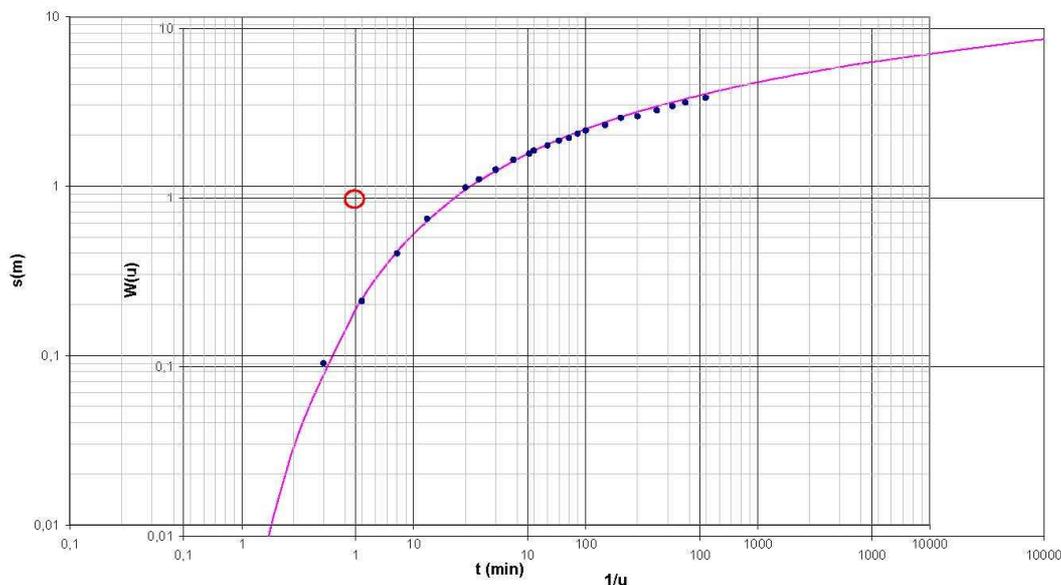


Figura 2 – Sobreposição da curva de Theis com a curva do aquífero em estudo e escolha do ponto de concordância (in Fetter, 1994)

3.2 Modelo de Theis – Recuperação

Quando termina a bombagem após o ensaio de caudal, o nível da água tanto no furo onde se realizou a bombagem, como no furo onde se observaram os níveis tende a subir e aproximar-se do nível estático inicial. A este aumento no nível da água (recuperação) dá-se o nome de rebaixamento residual.

Este rebaixamento residual permite calcular a transmissividade do aquífero, de forma independente dos resultados do ensaio de bombagem. Estes rebaixamentos, tanto no furo de bombagem, como no furo de observação tendem a ser mais realistas, uma vez que ocorrem a um rácio constante o que parece mais característico de um meio poroso.

Esta solução pode ser usada para aquíferos semiconfinados com drenância e livres e ainda para situações de furos parcialmente penetrantes.

Segundo Theis (1935) o rebaixamento residual, após cessar uma bombagem é dado pela equação (3.7).

$$s' = \frac{Q}{4\pi T} (W(u) - W(u')) \quad (3.7)$$

$$\text{sendo } u = \frac{r^2 S}{4tT} \text{ e } u' = \frac{r'^2 S'}{4t'T}$$

Em que:

s' - Rebaixamento residual (m)

r - Distância do furo de bombagem ao furo de observação (m)

T - Transmissividade do aquífero (m²/dia)

S e S' - Coeficiente de armazenamento durante a bombagem e na recuperação, respectivamente (adimensional)

t e t' - Tempo de início e fim da bombagem, respectivamente (dia).

Usando a aproximação à função furo $W(u)$, obtém-se a equação (3.8). Sendo S e S' constantes e iguais, e T constante, esta equação pode ser reduzida à equação (3.9).

$$s' = \frac{Q}{4\pi T} \left(\log \frac{4Tt}{r^2 S} - \log \frac{4Tt'}{r^2 S'} \right) \quad (3.8)$$

$$s' = \frac{2.3Q}{4\pi T} \log \left(\frac{t}{t'} \right) \quad (3.9)$$

Para a análise dos dados representa-se num gráfico logarítmico os rebaixamentos residuais nas ordenadas, e o tempo (através do quociente entre o total do tempo desde o início da bombagem, pelo tempo desde que a bombagem terminou) nas abcissas.

Através do software Aquifer Test v.4.0 é possível interpretar os resultados dos ensaios de caudal sobrepondo a curva do aquífero em estudo (dados de tempo/rebaixamento) à curva de Theis. A escolha do ponto de concordância faz-se através de um processo automático que recorre a uma equação quadrática ou a um algoritmo inverso não linear.

3.3 Equação de Galofré

Tendo em consideração que nem sempre está disponível os pares de dados de tempo/rebaixamento dos ensaios de caudal, Galofré (1966, in Custódio e Llamas., 1983) apresenta uma equação, para aquíferos livres, confinados e semiconfinados que permite estimar a transmissividade a partir do caudal específico (equação (3.10)).

$$T = 100 \times \frac{Q}{s} \quad (3.10)$$

Em que:

T - Transmissividade (m²/dia)

Q - Caudal extraído (m³/dia)

s - Rebaixamento (m)

Esta equação deve ser aplicada para os casos em que as perdas de carga na captação são pequenas.

3.4 Equação de Lohman

Considerando que nem sempre são registados dados de tempo/rebaixamento em furos de observação em simultâneo com os rebaixamentos na captação onde se está a realizar a bombagem, Lohman (1972) apresenta uma equação para aquíferos confinados que permite estimar o coeficiente de armazenamento a partir da espessura do aquífero (3.11).

$$S = 10^{-6} \times b \quad (3.11)$$

Em que:

S - Coeficiente de armazenamento (adimensional)

b - Espessura do aquífero (m)

4 ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO E CLIMÁTICO DA ÁREA DE ESTUDO

4.1 Pólos de Captação de Água Subterrânea de Abastecimento Público do Concelho de Sesimbra

O abastecimento público de água do concelho de Sesimbra é efectuado a partir de três pólos de captação designados por Apostiça, Quinta do Conde e Fontainhas. Estes pólos, que no total englobam 20 captações, todas do tipo furo vertical, localizam-se no sistema aquífero da Bacia do Tejo-Sado/Margem Esquerda, na área da bacia hidrográfica do Tejo.

Na Tabela 2 identificam-se as captações de abastecimento público de água do concelho, por pólo de captação e respectiva localização, analisando-se neste estudo apenas as treze captações que constituem o pólo de captação da Apostiça.

Tabela 2 - Captações de abastecimento público de água do concelho de Sesimbra

Pólo de Abastecimento	Designação da captação	Coordenadas EPSG		Cota (m)
		27492 ⁽¹⁾		
		X (m)	Y (m)	
Apostiça	Ses1	115442	174806	25
	Ses2	114827	174712	17
	Ses3	114456	174656	15
	Ses4	114166	174581	14
	Ses5	112608	174028	6
	Ses6	112887	174161	7
	Ses7	113046	174327	10
	Ses8	115884	174784	27
	Ses9	116200	174635	27
	Ses10	116539	174706	30
	Ses11	116888	174781	43
	Ses12	117158	174735	44
	Ses13	117260	175012	55
Quinta do Conde	Ses14	119964	175822	36
	Ses15	119687	175673	73
	Ses16	119793	176820	48
	Ses17	119658	177425	43
	Ses18	119803	178261	38
	Ses20	119651	176311	59
Fontainhas	Ses19	116958	176107	79

⁽¹⁾Elipsóide de Hayford, datum Lisboa, projecção de Gauss, origem no ponto fictício

4.2 Caracterização Geográfica

O pólo de captação da Apostiça localiza-se na envolvente da Ribeira da Apostiça, na região hidrográfica do Tejo, no concelho de Sesimbra que faz fronteira com os concelhos de Almada, Seixal, Barreiro, Palmela e Setúbal e com o Oceano Atlântico (Figura 3).

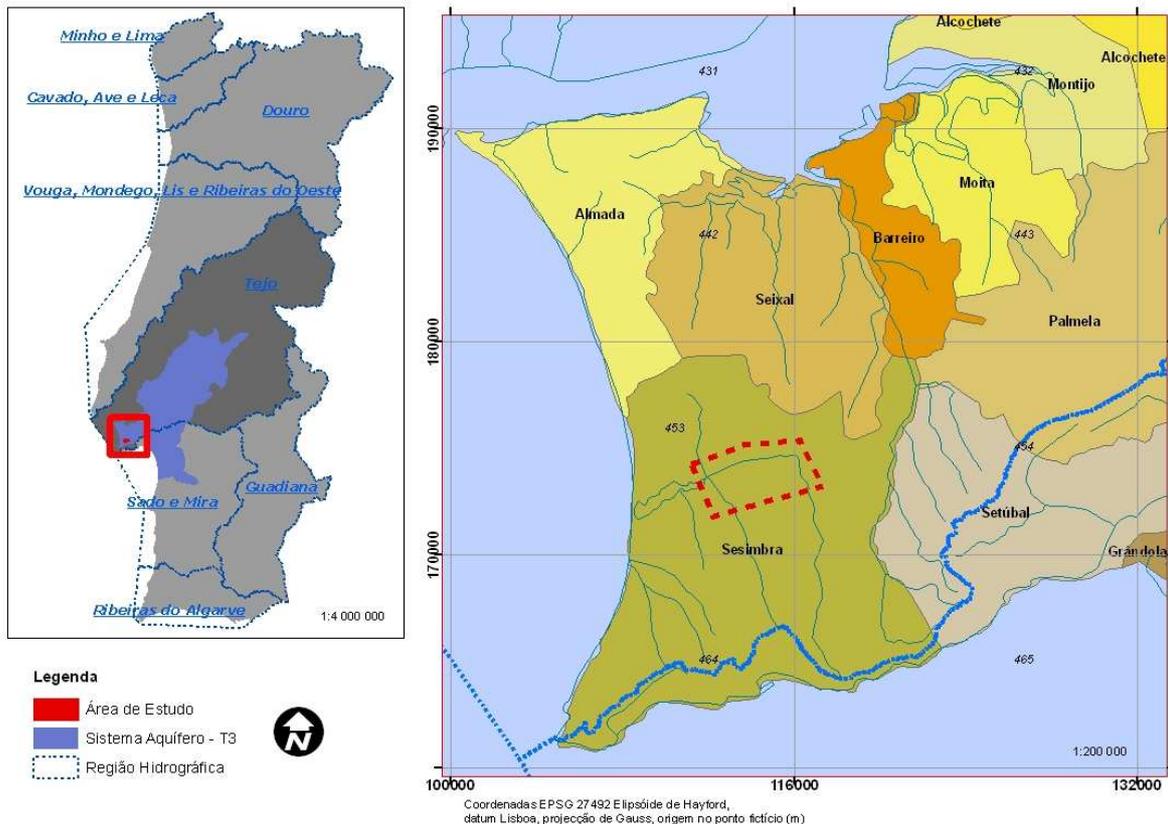


Figura 3: Enquadramento da área de estudo na região hidrográfica

A zona em estudo caracteriza-se por uma densidade populacional muito reduzida e é abrangida na totalidade pela folha nº 453 da carta militar dos Serviços Cartográficos do Exército, à escala 1/25000.

Topograficamente trata-se de uma zona plana com cotas entre 2 e 55 m, em que a rede de drenagem natural se desenvolve para o Oceano Atlântico, sendo a principal linha de água que a atravessa, a ribeira da Apostiça.

Esta é uma zona que não tem tido grandes pressões tóxicas, difusas ou de captação. A ocupação do solo caracteriza-se pela presença de Pinhal. No entanto, nos últimos anos é conhecida a intenção de instalação de vários projectos turísticos, o que

inevitavelmente criará pólos residenciais, vias de tráfego rodoviário, bem como todas as infra-estruturas de apoio às actividades de lazer. A esta pressão urbanística estará certamente associada um aumento de consumo de água, ou seja à luz da Lei nº 58/2005 de 29 de Dezembro (Lei da Água) e restante legislação complementar, uma pressão de captação acrescida.

4.3 Caracterização Climática

Portugal Continental situa-se na região de transição da zona dos anticiclones subtropicais para a zona das depressões subpolares.

Durante o Inverno, o território, em particular a região Norte, está sob a influência das depressões subpolares e eventualmente sob a influência do Anticiclone dos Açores.

No Verão, Portugal está principalmente sob a influência da depressão de origem térmica, com ar quente e seco.

Para além destes factores gerais e regionais há ainda a considerar os factores locais, como a orografia, a influência do Oceano Atlântico e a continentalidade que podem ser responsáveis por variações significativas em alguns dos elementos que melhor caracterizam o clima, designadamente a temperatura do ar e a quantidade de precipitação.

O vale do Tejo, zona onde se insere a área de estudo, marca em Portugal a transição entre o Sul, quente e seco, e o Norte, temperado e húmido.

No âmbito do Plano de Bacia Hidrográfica do Tejo, (INAG, 2001) a caracterização do clima da região em estudo baseou-se na classificação climática de Thornthwaite, tendo sido efectuado um balanço climatológico da água no solo. Nesta zona, este balanço foi efectuado para a estação climatológica 23C/01 - Sesimbra/Maçã, cujos dados se apresentam na

Tabela 3.

Na Tabela 4 especificam-se os valores dos descritores do clima na estação climatológica referida (índice hídrico, de aridez e de humidade e eficácia térmica no Verão e evapotranspiração potencial), bem como a correspondente classificação climática (C2 B'2 s2 a') segundo a qual esta região tem um clima:

- sub-húmido, 2º mesotérmico, com défice de água moderado e eficácia térmica no verão, nula ou pequena.

Tabela 3 – Média da temperatura e da precipitação na área de estudo

Mês	Sesimbra/Maçã	
	23C/01	
	Temperatura (°C)	Precipitação (mm)
Janeiro	9,4	101,8
Fevereiro	10,0	91,3
Março	11,3	94,3
Abril	12,8	49,3
Maio	15,2	33,0
Junho	17,6	12,2
Julho	19,6	2,6
Agosto	19,7	3,9
Setembro	18,7	22,6
Outubro	16,0	73,1
Novembro	12,0	95,8
Dezembro	9,7	100,8
ANO	14,3	680,7

Fonte: Plano de Bacia Hidrográfica do Tejo

Tabela 4 – Classificação climática de Thornthwaite na área de estudo (INAG, 2001)

Parâmetros	Índices	Símbolo	Designação
Índice aridez (Ia)	39,59 %	C₂	Subhúmido
Evapo-transpiração potencial (EVP)	722 (mm)	B'₂	2º Mesotérmico
Índice humidade (Iu)	33,91 %	s₂	Défície de água moderado no Verão
Índice hídrico (Ih)	10,16 %		Nula ou pequena eficácia termica no Verão
Eficácia térmica (Epm/Epa)	40,37 %	a'	

5 ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO DO PÓLO DE CAPTAÇÃO DA APOSTIÇA

Geomorfologicamente, a zona em estudo caracteriza-se por duas grandes unidades: uma zona aplanada formada por depósitos plio-quadernários das bacias do Baixo Tejo e Sado, que preenchem o sinclinal de Albufeira, e uma zona de relevos formada por calcários e margas do Jurássico, que constituem os anticlinais de Arrábida e São Luís.

Durante o Miocénico o mar submergiu diversas vezes a região em estudo, tendo sido identificados seis ciclos de transgressão/regressão, o que, aliado a subsistência da zona e sedimentação activa, originou uma espessa série sedimentar caracterizada essencialmente por uma alternância de depósitos arenosos, argilosos e calcários.

No final do Miocénico, com as compressões a que a série sedimentar ficou sujeita, formam-se os dois tipos de estruturas já referidas (sinclinal e anticlinal).

Durante o Pliocénico, na estrutura em sinclinal foram-se acumulando sedimentos transportados por via fluvial, quase exclusivamente areias, bem identificadas nos afloramentos ou a pequena profundidade na zona em estudo.

No Quaternário deu-se a deposição de uma formação conglomerática que se sobrepõe às areias pliocénicas, constituída por vários níveis grosseiros separados por níveis arenosos.

As areias de cobertura foram os últimos sedimentos a depositar-se, contribuindo para o modelado actual das formas de relevo aplanado, criando grandes extensões planas e com superfícies irregulares erguendo acumulações dunares.

Na zona da Apostiça afloram as formações do Pliocénico, constituídas pela alternância de areias, argilas e grés mais ou menos argilosos. Estas formações assentam sobre o grés calco-margoso e margas, ambas do Miocénico, que afloram na parte mais Oeste e Sul do concelho de Sesimbra.

O Pliocénico na parte Norte do Concelho tem possança variável na zona da Apostiça, e aumenta à medida que se caminha para a Quinta do Conde.

A Este e Oeste de Santana encontram-se formações atribuídas ao Cretácico e, à medida que se caminha para Sul, encontram-se afloramentos Jurássicos.

As formações do Cretácico são constituídas por grés mais ou menos argilo-margosos, enquanto que as formações do Jurássico são constituídas por alternância de calcários e margas (*Figura 4*).

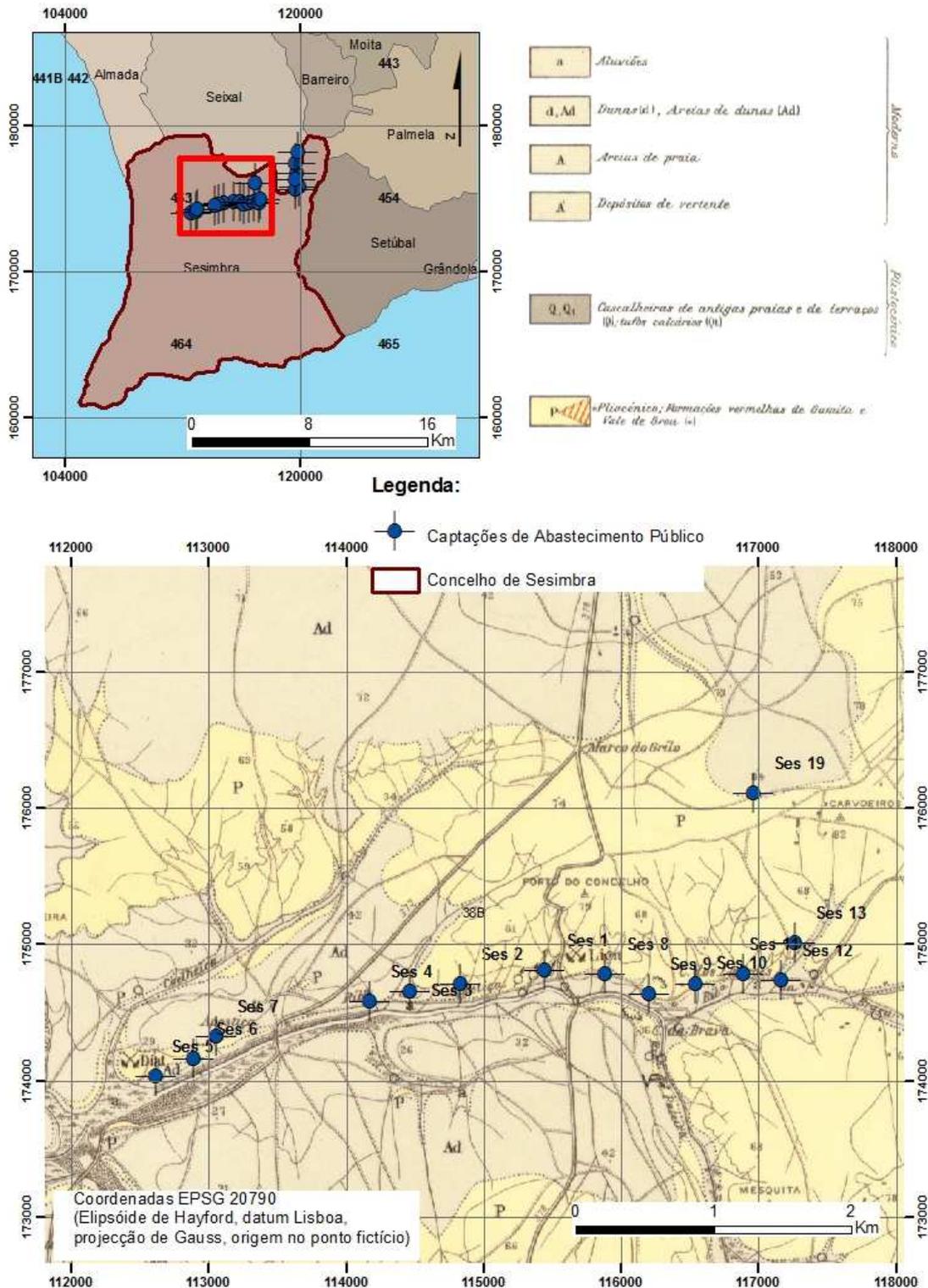


Figura 4: Enquadramento geológico das captações em estudo (Fonte: Folha nº 38 B da Carta Geológica de Portugal - Serviços Geológicos)

6 ENQUADRAMENTO HIDROGEOLÓGICO DO PÓLO DE CAPTAÇÃO DA APOSTIÇA

6.1 Sistema Aquífero da Bacia do Tejo-Sado/Margem Esquerda

A área em estudo insere-se na Unidade Hidrogeológica da Bacia do Tejo-Sado, mais propriamente no sistema aquífero designado por T3 – Bacia do Tejo-Sado/Margem Esquerda (Almeida *et al.*, 2000).

Esta bacia é dividida em duas sub-unidades, a Bacia Terciária do Baixo Tejo e a Bacia de Alvalade que, na sua totalidade, são constituídas por quatro sistemas aquíferos, nomeadamente: Aluviões do Tejo (T7), a Bacia do Tejo-Sado/Margem Direita (T1), a Bacia do Tejo-Sado/Margem Esquerda (T3) e a Bacia de Alvalade (T6) (Figura 5).

No Sistema Aquífero T3 as formações aquíferas dominantes são atribuídas ao Pliocénico e ao Miocénico, sendo as litologias associadas a estas formações as seguintes:

- Pliocénico - complexo de materiais representados maioritariamente por areias de granulometria média a fina, com intercalações argilosas. Estas intercalações argilosas na zona de Belverde (concelho do Seixal) apresentam oito metros de possança e são denominadas de argilitos arenosos, podendo nalgumas zonas surgir diatomitos e lignitos, assim como fósseis de moluscos marinhos. Este complexo pode atingir profundidades de 130 m.
- Miocénico - subjacente à unidade anterior, é constituído nos primeiros metros (Miocénico Superior) por arenitos de espessura variável, denominado em diferentes cortes de sondagens por um complexo greso-argiloso. É seguido de um complexo (Miocénico Médio) de biocalcoarenitos, arenitos finos micáceos, siltitos argilosos micáceos e arenitos finos micáceos. Seguido de um complexo (Miocénico Inferior) de conglomerados siliciosos ou fossilíferos, arenitos argilosos, biocalcarenitos, calcários margosos, siltitos micáceos e arenitos pouco fossilíferos, muitas vezes identificado como calcários margosos por vezes concrecionados, arenitos finos a grosseiros com concreções calcárias e margas. Este complexo tem profundidades superiores a 300 m.

Este sistema aquífero é do tipo poroso multicamada, cujo escoamento subterrâneo resulta da extensão, estrutura e espessura das formações que o constituem.

A alternância da componente greso-calcária com a argilo-margosa confere ao conjunto uma sequência de aquíferos, aquíferos e aquíferos, identificando-se como aquíferos as formações arenosas e greso-calcárias saturadas, e como aquífero a formação argilo-margosa com características do tipo impermeável. Estas formações podem ainda ter comportamento de aquífero quando são impermeáveis, sem serem necessariamente secas.

