



# DELIMITAÇÃO DOS PERÍMETROS DE PROTECÇÃO DAS CAPTAÇÕES DE ABASTECIMENTO PÚBLICO DO CONCELHO DE MONTIJO



Patrícia Cláudia dos Santos Aires  
(Licenciada)

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia dos Recursos  
Hídricos



**Orientador:** Professor Doutor António Alberto Chambel Gonçalves Pedro  
**Co-Orientador:** Professor Doutor Luís Filipe Tavares Ribeiro

186051

Évora, 2010

*Ao meu pai...*

## **Agradecimentos**

A realização deste trabalho não teria sido possível sem o apoio de algumas pessoas e entidades a quem expresso o meu agradecimento:

Ao Prof. António Chambel, meu orientador, pelas sugestões, apoio, pronta disponibilidade e amizade.

Ao Prof. Luís Ribeiro, co-orientador deste trabalho pelas sugestões, apoio e amizade.

Ao João, pela ajuda técnica, realização de algumas imagens, revisão de texto, sugestões, apoio em todos os momentos e pelo optimismo e força que me transmite.

Aos SMAS-Montijo pela disponibilização da informação necessária à realização deste estudo.

Ao Eng.º Victor Rodrigues, meu chefe, pela forma como me apoiou e facilitou a realização deste estudo.

Ao Prof. Costa Almeida pela disponibilidade no esclarecimento de algumas dúvidas.

À minha amiga Alice Fialho pelas boas sugestões e esclarecimento de algumas questões.

Ao Jorge Duque pela ajuda no esclarecimento de algumas questões.

Ao Rui Santos, colega de trabalho, pela paciência e pronta disponibilidade na realização de algumas imagens.

Aos colegas do sector de telegestão dos SMAS-Montijo, especialmente ao Nuno Freitas, Sr. Fernando e Rui pela pronta disponibilidade que sempre demonstraram, na ajuda nas visitas de campo para recolha de dados, e qualquer questão ao seu alcance.

Aos meus colegas do gabinete técnico dos SMAS, pela boa disposição e bom ambiente, essenciais nos momentos de stress. Um especial agradecimento à minha amiga Maria do Carmo pelo apoio nas visitas de campo.

À minha irmã pela ajuda na revisão do texto e à minha mãe por ser uma avó presente nos momentos de mais azáfama.

Ao meu pequeno Francisco por tudo o que significa para mim e pela força que me transmite.

## DELIMITAÇÃO DOS PERÍMETROS DE PROTECÇÃO DAS CAPTAÇÕES DE ABASTECIMENTO PÚBLICO DO CONCELHO DE MONTIJO

### Resumo

Neste trabalho foram definidas as zonas de protecção das captações subterrâneas de abastecimento público do Concelho de Montijo, de acordo com o estipulado no Decreto-Lei 382/99, de 22 de Setembro.

As captações estudadas localizam-se no sistema aquífero da Bacia do Tejo-Sado (margem esquerda) e captam exclusivamente no aquífero confinado.

Um levantamento exaustivo junto da entidade gestora, SMAS-Montijo, permitiu obter um conhecimento aprofundado das características dos Sistemas de Abastecimento Público do Concelho.

Para o cálculo dos principais parâmetros hidráulicos nas captações utilizaram-se os modelos analíticos de Theis, Cooper Jacob e Theis-Recuperação, na interpretação dos ensaios de caudal disponíveis.

Foi efectuada uma caracterização da qualidade da água na origem, com base em análises realizadas pela entidade gestora.

O método analítico de Bear e Jacobs revelou-se o mais adequado na delimitação das zonas de protecção intermédia e alargada no ambiente hidrogeológico em análise, após comparação com os resultados obtidos pelos métodos de Wyssling e Raio Fixo Calculado.

**Palavras-Chave:** Zonas de protecção, captações públicas de água subterrânea, Sistema Aquífero da Bacia do Tejo-Sado.

## DELINEATION OF WELLHEAD PROTECTION AREAS FOR PUBLIC WATER SUPPLY OF MONTIJO DISTRICT

### **Abstract**

This study proposes the delineation of the wellhead protection areas for Montijo district, according to the Portuguese law (Decree-Law 382/99, of 22 September). These wells are settled on the Tejo-Sado Basin aquifer system (left bank) pumping exclusively from the confined aquifer. An exhaustive survey involving the water supply services, SMAS-Montijo, allowed a deep knowledge about the characteristics of this Public Supply System. The main hydraulic parameters were estimated using Theis, Cooper Jacob and Theis-Recovery analytical models on available results of previous pumping tests. Groundwater quality was assessed using water analysis controlled by the water supply services on the same wells. A comparison between the Wyssling and fixed radius calculus methods, and the Bear and Jacobs analytical method, revealed that the last one is the most suitable for delimitation of intermediate and extended wellhead protection areas on this hydrogeological environment.

**Key-words:** Wellhead protection areas, groundwater public abstraction wells, Tejo-Sado Basin Aquifer System.

## ÍNDICE GERAL

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO E OBJECTIVOS.....</b>	<b>10</b>
<b>2.</b>	<b>METODOLOGIAS .....</b>	<b>12</b>
2.1.	Introdução.....	12
2.2.	Modelos analíticos utilizados na interpretação dos ensaios de caudal.....	12
2.3.	Métodos analíticos utilizados na delimitação dos perímetros de protecção .....	15
<b>3.</b>	<b>ENQUADRAMENTO LEGISLATIVO .....</b>	<b>20</b>
<b>4.</b>	<b>ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO .....</b>	<b>23</b>
<b>5.</b>	<b>CLIMA.....</b>	<b>25</b>
<b>6.</b>	<b>GEOLOGIA .....</b>	<b>31</b>
<b>7.</b>	<b>HIDROGEOLOGIA .....</b>	<b>36</b>
7.1.	Enquadramento.....	36
7.2.	Piezometria e Sentido do Fluxo.....	38
<b>8.</b>	<b>SISTEMAS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO DE ÁGUA NO CONCELHO DE MONTIJO .....</b>	<b>42</b>
8.1.	Considerações Gerais .....	42
8.2.	Características Técnicas das Captações.....	49
8.3.	Regime de Exploração actual .....	52
8.4.	Parâmetros Hidráulicos .....	52
<b>9.</b>	<b>HIDROQUÍMICA.....</b>	<b>67</b>
<b>10.</b>	<b>ÍNDICE DE SUSCEPTIBILIDADE .....</b>	<b>84</b>
<b>11.</b>	<b>PERÍMETROS DE PROTECÇÃO.....</b>	<b>93</b>
11.1.	Introdução.....	93
11.2.	O Decreto-Lei 382/99 de 22 de Agosto .....	94
11.3.	Delimitação das zonas de protecção às captações de abastecimento público do Concelho de Montijo com recurso a métodos analíticos.....	97
11.3.1.	Considerações gerais .....	97

11.3.2.	Dados base .....	99
11.3.3.	Zona de Protecção Imediata.....	101
11.3.4.	Zonas de Protecção Intermédia e Alargada .....	120
<b>11.4.</b>	<b>Caracterização da situação actual face às condicionantes e interdições associadas à implementação das Zonas de Protecção .....</b>	<b>122</b>
<b>12.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>125</b>
<b>13.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>127</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>130</b>
ANEXO I - Decreto-Lei 382/99 de 22 de Setembro.....		131
ANEXO II - Fotografias das captações estudadas e respectiva Zona de Protecção Imediata (ZPi) actual.....		137
ANEXO III - Projecção espacial das Zonas de Protecção Intermédia e Alargada (ZPI e ZPA) das captações de Abastecimento Público do Concelho de Montijo.....		143

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Esquematização do perímetro de protecção calculado pelo método do raio fixo calculado.....	16
Figura 2 - Esquema do cálculo das isócronas pelo método de Wyssling.....	18
Figura 3 - Enquadramento geográfico do Concelho de Montijo.....	23
Figura 4- Temperatura do ar - Estação meteorológica de Montijo- B.A.....	26
Figura 5- Frequência (%) e velocidade média dos ventos (%) - Estação meteorológica de Montijo- B.A.....	27
Figura 6- Humidade relativa - Estação meteorológica de Montijo- B.A.....	27
Figura 7 - Precipitação média mensal e sua concentração - Estação meteorológica de Montijo- B.A.....	28
Figura 8 - Balanço hidrológico no Cenozóico da margem esquerda do Tejo.....	30
Figura 9 - Enquadramento geológico.....	32
Figura 10 - Enquadramento hidrogeológico do Concelho de Montijo.....	37
Figura 11 - Validação cruzada do resultado da interpolação.....	39
Figura 12 - Piezometria e sentido do fluxo subterrâneo nas captações em estudo.....	41
Figura 13 - Localização geográfica dos sistemas de abastecimento público a Oeste do Concelho de Montijo e principais infra-estruturas de água associadas.....	43
Figura 14 - Localização geográfica dos sistemas de abastecimento público a Este do Concelho de Montijo e principais infra-estruturas de água associadas.....	44
Figura 15 - Principais infra-estruturas de saneamento (zona Oeste).....	45
Figura 16 - Principais infra-estruturas de saneamento (zona Este).....	46
Figura 17 - Contributo dos sistemas de abastecimento público de água na cobertura de rede à população.....	47
Figura 18 - Contributo dos sistemas de abastecimento público de água na totalidade dos volumes captados.....	47
Figura 19 - Projecção espacial dos log's de sondagem das captações de abastecimento público do Concelho de Montijo.....	51
Figura 20 - Gráfico de ensaio de caudal para captação F19.....	54
Figura 21 - Gráfico de ensaio de caudal para captação F26.....	55
Figura 22 - Gráfico de ensaio de caudal para a captação F21.....	56
Figura 23 - Gráfico de ensaio de caudal para captação F2.....	57
Figura 24 - Gráfico de ensaio de caudal para captação F22.....	57
Figura 25- Gráfico de ensaio de caudal para captação F30.....	58
Figura 26 - Gráfico de ensaio de caudal para captação F27.....	59
Figura 27 - Gráfico de ensaio de caudal para captação F3, referente ao 1º ensaio.....	60
Figura 28- Gráfico de ensaio de caudal para captação F3, referente ao 2º ensaio.....	60
Figura 29 - Gráfico de ensaio de caudal para captação F23.....	61
Figura 30 - Gráfico de ensaio de caudal para captação F24.....	61
Figura 31 - Gráfico de ensaio de caudal para captação F11.....	62
Figura 32 - Gráfico de ensaio de caudal para captação F25.....	63
Figura 33 - Gráfico de ensaio de caudal para captação F12.....	63
Figura 34- Gráfico de ensaio de caudal para captação F17.....	64
Figura 35 - Gráfico de ensaio de caudal para captação F28.....	65
Figura 36 - Gráfico de ensaio de caudal para captação F29.....	65
Figura 37- Evolução da Condutividade eléctrica nas captações subterrâneas de abastecimento público do Concelho de Montijo (Zona Oeste).....	70
Figura 38 - Evolução da Condutividade eléctrica nas captações subterrâneas de abastecimento público do Concelho de Montijo (Zona Este).....	71