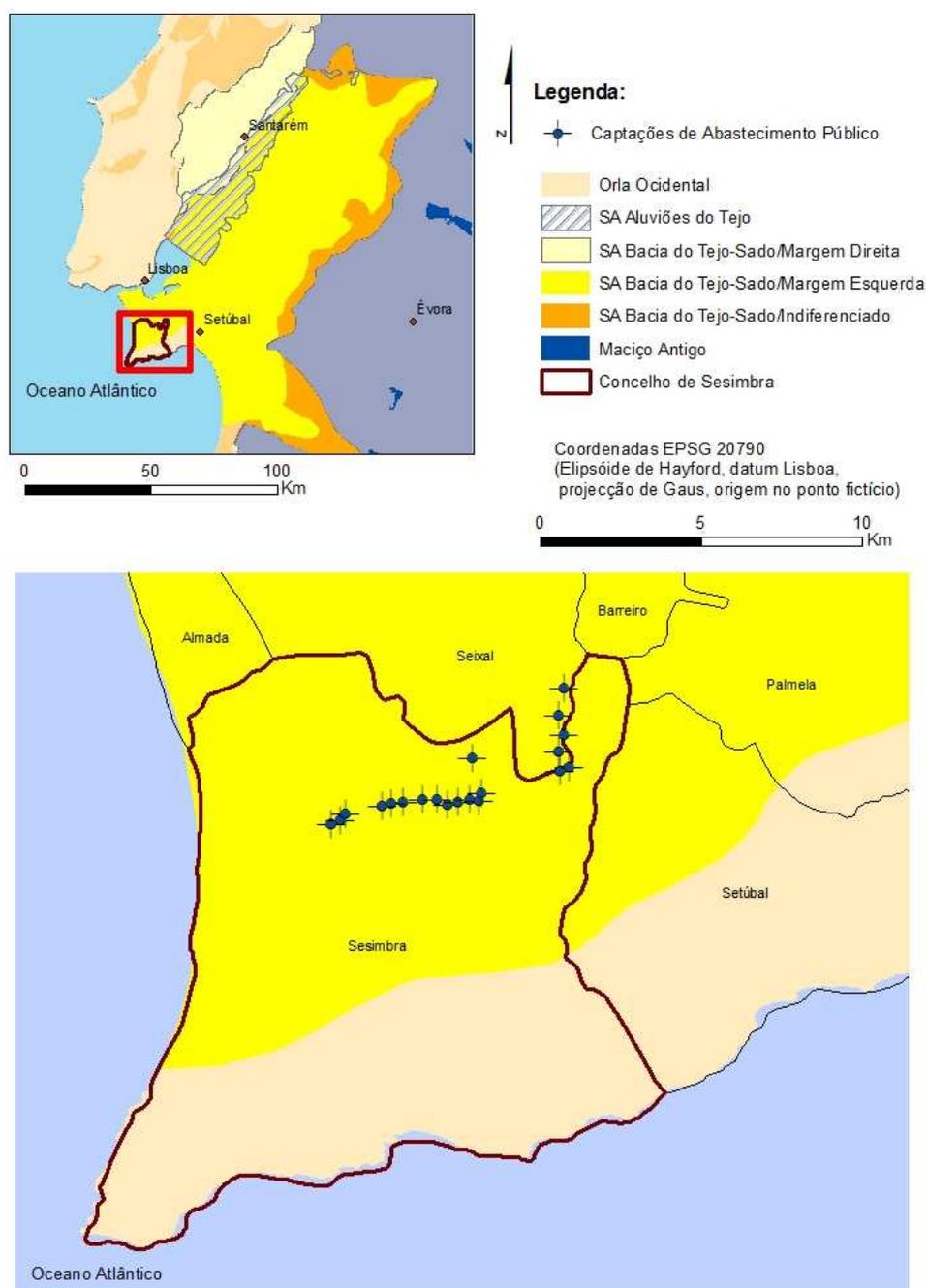


Figura 5: Enquadramento hidrogeológico da área de estudo

6.2 Modelo Conceptual

Ao nível do modelo conceptual para o aquífero, existem algumas diferenças nos vários estudos enunciados, que quase sempre se prendem com a localização e possança do aquífero, nomeadamente entre a Cartografia dos Sistemas Aquíferos de Portugal Continental (Almeida e tal., 2000) e no Étude des Eaux Souterraines de la Péninsule de Setúbal (PNUD, 1980). No entanto, todos os trabalhos de investigação consideraram tratar-se de um sistema multiaquífero com comportamento livre, confinado ou semiconfinado, dependente de mudanças significativas nas condições hidrogeológicas locais e/ou regionais. Estas últimas também condicionadas pela exploração do aquífero.

Todos os trabalhos de investigação consideram que o escoamento subterrâneo é resultado das características de multiaquífero, com camadas muito permeáveis, separadas por outras de comportamento de aquífero a aquífero, identificando várias zonas de escoamento: a de recarga onde o fluxo é descendente, a de transferência por meio dos níveis argilosos e a de descarga com os estuários e o mar.

O plano de Bacia Hidrográfica do Tejo, (INAG, 2001) considera para este sistema aquífero uma recarga de 1200 hm³/ano, caudais para o Pliocénico de 35 l/s e para o Miocénico 15 l/s. As transmissividades para o Pliocénico variam entre 129 e 4000 m²/dia e para o Miocénico entre 19 e 2029 m²/dia.

6.3 Aspectos Gerais das Captações do Pólo da Apostiça

As captações de água subterrânea em estudo localizam-se na parte Norte do concelho de Sesimbra, distribuindo-se de Este para Oeste ao longo de 5 km da margem direita da ribeira da Apostiça (Figura 6).

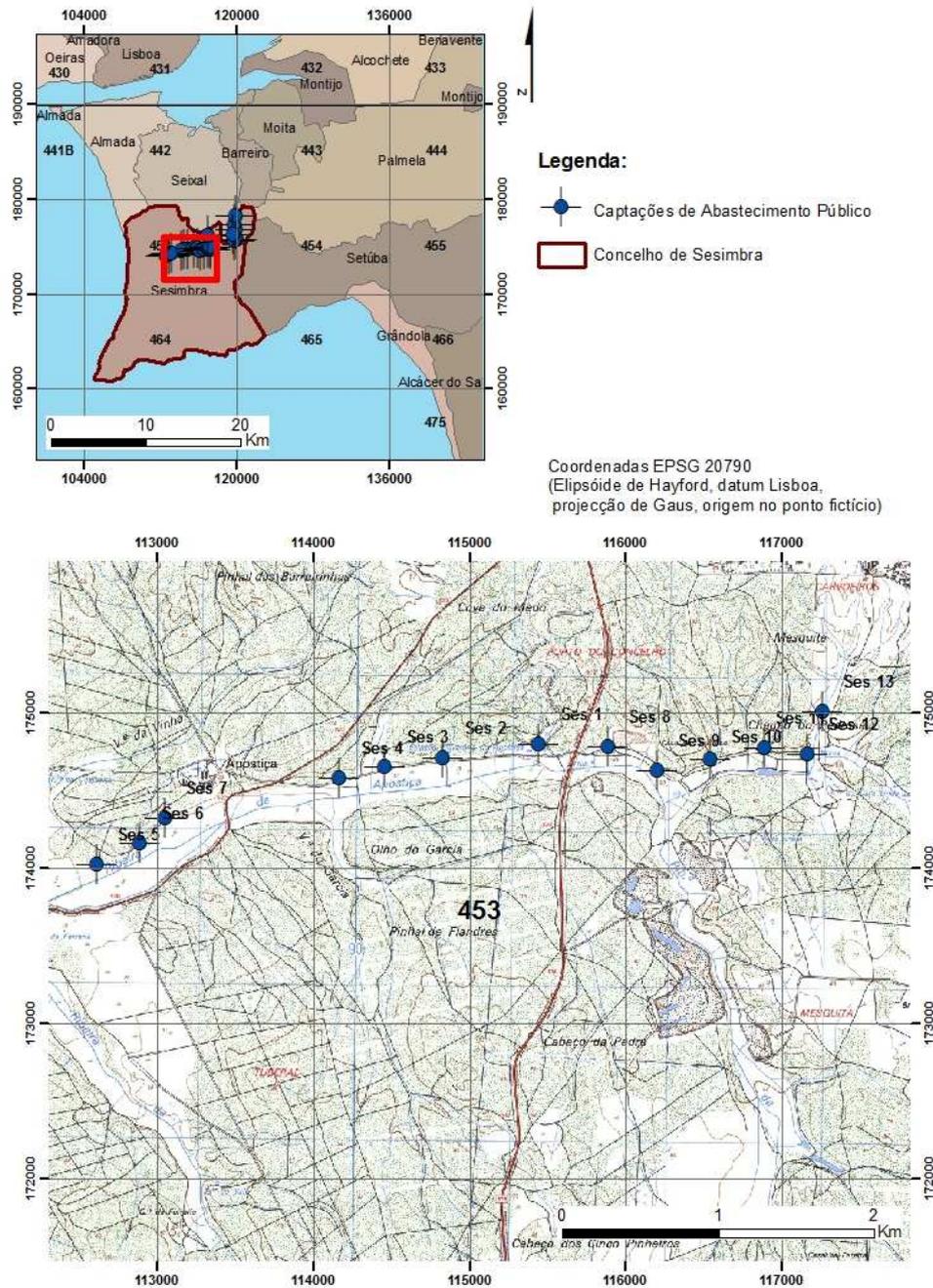


Figura 6: Enquadramento geográfico das captações em estudo (Fonte: Folha nº 453 da Carta Militar de Portugal dos Serviços Cartográficos do Exército)

A água subterrânea captada neste Pólo destina-se ao abastecimento da população da freguesia do Castelo, cabendo a responsabilidade da gestão do sistema de abastecimento à Câmara Municipal de Sesimbra.

O pólo de captação é constituído por treze captações, tendo estas sido construídas pelo método de circulação inversa, com diâmetros de perfuração e entubamento variáveis. O material de entubamento varia entre Aço Norma Din 2458 e PVC.

Do total das captações, nove têm profundidades inferior a 200 m e quatro têm profundidades entre 300 e 400 m (*Figura 7*). Os ralos distribuem-se entre os 78,5 m e 382 m e captam essencialmente no grés calcário.

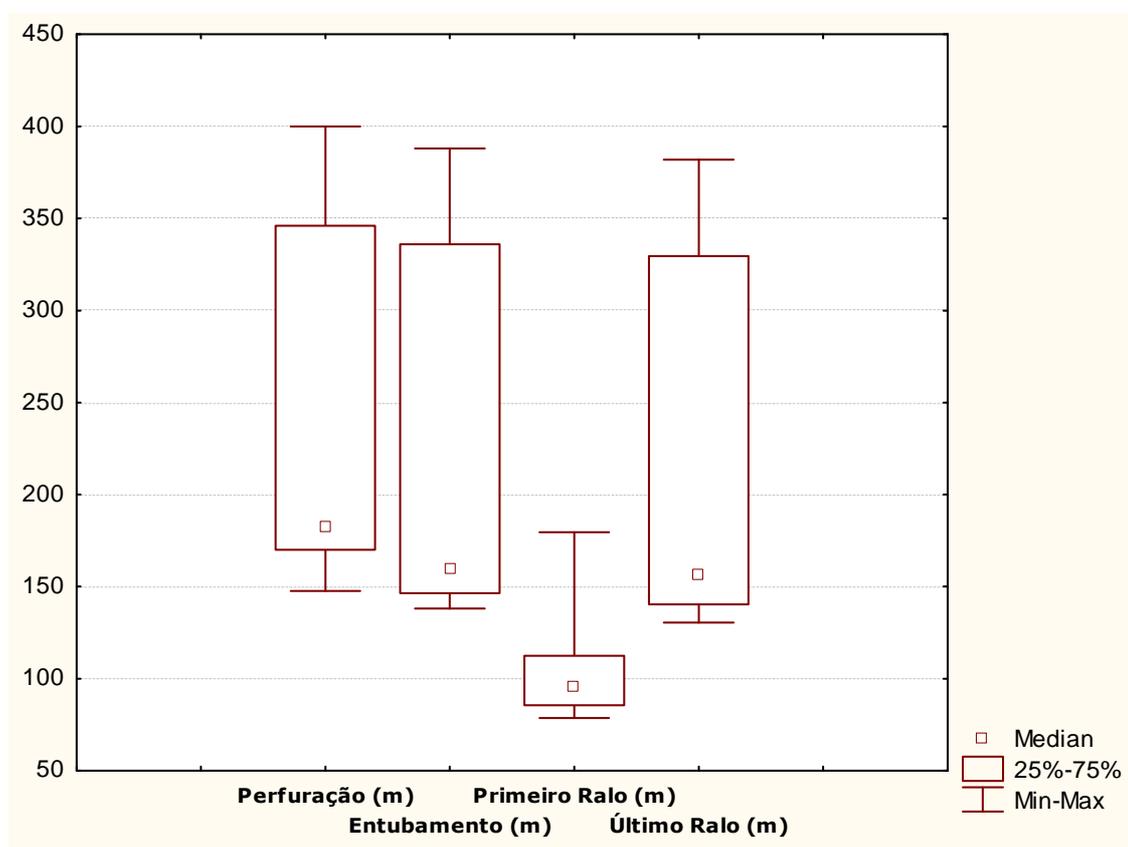


Figura 7: Principais características das captações: profundidade de perfuração, entubamento e zona captante (primeiro e último ralo)

6.4 Caracterização Hidrogeológica e Estrutura de Captação

O relatório técnico de uma captação de água subterrânea inclui importante informação ao nível da sequência litológica, da estrutura de captação e de características locais do aquífero, bem como informação relativa ao ensaio de caudal.

Assim, o ensaio de caudal constitui-se como um método de análise de captações de água subterrânea e do aquífero, sendo uma metodologia de realização simples, que consiste na extracção de água da captação a caudal constante ou variável, com acompanhamento da evolução dos níveis da água promovido por essa extracção, tanto na captação em análise, como noutras localizadas na vizinhança. Terminada a extracção de água na captação, importa observar a evolução dos níveis até a captação atingir o nível estático.

A interpretação de ensaios de caudal por modelos analíticos permite conhecer a transmissividade e o coeficiente de armazenamento, *Tabela 5*. Através do programa Aquifer Test v4.0 interpretaram-se os ensaios de caudal das captações para as quais existiam pares de dados tempo/rebaixamento. Pela equação de Galofré estimou-se a transmissividade da captação que só disponha de informação sobre o caudal específico. Com a equação de Lohman estimou-se a transmissividade, uma vez que em nenhum ensaio de caudal existiam dados de rebaixamento em furos de observação.

Tabela 5 – Síntese dos parâmetros hidráulicos calculados

Pólo de Abastecimento	Designação da captação	Caudal exploração (l/s)	Transmissividade (m ² /dia)	Condutividade hidráulica (m/dia)	Coefficiente de armazenamento
Apostiça	Ses1	57,1	208,0	3,5	1x10 ⁻³ a 3,3x10 ⁻³
	Ses2	25,6	68,7	3,5	1x10 ⁻⁴
	Ses3	15,0	45,0	1,9	1x10 ⁻³ a 8,0x10 ⁻⁵
	Ses4	17,5	49,0	1,6	1x10 ⁻³ a 1,1x10 ⁻⁴
	Ses5	27,5	86,0	2,1	1x10 ⁻³ a 1,7x10 ⁻⁴
	Ses6	30,0	90,0	2,1	4x10 ⁻³ a 1,8x10 ⁻⁴
	Ses7	25,0	66,0	1,4	1,4x10 ⁻² a 1,9x10 ⁻⁴
	Ses8	22,5	97,0	44,0	4x10 ⁻⁵ a 3x10 ⁻³
	Ses9	25,0	112,0	3,7	7x10 ⁻³ a 6x10 ⁻⁵
	Ses10	45,0	197,8	6,6	6,9x10 ⁻⁵
	Ses11	30,0	136,0	8,2	1x10 ⁻² a 3x10 ⁻⁵
	Ses12	22,5	68,0	2,3	6x10 ⁻³ a 8x10 ⁻⁵
	Ses13	25,0	114,0	3,8	5x10 ⁻³ a 5x10 ⁻⁵

Seguidamente apresenta-se as litologias captadas e a estrutura de captação das captações associados ao pólo da Apostiça, bem como a interpretação dos ensaios de caudal que esteve na base dos resultados apresentados na Tabela 5.

Captação JK14 - Ses1

A captação JK14 foi executada em 1984, no local da instalação da central de bombagem da Apostiça. Esta captação tem 400 m de profundidade, é entubada a aço, está protegida por um abrigo de alvenaria elevado do solo, com tampa amovível em ferro (*Figura 8*).



Figura 8: Aspecto geral da captação JK14

As formações aquíferas captadas (*Figura 9*) são constituídas por uma componente gresosa de granulometria média a grosseira, por vezes com seixo e ou burgau, com intercalações margosas, desenvolvendo-se dos 90 até aos 384 m de profundidade.

A composição litológica das camadas acima dos 48 m é característica de um complexo essencialmente areno-argiloso com alternâncias de camadas de areias de espessura variável, finas a grosseiras por vezes com seixo e argila arenosa (29 m) e argilas até à superfície (19 m).

A zona drenante da captação apresenta uma extensão total de 59 m, em Aço ST 372, com estrutura em ponte e altura de fenda de 2,0 mm e \varnothing 8", desenvolvendo-se entre os 89 e os 382 m. A tubagem da câmara de bombagem é em aço macio norma DIN

2458, com Ø 12", estendendo-se desde os -0,5 até aos 87 m, encontrando-se o isolamento até aos 48 m de profundidade.

Profundidade (m)	Litologia	Profundidade (m)	Litologia	Profundidade (m)	Litologia
00.00-00.30	terra vegetal	92.50-130.00	g rés calcário	248.00-265.00	marga
00.30-05.00	areia média amarela argilosa	130.00-136.00	g rés margoso	265.00-270.00	grés calcário
05.00-15.00	areia grosseira amarela com seixo e burgau	136.00-142.00	argila	270.00-276.50	grés margoso
15.00-17.00	areia grosseira esbranquiçada com seixo e burgau e argilosa	142.00-143.00	g rés	276.50-282.00	grés calcário
17.00-19.00	areia	143.00-155.00	marga	282.00-284.00	marga
19.00-22.00	argila	155.00-158.00	g rés margoso	284.00-288.00	grés calcário
22.00-27.00	argila	158.00-174.00	marga	288.00-292.00	marga
27.00-28.00	areia	174.00-176.00	g rés	292.00-294.00	grés calcário
28.00-29.00	areia	176.00-186.00	marga	294.00-304.00	grés calcário grés margoso
29.00-31.00	argila	186.00-188.00	g rés calcário	304.00-307.00	marga gresosa
31.00-39.00	areia	188.00-208.00	marga	307.00-350.00	marga
39.00-50.00	argila	208.00-210.00	g rés	350.00-358.00	marga
50.00-61.00	areia	210.00-211.50	marga	358.00-361.00	grés margoso
61.00-62.00	argila	211.50-212.00	g rés calcário	361.00-367.00	marga gresosa
62.00-67.00	areia	212.00-218.00	marga	367.00-368.00	grés calcário
67.00-68.00	argila	218.00-228.00	g rés	368.00-375.00	marga
68.00-76.00	areia	228.00-232.00	marga	375.00-377.00	grés calcário
76.00-84.00	argila	232.00-242.00	g rés calcário	377.00-382.00	marga
84.00-90.00	marga	242.00-246.00	marga	382.00-384.00	grés calcário
90.00-92.50	grés	246.00-248.00	g rés calcário	384.00-400.00	marga

Ralos		
Profundidade (m)	Diâmetro (")	Material
89.00-91.00	8	aço DIN
93.00-100.00		
105.00-109.00		
111.00-115.00		
117.00-121.00		
125.00-129.00		
155.00-157.00		
171.00-175.00		
191.00-193.00		
219.00-221.00		
225.00-227.00		
234.00-236.00		
239.00-241.00		
264.00-268.00		
274.00-276.00		
283.00-285.00	6	aço DIN
294.00-296.00		
360.00-364.00		
373.00-375.00		
380.00-382.00		

Figura 9: Sequência litológica e perfil da zona drenante da captação JK14

Dos vários níveis argilo-margosos destaca-se a sequência de 14 m (8 m de argila e 6 m de marga), entre os 76 e 90 m, uma vez que pode funcionar como aquífero entre as formações arenosas e gresosas.

O ensaio de caudal decorreu a vários escalões durante aproximadamente 100 horas, tendo-se obtido os seguintes parâmetros (Figura 10):

Nível hidrostático – NHE = 15 m (1984);

Nível hidrodinâmico – NHD₁ = 24,87 m para o caudal de 20 l/s e tempo de estabilização (t_e) = 450 minutos;

NHD₂ = 37,94 m para o caudal de 40 l/s, (t_e) = 3570 minutos;

NHD₃ = 49,2 m para o caudal de 59 l/s, (t_e) = 4530 minutos;

$NHD_4 = 49,45$ m para o caudal de 57 l/s (t_e) = 5610 minutos;

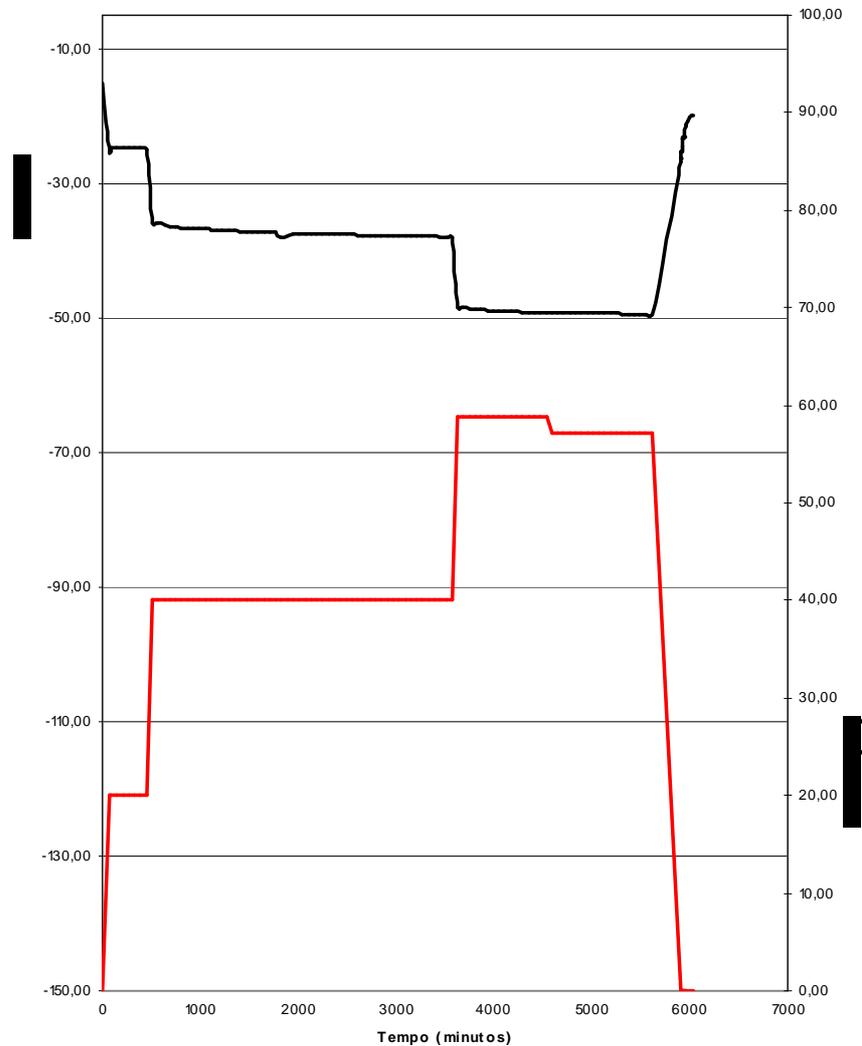


Figura 10: Ensaio de caudal na captação JK14

Dos vários rebaixamentos provocados pelos diferentes caudais resultaram os seguintes caudais específicos $Q_{S1}=2,03$ l/s/m, $Q_{S2}=1,74$ l/s/m, $Q_{S3}=1,72$ l/s/m e $Q_{S4}=1,65$ l/s/m, verificando-se que o caudal específico diminuiu com o aumento do caudal extraído o que pode indicar que a captação se apresentava bem desenvolvida.

A interpretação do ensaio de caudal pelo método de Theis (Figura 11) devolve uma transmissividade de 208 m²/d, o que corresponde a uma condutividade hidráulica de $3,52$ m/d, para um comprimento de ralos de 59 m.

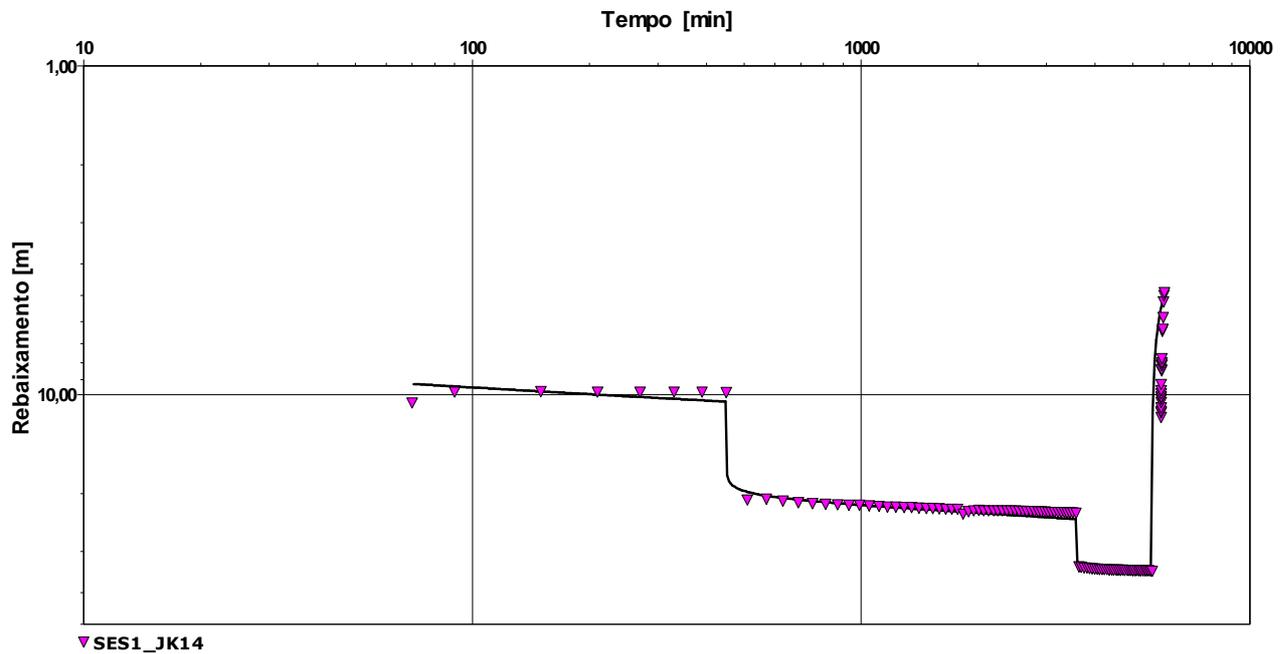


Figura 11: Interpretação do ensaio de caudal da captação Ses1 – JK14

Relativamente ao coeficiente de armazenamento, como não se dispõe de elementos sobre rebaixamentos medidos em piezómetros aplicou-se a equação de Lohman (1972), tendo-se obtido o valor de $3,3 \times 10^{-3}$. O coeficiente de armazenamento calculado a partir de observações no raio de perfuração, embora sem significado físico, é da mesma ordem de grandeza ($S=0,001$).

Captação JK7 – Ses2

A captação JK7 foi executada em 1975, com profundidade de 147,60 m e entubamento a aço (*Figura 12*).



Figura 12: Aspecto geral da captação JK7

As formações aquíferas captadas são constituídas por uma componente greso-calcária de granulometria média a grosseira, com intercalações argilosas, desenvolvendo-se dos 75 até aos 147,60 m de profundidade.

A zona drenante da captação, apresenta uma extensão total de 20,0 m em Aço ST 372, com estrutura em ponte e altura de fenda de 2,0 mm e \varnothing 8", desenvolvendo-se entre os 80,35 e os 140,35 m. A tubagem da câmara de bombagem em aço macio norma DIN 2458 e com \varnothing 12", estende-se desde os -0,5 até aos 72,05 m, encontrando-se o isolamento até aos 40 m de profundidade.

A composição litológica das camadas acima dos 40 m, é característica de um complexo essencialmente areno-argiloso com alternâncias de camadas de areias de espessura variável, finas a grosseiras por vezes com seixo e argila arenosa (31,7 m) e argilas até a superfície (4,3 m).

Dos vários níveis argilosos considera-se importante destacar a pequena espessura atingida entre os 72,70 e 75,10 m (cerca de 2,4 m) uma vez que este nível pode funcionar de aquitardo entre as formações arenosas e marinhas. Facto relevante, uma vez que o primeiro ralo está aos 80 m, parecendo indicar interesse da entidade gestora da captação em explorar só os níveis marinhos.

Profundidade (m)	Litologia
00.00-01.00	terra vegetal
01.00-14.95	areia fina
14.95-21.40	areia fina
21.40-25.70	argila
25.70-37.00	areia
37.00-41.20	argila
41.20-59.80	areia
59.80-60.80	argila
60.80-62.70	areia
62.70-69.90	argila
69.90-72.70	areia
72.70-75.10	argila
75.10-76.20	grés calcário
76.20-79.60	argila
79.60-88.50	grés calcário
88.50-89.60	argila
89.60-111.00	grés calcário
111.00-131.00	argila
131.00-147.60	grés calcário

Ralos		
Profundidade (m)	Diâmetro (")	Material
80.35-85.35	8	aço DIN
100.35-105.35		
130.35-140.35		

Figura 13: Sequência litológica e perfil da zona drenante da captação JK7

O ensaio de caudal decorreu a caudal constante, tendo-se os seguintes parâmetros:

Nível hidrostático - NHE = 14,95 m (1975);

Nível hidrodinâmico - $NHD_1 = 46,82$ m para o caudal de 25,5 l/s (t_e) = desconhecido;

Caudal específico $Q_{s1} = 0,83$ l/s/m.

A interpretação do ensaio de caudal efectuou-se por aplicação da equação Galofré (1966) e devolve uma transmissividade da ordem das dezenas ($T = 83$ m²/d) e condutividade hidráulica de 3,45 m/d, para um comprimento de ralos de 20 m.

Relativamente ao coeficiente de armazenamento, como não se dispõe de elementos sobre rebaixamentos medidos em piezómetros, estima-se o valor em $S = 1,1 \times 10^{-4}$, pela aplicação da equação de Lohman (1972).

Captação RA4 – Ses3

A captação RA4 (*Figura 14*) foi executada em 1998, com profundidade de 170 m e entubamento a PVC.



Figura 14: Aspecto geral da captação RA4

As formações aquíferas captadas são constituídas por uma componente gresosa de granulometria média a grosseira com intercalações margosas, desenvolvendo-se dos 58 até aos 152 m de profundidade.

A zona drenante da captação apresenta uma extensão total de 26,0 m, em PVC Preussag fenda horizontal de 65x1,5 mm e \varnothing 225 mm, desenvolvendo-se entre os 82,5 e os 150,5 m. A tubagem da câmara de bombagem, em PVC Preussag com diâmetro de 330 mm, estende-se desde os 0,5 até aos 80,5 m, encontrando-se o isolamento até aos 70 m de profundidade.

A composição litológica das camadas acima dos 70 m é característica de um complexo essencialmente areno-argiloso, com alternâncias de camadas de areias de espessura

variável, finas a grosseiras por vezes com seixo e argila arenosa (48 m), argilas (8 m) e grés (12 m) até a superfície.

Dos vários níveis argilosos considera-se importante destacar a pequena espessura atingida entre os 52 e 58 m (cerca de 6 m) uma vez que este nível pode funcionar como aquífero entre as formações arenosas e gresosas. Facto relevante uma vez que o primeiro ralo está aos 82,5 m, parecendo indicar interesse da entidade gestora da captação em explorar só os níveis marinhos.

Profundidade (m)	Litologia
00.00-02.00	terra vegetal
02.00-08.00	areia fina
08.00-10.00	argila cinzenta
10.00-15.00	areia fina
15.00-52.00	areia
52.00-58.00	argila
58.00-78.00	grés
78.00-82.00	argila
82.00-112.00	grés
112.00-114.00	calcário
114.00-122.00	grés
122.00-140.00	marga
140.00-144.00	grés calcário
144.00-146.00	marga
146.00-152.00	grés calcário
152.00-170.00	marga

Ralos		
Profundidade (m)	Diâmetro (mm)	Material
82.50-86.50	225	pvc
88.50-92.50		
94.50-96.50		
110.50-114.50		
118.50-120.50		
138.50-142.50		
146.50-150.50		

Figura 15: Sequência litológica e perfil da zona drenante da captação RA4

O ensaio de caudal decorreu a caudal constante obtendo-se os seguintes parâmetros (Figura 16):

Nível hidrostático - NHE = 15 m (1998);

Nível hidrodinâmico - $NHD_1 = 56,67$ m para o caudal de 20 l/s, (t_e) = 2140 minutos;

Caudal específico $Q_{s1} = 0,47$ l/s/m.

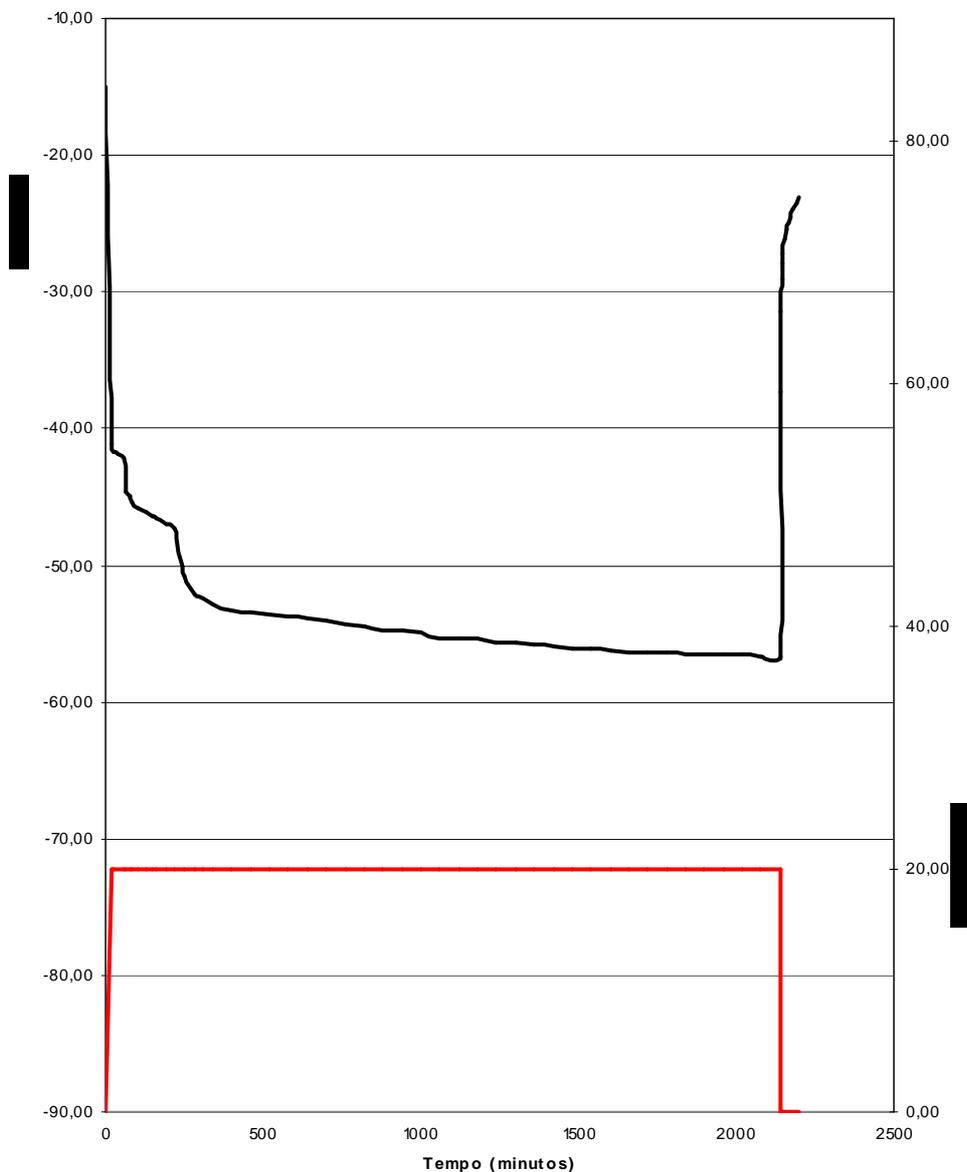


Figura 16: Ensaio de caudal na captação RA4

A interpretação do ensaio de caudal pelo método de Theis devolve uma transmissividade da ordem das dezenas (Figura 17) ($T=45 \text{ m}^2/\text{d}$) e condutividade hidráulica de $1,88 \text{ m/d}$, para um comprimento de ralos de 24 m .

Relativamente ao coeficiente de armazenamento, como não se dispõe de elementos sobre rebaixamentos medidos em piezómetros estima-se o valor em $S=8 \times 10^{-5}$, pela aplicação da equação de Lohman (1972). O coeficiente de armazenamento calculado a partir de observações no raio de perfuração, embora sem significado físico, é igual a $S=0,001$.

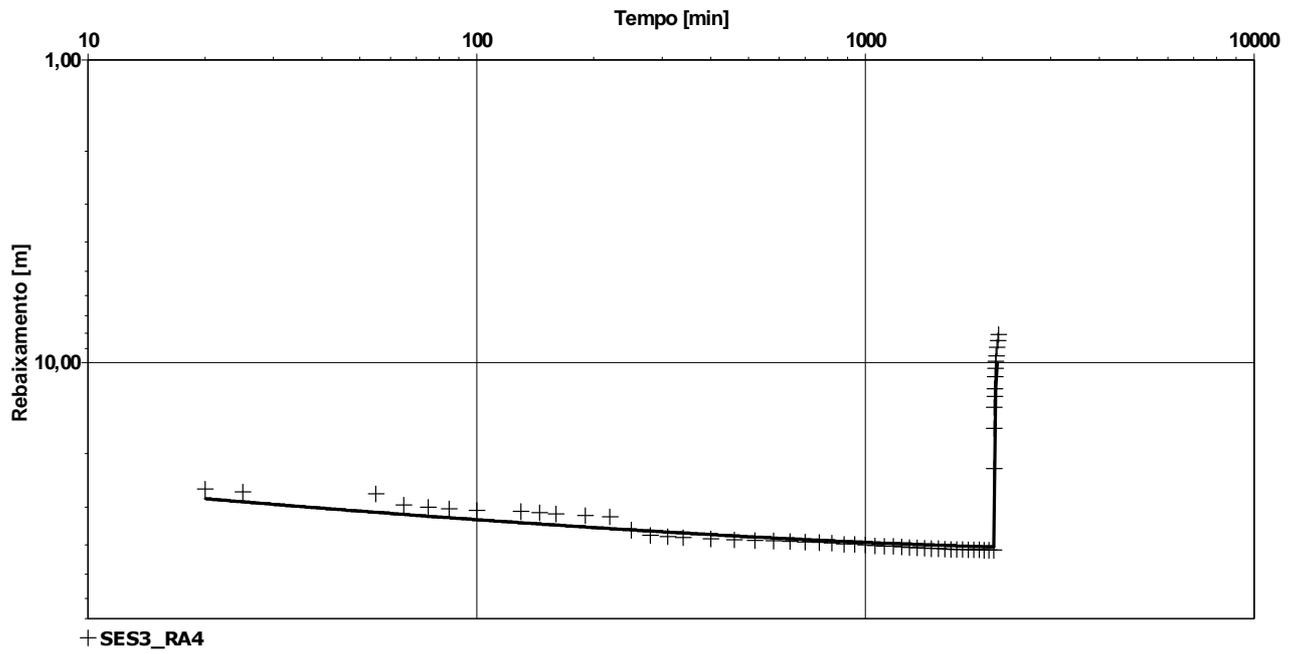


Figura 17: Interpretação do ensaio de caudal da captação Ses3 - RA4

Captação RA6 – Ses4

A captação RA6 (*Figura 18*) foi executada em 1999, com profundidade de 182 m e entubamento a PVC.



Figura 18: Aspecto geral da captação RA6

As formações aquíferas captadas são constituídas por uma componente greso-calcária de granulometria média a grosseira, desenvolvendo-se dos 60 até aos 182 m de profundidade.

A zona drenante da captação, apresenta uma extensão total de 30 m, em PVC Preussag fenda horizontal de 65x1,5 mm e \varnothing 225 mm, desenvolvendo-se entre os 78,5 e os 170,5 m. A tubagem da câmara de bombagem em PVC Preussag com \varnothing 330 mm, estende-se desde os 0,5 até aos 78,5 m encontrando-se o isolamento até aos 60 m de profundidade.

A composição litológica das camadas acima dos 60 m é característica de um complexo essencialmente arenoso (44 m), com alternâncias de camadas de grés calcário e grés margoso (7 m) e argila (5 m).

Dos vários níveis argilosos considera-se importante destacar a pequena espessura atingida entre os 48 e 53 m (cerca de 5 m), uma vez que este nível pode funcionar como aquitardo entre as formações arenosas e marinhas.

Profundidade (m)	Litologia
00.00-04.00	terra vegetal
04.00-11.15	areia fina
11.15-48.00	areia
48.00-53.00	argila
53.00-58.00	grés calcário
58.00-66.00	grés margoso
66.00-68.00	grés calcário
68.00-72.00	grés
72.00-76.00	grés margoso
76.00-122.00	grés calcário
122.00-130.00	grés margoso
130.00-182.00	marga

Ralos		
Profundidade (m)	Diâmetro (mm)	Material
78.50-80.50	225	PVC
82.50-86.50		
88.50-92.50		
96.50-100.50		
108.50-112.50		
116.50-120.50		
126.50-128.50		
160.50-164.50		
168.50-170.50		

Figura 19: Sequência litológica e perfil da zona drenante da captação RA6

O ensaio de caudal decorreu a vários escalões, tendo-se os seguintes parâmetros (Figura 20):

Nível hidrostático - NHE = 11,15 m (1999);

Nível hidrodinâmico - $NHD_1 = 60,2$ m para o caudal de 23 l/s, (t_e) = 2130 minutos;

Caudal específico $Q_{s1} = 0,47$ l/s/m;

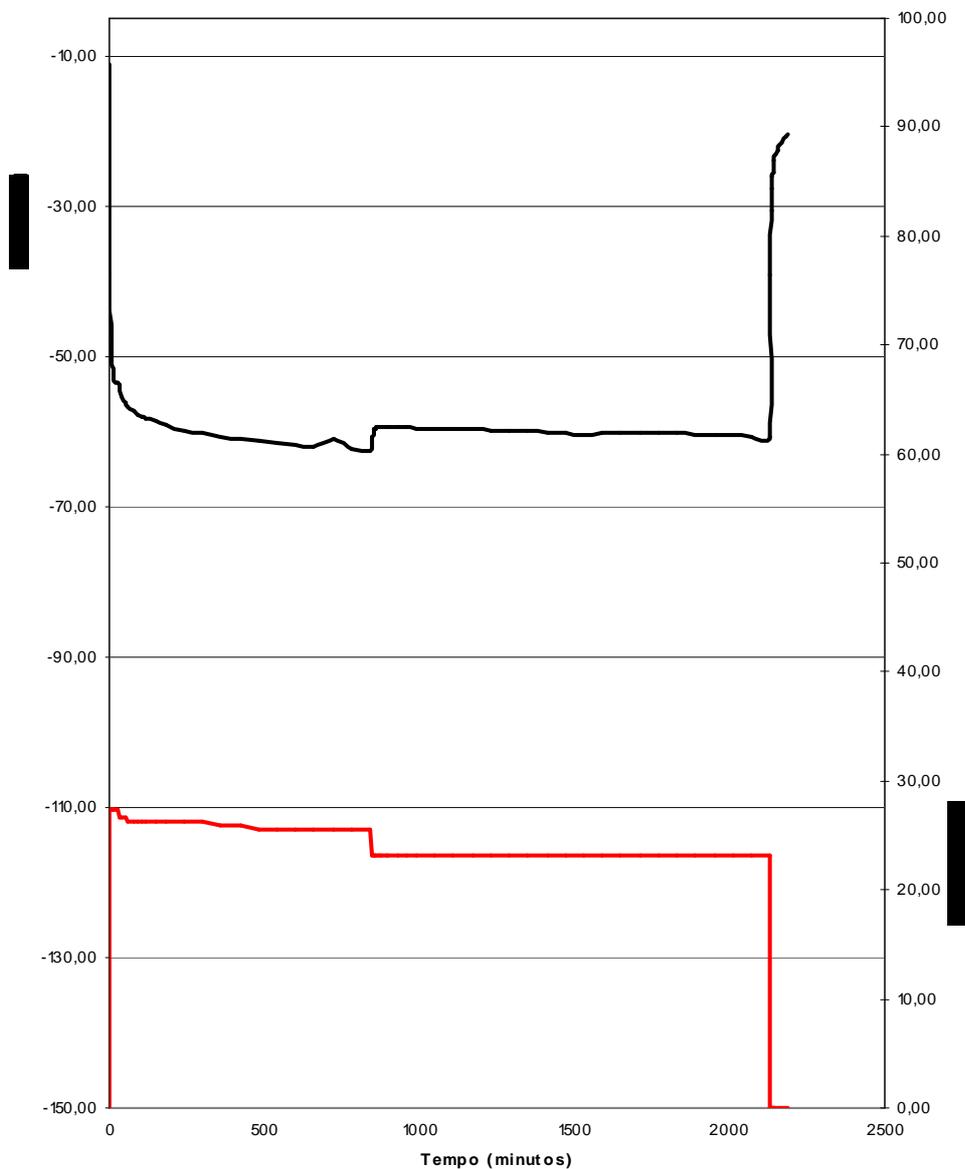


Figura 20: Ensaio de caudal na captação RA6

A interpretação do ensaio de caudal pelo método de Theis devolve uma transmissividade da ordem das dezenas (Figura 21) ($T=49 \text{ m}^2/\text{d}$) e condutividade hidráulica de $1,63 \text{ m/d}$, para um comprimento de ralos de 30 m .

Relativamente ao coeficiente de armazenamento, estima-se o valor em $S=1,1 \times 10^{-4}$, pela aplicação da equação de Lohman (1972). O coeficiente de armazenamento calculado a partir de observações no raio de perfuração, embora sem significado físico, é igual $S=0,001$.

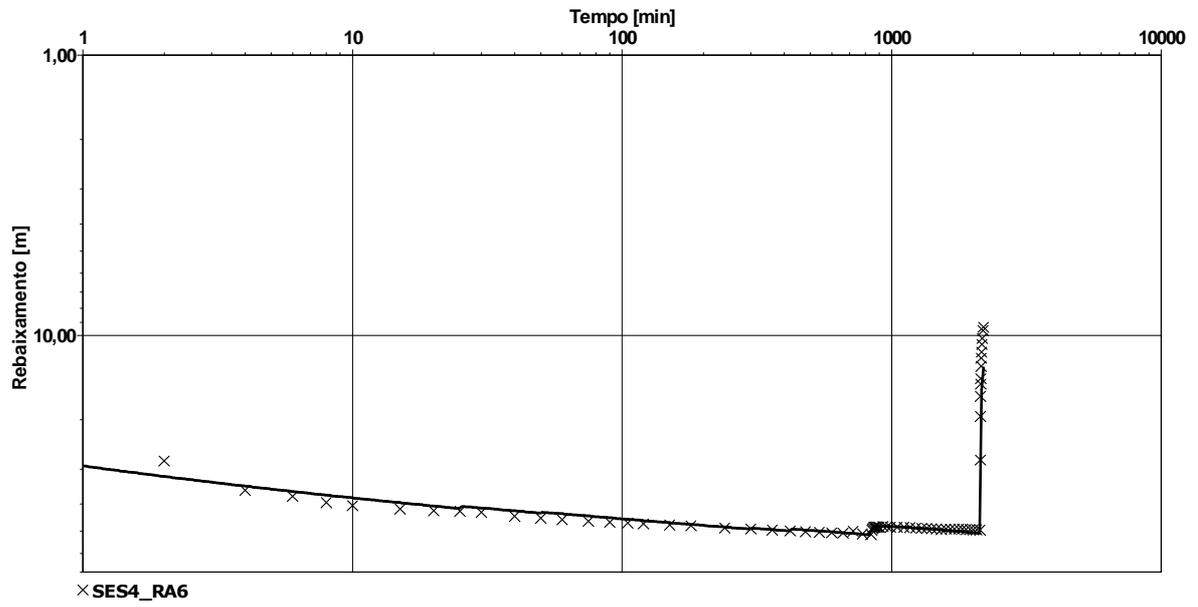


Figura 21: Interpretação do ensaio de caudal da captação Ses4 – RA6

Captação RA11 – Ses5

A captação RA11 (*Figura 23*) foi executada em 2005, com profundidade de 360 m e entubamento a aço.