Figura 39 - Evolução do pH nas captações subterrâneas de abastecimento público do Concelho de Montijo (Zona Oeste).....	71
Figura 40 - Evolução do pH nas captações subterrâneas de abastecimento público do Concelho de Montijo (Zona Este). ....	72
Figura 41 - Evolução da Dureza Total nas captações subterrâneas de abastecimento público do Concelho de Montijo (Zona Oeste).....	73
Figura 42 - Evolução da Dureza Total nas captações subterrâneas de abastecimento público do Concelho de Montijo (Zona Este). ....	73
Figura 43 - Evolução da Alcalinidade Total nas captações subterrâneas de abastecimento público do Concelho de Montijo (Zona Oeste).....	74
Figura 44 - Evolução da Alcalinidade Total nas captações subterrâneas de abastecimento público do Concelho de Montijo (Zona Este). ....	75
Figura 45 - Evolução do catião Cálcio nas captações subterrâneas de abastecimento público do Concelho de Montijo (Zona Oeste).....	75
Figura 46 - Evolução do catião Cálcio nas captações subterrâneas de abastecimento público do Concelho de Montijo (Zona Este). ....	76
Figura 47 - Evolução do catião Magnésio nas captações subterrâneas de abastecimento público do Concelho de Montijo (Zona Oeste).....	76
Figura 48 - Evolução do catião Magnésio nas captações subterrâneas de abastecimento público do Concelho de Montijo (Zona Este). ....	77
Figura 49 - Evolução do catião Sódio nas captações subterrâneas de abastecimento público do Concelho de Montijo (Zona Oeste).....	78
Figura 50 - Evolução do catião Sódio nas captações subterrâneas de abastecimento público do Concelho de Montijo (Zona Este). ....	78
Figura 51 - Evolução do Anião Cloreto nas captações subterrâneas de abastecimento público do Concelho de Montijo (Zona Oeste).....	79
Figura 52 - Evolução do Anião Cloreto nas captações subterrâneas de abastecimento público do Concelho de Montijo (Zona Este). ....	79
Figura 53 - Projecção do diagrama de Piper para a água captada na Zona Oeste do Concelho de Montijo.....	81
Figura 54 - Projecção do diagrama de Piper para a água captada na Zona Este do Concelho de Montijo.....	81
Figura 55 - Projecção de diagramas de Stiff referentes à fácies hidroquímica da água subterrânea captada para abastecimento público no Concelho de Montijo.....	82
Figura 56 - Projecção espacial das classes da variável D no Concelho de Montijo.....	86
Figura 57 - Projecção espacial dos valores correspondentes às classes da variável D.....	87
Figura 58 - Projecção espacial das classes da variável R no Concelho de Montijo .....	87
Figura 59 - Projecção espacial dos valores correspondentes às classes da variável R.....	88
Figura 60 - Projecção espacial das classes da variável A no Concelho de Montijo .....	88
Figura 61 - Projecção espacial dos valores correspondentes às classes da variável A.....	89
Figura 62 - Projecção espacial das classes da variável T no Concelho de Montijo.....	89
Figura 63 - Projecção espacial dos valores correspondentes às classes da variável T.....	90
Figura 64 - Projecção espacial das classes da variável OS no Concelho de Montijo .....	90
Figura 65 - Projecção espacial dos valores correspondentes às classes da variável OS.....	91
Figura 66 - Mapa do Índice de Susceptibilidade (IS) para o Concelho de Montijo. ....	91
Figura 67 - Situações que poderão colocar em risco a qualidade da água num aquífero confinado .....	94
Figura 68 - Implantação da ZPi da captação F19 (Sistema de Abastecimento Público de Montijo) .....	105
Figura 69 - Implantação da ZPi da captação F26 (Sistema de Abastecimento Público de Montijo). ....	106

Figura 70 - Implantação da ZPi da captação F21 (Sistema de Abastecimento Público de Montijo). .....	107
Figura 71 - Implantação da ZPi da captação F2 (Sistema de Abastecimento Público de Montijo). .....	108
Figura 72 - Implantação da ZPi da captação F15 (Sistema de Abastecimento Público de Montijo). .....	109
Figura 73 - Implantação da ZPi da captação F22 (Sistema de Abastecimento Público de Pau-Queimado).....	110
Figura 74 - Implantação da ZPi da captação F30 (Sistema de Abastecimento Público de Pau-Queimado).....	111
Figura 75 - Implantação da ZPi da captação F27 (Sistema de Abastecimento Público de Pau-Queimado).....	112
Figura 76 - Implantação da ZPi da captação F3 (Sistema de Abastecimento Público de Sarilhos Grandes).....	113
Figura 77 - Implantação da ZPi da captação F23 (Sistema de Abastecimento Público de Canha).....	114
Figura 78 - Implantação da ZPi da captação F24 (Sistema de Abastecimento Público de Pegões).....	115
Figura 79 - Implantação da ZPi das captações F11 e F25 (Sistema de Abastecimento Público de Afonsos).....	116
Figura 80 - Implantação da ZPi das captações F12 e F17 (Sistema de Abastecimento Público de Santo Isidro de Pegões). .....	117
Figura 81 - Implantação da ZPi da captação F28 (Sistema de Abastecimento Público de Taipadas). .....	118
Figura 82 - Implantação da ZPi da captação F29 (Sistema de Abastecimento Público de Faias). .....	119

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Evapotranspiração real (EVR) e Potencial (EVP) para o Cenozóico da Margem esquerda do rio Tejo (mm/mês).....	29
Tabela 2 - Balanço hidrológico no Cenozóico da margem esquerda do Tejo (mm/mês) .....	30
Tabela 3 - Nível piezométrico com base na campanha de medição do nível hidrostático nas captações.....	38
Tabela 4 - Gradiente hidráulico e direcção do fluxo nas captações de abastecimento público do Concelho.....	40
Tabela 5 - Principais características dos sistemas de abastecimento de água no Concelho de Montijo.....	48
Tabela 6 - Características técnicas das captações .....	50
Tabela 7 - Resumo dos dados referentes ao regime de exploração actual.....	52
Tabela 8 - Valores de caudal específico e Transmissividade obtidos através da interpretação dos ensaios de caudal. ....	66
Tabela 9 - Qualidade da água nas captações de abastecimento público da zona Oeste do Concelho de Montijo.....	68
Tabela 10-Qualidade da água nas captações de abastecimento público da zona Este do Concelho de Montijo.....	69
Tabela 11 - Parâmetros e ponderações do Índice de Susceptibilidade .....	84
Tabela 12 - Classes definidas para os Parâmetros D,R,A e T e valores atribuídos a cada classe. ....	85
Tabela 13 - Classificação da ocupação do solo com base na carta CORINE Land Cover e respectivos valores atribuídos.....	85
Tabela 14 - Actividades e instalações interditas ou condicionadas nas zonas de protecção definidas no Decreto-Lei 382/99 de 22 de Setembro.....	96
Tabela 15 - Raio mínimo a considerar na delimitação das zonas de protecção segundo o tipo de aquífero.....	97
Tabela 16 - Parâmetros hidrogeológicos utilizados na aplicação dos métodos analíticos. ....	99
Tabela 17 - Caracterização actual das captações a nível sanitário e da existência/condições da Zona de Protecção Imediata.....	103
Tabela 18 - Custos associados às obras de melhoramento da Zona de Protecção Imediata..	104
Tabela 19 - Resultados obtidos para a determinação da ZPI pela aplicação dos três métodos analíticos utilizados. ....	120
Tabela 20 - Resultados obtidos para a determinação da ZPA pela aplicação dos três métodos analíticos utilizados. ....	121
Tabela 21 - Inventário de actividades e instalações interditas ou passíveis de ser interditas ou condicionadas no interior das Zonas de Protecção Intermédia e Alargada das captações em estudo. ....	123

## **1. Introdução e Objectivos**

As águas subterrâneas são um recurso natural imprescindível para a vida e para a integridade dos ecossistemas representando mais de 95 % das reservas de água doce exploráveis do globo. Constituem uma componente fundamental no abastecimento público e dos sectores agrícola e industrial.

Segundo o Plano Nacional da Água (INAG, 2001), em Portugal Continental, as águas subterrâneas serviam nessa altura 37% da população e forneciam cerca de 40% da água consumida pelos sistemas de abastecimento público.

Os recursos hídricos subterrâneos foram durante muito tempo, preferidos como origem de água, por apresentarem uma suposta garantia de qualidade, devido à sua menor vulnerabilidade à poluição. Hoje em dia sabe-se que tal não corresponde à realidade e que o aumento da população, o desenvolvimento dos países, a industrialização e o consequente aumento do consumo, associados por vezes, a actividades antropogénicas mal geridas, contribuem para a contaminação destas águas.

Dadas as características de contaminação dos aquíferos e a sua difícil regeneração, as medidas de protecção devem ser preferencialmente preventivas, regulando, ordenando ou proibindo determinadas actividades em determinadas zonas, ou estabelecendo medidas de segurança sobre actividades potencialmente nocivas. Este tipo de atitude é especialmente importante para aquíferos e captações que servem para abastecimento público.

Uma eficaz gestão em torno da captação, que previna eventual contaminação, permite preservar a qualidade da água e poupar avultadas verbas a aplicar em medidas de descontaminação ou até mesmo de abandono da captação. A reabilitação de uma água subterrânea contaminada pode ser várias vezes mais cara que a prevenção.

A delimitação de perímetros de protecção com o objectivo de proteger a qualidade das águas subterrâneas adquire uma crucial importância perante a crescente necessidade deste recurso e o risco potencial derivado da actividade antrópica em redor das captações. O Decreto-lei 382/99, de 22 de Setembro, vem clarificar e legislar a figura dos perímetros de protecção nas captações subterrâneas de abastecimento público e obrigar à sua delimitação e implantação.

A utilização de perímetros de protecção é actualmente a ferramenta mais usada em todo o mundo para protecção das origens subterrâneas.

O objectivo deste estudo é a delimitação dos perímetros de protecção das captações subterrâneas de abastecimento público do Concelho de Montijo. Pretende-se que este documento constitua uma proposta viável de protecção às origens de abastecimento público

do Concelho. Neste sentido, será efectuada uma caracterização da área em estudo e das captações envolvidas, a análise da qualidade da água nas origens, a determinação de parâmetros hidráulicos na captação e a aplicação de métodos analíticos que permitem determinar as zonas de protecção às captações.

Após análise dos resultados, serão delimitadas as zonas de protecção às captações que se pretende virem a constituir a proposta de delimitação de perímetros de protecção a apresentar pela entidade gestora (Serviços Municipalizados de Água e Saneamento do Concelho de Montijo) à entidade com competência para a sua apreciação, neste caso a Administração de Região Hidrográfica do Tejo (ARH-Tejo).