Figura 22: Aspecto geral da captação RA11

As formações aquíferas captadas são constituídas por uma componente greso-calcária de granulometria média a grosseira com intercalações margosas, desenvolvendo-se dos 150 até aos 329,5 m de profundidade.

A zona drenante da captação apresenta uma extensão total de 42,5 m, em Aço com \emptyset de entubamento de 8", desenvolvendo-se dos 170,5 até aos 329,5 m. A tubagem da câmara de bombagem em aço macio, norma DIN 2458 e com \emptyset 14", estende-se desde os 0,5 até aos 162 m, encontrando-se o isolamento até aos 150 m de profundidade.

A composição litológica das camadas acima dos 150 m é característica de um complexo essencialmente areno-argiloso e gresoso com alternâncias de camadas de areias (34 m) de espessura variável, finas a grosseiras por vezes com seixo, argila (90 m) e grés (24 m).

Dos vários níveis argilosos existentes considera-se importante salientar que a passagem das areias para o grés, aos 64 m decorre sem aquitarado.

Profundidade (m)	Litologia
00.00-05.30	areia fina a média esbranquiçada com seixo e burgau
05.30-16.00	areia
16.00-36.00	argila
36.00-44.00	grés
44.00-46.00	argila
46.00-64.00	areia
64.00-78.00	grés
78.00-108.00	argila
108.00-112.00	grés
112.00-156.00	argila
156.00-160.00	grés
160.00-170.00	marga
170.00-173.00	grés calcário
173.00-192.00	marga
192.00-194.00	grés calcário
194.00-204.00	marga
204.00-208.00	grés
208.00-268.00	marga
268.00-282.00	grés
282.00-284.00	marga
284.00-310.00	grés
310.00-314.00	marga
314.00-330.00	grés calcário
330.00-360.00	marga

Ralos		
Profundidade (m)	Diâmetro (")	Material
170.50-173.50	8	Aço
192.00-195.00		
203.50-206.50		
268.00-272.50		
276.50-282.50		
284.00-287.00		
302.00-306.50		
307.00-310.00		
314.50-319.00		
320.50-324.50		
326.50-329.50		

Figura 23: Sequência litológica e perfil da zona drenante da captação RA11

O ensaio de caudal decorreu a vários escalões, tendo-se os seguintes parâmetros (Figura 24):

Nível hidrostático - NHE = 5,3 m (2005);

Nível hidrodinâmico - $NHD_1 = 36,9$ m para o caudal de 25 l/s, (t_e) = 1320 minutos;

Nível hidrodinâmico - $NHD_2 = 49,5$ m para o caudal de 35 l/s, (t_e) = 2880 minutos;

Caudal específico $Q_{s1} = 0,79$ l/s/m;

Caudal específico $Q_{s2} = 0,79$ l/s/m;

Neste caso importa referir que o caudal específico se mantém, mesmo com o acréscimo de caudal extraído, facto que pode ser indicador de uma boa construção da captação, traduzida pela baixa perda de carga e bom desenvolvimento.

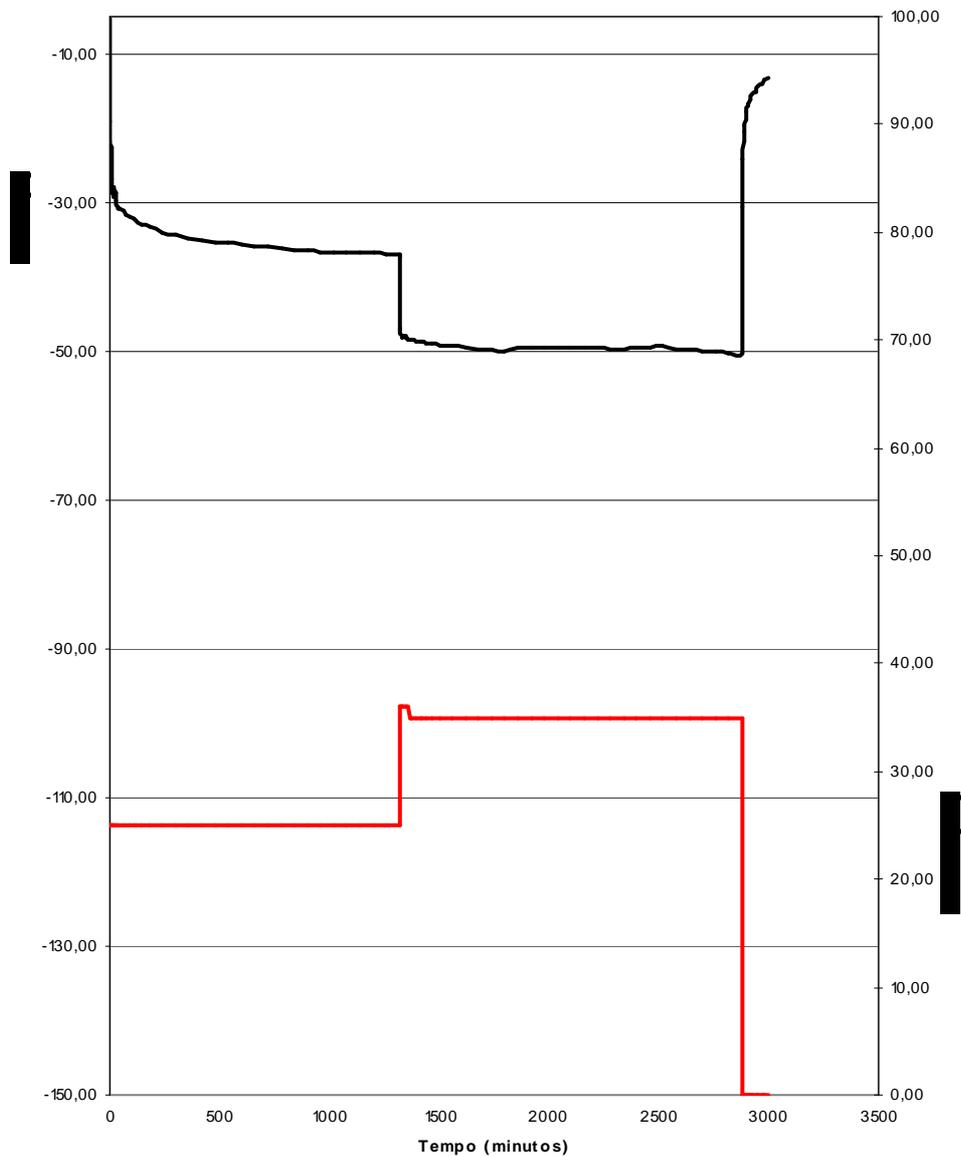


Figura 24: Ensaio de caudal na captação RA11

A interpretação do ensaio de caudal pelo método de Theis devolve uma transmissividade da ordem das dezenas, ($T=86 \text{ m}^2/\text{d}$) e condutividade hidráulica de $2,1 \text{ m/d}$, para um comprimento de ralos de $41,5 \text{ m}$ (Figura 25).

Relativamente ao coeficiente de armazenamento estima-se o valor em $S=1,7 \times 10^{-4}$, pela aplicação da equação de Lohman (1972). O coeficiente de armazenamento

calculado a partir de observações no raio de perfuração, embora sem significado físico, é igual $S=0,001$.

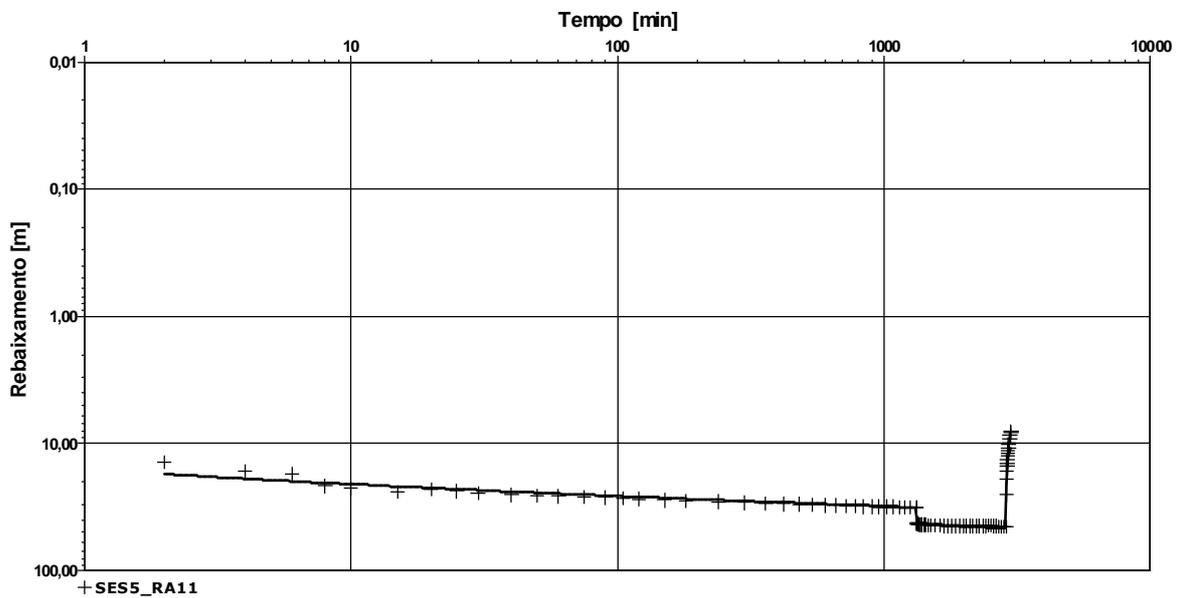


Figura 25: Interpretação do ensaio de caudal da captação Ses5 - RA11

Captação RA9 – Ses6

A captação RA9 (*Figura 26*) foi executada em 2000, com profundidade de 346 m e está entubamento a aço.



Figura 26: Aspecto geral da captação RA9

As formações aquíferas captadas são constituídas por uma componente gresosa com intercalações margosas, desenvolvendo-se dos 154 até aos 332 m de profundidade.

A zona drenante da captação apresenta uma extensão total de 41,9 m em Aço Norma Din com estrutura em ponte com \varnothing 8", desenvolvendo-se dos 179,5 até aos 331 m. A tubagem da câmara de bombagem em aço macio norma DIN 2458 e com \varnothing 12", estende-se desde os -0,5 até aos 150 m, encontrando-se o isolamento até aos 130 m de profundidade.

A composição litológica das camadas acima dos 130 m é característica de um complexo essencialmente areno-argiloso, com alternâncias de camadas de areias e grés de espessura variável, 48 e 46 m, respectivamente, e argilas (24 m) e margas (46 m) até a superfície.

Dos vários níveis argilosos considera-se importante destacar a pequena espessura atingida entre os 16 e 22 m (cerca de 6 m), uma vez que este nível pode funcionar como aquitardo entre as formações arenosas e neste caso marinhas.

Profundidade (m)	Litologia
00.00-02.00	terra vegetal
02.00-16.00	areia
16.00-22.00	argila
22.00-26.00	grés calcário
26.00-34.00	argila
34.00-42.00	grés margos
42.00-44.00	argila
44.00-48.00	grés calcário
48.00-84.00	grés
84.00-154.00	marga
154.00-156.00	grés
156.00-180.00	grés margos
180.00-184.00	grés calcário
184.00-202.00	marga
188.00-290.00	marga
202.00-204.00	grés calcário
204.00-214.00	marga
214.00-218.00	grés calcário
218.00-278.00	marga
278.00-288.00	calcário
290.00-294.00	grés calcário
294.00-300.00	grés margos
300.00-308.00	grés
308.00-310.00	marga
310.00-312.00	grés
312.00-314.00	marga
314.00-320.00	grés calcário
320.00-326.00	marga
326.00-332.00	grés calcário
332.00-346.00	marga

Ralos		
Profundidade (m)	Diâmetro (")	Material
179.50-184.00	8	Aço
201.50-204.50		
213.50-218.00		
280.00-284.50		
285.00-288.00		
290.00-294.50		
302.00-306.50		
309.00-312.00		
314.00-320.00		
326.50-331.00		

Figura 27: Sequência litológica e perfil da zona drenante da captação RA9

O ensaio de caudal decorreu a caudal constante, tendo-se os seguintes parâmetros (Figura 28):

Nível hidrostático - NHE = 0,5 m (Repuxante, 2000);

Nível hidrodinâmico - NHD = 48,2 m para o caudal de 40 l/s, (t_e) = 2130 minutos;

Caudal específico $Q_{s1} = 0,82$ l/s/m;

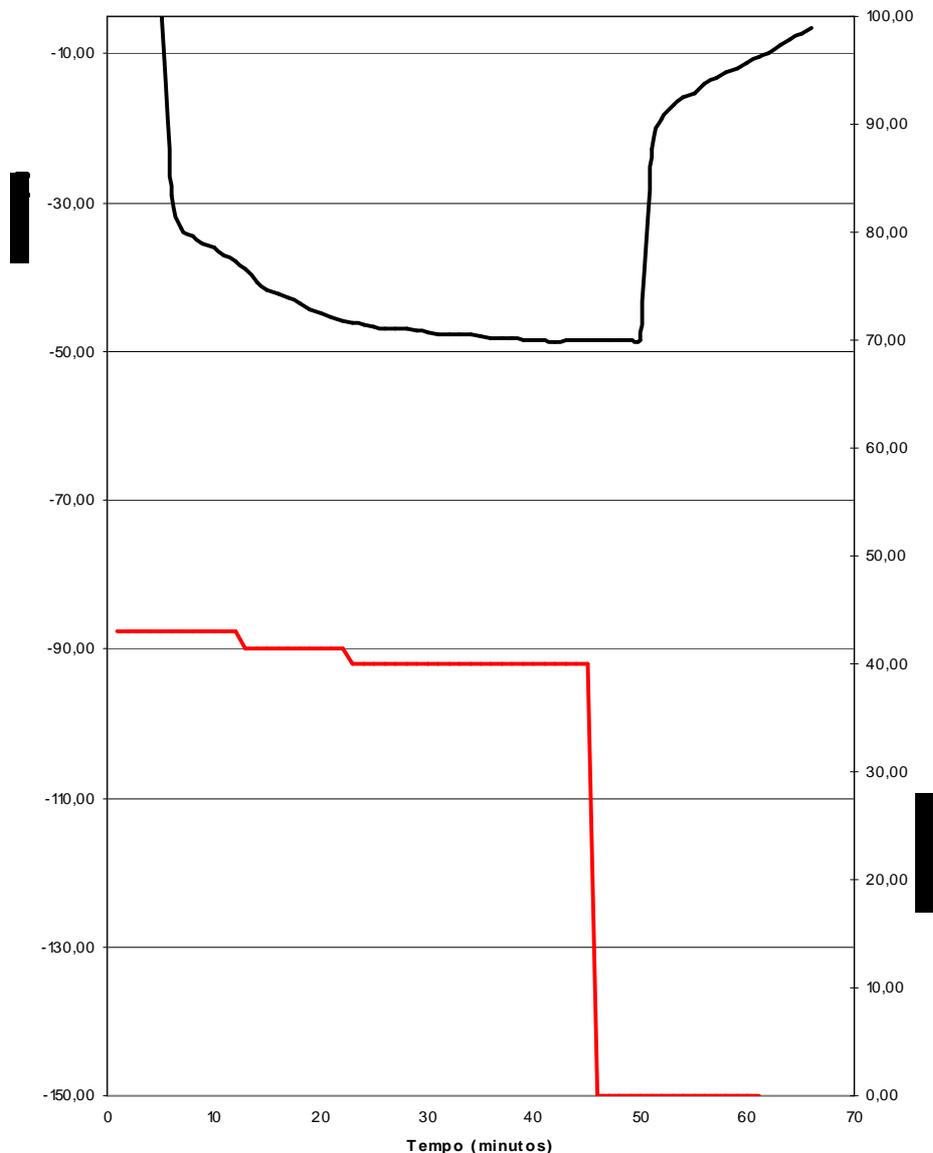


Figura 28: Ensaio de caudal da captação RA9

A interpretação do ensaio de caudal pelo método de Theis devolve uma transmissividade da ordem das dezenas (Figura 29) ($T=90 \text{ m}^2/\text{d}$) e condutividade hidráulica de $2,14 \text{ m/d}$, para um comprimento de ralos de 42 m .

Relativamente ao coeficiente de armazenamento, como não se dispõe de elementos sobre rebaixamentos medidos em piezómetros, estima-se o valor em $S=1,8 \times 10^{-4}$ resultante da aplicação da equação de Lohman, 1972. O coeficiente de armazenamento calculado a partir de observações no raio de perfuração, embora sem significado físico, é igual $S=0,004$.

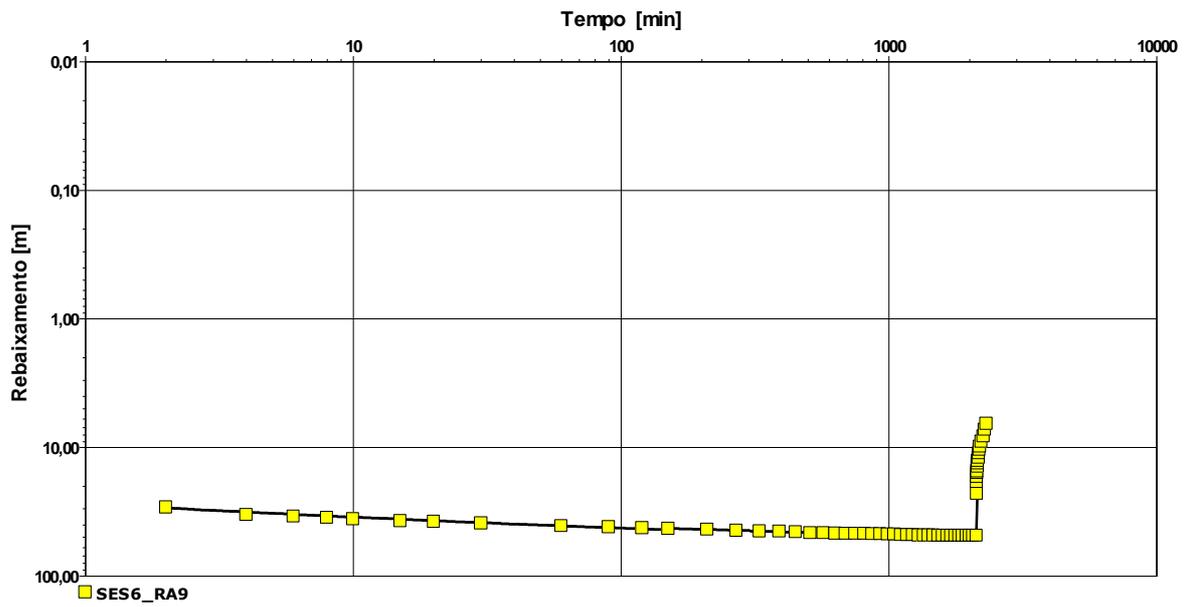


Figura 29: Interpretação do ensaio de caudal da captação Ses6 – RA9

Captação RA8 – Ses7

A captação RA8 (*Figura 30*) foi executada em 2000, com profundidade de 356 m e entubamento a aço.



Figura 30: Aspecto geral da captação RA8

As formações aquíferas captadas são constituídas por uma componente greso-calcária, com intercalações margosas, desenvolvendo-se dos 158 até aos 342 m de profundidade.

A zona drenante da captação apresenta uma extensão total de 46 m em Aço Norma Din com estrutura em ponte de \varnothing 8", desenvolvendo-se dos 168 até aos 341 m. A tubagem da câmara de bombagem em aço macio norma DIN 2458 e com \varnothing 12", estende-se desde os -0,5 até aos 162 m, encontrando-se isolada até aos 140 m de profundidade.

A composição litológica das camadas acima dos 140 m é caracterizada por uma alternância de camadas de areias, grés (24 e 52 m, respectivamente), margas e argilas até a superfície (58 e 4 m, respectivamente).

Dos vários níveis argilosos considera-se importante destacar a pequena espessura atingida entre os 24 e 28 m (4 m) uma vez que este nível pode funcionar como aquitardo entre as formações arenosas e marinhas.

Profundidade (m)	Litologia	Profundidade (m)	Litologia
00.00-08.60	areia fina amarela argilosa	188.00-194.00	grés
08.60-24.00	areia	194.00-210.00	marga
24.00-28.00	argila	210.00-214.00	grés
28.00-30.00	grés marços	214.00-222.00	calcário
30.00-36.00	marga	222.00-226.00	marça
36.00-38.00	grés	226.00-232.00	grés
38.00-52.00	grés calcário	232.00-238.00	calcário
52.00-60.00	grés marços	238.00-288.00	marga
60.00-86.00	grés calcário	288.00-310.00	grés
86.00-124.00	marça	310.00-312.00	grés
124.00-126.00	calcário	312.00-314.00	calcário
126.00-158.00	marga	314.00-318.00	grés
158.00-160.00	grés calcário	318.00-322.00	marga
160.00-168.00	marga	322.00-328.00	grés
168.00-170.00	grés calcário	328.00-332.00	calcário
170.00-174.00	marga	332.00-338.00	marga
174.00-178.00	grés calcário	338.00-342.00	grés
178.00-182.00	marga	342.00-344.00	calcário
182.00-184.00	grés calcário	344.00-356.00	grés
184.00-188.00	marga		marga

Ralos		
Profundidade (m)	Diâmetro (")	Material
168.00-171.00	8	Aço
174.00-178.50		
181.50-184.50		
187.50-188.50		
191.00-195.00		
210.00-214.50		
222.00-226.50		
232.50-235.50		
288.00-289.00		
290.50-294.50		
308.00-309.50		
312.00-313.50		
318.00-321.00		
328.00-332.50		
338.00-341.00		

Figura 31: Sequência litológica e perfil da zona drenante da captação RA8

O ensaio de caudal decorreu a vários escalões tendo-se os seguintes parâmetros (Figura 32):

Nível hidrostático - NHE = 8,6 m (2000);

Nível hidrodinâmico - NHD = 50,95 m para o caudal de 30 l/s, (t_e) = 1843 minutos;

Caudal específico $Q_{S1} = 0,7$ l/s/m;

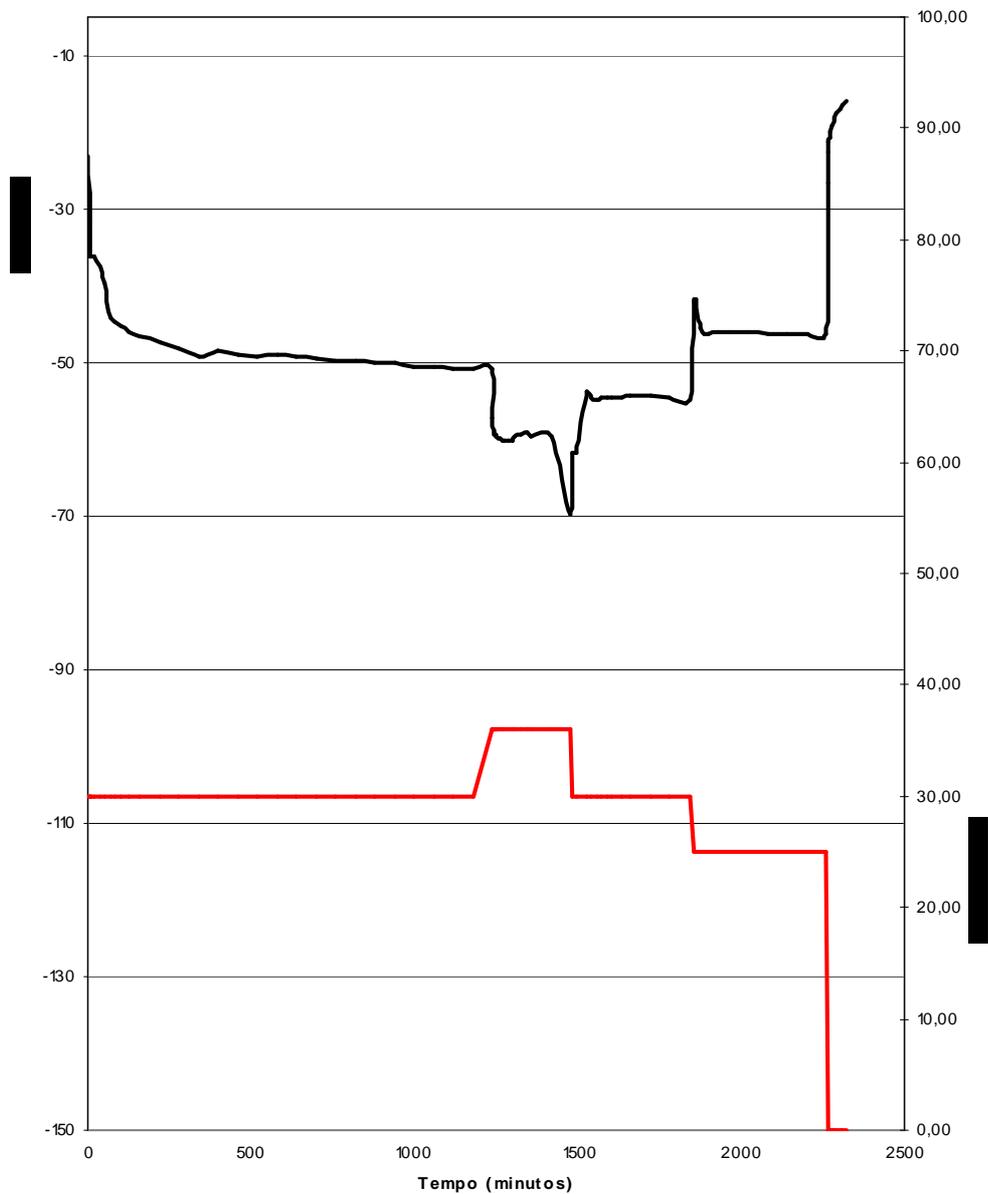


Figura 32: Ensaio de caudal da captação RA8

A interpretação do ensaio de caudal pelo método de Theis devolve uma transmissividade da ordem das dezenas, (Figura 33) ($T= 66 \text{ m}^2/\text{d}$) e condutividade hidráulica de $1,42 \text{ m/d}$, para um comprimento de ralos de $46,5 \text{ m}$.

Relativamente ao coeficiente de armazenamento, como não se dispõe de elementos sobre rebaixamentos medidos em piezómetros estima-se o valor em $S = 1,9 \times 10^{-4}$, pela aplicação da equação de Lohman (1972). O coeficiente de armazenamento

calculado a partir de observações no raio de perfuração, embora sem significado físico, é de $S = 0,014$.

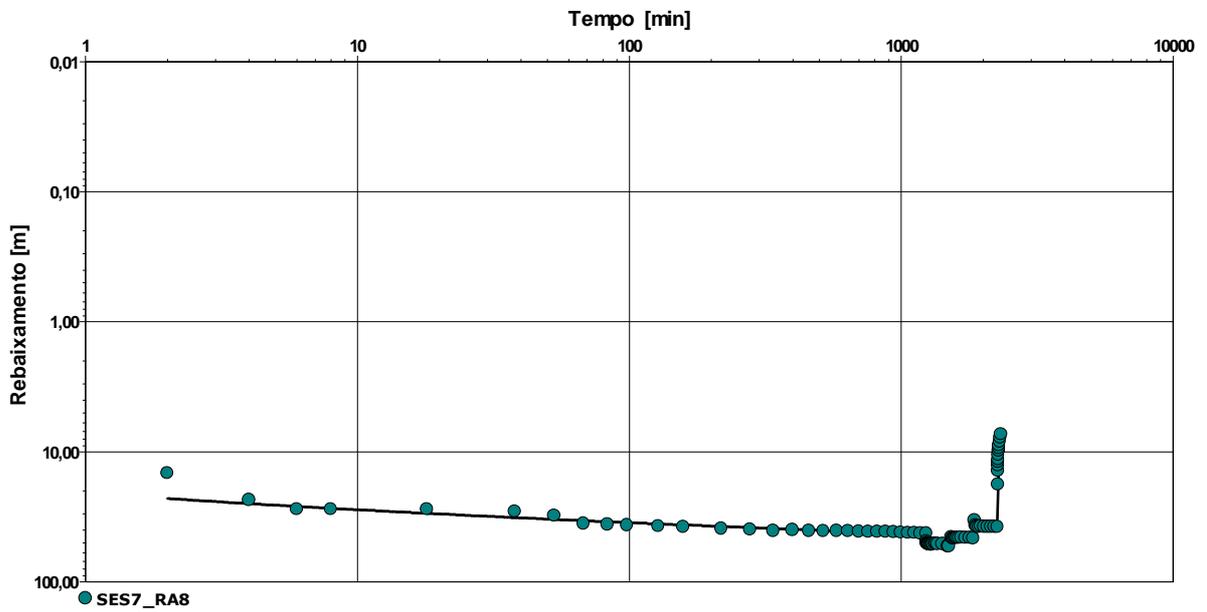


Figura 33: Interpretação do ensaio de caudal da captação Ses7 - RA8

Captação RA3 – Ses8

A captação RA3 (*Figura 34*) foi executada em 1997, com profundidade de 168 m e entubamento a aço.



Figura 34: Aspecto geral da captação RA3

As formações aquíferas captadas são constituídas por uma componente areno-gresosa de granulometria fina a média com intercalações argilosas, desenvolvendo-se dos 78 até aos 140 m de profundidade.

A zona drenante da captação apresenta uma extensão total de 27 m, em Aço Norma Din com estrutura em ponte e altura de fenda de 1,5 mm e \varnothing 8", desenvolvendo-se dos 96 até aos 133,5 m. A tubagem da câmara de bombagem em aço macio norma DIN 2458 e com \varnothing 12", estende-se desde os -0,5 até aos 90 m, encontrando-se isolada até aos 75 m de profundidade.

A composição litológica das camadas acima dos 75 m, é característica de um complexo essencialmente areno-argiloso com alternância de camadas de areias de espessura variável, finas a grosseiras por vezes com seixo, grés e argila arenosa, (28 e 8 m, respectivamente) e argilas até a superfície (35 m).

Dos vários níveis argilosos destaca-se a pequena espessura atingida entre os 80 e 84 m (4 m), uma vez que este nível pode funcionar como aquífero entre as formações arenosas e marinhas.

Profundidade (m)	Litologia
00.00-04.00	terra vegetal acastanhada
04.00-08.00	argila
08.00-16.00	areia fina branca
16.00-24.00	argila
24.00-28.00	areia média a grosseira com seixo
28.00-28.85	argila
28.85-34.00	argila
34.00-42.00	grés
42.00-52.00	argila
52.00-54.00	grés
54.00-56.00	areia
56.00-60.00	argila
60.00-66.00	areia
66.00-68.00	argila
68.00-74.00	areia
74.00-78.00	argila
78.00-80.00	areia
80.00-84.00	argila
84.00-88.00	grés
88.00-96.00	argila
96.00-140.00	grés calcário
140.00-176.00	marça

Ralos		
Profundidade (m)	Diâmetro (")	Material
96.00-100.50	8	Aço
103.50-108.00		
109.50-114.00		
115.50-120.00		
121.50-126.00		
127.50-130.50		
132.00-133.50		

Figura 35: Sequência litológica e perfil da zona drenante da captação RA3

O ensaio de caudal decorreu a vários escalões tendo-se os seguintes parâmetros (Figura 36):

Nível hidrostático - NHE = 28,85 m (1997);

Nível hidrodinâmico - $NHD_1 = 64,33$ m para o caudal de 20 l/s, (t_e) = 368 minutos;

Nível hidrodinâmico - $NHD_2 = 68,68$ m para o caudal de 35 l/s, (t_e) = 2130 minutos;

Caudal específico $Qs_1 = 0,56$ l/s/m;

Caudal específico $Qs_2 = 0,88$ l/s/m;

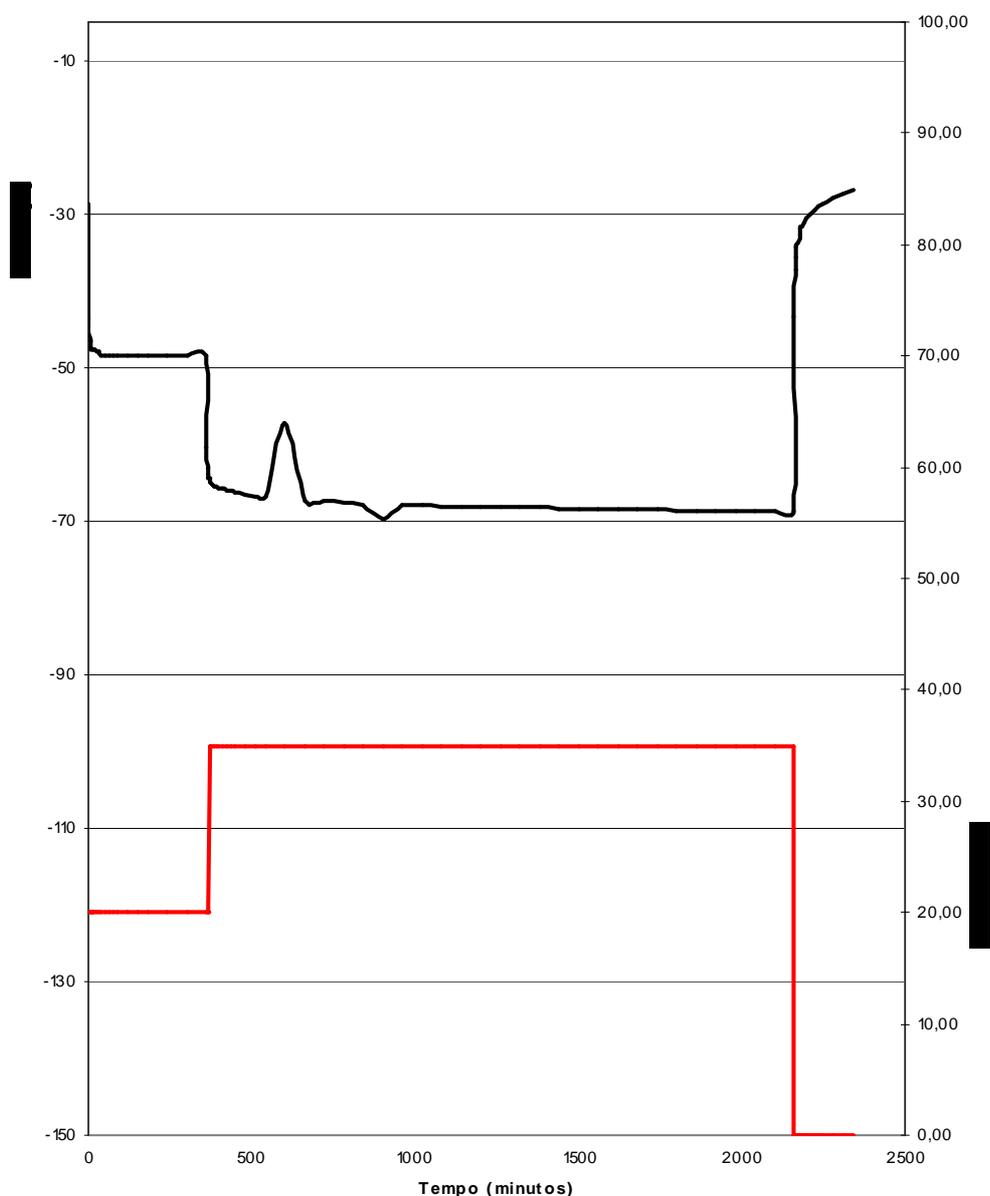


Figura 36: Ensaio de caudal na captação RA3

A interpretação do ensaio de caudal pelo método de Theis devolve uma transmissividade da ordem das dezenas (Figura 37) ($T=97 \text{ m}^2/\text{d}$) e condutividade hidráulica de 44 m/d , para um comprimento de ralos de 27 m .

Relativamente ao coeficiente de armazenamento como não se dispõe de elementos sobre rebaixamentos medidos em piezómetros, estima-se o valor em $S=4 \times 10^{-5}$, pela aplicação da equação de Lohman (1972). O coeficiente de armazenamento calculado a partir de observações no raio de perfuração, embora sem significado físico é $S=0,003$.

Captação RA1 – Ses9

A captação RA1 (*Figura 35*) foi executada em 1989, com profundidade de 182 m e entubamento a aço.



Figura 38: Aspecto geral da captação RA1

As formações aquíferas captadas são constituídas por uma componente essencialmente gresosa com intercalações argilosas e margosas, desenvolvendo-se dos 76 até aos 172 m de profundidade.

A zona drenante da captação apresenta uma extensão total de 30 m em aço com estrutura em ponte, altura de fenda de 1,5 mm e Ø 8", desenvolvendo-se dos 85,5 m até aos 138 m. A tubagem da câmara de bombagem em aço macio norma DIN 2458, com Ø 12" estende-se desde os -0,5 até aos 84 m, encontrando-se isolada até aos 70 m de profundidade.

A composição litológica das camadas acima dos 70 m é característica de um complexo essencialmente areno-argiloso, com alternâncias de camadas de areias de espessura variável, finas a grosseiras por vezes com seixo e argila arenosa, grés (32 e 6 m respectivamente) e argilas até a superfície (32 m).

Dos vários níveis argilosos destaca-se a pequena espessura atingida entre os 72 e 76 m (4 m), uma vez que este nível pode funcionar de aquitardo entre as formações arenosas e gresosas.

Profundidade (m)	Litologia
00.00-02.00	argila arenosa
02.00-06.00	areia fina
06.00-08.00	argila
08.00-12.00	areia média a grosseira com seixo argilosa
12.00-20.20	argila
20.20-24.00	argila
24.00-38.00	areia
38.00-48.00	argila
48.00-54.00	grés
54.00-60.00	argila
60.00-72.00	areia
72.00-76.00	argila
76.00-80.00	grés
80.00-82.00	argila
82.00-84.00	grés
84.00-90.00	grés calcário
90.00-96.00	grés
96.00-128.00	grés calcário
128.00-136.00	marga
136.00-140.00	grés margoso
140.00-168.00	marga
168.00-172.00	grés margoso
172.00-182.00	marga

Ralos		
Profundidade (m)	Diâmetro (")	Material
85.50-90.00	8	Aço
97.50-102.00		
103.50-108.00		
109.50-114.00		
117.00-120.00		
121.50-124.50		
126.00-129.00		
135.00-138.00		

Figura 39: Sequência litológica e perfil da zona drenante da captação RA1

O ensaio de caudal decorreu a vários escalões tendo-se os seguintes parâmetros (Figura 40):

Nível hidrostático - NHE = 20,20 m (1997);

Nível hidrodinâmico - $NHD_1 = 42,8$ m para o caudal de 15 l/s, (t_e) = 370 minutos;

Nível hidrodinâmico - $NHD_2 = 47,5$ m para o caudal de 30 l/s, (t_e) = 2160 minutos;

Caudal específico $Q_{S1} = 0,67$ l/s/m;

Caudal específico $Q_{S1} = 1,1$ l/s/m;

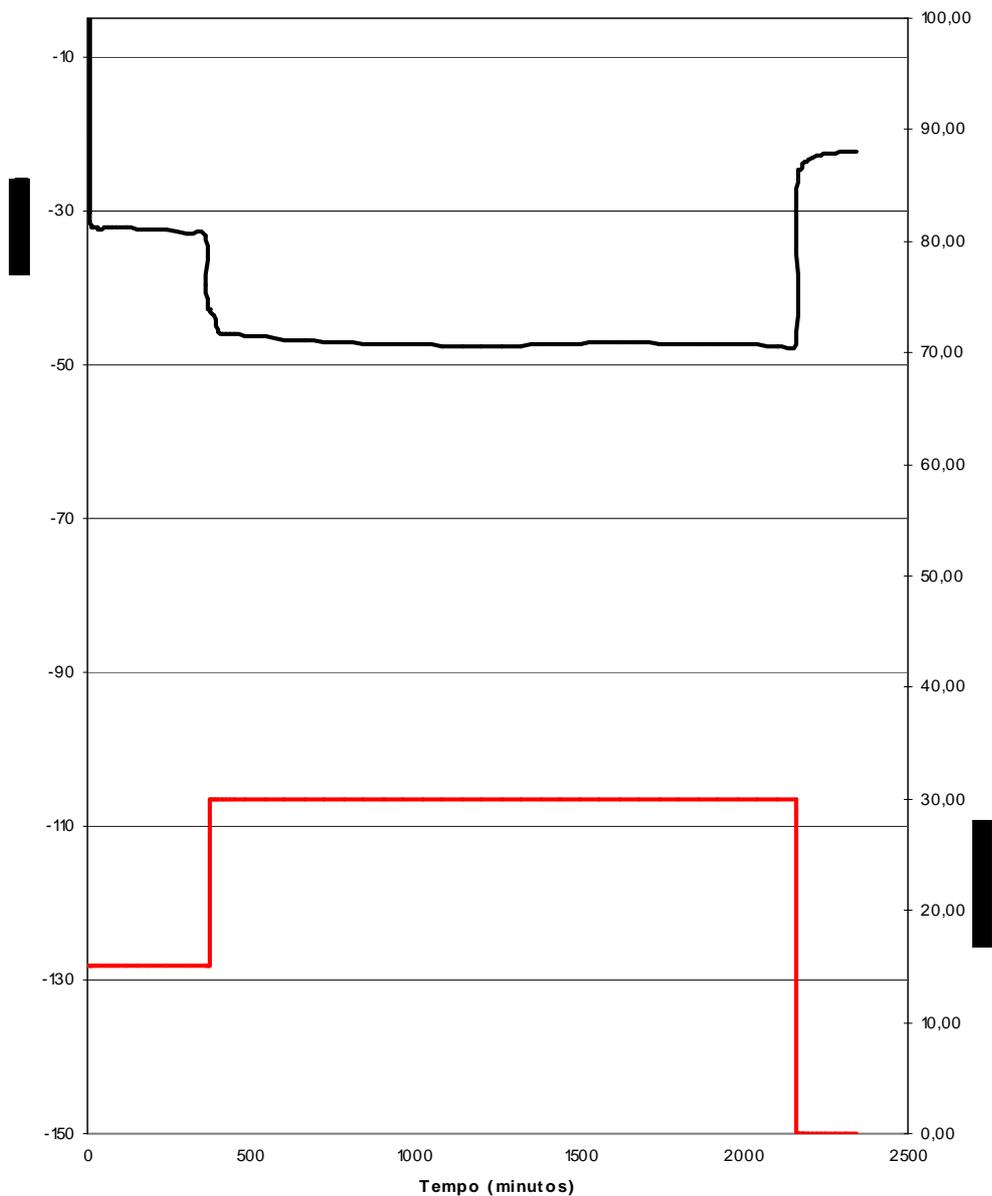


Figura 40: Ensaio de caudal da captação RA1

A interpretação do ensaio de caudal pelo método de Theis devolve uma transmissividade da ordem das centenas (Figura 41) ($T=112 \text{ m}^2/\text{d}$) e condutividade hidráulica de $3,73 \text{ m/d}$, para um comprimento de ralos de 30 m .

Relativamente ao coeficiente de armazenamento como não se dispõe de elementos sobre rebaixamentos medidos em piezómetros, estima-se o valor em $S=6 \times 10^{-5}$ pela aplicação da equação de Lohman (1972). O coeficiente de armazenamento calculado a

partir de observações no raio de perfuração, embora sem significado físico, é de $S=0,007$.

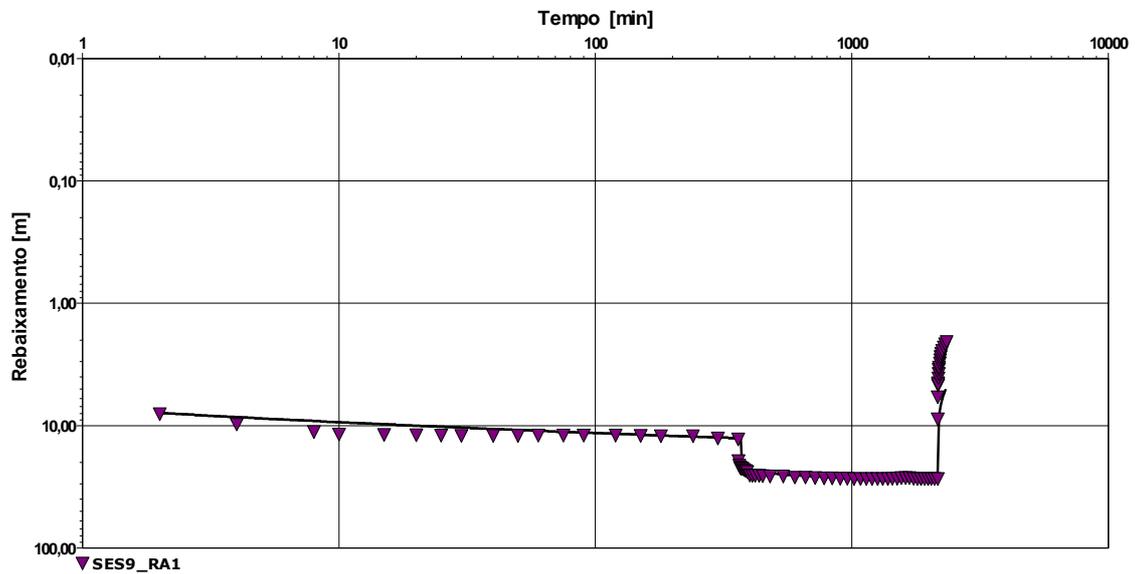


Figura 41: Interpretação do ensaio de caudal da captação Ses9 - RA1

Captação PS3 – Ses10

A captação PS3 (*Figura 39*) foi executada em 1989, com profundidade de 180 m e entubamento a aço.



Figura 42: Aspecto geral da captação PS3

As formações aquíferas captadas são constituídas por areias e grés com intercalações margosas e argilosas, desenvolvendo-se dos 58 até aos 153 m de profundidade.

A zona drenante da captação apresenta uma extensão total de 30 m, em aço com estrutura em ponte de \varnothing 8", desenvolvendo-se dos 93,78 até aos 156 m. A tubagem da câmara de bombagem em aço macio norma DIN 2458, com \varnothing 12", estende-se desde os -0,5 até aos 85,32 m, encontrando-se o isolamento até aos 50 m de profundidade.

A composição litológica das camadas acima dos 50 m é característica de um complexo essencialmente areno-argiloso com alternâncias de camadas de areias de espessura variável, finas a grosseiras por vezes com seixo e argila arenosa (20 m) e argilas até a superfície (30 m).

Dos vários níveis argilosos destaca-se a inexistência destes níveis na passagem das areias para o grés entre os 78-93 m, não ocorrendo aquífero nesta transição como verificado em algumas das captações anteriores.