## **2. Metodologias**

### **2.1. Introdução**

Este estudo tem como objectivo principal a delimitação dos perímetros de protecção das captações de abastecimento público no Concelho de Montijo. De modo a atingir este objectivo, foram efectuados vários estudos prévios que proporcionaram os dados necessários para posterior aplicação, mediante a informação disponível, dos métodos mais indicados.

A compilação de informação e tratamento de dados passaram pelas fases que a seguir se identificam:

- recolha, junto da entidade gestora, da informação existente relativa às captações em estudo, nomeadamente relatórios de sondagem, ensaios de caudal, boletins analíticos referentes a análises físico-químicas e bacteriológicas nas origens, situação actual de abastecimento e dados de exploração das captações;
- visitas de campo com o objectivo de caracterizar o estado actual da captação e envolvente bem como efectuar mediações piezométricas para determinação do gradiente hidráulico, sentido do fluxo e sua direcção;
- interpretação dos ensaios de caudal com recurso a modelos analíticos, com o objectivo de determinar parâmetros hidráulicos a nível local;
- tratamento estatístico dos dados de qualidade da água na origem, nomeadamente evolução temporal de alguns parâmetros analíticos, determinação das fácies hidroquímicas e sua distribuição espacial através da elaboração de diagramas de Piper e Stiff;
- estudo da vulnerabilidade do aquífero na área do Concelho de Montijo aplicando como método o Índice de Susceptibilidade desenvolvido por Ribeiro (2005);
- delimitação dos perímetros de protecção das captações utilizando métodos analíticos, nomeadamente o raio fixo calculado, previsto no Decreto-Lei 382/99 de 22 de Setembro (ver anexo I), método de Wyssling e Método de Bear e Jacobs.

### **2.2. Modelos analíticos utilizados na interpretação dos ensaios de caudal**

A interpretação dos ensaios de caudal disponíveis teve por base os modelos analíticos de Theis, Cooper Jacob e Theis - Recuperação, por se adequarem a aquíferos confinados. O

modelo analítico de Theis (1935) representa um aquífero confinado, ou seja, onde não existe recarga superior nem inferior, em regime transitório e nas seguintes condições:

- aquífero como um meio poroso homogéneo e isotrópico;
- água com densidade e viscosidade constantes;
- espessura do aquífero constante e a base do mesmo horizontal;
- o poço de bombagem possui um raio infinitesimal quando comparado com a extensão do aquífero, ou seja, é nulo o armazenamento na captação;
- o fluxo é radial e horizontal;
- a captação é totalmente penetrante e de raio constante em toda a espessura drenante;
- o aquífero tem extensão infinita e no mesmo não existem outras captações de água ou, caso existam, encontram-se paradas;
- não existem perdas de carga na admissão de água ao poço;
- o nível piezométrico observado a uma distância radial infinita, relativamente ao eixo do poço de bombagem, é igual ao nível hidrostático.

Nesta situação hipotética, Theis (1935) apresenta uma solução analítica (equação 1) para as equações do fluxo subterrâneo em regime variável e aquíferos confinados:

$$s(r, t) = \frac{Q}{4\pi T} \int_u^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} du \quad \text{Equação 1}$$

Em que:

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

$Q$  - Caudal extraído

$T$  - Transmissividade do aquífero

$$u - \text{Função auxiliar cujo valor é } u = \frac{r^2 S}{4tT} \quad \text{Equação 2}$$

Sendo:

$S$  - Coeficiente de armazenamento

$t$  - Tempo decorrido desde o início da bombagem

O termo  $\int_u^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} du$  é a função do furo, representada simplificada por  $W(u)$ . A equação

de Theis pode então ser apresentada pela equação 3:

$$s(r, t) = \frac{Q}{4\pi T} W(u) \quad \text{Equação 3}$$

O modelo de Cooper-Jacob (1946) é uma simplificação do modelo de Theis, válido para grandes valores de tempo e decréscimo da distância do poço em extracção, ou seja, valores muito pequenos de  $u$  ( $u < 0,01$ ). Os autores verificaram que os dois primeiros termos da equação de Theis eram suficientes para representar um valor fiável da função  $W(u)$  e a equação de Theis poderia ser aproximada para:

$$s(r, t) = \frac{Q}{4\pi T} [-0,5772 - \ln u] \quad \text{Equação 4}$$

Obtendo-se por simplificação:

$$s(r, t) = \frac{0,183Q}{T} \log \frac{2,25Tt}{r^2 S} \quad \text{Equação 5}$$

No cálculo da Transmissividade utiliza-se a equação da recta ( $y = a \log x + b$ ) formada pelos pontos projectados no gráfico semi-logaritmico do rebaixamento *versus* tempo. Reescrevendo a equação, tal como uma equação da recta, obtém-se:

$$s(r, t) = \frac{0,183Q}{T} (\log \frac{2,25Tt}{r^2 S} + \log t) \quad \text{Equação 6}$$

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. Este aumento no nível da água é conhecido por rebaixamento residual.

Theis (1935) apresenta uma solução para a recuperação dos níveis após a paragem da bomba (modelo de Theis Recuperação), que se obtém aplicando o princípio da sobreposição, resultando uma equação que permite calcular o rebaixamento residual ( $s'$ ) no furo onde se realiza a bombagem ou num piezómetro:

$$s' = \frac{Q}{4\pi T} \ln \frac{t+t'}{t'} \quad \text{Equação 7}$$

onde  $t$  é a duração da bombagem e  $t'$  o tempo decorrido após a paragem da bomba.