Profundidade (m)	Litologia
00.00-06.00	areia fina
06.00-24.00	argila compacta
24.00-26.60	areia fina
26.60-27.00	areia média
27.00-33.00	argila
33.00-36.00	areia
36.00-42.00	argila
42.00-51.00	areia
51.00-54.00	argila
54.00-56.00	areia
56.00-58.00	argila
58.00-77.00	areia
77.00-78.00	argila
78.00-84.00	areia
84.00-93.00	grés
93.00-99.00	areia
99.00-105.00	grés calcário
105.00-108.00	argila
108.00-126.00	marga
126.00-131.00	grés margoso
131.00-153.00	grés calcário
153.00-180.00	marga

Ralos		
Profundidade (m)	Diâmetro (")	Material
93.78-97.78	8	Aço
99.98-103.98		
108.02-110.02		
112.20-116.20		
124.24-128.24		
136.63-140.63		
144.44-146.44		
148.26-152.26		
154.00-156.00		

Figura 43: Sequência litológica e perfil da zona drenante da captação PS3

O ensaio de caudal decorreu a caudal constante, tendo-se os seguintes parâmetros:

Nível hidrostático - NHE = 26,6 m (1989);

Nível hidrodinâmico - NHD = 49 m para o caudal de 45 l/s, (t_e) = 1560 minutos;

Caudal específico $Q_{s1} = 2,0$ l/s/m;

A interpretação do ensaio de caudal efectuou-se por aplicação da equação Galofré (1966) para formações gresocalcárias e devolve uma transmissividade da ordem das centenas ($T=200$ m²/d) e condutividade hidráulica de 6,7 m/d, para um comprimento de ralos de 30 m

Relativamente ao coeficiente de armazenamento como não se dispõe de elementos sobre rebaixamentos medidos em piezómetros, estima-se o valor em $S=6,9 \times 10^{-5}$, pela aplicação de Lohman (1972).

Captação RA2 – Ses11

A captação RA2 (*Figura 41*) foi executada em 1997, com profundidade de 165 m e entubamento a aço.



Figura 44: Aspecto geral da captação Ses11

As formações aquíferas captadas são constituídas por uma componente essencialmente greso-calcária de granulometria média a grosseira com intercalações argilosas, desenvolvendo-se dos 96 até aos 165 m de profundidade.

A zona drenante da captação apresenta uma extensão total de 16,5 m, em aço com estrutura em ponte altura de fenda de 1,5 mm e \varnothing 8", desenvolvendo-se dos 96 até aos 130,5 m. A tubagem da câmara de bombagem em aço macio norma DIN 2458, com \varnothing 12", estende-se desde os -0,5 até aos 90 m, encontrando-se o isolamento até aos 78 m de profundidade.

A composição litológica das camadas acima dos 78 m é característica de um complexo essencialmente areno-argiloso com alternâncias de camadas de areias de espessura variável, finas a grosseiras por vezes com seixo e argila arenosa, grés (36 e 14 m respectivamente) e argilas até a superfície (18 m).

Dos vários níveis argilosos destaca-se a ausência de aquitardo entre os 52 e 60 m, na passagem das formações arenosas para as gresosas.

Profundidade (m)	Litologia
00.00-12.00	areia fina a grosseira argilosa
12.00-22.00	areia fina a grosseira argilosa
22.00-24.00	areia fina
24.00-37.40	argila
37.40-52.00	argila
52.00-56.00	areia
56.00-60.00	grés
60.00-62.00	argila
62.00-72.00	grés
72.00-96.00	argila
96.00-99.00	grés
99.00-104.00	argila
104.00-110.00	areia
110.00-114.00	grés calcário
114.00-120.00	argila
120.00-130.00	grés calcário
130.00-144.00	argila
144.00-165.00	grés margoso

Ralos		
Profundidade (m)	Diâmetro (")	Material
96.00-99.00	8	Aço
109.50-114.00		
120.00-124.50		
126.00-130.50		

Figura 45: Sequência litológica e perfil da zona drenante da captação Ses11

O ensaio de caudal decorreu a vários escalões tendo-se os seguintes parâmetros (Figura 46):

Nível hidrostático - NHE = 37,4 m (1997);

Nível hidrodinâmico - $NHD_1 = 60,21$ m para o caudal de 20 l/s, (t_e) = 364 minutos;

Nível hidrodinâmico - $NHD_2 = 63,68$ m para o caudal de 35 l/s, (t_e) = 2160 minutos;

Caudal específico $Q_{s1} = 0,87$ l/s/m;

Caudal específico $Q_{s1} = 1,33$ l/s/m;

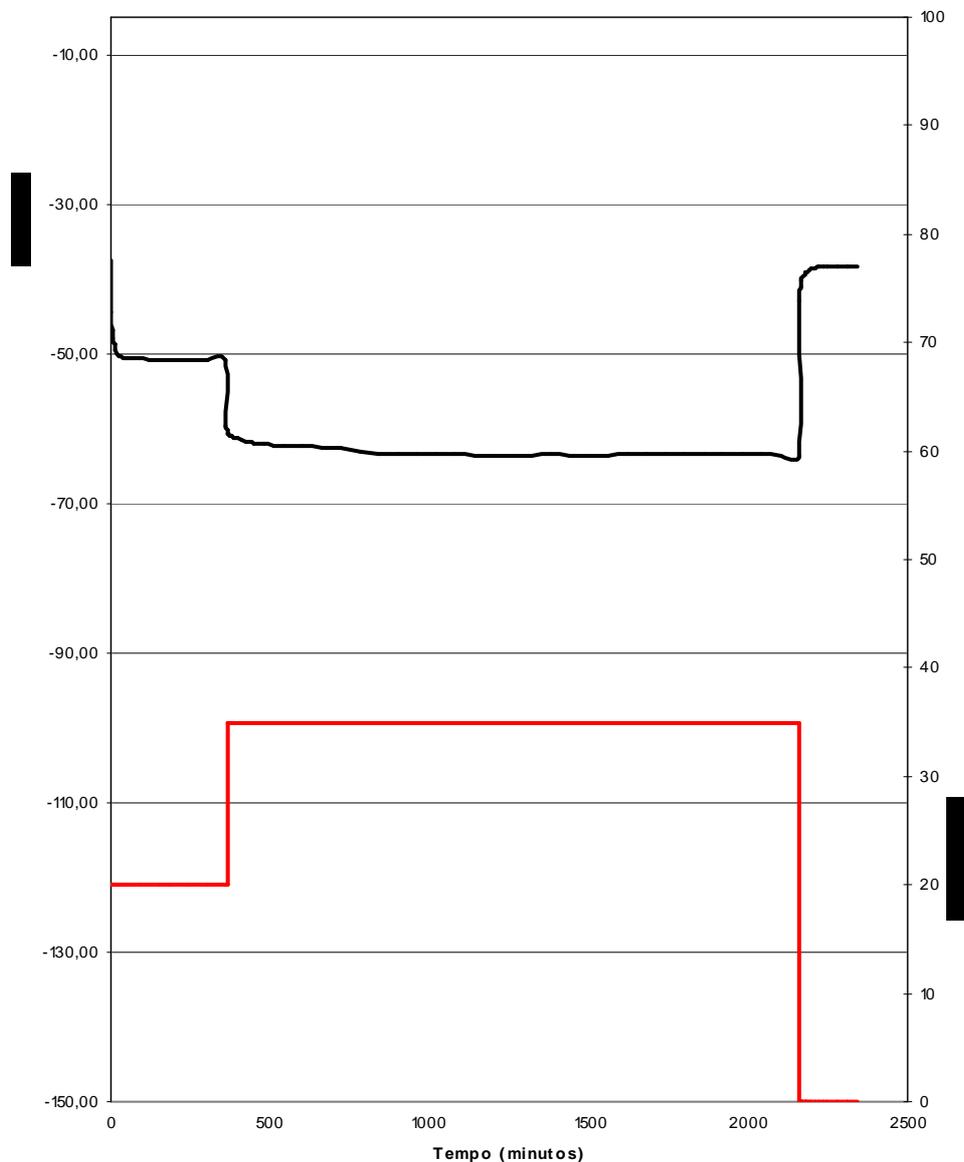


Figura 46: Ensaio de caudal na captação RA2

A interpretação do ensaio de caudal pelo método de Theis devolve uma transmissividade da ordem das centenas (Figura 45) ($T=136 \text{ m}^2/\text{d}$) e condutividade hidráulica de $8,2 \text{ m/d}$, considerando uma espessura saturada de $16,5 \text{ m}$, para um comprimento de ralos de $16,5 \text{ m}$

Relativamente ao coeficiente de armazenamento como não se dispõe de elementos sobre rebaixamentos medidos em piezómetros, estima-se o valor em $S=3 \times 10^{-5}$, pela aplicação de Lohman (1972). O coeficiente de armazenamento calculado a partir de observações no raio de perfuração, embora sem significado físico é de $S=0,01$.

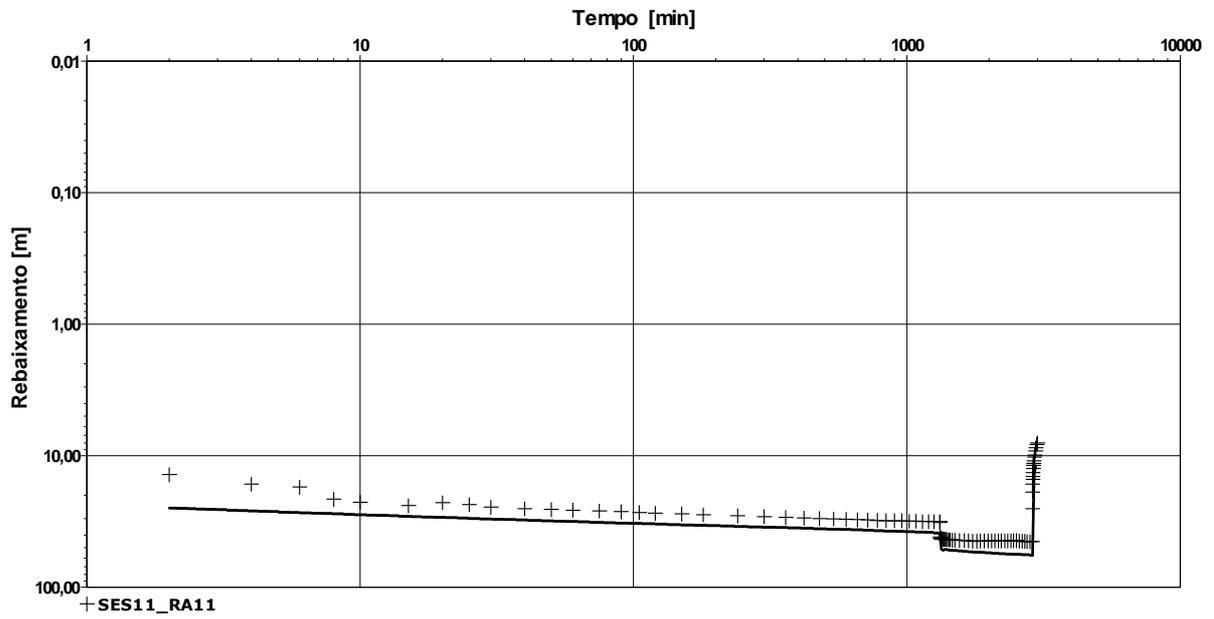


Figura 47: Interpretação do ensaio de caudal da captação Ses11- RA11

Captação RA7 – Ses12

A captação RA7 (*Figura 48*) foi executada em 1999, nas instalações da central de bombagem da Apostiça, com profundidade de 192 m e entubamento a PVC.



Figura 48: Aspecto geral da captação RA7

As formações aquíferas captadas são constituídas por uma componente gresosa de, com intercalações argilosas, desenvolvendo-se dos 94 até aos 168 m de profundidade.

A zona drenante da captação apresenta uma extensão total de 30 m em PVC Preussag com rasgos horizontais de 70x1,5 mm e \varnothing 225 mm, desenvolvendo-se dos 112,5 até aos 174,5 m. A tubagem da câmara de bombagem em PVC Preussag e com \varnothing 330 mm, estende-se desde os -0,5 até aos 92,5 m, encontrando-se o isolamento até aos 90 m de profundidade.

A composição litológica das camadas acima dos 90 m, é característica de um complexo essencialmente areno-argiloso com alternâncias de camadas de areias de espessura variável, finas a grosseiras por vezes com seixo e argila arenosa (36 m) e argilas até a superfície (18 m). Os níveis gresosos perfazem no total a extensão de 14 m.

Dos vários níveis argilosos destaca-se a ausência de aquitardo entre os 56 e 68 m, na passagem das formações arenosas para as gresosas.

Profundidade (m)	Litologia
00.00-01.00	terra vegetal
01.00-18.00	areia fina
18.00-36.50	argila
36.50-46.00	argila
46.00-52.00	areia
52.00-56.00	argila
56.00-60.00	areia
60.00-68.00	grés
68.00-70.00	argila
70.00-78.00	grés
78.00-82.00	argila
82.00-90.00	grés
90.00-94.00	argila
94.00-112.00	grés
112.00-120.00	grés calcário
120.00-126.00	grés margoso
126.00-168.00	grés calcário
168.00-192.00	marga

Ralos		
Profundidade (m)	Diâmetro (mm)	Material
112.50-114.50	225	PVC
116.50-128.50		
146.50-156.50		
164.50-168.50		
172.50-174.50		

Figura 49: Sequência litológica e perfil da zona drenante da captação RA7

O ensaio de caudal decorreu a vários escalões tendo-se os seguintes parâmetros (Figura 50):

Nível hidrostático - NHE = 35,5 m (1999);

Nível hidrodinâmico - $NHD_1 = 69,65$ m para o caudal de 25 l/s, (t_e) = 900 minutos;

Nível hidrodinâmico - $NHD_2 = 69,38$ m para o caudal de 26 l/s, (t_e) = 240 minutos;

Nível hidrodinâmico - $NHD_3 = 74,40$ m para o caudal de 27 l/s, (t_e) = 1740 minutos;

Caudal específico $Q_{s1} = 0,73$ l/s/m;

Caudal específico $Q_{s2} = 0,77$ l/s/m;

Caudal específico $Q_{s3} = 0,69$ l/s/m;

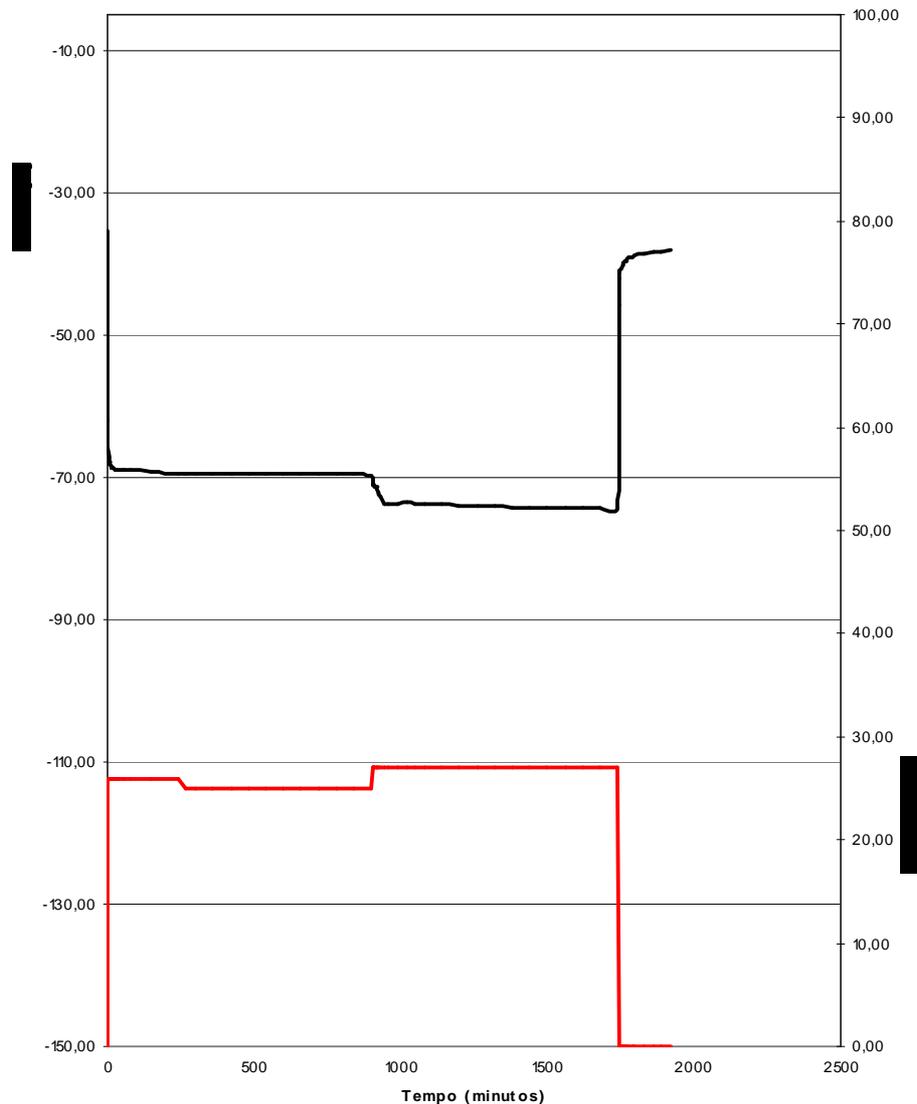


Figura 50: Ensaio de caudal da captação RA7

A interpretação do ensaio de caudal pelo método de Theis devolve uma transmissividade da ordem das dezenas (Figura 51) ($T=68 \text{ m}^2/\text{d}$) e condutividade hidráulica de $2,27 \text{ m/d}$, para um comprimento de ralos de 30 m .

Relativamente ao coeficiente de armazenamento estima-se o valor em $S=8 \times 10^{-5}$, pela aplicação da equação de Lohman (1972). O coeficiente de armazenamento calculado a partir de observações no raio de perfuração, embora sem significado físico é de $S=0,006$.

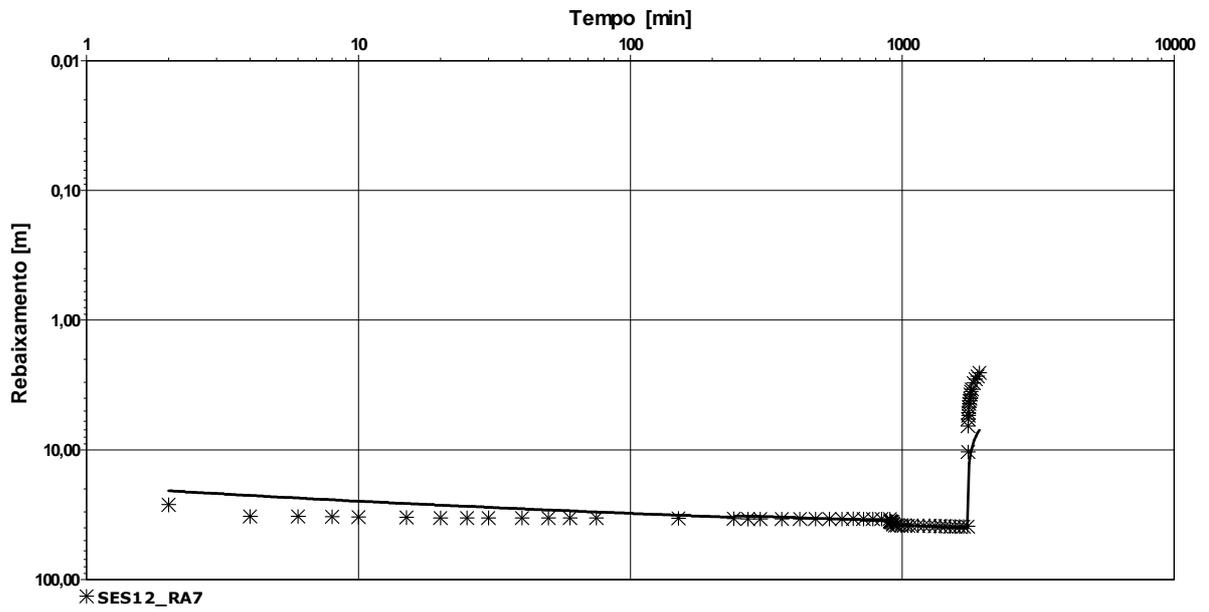


Figura 51: Interpretação do ensaio de caudal da captação Ses12 - RA7

Captação RA5 – Ses13

A captação RA5 (*Figura 52*) foi executada em 1998, com profundidade de 170 m e entubamento a PVC.



Figura 52: Aspecto da captação RA5

As formações aquíferas captadas são constituídas por uma componente greso-calcária com intercalações argilosas, desenvolvendo-se dos 80 até aos 170 m de profundidade.

A zona drenante da captação apresenta uma extensão total de 30 m em PVC Preussag, com rasgos horizontais de 65 x 1,5 mm e Ø 8", desenvolvendo-se dos 96,5 até aos 156,5 m. A tubagem da câmara de bombagem em PVC Preussag, com Ø 330 mm estende-se desde os -0,50 até aos 88,5 m, encontrando-se o isolamento até aos 80 de profundidade.

A composição litológica das camadas acima dos 80 m, é característica de um complexo essencialmente areno-argiloso com alternâncias de camadas de areias de espessura variável, finas a grosseiras por vezes com seixo e argila arenosa (38 m) e argilas até a superfície (24 m). Os níveis gresosos perfazem no total a extensão de 8 m.

Dos vários níveis argilosos destaca –se a existência de um aquitardo entre os 68 e 72 m (4 m), na passagem das formações arenosas para as gresosas.

Profundidade (m)	Litologia
00.00-02.00	terra vegetal
02.00-04.00	argila
04.00-22.00	areia fina
22.00-32.00	argila
32.00-42.27	areia fina
42.27-46.00	areia
46.00-54.00	argila
54.00-68.00	areia
68.00-72.00	argila
72.00-110.00	grés
110.00-112.00	argila
112.00-114.00	grés
114.00-116.00	argila
116.00-128.00	grés
128.00-136.00	grés calcário
136.00-142.00	grés margoso
142.00-160.00	grés calcário
160.00-166.00	calcário
166.00-170.00	grés

Ralos		
Profundidade (m)	Diâmetro (mm)	Material
96.50-98.50	225	PVC
100.50-104.50		
116.50-128.50		
132.50-140.50		
152.50-156.50		

Figura 53: Sequência litológica e perfil da zona drenante da captação RA5

O ensaio de caudal decorreu a caudal constante tendo-se os seguintes parâmetros (Figura 54):

Nível hidrostático – NHE = 42,27 m (1998);

Nível hidrodinâmico – NHD = 64,25 m para o caudal de 26 l/s, (t_e) = 1620 minutos;

Caudal específico $Q_{s1} = 1,18$ l/s/m;

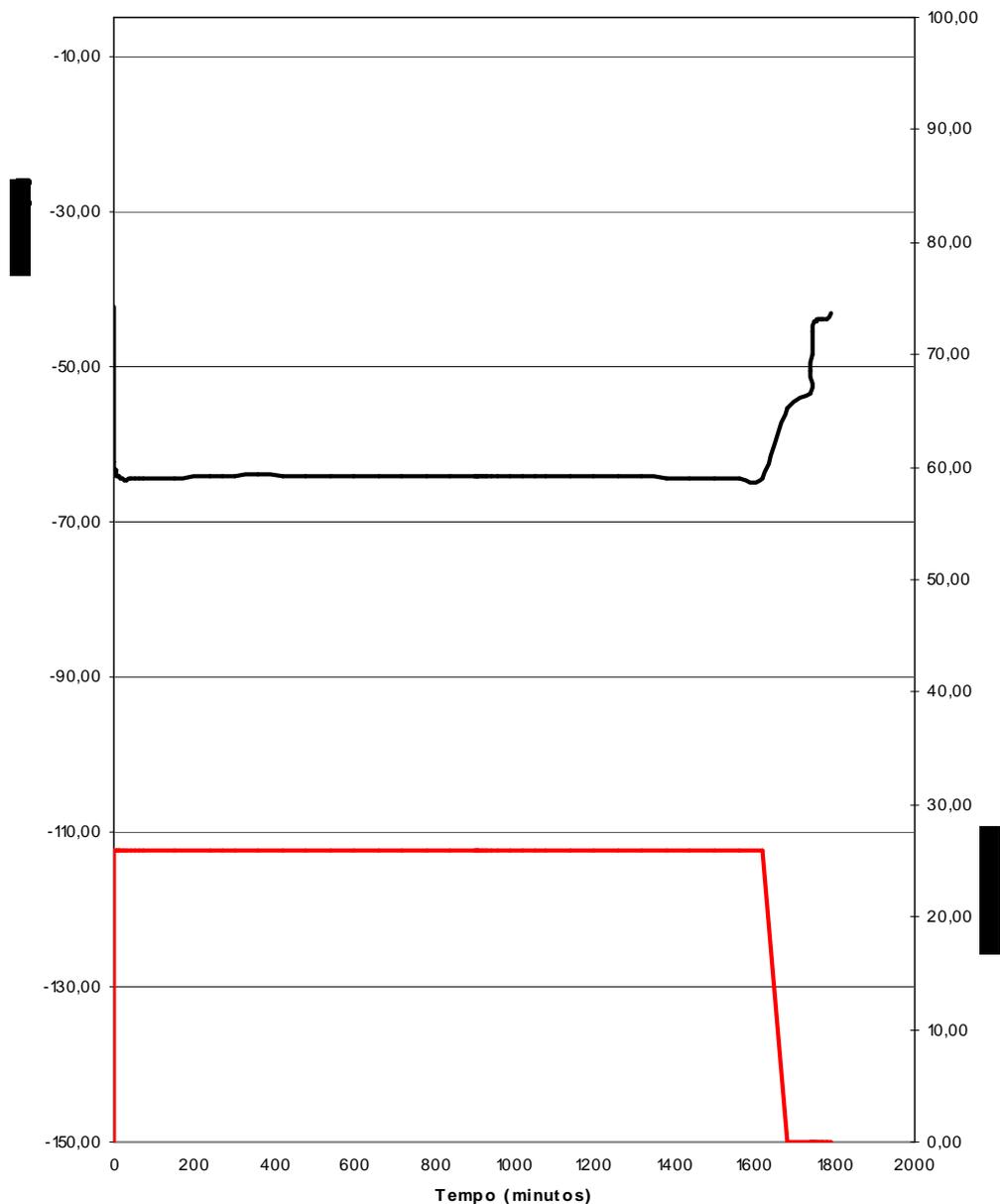


Figura 54: Ensaio de caudal da captação RA5

A interpretação do ensaio de caudal pelo método de Theis devolve uma transmissividade da ordem das centenas (Figura 53) ($T=114 \text{ m}^2/\text{d}$) e condutividade hidráulica de $3,8 \text{ m/d}$, para um comprimento de ralos de 30 m

Relativamente ao coeficiente de armazenamento como não se dispõe de elementos sobre rebaixamentos medidos em piezómetros, estima-se o valor em $S=5 \times 10^{-5}$, pela aplicação da equação de Lohman (1972). O coeficiente de armazenamento calculado a

partir de observações no raio de perfuração, embora sem significado físico é de $S=0,005$.