Trata-se da equação de uma recta cujo pendente permite estimar o valor da Transmissividade (T).

Os níveis observados no ensaio de recuperação permitem calcular a Transmissividade do aquífero, de forma independente dos resultados do ensaio de bombagem.

Os rebaixamentos residuais, tanto no furo de bombagem, como no furo de observação, tendem a ser mais realistas, uma vez que estes rebaixamentos durante o ensaio de recuperação ocorrem a um rácio constante.

### **2.3. Métodos analíticos utilizados na delimitação dos perímetros de protecção**

#### **Raio Fixo Calculado**

O método do raio fixo calculado, em função do tempo de propagação, está previsto no Decreto-lei 382/99, de 22 de Setembro, e pode ser utilizado, mediante parecer favorável da Administração de Região Hidrográfica (ARH) com competências no Concelho, em condições especiais, nomeadamente situações que não existam estudos hidrogeológicos ou não seja possível realizá-los. Foi utilizado neste trabalho apenas a título comparativo com os restantes métodos aplicados, e sem qualquer intenção de proposta da sua aplicação na delimitação dos perímetros de protecção das captações em causa.

Com este método, o perímetro de protecção é definido mediante uma equação volumétrica que calcula o volume de água que chega à captação num tempo determinado e considerado necessário para diminuir a contaminação a um nível admissível antes de alcançar a captação.

Com este método é definido o raio da área de protecção, através da qual os poluentes se propagam durante um período de tempo. Supõe-se que a captação estudada é a única a drenar o aquífero e que não existem direcções privilegiadas de fluxo, convergindo todas as linhas de fluxo para a captação (Figura 1).

É um método de simples aplicação em que o único parâmetro hidrogeológico necessário é a porosidade eficaz.

Segundo EPA (1994), o raio fixo calculado em função do tempo de propagação é adequado para aquíferos verdadeiramente confinados sem drenância vertical a partir do estrato confinante superior e em situações de gradiente hidráulico muito reduzido.

A equação utilizada é a seguinte:

$$Qt = n\pi Hr^2 \Leftrightarrow r = \sqrt{\frac{Qt}{n.H.\pi}} \quad \text{Equação 8}$$

Sendo:

Q - caudal de exploração da captação (m<sup>3</sup>/dia)

t - tempo de propagação (dias)

n - porosidade eficaz do aquífero

H - espessura saturada da captação (m)

r - raio do perímetro de protecção (m)

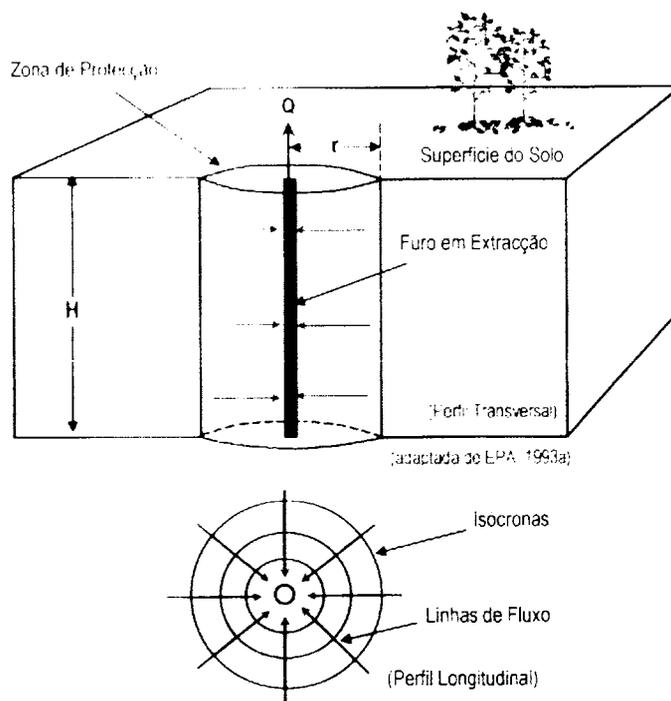


Figura 1 - Esquematização do perímetro de protecção calculado pelo método do raio fixo calculado (adaptado de Moinante, 2003).

## Método de Wyssling

Wyssling definiu um método de dimensionamento do perímetro de protecção que consiste no cálculo da zona de chamada de uma captação e procura posterior do tempo de propagação desejado.

É um método simples, aplicável a aquíferos porosos homogéneos, no entanto apresenta o inconveniente de não ter em conta as heterogeneidades do aquífero

A utilização deste método pressupõe o conhecimento do gradiente hidráulico ( $i$ ), do caudal extraído ( $Q$ ), da condutividade hidráulica ( $K$ ) ou Transmissividade ( $T$ ), da porosidade eficaz ( $n$ ) e da espessura do aquífero ( $b$ ).

Em primeiro lugar, é calculada a zona de chamada, que se define como a parte da área de alimentação na qual pode apreciar-se uma descida do nível piezométrico, consequência da extracção, e em que as linhas de fluxo se dirigem para a captação.