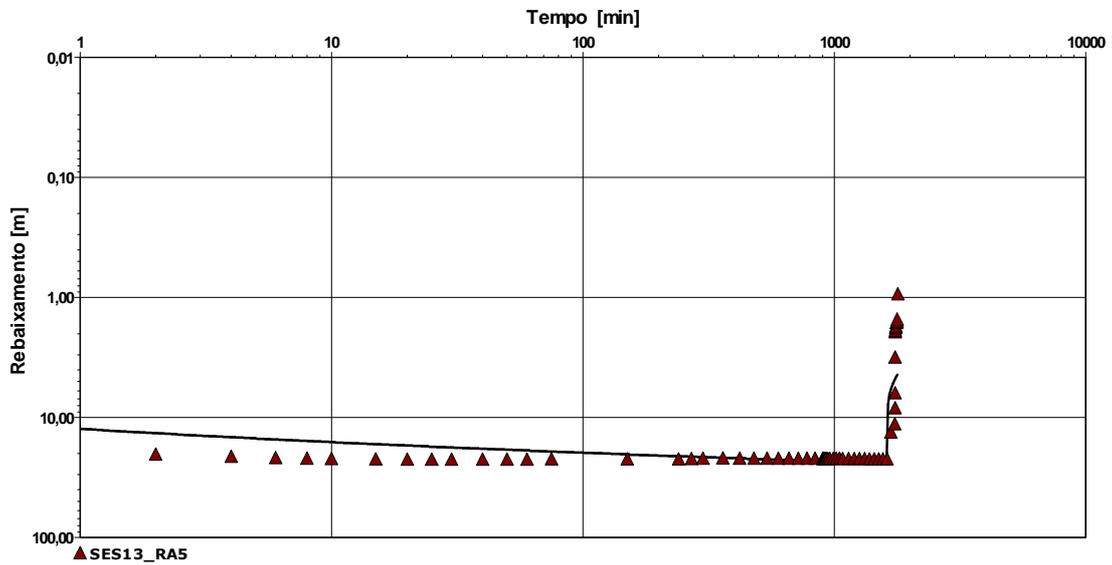


Figura 55: Interpretação do ensaio de caudal da captação Ses13 – RA5

6.5 Interpretação Litológica dos Cortes de Captação

A exploração do sistema aquífero para outros fins que não o abastecimento público, na área de estudo, tem incidido no licenciamento de captações até 50 m de profundidade com o pressuposto que existe um aquífero a separar as areias do grés calcário. Considera-se por isso importante identificar a espessura e localização do aquífero.

Com base na análise das sequências litológicas das treze captações em estudo e tendo como principal objectivo identificar a espessura e localização do aquífero, elaborou-se um corte transversal do sistema aquífero, ao longo de 5 km entre a Captação Ses5 e Ses13, no local do pólo de captação da Apostiça (Figura 56).

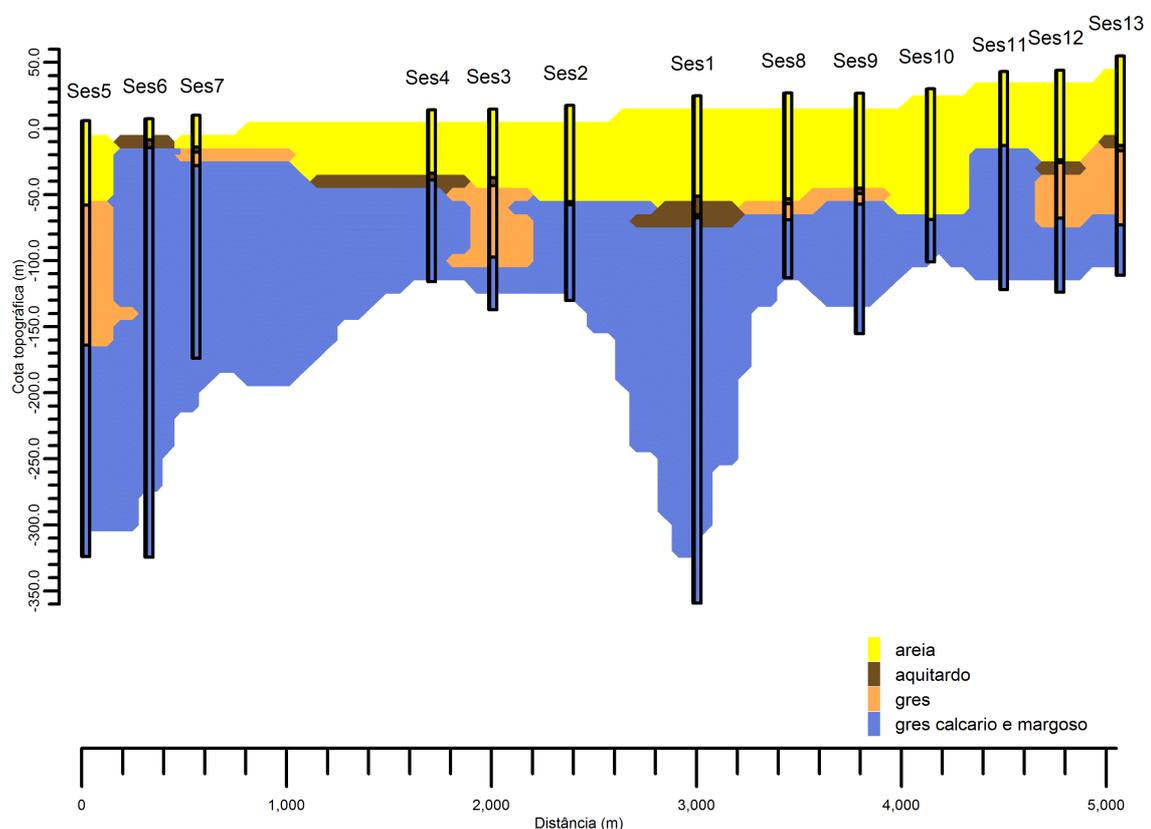


Figura 56: Corte hidrogeológico no local do pólo de captação da Apostiça

Este corte foi efectuado até aos 384 m de profundidade máxima e considerou-se que as formações com interesse hidrogeológico são:

- A alternância de areias e argilas, com espessuras entre 50 e 99 m;

- A alternância de grés, grés calcário e grés margoso, com 291 m de espessura máxima.

As constantes intercalações entre os níveis arenosos/greso-calcários com níveis argilosos /margosos foram desprezadas com excepção do contacto entre as areias e o grés calcário, uma vez que alguns autores identificam a existência de um aquitardo a separar as duas formações.

Assim, neste estudo considera-se importante destacar que as areias atingem maiores espessuras à medida que se caminha para Este, com um máximo na captação Ses10, sendo a passagem das formações arenosas para as calcárias directa ou mediante aquitardo de pequena espessura, com o máximo de 14 m.

6.6 Síntese das Características Hidrodinâmicas das Captações do Pólo da Apostiça

Com base nos resultados dos ensaios de caudal interpretados no *item* 6.2 obtiveram-se valores de transmissividades que variam entre 45 e 208 m²/dia, e caudais específicos máximos de 0,8 l/s/m. Na Figura 57 apresentam-se os resultados obtidos para a transmissividade por interpretação dos ensaios de caudal. No eixo das ordenadas representam-se os valores da transmissividade em m²/dia.

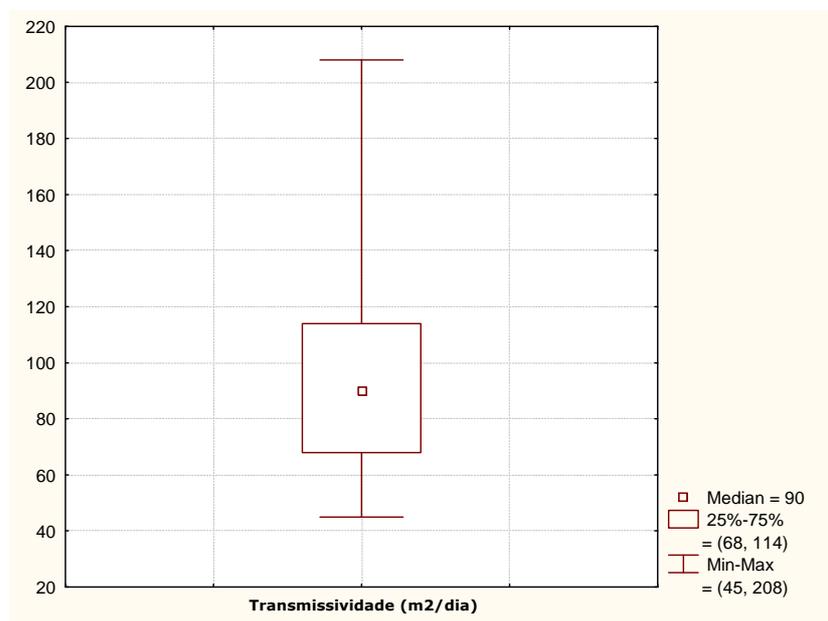


Figura 57: Diagrama de caixas dos valores obtidos para transmissividade

Relativamente ao caudal específico este pode ser influenciado pelas características do aquífero e por aspectos ligados à construção de uma captação nomeadamente, método de construção, raio de entubamento, ralos e outros.

Admitindo que individualmente estas influências são pouco significativas é possível encontrar uma relação entre o caudal específico e a transmissividade.

Desta forma desenvolveu-se a equação que permite estimar a transmissividade a partir de valores de caudal específico em que o coeficiente de correlação é de 91% (Figura 58).

Da análise do gráfico verifica-se uma dispersão de pontos aleatória, existem pontos abaixo, acima e sobre a recta. Este facto pode querer indicar erros de leitura durante os ensaios de caudal relativamente pequenos.

Dois dos pontos, acima e abaixo da recta, indicam valores de transmissividades calculadas pelo ensaio de caudal respectivamente, superiores e inferiores aos previstos.

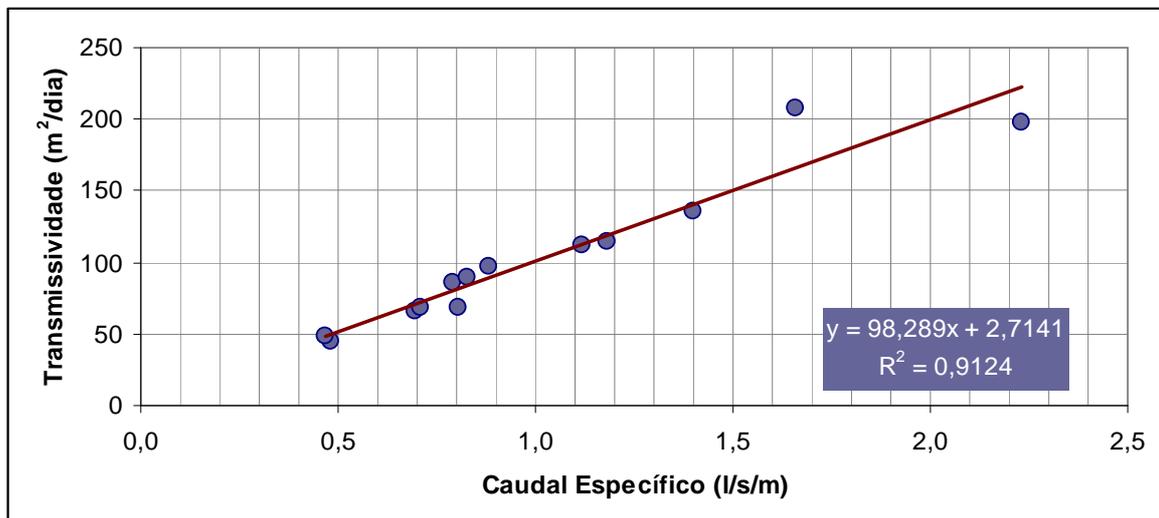


Figura 58: Transmissividade vs Caudal Específico

A equação obtida é idêntica à equação de Galofré, evidenciando, provavelmente, a semelhança de meio hidrogeológico. Salienta-se que a aplicação da equação apresentada para a área de estudo, poderá ser uma mais valia em zonas do sistema aquífero para as quais não seja possível obter pares de dados de tempo/rebaixamento, no entanto deve ser verificada a semelhança de condições hidrogeológicas.

Esta equação permite ainda identificar erros de leitura durante ensaios de caudal futuros.

7 ANÁLISE DOS REBAIXAMENTOS NO PÓLO DE CAPTAÇÃO DA APOSTIÇA

O pólo de captação da Apostiça tem uma importância acrescida no abastecimento de água do Concelho, dada a sua inserção na proximidade de uma zona de expansão urbanística e conseqüente aumento de consumo de água.

Assim, a curto prazo prevê-se o redimensionamento deste pólo de captação a Este, com instalação de novas captações, o que se traduz previsivelmente no aumento da pressão por captação ao nível do estado quantitativo da massa de água.

Considerando esta utilização da massa de água na zona do pólo de captação efectuou-se uma análise da piezometria local para vários cenários: sem extracção, extracção actual e extracção de expansão. A simulação do cenário de extracção de expansão foi obtida por aplicação do modelo de Theis disponível no programa aquifer test V.4.0.

7.1 Análise Espacial da Piezometria sem Extracção

O conjunto de dados cuja análise é efectuada neste estudo corresponde às medições do nível da água subterrânea observadas em treze captações do sistema de abastecimento público de água da Apostiça, em 28 de Janeiro de 2010.

Para a aquisição destes dados as captações estiveram simultaneamente, sem extracção durante 6 horas consecutivas.

Como se verifica pela *Figura 59*, representativa das isopiezas para a área e data em estudo, em algumas das captações não foi possível a recuperação integral dos níveis antes da medição.

No entanto é evidente o sentido de fluxo Este-Oeste como se constata pelas diferenças de potencial entre as captações Ses13 (Este) e Ses5 (Oeste), respectivamente de 13,8 e -14,8 m.

Este sentido é coincidente com os referidos pela bibliografia, referente a este sistema aquífero, ou seja em direcção ao rio Tejo e ao Oceano Atlântico.

Da análise do gradiente, *Figura 60*, observam-se valores inferiores a 1%. Os maiores gradientes, tal como esperado, estão associados aos cones de rebaixamento das captações em que não foi possível recuperar os níveis, nomeadamente Ses 3, 8, 9, 10 e 13, tendo todas estas captações uma reduzida espessura de grés calcário relativamente às restantes captações.

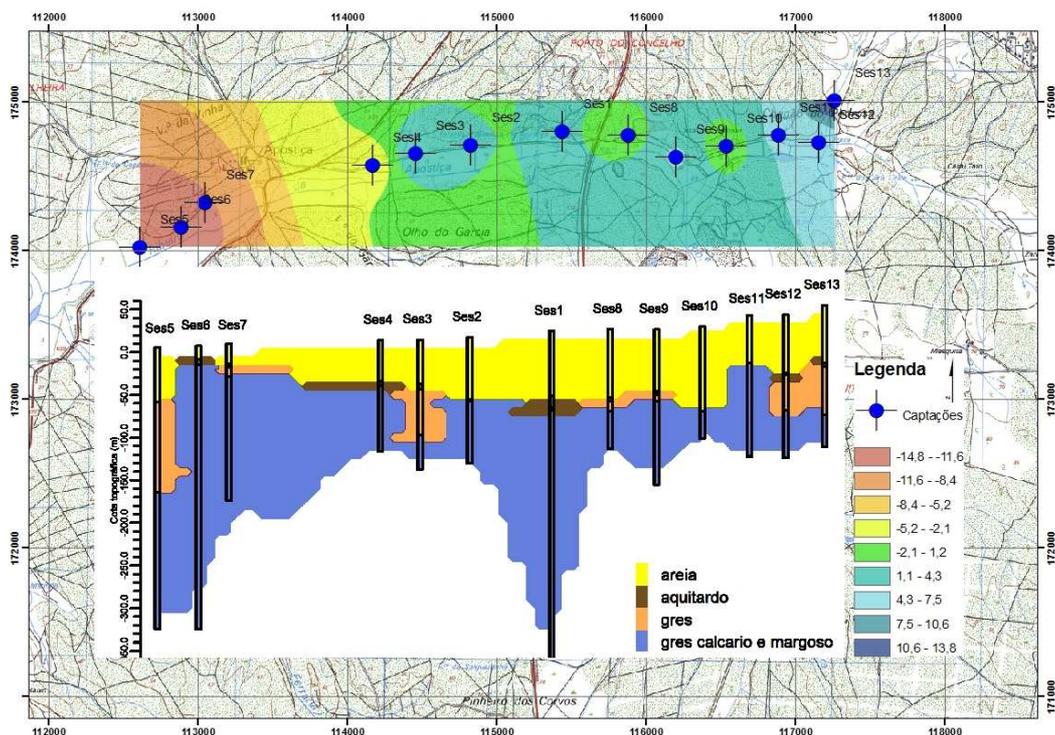


Figura 59: Carta de Isolinhas da Piezometria do Sistema Aquífero da Bacia do Tejo-Sado/Margem Esquerda na zona do pólo de captação da Apostiça

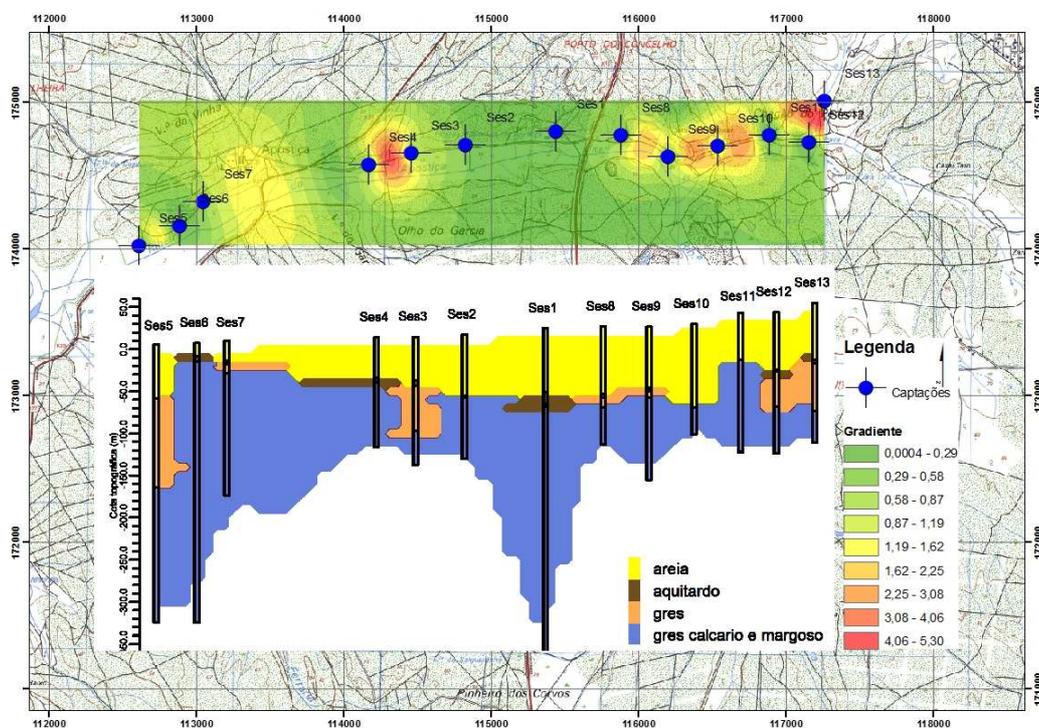


Figura 60: Carta de Gradiente do Sistema Aquífero da Bacia do Tejo-Sado/Margem Esquerda na zona do pólo de captação da Apostiça

7.2 Estimação da Superfície Piezométrica para o Caudal de Exploração

Para esta análise admitiu-se que se trata de um aquífero multi-camada, com alternâncias de areias, grés, grés calcário, grés margoso, argilas e margas, conferindo-lhe estas últimas um certo grau de confinamento.

Relativamente à continuidade das formações argilosas e margosas que representam os aquitardos identificados neste sistema aquífero, esta não é representativa nesta zona, devido à pequena espessura que estas formações apresentam nos cortes de captação estudados.

Relativamente às condições impostas considerou-se as características do sistema aquífero na zona em estudo, descritas anteriormente, caudal de exploração instalado, bombagem de um dia para todas as captações. Os rebaixamentos estimados foram obtidos a partir do modelo de Theis.

Da análise dos rebaixamentos, *Figura 61*, observam-se na generalidade, valores inferiores a 35,6 m.

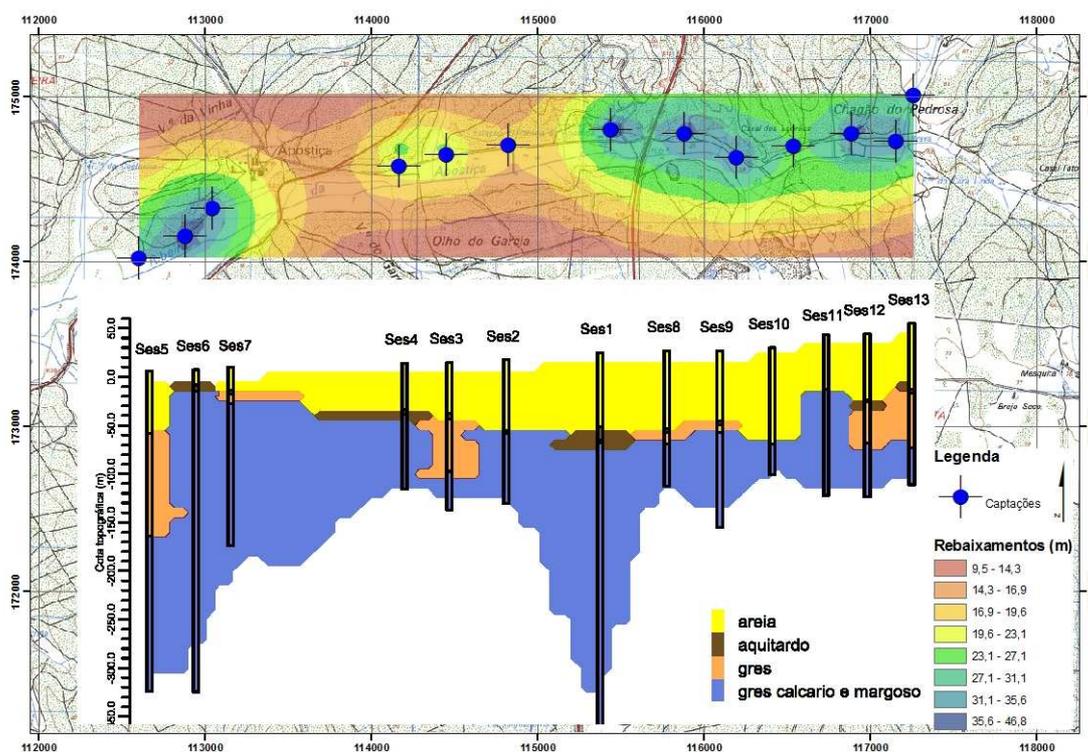


Figura 61: Carta de Rebaixamentos no Sistema Aquífero da Bacia do Tejo-Sado/Margem Esquerda na zona do pólo de captação da Apostiça

Os maiores rebaixamentos (entre 35,6 e 46,8 m) tal como esperado, registam-se na zona próxima da captação a uma distância de cerca de 50 m, na direcção Este.