Se, num aquífero livre,  $B$  for a altura da frente de chamada teremos:

$$Q = K.B.b.i \Leftrightarrow B = \frac{Q}{K.b.i} \quad \text{Equação 9}$$

Podendo o raio de chamada ( $X_o$ ) obter-se pela seguinte expressão:

$$X_o = \frac{Q}{2.\pi.K.b.i} \quad \text{Equação 10}$$

A largura da frente de chamada à altura da captação ( $B'$ ) calculada pela equação:

$$B' = \frac{B}{2} = \frac{Q}{2.K.b.i} \quad \text{Equação 11}$$

Definida a zona de chamada, determina-se, na direcção do fluxo, a distância correspondente ao tempo de propagação pretendido. Para isso são usadas as seguintes equações:

$$V_e = \frac{K.i}{n} \quad \text{Equação 12}$$

$$l = V_e.t \quad \text{Equação 13}$$

$$S_o = \frac{+l + \sqrt{l(l + 8.X_o)}}{2} \quad \text{Equação 14}$$

$$S_u = \frac{-l + \sqrt{l(l + 8.X_o)}}{2} \quad \text{Equação 15}$$

Sendo:

t - tempo de propagação

$V_e$  - velocidade eficaz

$S_o$  - distância correspondente ao tempo t, no sentido do fluxo (montante da captação)

$S_u$  - distância correspondente ao tempo t, no sentido contrário ao do fluxo (jusante da captação)

A Figura 2 esquematiza as principais variáveis envolvidas na delimitação do perímetro de protecção pelo método de Wyssling.

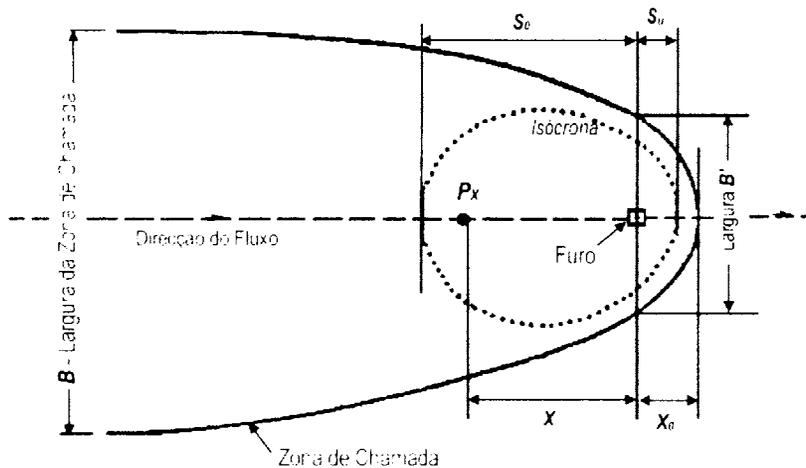


Figura 2 - Esquema do cálculo das isócronas pelo método de Wyssling (adaptado de ITGE, 1991 in Moinante, 2003).

### Método de Bear e Jacobs

O método de Bear e Jacobs é baseado na definição da zona de captura induzida pela captação a proteger.

De modo a simplificar o modelo analítico, admitem-se uma série de hipóteses simplificativas. Deste modo, o método de Bear e Jacobs (1965) aplica-se em casos de uma só captação implantada num aquífero homogéneo, isótropo e de extensão infinita, submetida a um gradiente regional uniforme.

Este tipo de métodos, que utilizam ábacos na determinação de isócronas, permitem calcular com alguma eficiência as zonas de protecção de uma captação. Neste caso, as isócronas são definidas pela expressão abaixo, em função de variáveis reduzidas:

$$t_R = \frac{X_R}{10} - \frac{l}{\pi} \ln\left(\cos \pi \cdot \frac{Y_R}{10} + \frac{X_R}{Y_R} \cdot \text{sen} \pi \cdot \frac{Y_R}{10}\right) \quad \text{Equação 16}$$

$$X_R = \frac{20.V.b}{Q} \cdot x \quad \text{Equação 17}$$

$$Y_R = \frac{20.V.b}{Q} \cdot y \quad \text{Equação 18}$$

$$t_R = \frac{2.T^2.i^2.t}{n.Q.b} \quad \text{Equação 19}$$

Sendo:

V - velocidade de Darcy (m/d)

Q - caudal de extracção contínuo fictício (m<sup>3</sup>/d)

n - porosidade eficaz (adimensional)

b - espessura do aquífero(m)

T - Transmissividade (m<sup>2</sup>/d)

i - gradiente hidráulico (adimensional)

Y<sub>R</sub>, X<sub>R</sub>, t<sub>R</sub> - variáveis reduzidas

x e y - distâncias reais (m)

Bear e Jacobs construíram um ábaco, a partir da fórmula das isócronas, que consiste num conjunto de curvas semelhantes a uma parábola, cujo eixo de simetria coincide com o fluxo da água subterrânea e as assíntotas imitam um fluxo de água igual ao caudal extraído. Cada curva representa um tempo de trânsito para o qual se resolveram as equações anteriores (ITGE, 1991).

### **3. Enquadramento Legislativo**

A primeira abordagem em Portugal relativa à definição de perímetros de protecção de águas subterrâneas foi feita através da Norma Portuguesa definitiva NP 836 de 1971. Esta norma, de aplicação voluntária, previa a existência de zonas de protecção sanitária para as captações, com o objectivo de reduzir os riscos de contaminação da água captada.