As captações localizadas na zona central do pólo de captação Ses 2, 3, 4 são aquelas que registam os menores rebaixamentos. Por outro lado, os maiores rebaixamentos registam-se nos dois extremos do pólo de captação, dado no extremo Este localizar-se o maior número de captações, e no extremo Oeste as três captações existentes intersectarem a menor espessura de areias.

7.3 Estimação da Superfície Piezométrica para o Cenário de Novas Captações

Considerando que a Câmara Municipal de Sesimbra pretende alargar o pólo de captação da Apostiça no seu extremo Este, com vista ao reforço do sistema de abastecimento com quatro novas captações idênticas à captação Ses 13 (profundidade aproximada de 170 m e caudal de exploração de 26 l/s), analisou-se a influência destas novas captações e do respectivo caudal de exploração nas captações já instaladas.

Da análise dos rebaixamentos correspondentes ao cenário de expansão descrito anteriormente, observa-se como esperado um acréscimo dos rebaixamentos actuais nas captações localizadas no extremo Este do pólo de captação, *Figura 62*, sendo estes mais acentuados nas captações Ses 11, 12, 13, que distam cerca de 800 m do local de implantação das futuras captações de reforço. Relativamente às captações mais a Oeste não se verificam alterações significativas nos rebaixamentos actuais.

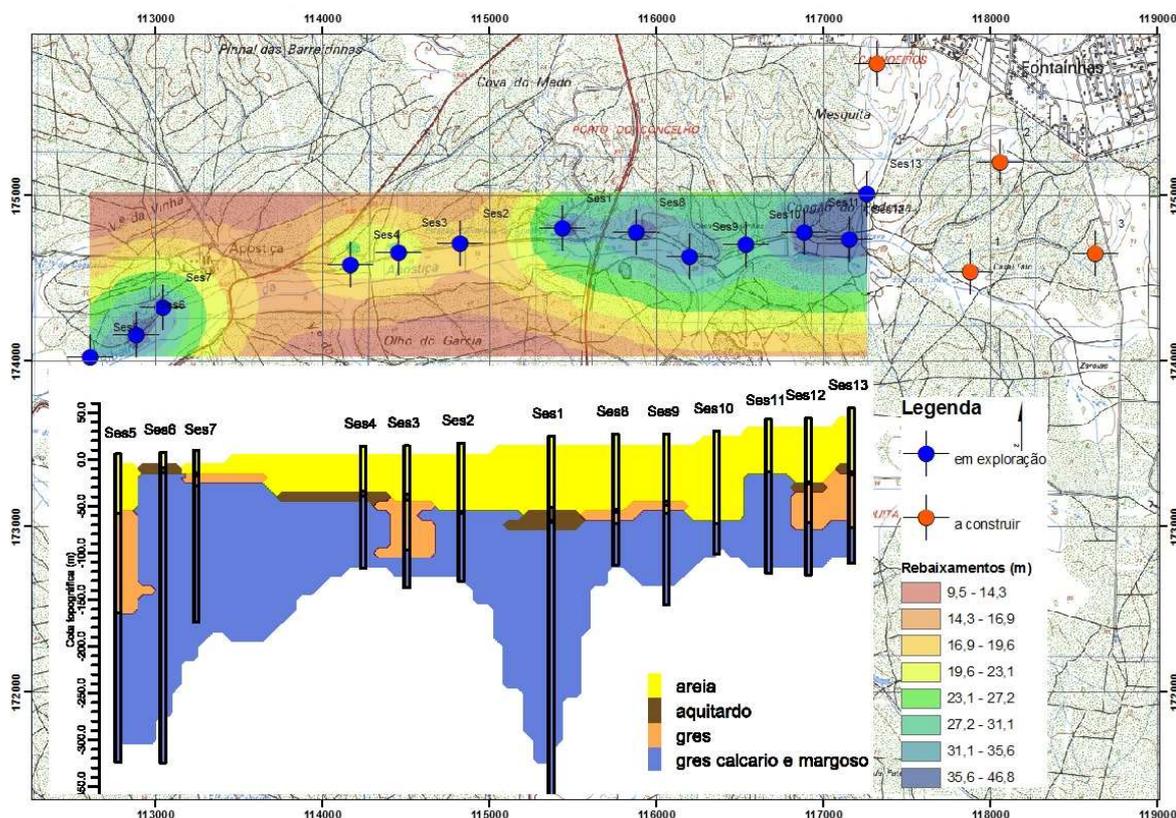


Figura 62: Carta de Rebaixamentos no Sistema Aquífero da Bacia do Tejo-Sado/Margem Esquerda na zona do pólo de captação da Apostiça num cenário de expansão

Na *Figura 63* apresenta-se os rebaixamentos adicionais provocados pela expansão do pólo de captação, verificando-se um acréscimo da ordem dos 10 m nas captações Ses 13 e 12, de cerca de 5 m na captação Ses 11, de 3 m na captação Ses 10, de 2 m na captação Ses 8 e 9 e inferior a 1 m nas restantes captações.

Considerando as implicações que a exploração de água subterrânea com rebaixamentos que implicam ralos a descoberto tem na gestão das captações de águas subterrâneas, (envelhecimento prematuro) verifica-se que estes rebaixamentos adicionais não afectam nenhuma das captações do pólo da Apostiça, com excepção da Ses 13 que no pior cenário, correspondente ao nível da água a 46,8 m deixa o primeiro ralo (a 42 m) sem água.

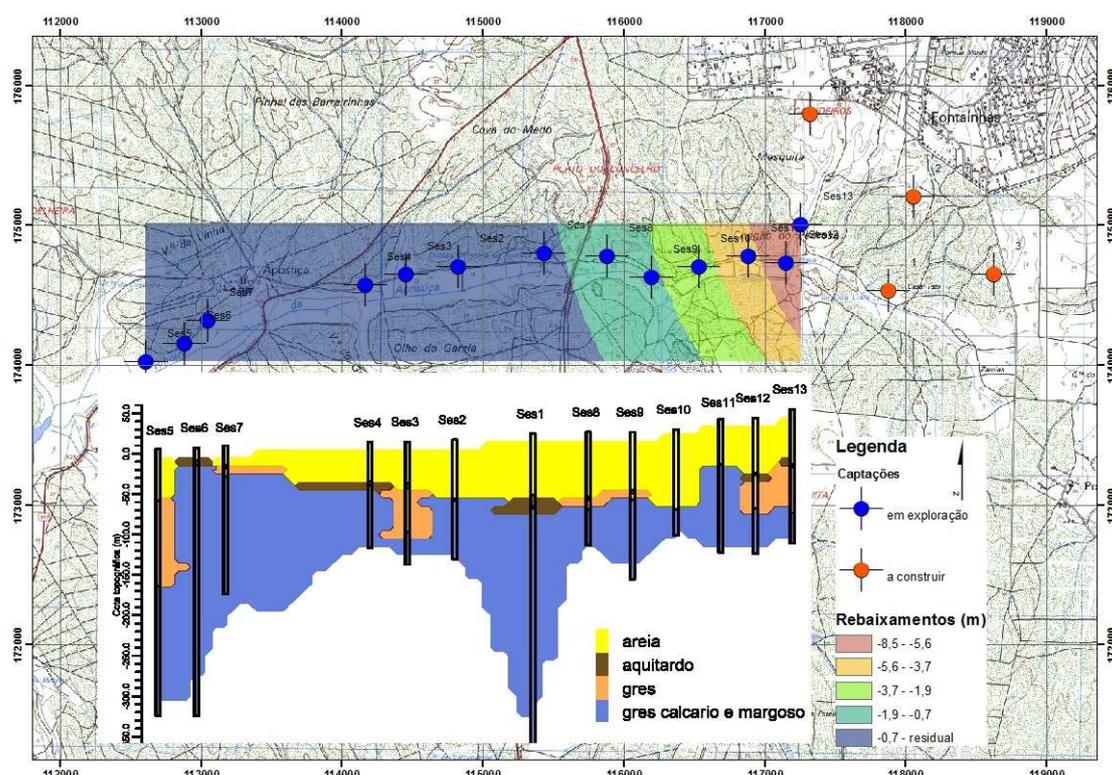


Figura 63: Carta de Rebaixamentos Adicionais no Sistema Aquífero da Bacia do Tejo-Sado/Margem Esquerda na zona do pólo de captação da Apostiça num cenário de expansão

Assim, com base nos resultados para este cenário de exploração da massa de água subterrânea na zona em estudo, e o disposto no Decreto-Lei nº 77/2006, de 30 de Março, que relativamente à definição do estado quantitativo considera que o elemento a analisar para classificação do estado da massa de água deve ser o nível freático, e que este deverá ser tal que os recursos hídricos subterrâneos disponíveis não são ultrapassados pela taxa média anual de captação a longo prazo, verifica-se que o redimensionamento do pólo de captação não impede que sejam alcançados

os objectivos ambientais especificados nos termos dos artigos 44º e 46º da Lei nº 58/2005, de 29 de Dezembro, dado que não são provocadas alterações na direcção do escoamento subterrâneo em consequência da variação de nível, nem intrusões de água salgada dada a proximidade do pólo de captação com a linha de Costa.

De forma a acompanhar/monitorizar a evolução da superfície piezométrica correspondente à exploração do pólo de captação, importa definir um programa de monitorização que contemple o registo diário dos níveis da água associados a cada ciclo de exploração em todas as captações que no caso em questão corresponde a um dia, nomeadamente doze horas de bombagem e doze de repouso, bem como o registo dos caudais de exploração diários.

O acompanhamento/análise destas superfícies piezométricas como monitorização, deverá permitir ajustar os caudais de exploração, de modo a evitar tanto quanto possível a existência de ralos a descoberto, precavendo assim o envelhecimento prematuro das captações. Por outro lado permitirá também avaliar eventuais inversões de fluxo decorrentes de situações de sobreexploração provocadas por outros pólos de captação, eventualmente existentes na proximidade do pólo da Apostiça.

8 CONCLUSÕES

Entre as massas de água subterrâneas delimitadas nos últimos anos, a Bacia do Tejo-Sado/Margem Esquerda (T3) é uma das mais importantes de Portugal Continental, sendo a Câmara Municipal de Sesimbra uma das entidades gestoras de abastecimento público cujos pólos de captação de água subterrânea se localizam nesta massa de água, nomeadamente o pólo da Apostiça.

Com base nos relatórios de captação de água dos treze furos verticais que constituem o pólo de captação da Apostiça efectuou-se a caracterização hidrogeológica da massa de água, na zona em estudo.

Do total das captações, nove têm profundidades inferiores a 200 m e quatro têm profundidades entre 300 e 400 m. Os ralos distribuem-se entre os 78,5 m e 382 m e captam essencialmente no grés calcário. Os valores de transmissividades variam entre 45 e 208 m²/dia e os caudais específicos máximos são de 0,8 l/s/m;

A equação que permite estimar a transmissividade a partir de valores de caudal específico é, $\text{Transmissividade} = 98,289 (\text{caudal específico}) + 2,7141$ com $R^2 = 0,9124$ e é idêntica à equação de Galofré, evidenciando, provavelmente, a semelhança de meio hidrogeológico.

As formações com interesse hidrogeológico são a alternância de areias e argilas, com espessuras entre 50 e 99 m e a alternância de grés, grés calcário e grés margoso, com 291 m de espessura máxima. Considera-se que as areias atingem maiores espessuras à medida que se caminha para Este, com um máximo na captação Ses10, sendo a passagem das formações arenosas para as calcárias directa ou mediante aquitardo de pequena espessura, com o máximo de 14 m.

O sentido de fluxo é Este-Oeste como se constata pelas diferenças de potencial entre as captações Ses13 (Este) e Ses5 (Oeste), respectivamente de 13,8 e -14,8 m. Este sentido é coincidente com o identificado por Almeida et al, ou seja em direcção ao rio Tejo e ao Oceano Atlântico.

O gradiente é inferior a 1%, com os maiores gradientes, tal como esperado, associados aos cones de rebaixamento das captações em que não foi possível recuperar os níveis, nomeadamente Ses 3, 8, 9, 10 e 13 tendo todas estas captações, uma reduzida espessura de grés calcário relativamente às restantes captações.

Os rebaixamentos produzidos pelo caudal de exploração actual, na generalidade, são inferiores a 35,6 m. Os maiores rebaixamentos tal como esperado, registam-se na zona próxima da captação a uma distância de cerca de 50 m, na direcção Este. As captações localizadas na zona central do pólo de captação Ses 2, 3, 4 são aquelas que registam os menores rebaixamentos. Por outro lado, os maiores rebaixamentos registam-se nos dois extremos do pólo de captação, dado no extremo Este localizar-se o maior número de captações, e no extremo Oeste as três captações existentes intersectarem a menor espessura de areias.

Relativamente à expansão do pólo, os rebaixamentos adicionais são da ordem dos 10 m nas captações Ses 13 e 12, de cerca de 5 m na captação Ses 11, de 3 m na captação Ses 10, de 2 m na captação Ses 8 e 9 e inferior a 1 m nas restantes captações. Considerando as implicações que a exploração de água subterrânea com rebaixamentos que implicam ralos a descoberto tem na gestão das captações de águas subterrâneas, verifica-se que estes rebaixamentos adicionais não afectam nenhuma das captações do pólo da Apostiça, com excepção da Ses 13 que, no pior cenário, correspondente ao nível da água a 46,8 m deixa o primeiro ralo (a 42 m) sem água.

O redimensionamento do pólo de captação não impede que sejam alcançados os objectivos ambientais especificados nos termos dos artigos 44º e 46º da Lei nº 58/2005, de 29 de Dezembro, dado que não são provocadas alterações na direcção do escoamento subterrâneo em consequência da variação de nível, nem intrusões de água salgada dada a proximidade do pólo de captação com a linha de Costa.

De forma a acompanhar/monitorizar a evolução da superfície piezométrica correspondente à exploração do pólo de captação, propõe-se um programa de monitorização com registo diário dos níveis da água e dos caudais de exploração.

O acompanhamento/análise destas superfícies piezométricas, pela monitorização deve permitir ajustar os caudais de exploração, de modo a evitar tanto quanto possível a existência de ralos a descoberto, precavendo assim o envelhecimento prematuro das captações. Por outro lado permitirá também avaliar eventuais inversões de fluxo decorrentes de situações de sobreexploração provocadas por outros pólos de captação, eventualmente existentes na proximidade do pólo da Apostiça.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida C., Mendonça J.L., Jesus M.R. & Gomes A.J. (2000). - Sistemas aquíferos de Portugal Continental. Centro de Geologia e Instituto da Água. Universidade de Lisboa. Lisboa, 3 Vol.

Astier J.L. (1978). - Géophysique – Utilisation des données existantes – Programme por la prospection eléctrica.

Astier J.L. (1979). - Géophysique: Résultats et programme de la prospection eléctrica.

Custódio E. & Llamas M.R. (1983). - Hidrología subterrânea, Editorial Omega, Barcelona., Vol. 1 e pp. 2-2359.

D'Orval (1973). - Étude Preliminaire a L'évaluation des Ressources en Eau Souterraine de la Peninsule de Setubal. Ministério das Obras Públicas. Direcção Geral dos Serviços Hidráulicos, pp 39.

Fetter C.W. (1994). - Applied hydrogeology, Prentice Hall, New Jersey, pp. 691.

Fialho, R.G (2009) - Caracterização dos Parâmetros Hidráulicos do Sistema Aquífero da Bacia do Tejo-Sado/Margem Esquerda na Área do Concelho do Seixal, Tese de Dissertação para Obtenção do Grau de Mestre, IST. Lisboa 2009, pp. 113.

Gestágua (1996). - Plano director de desenvolvimento do sistema de abastecimento da EPAL - Avaliação das disponibilidades - Origens subterrâneas. Consórcio PROCESL, Compagnie Generale de Eaux Portugal, Profabril, Lisboa.

Guillen J.C. (1978). - Estudio de los Recursos en Aguas Subterráneas de la Peninsula de Setúbal, Portugal.

HP (1994). - Estudo de caracterização dos aquíferos e dos consumos de água na península de Setúbal. Hidrotécnica Portuguesa, estudo realizado para Empresa Portuguesa de Águas Livres, S.A. (EPAL). Lisboa 1994.

INAG (2001). - *Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Tejo*. Instituto da Água, Lisboa 2001.

Lohman S.W. (1972). - Groundwater hydraulics. US Geol Survey. Washington, pp. 708.

Papadopoulos S.S. (1979) - Preliminary assessment of the effects of present and proposed future groundwater development in Setúbal Peninsula. Portugal, pp. 24.

Paradela P.L, Zbszewski E.G. (1971). - Hidrogeologia Geral do Centro e Sul de Portugal. Lisboa, pp.123.

PNUD (1980). - Étude des eaux souterraines de la péninsule de Setúbal (système aquifère Mio-Pliocène du Tejo et du Sado). Rapport final sur les résultats du project, conclusions et recommandations. Programme des Nations Unies pour le Developpement, Direcção Geral dos Recursos e Aproveitamentos Hidráulicos, Lisboa, pp. 89.

Ribeiro L. (1981) - Estudo Geostatístico de Grandezas Hidrogeológicas' - relatório interno. CVRM/IST. Lisboa, pp. 102.

Simões, M. M. M. (1998). - Contribuição para o conhecimento hidrogeológico do Cenozóico na Bacia do Baixo Tejo. Dissertação para obtenção do grau de doutor em Geologia, na especialidade de Hidrogeologia. Univ. Nova de Lisboa. Lisboa, pp. 270.

Theis, C.V., (1935). - The Lowering of piezometer surface and the rate and discharge of a well using ground-water storage. Transactions, American Geophysical Union. Vol. 16, pp. 519.

OUTRA BIBLIOGRAFIA

Azevedo M. T. G. F. M. (1982). - O Sinclinal de Albufeira - evolução pós-miocénica e reconstituição paleogeográfica. Dissertação de doutoramento. Universidade de Lisboa. Lisboa, pp. 302.

Cabral J. (1995). - Neotectónica em Portugal Continental. Memórias do Inst. Geol. e Min. Lisboa, pp 31-265.

Carvalho J.M. (2006). - Prospecção e pesquisa de recursos hídricos subterrâneos no Maciço Antigo Português: linhas metodológicas Dissertação de doutoramento. Universidade de Aveiro. Aveiro, pp. 292.

Cooper H.H.J.R. & Jacob C.E. (1946). - A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well-field history. Transactions, American Geophysical Union. Pp 526.

Ferris J.G., ET AL. (1962). - Theory of aquifer test. U.S. Geological Survey Water-Supply Paper.

Galopim de Carvalho, A. M. (1968). - Contribuição para o Conhecimento Geológico da Bacia Terciária do Tejo. Mem. Serv. Geol. Portugal, n. s., N.º 15, pp. 210.

Galopim de Carvalho, A. M.; Ribeiro, A.; Cabral, J. (1983). - Evolução Paleogeográfica da Bacia Cenozóica do Tejo-Sado. Boletim da Sociedade Geológica de Portugal. Volume XXIV. Lisboa 1983-85, pp. 209-212.

Hantush M.S. (1956). - Analysis of data from pumping tests in leaky aquifers. Transactions, American Geophysical Union, pp. 14-702.

Hantush, M.S, (1961). - Aquifer test on partially penetrating wells. Proceedings of the American Society of Civil Engineers, pp 95-171.

Legoinha, P.(2001). - Biostratigrafia de Foraminíferos do Miocénico de Portugal (Baixo Tejo e Algarve). Dissertação de Doutoramento, Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, pp. 239.

Manuppella, G., Antunes, M. T., Ramalho, M. M., Rey, J. (1999) - Carta Geológica de Portugal na Escala 1/ 50 000 e Notícia Explicativa da Folha 38-B Setúbal. Instituto Geológico e Mineiro. Lisboa, pp. 143.

Martinez, M.V.,Lopez, A.I – Pozos y acuíferos técnicas de evaluación mediante ensayos de bombeo. Instituto Geológico y Minero de España, pp.426.

Mendonça, J. J. L (1992) - Definição de uma contaminação salina no sistema aquífero Miocénico do Baixo Sado através de diagrfias diferidas. Memórias e Notícias, Publ. Mus. Lab. Mineral. Geol., Univ. Coimbra nº 114, pp. 37-50.

Mendonça J. J. L. (1993). - Identificação e estudo da propagação de contaminações salinas no sistema aquífero terciário do Tejo e do Sado. Recursos Hídricos, Vol. 14, nº 2 e 3, pp. 61-66.

Mendonça J. J. L. (1996). - Características hidráulicas do aquífero terciário do Tejo e do Sado na região da Lezíria de Vila Franca de Xira. Recursos Hídricos, Vol. 17, nº 2 e 3, pp. 53-66.

Oliveira, J. T. (1984). - Carta Geológica de Portugal na escala 1/200 000 e Notícia Explicativa da Folha 7. Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa, pp. 77.

Pais, J.; Lopes, C.; Legoinha, P.; Ramalho, E.; Ferreira, J.; Ribeiro, I.; Amado, A.; Sousa,L.; Torres,L.; Baptista, R.& Reis, R. (2003) – Sondagem de Belverde (Bacia do Baixo Tejo, península de Setúbal, Portugal). Ciências da Terra, Vol. Especial V, CD-Rom, pp. A99-A102.

Pais J., Moniz C., Cabral J., Cardoso J.L., Legoinha P., Machado S., Morais M.A., Lourenço C., Ribeiro M.L., Henriques P., Falé P. (2006). - Carta Geológica de



Portugal na Escala 1/50 000 e Notícia Explicativa da Folha 34-D Lisboa. Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação. Lisboa, pp.74.

Ribeiro, A.; Antunes, M. T.; Ferreira, M. P.; Rocha, R. B.; Soares, A. F.; Zbyszewski, G.; Moitinho de Almeida, F.; Carvalho, D.; Monteiro, D. (1979). - Introduction à la Géologie Générale du Portugal. Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa.

Ribeiro, L. F. T.(1991). - Caracterização Geoestatística de Sistemas Hidrogeológicos. Dissertação para obtenção do grau de doutor em Engenharia de Minas. Inst. Superior Técnico. Lisboa, pp. 415.

Seixas, J., (2007).- Métodos de Interpolação, Polígonos de Thiessen, Splines, Análise de Tendências, Médias Móveis. [versão electrónica]. FCT-UNL.

Zbyszewski, G. (1966). - Contribution à l'étude du Miocène de la Serra da Arrábida. Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa, Tomo LI. pp. 37-148.

LEGISLAÇÃO CONSULTADA

Decreto-Lei nº 77/2006 de 30 de Março. Diário da República nº 64 - *I Série A*. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Lisboa.

Decreto-Lei nº 226-A/2007 de 31 de Maio. Diário da República nº 105 - *I Série A*. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Lisboa.

Lei nº 58/2005, de 29 de Dezembro. Diário da República nº 249 - *I Série A*. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Lisboa.

Portaria nº 1450/2007 de 12 de Novembro. Diário da República nº 217 - *I Série A*. Ministério do Ambiente. Lisboa.