Posteriormente foram publicados vários diplomas com interesse no âmbito da protecção das origens de água, dos quais se destacam:

- Decreto-lei 84/90, de 16 de Março, aplicável ao aproveitamento das águas de nascente. No artigo 4º, referente ao processo de licenciamento, está previsto um estudo hidrogeológico com vista à definição de uma área de protecção. O artigo 5º prevê a definição de um perímetro de protecção, sempre que a adequada protecção do aquífero assim o exija, definido nos termos do disposto no artigo 12 do Decreto-lei 90/90 de 16 de Março.
- Decreto-lei 86/90, de 16 de Março, aplicável a águas minerais naturais. No artigo 27º é referida a fixação de um perímetro de protecção de acordo com o previsto no nº 4 do artigo 12 do Decreto-lei nº 90/90 de 16 de Março.
- Decreto-lei 90/90, de 16 de Março, aplicável a recursos geológicos. No artigo 12º, onde se faz referência à protecção dos recursos e condicionamentos às actividades, é estabelecido, no caso de exploração de recursos hidrominerais, a fixação de um perímetro de protecção com fundamento hidrogeológico, que garanta a disponibilidade e características da água, bem como condições para uma boa exploração.
- Decreto-lei 45/94, de 22 de Fevereiro, que regula o processo de planeamento de recursos hídricos e elaboração e aprovação dos planos de recursos hídricos. O artigo 3º refere que podem ser classificadas de protecção determinadas zonas, nomeadamente bacias ou partes de bacias, aquíferos ou massas de água que pelas suas características naturais e valor ambiental, económico ou social assumam interesse público.
- Decreto-lei 46/94, de 22 de Fevereiro, que estabelece o regime de utilização do domínio hídrico, sob jurisdição do Instituto da Água. No seu artigo 22º estabelece a definição de áreas de protecção à captação para emissão do título de captação de água.

- Decreto-Lei 382/99, de 22 de Setembro (anexo I), que estabelece as normas e os critérios para a delimitação dos perímetros de protecção de captações de águas subterrâneas destinadas ao abastecimento público. A redacção do nº 1 do artigo 4º, relativo à aprovação da delimitação do perímetro de protecção, foi alterada pelo Decreto-lei 226-A/2007, de 31 de Maio, no seu artigo 88º.

No âmbito da protecção das origens de água, sem fazer referência directa à definição de zonas de protecção, existem diversos diplomas com relevância:

- Decreto-lei 152/97, de 19 de Junho, alterado pelos Decretos-lei 348/98 de 9 de Novembro, 261/99 de 7 de Julho, 172/2001 de 26 de Maio, 149/2004 de 22 de Junho, 198/2008 de 8 de Outubro, que transpõe para o direito interno a Directiva nº 91/271/CEE do Conselho de 21 de Maio, relativa ao tratamento das águas residuais urbanas.
- Decreto-lei 235/97, de 3 de Setembro, alterado pelo Decreto-lei 68/99 de 11 de Março, que transpõe para o direito interno a Directiva 91/676/CEE, do Conselho de 12 de Dezembro, relativa à protecção das águas, contra a poluição causada por nitratos de origem agrícola.
- Decreto-lei 236/98, de 1 de Agosto, que estabelece normas, critérios e objectivos de qualidade com a finalidade de proteger o meio aquático e melhorar a qualidade das águas em função dos seus principais usos.
- Decreto-lei 133/2005, de 16 de Agosto, que aprova o regime de licenciamento da actividade das entidades que operam no sector da pesquisa, captação e montagem de equipamentos de extracção e águas subterrâneas.
- Decreto-lei 306/2007, de 27 de Agosto, que estabelece o regime da qualidade da água destinada ao consumo humano, procedendo à revisão do Decreto-lei 243/2001 de 5 de Setembro.
- Decreto-lei 173/2008, de 26 de Agosto, que estabelece o regime de prevenção e controlo integrado da poluição proveniente de certas actividades e medidas destinadas a evitar ou, quando tal não for possível, reduzir as emissões dessas actividades para o ar, a água e o solo, a prevenção e controlo do ruído e a produção de resíduos, tendo em vista alcançar um nível elevado de protecção do ambiente no seu todo.

A Directiva 2000/60/CE de 23 de Outubro (Directiva Quadro da Água-DQA) foi transposta na Lei 58/2005 de 29 de Dezembro (Lei da Água), que estabelece as bases e o quadro institucional para a gestão sustentável das águas e um enquadramento para a protecção das águas de superfície interiores, das águas de transição, das águas costeiras e das águas subterrâneas.

A aprovação da Lei da Água e das directivas resultantes da DQA, deu origem à publicação de uma série de diplomas com interesse no domínio da protecção das origens de água, dos quais se destacam os seguintes:

- Decreto-lei 77/2006, de 30 de Março, que estabelece normas de natureza técnica relativas à caracterização das águas das regiões hidrográficas, aos programas de monitorização e de medidas, aos poluentes, aos valores limite de emissão, normas de qualidade ambiental e às substâncias prioritárias.
- Decreto-lei 226-A/2007, de 31 de Maio, que define o novo regime de utilização de recursos hídricos, que completa as regras base da Lei da Água.
- Portaria 1450/2007, de 12 de Novembro, que regulamenta aspectos do regime de utilização dos recursos hídricos.
- Decreto-lei 311/2007, de 17 de Setembro, que estabelece o regime de constituição e gestão dos empreendimentos de fins múltiplos, bem como o respectivo regime económico e financeiro.
- Decreto-lei 348/2007, de 19 de Outubro, que aprova o regime a que fica sujeito o reconhecimento das associações de utilizadores do domínio público hídrico.
- Decreto-lei 208/2008, de 28 de Outubro, que estabelece o regime de protecção das águas subterrâneas contra a poluição e deterioração.

#### 4. Enquadramento Geográfico

O Concelho de Montijo pertence à Área Metropolitana de Lisboa (A.M.L.), mais concretamente ao subconjunto A.M.L. - Sul. Com uma população residente, segundo previsões do INE para 2008, de 41432 habitantes, possui uma área total de 348 Km<sup>2</sup>, o que o torna num dos Concelhos mais extensos deste subconjunto.

A Figura 3 refere-se ao enquadramento geográfico do Concelho de Montijo.

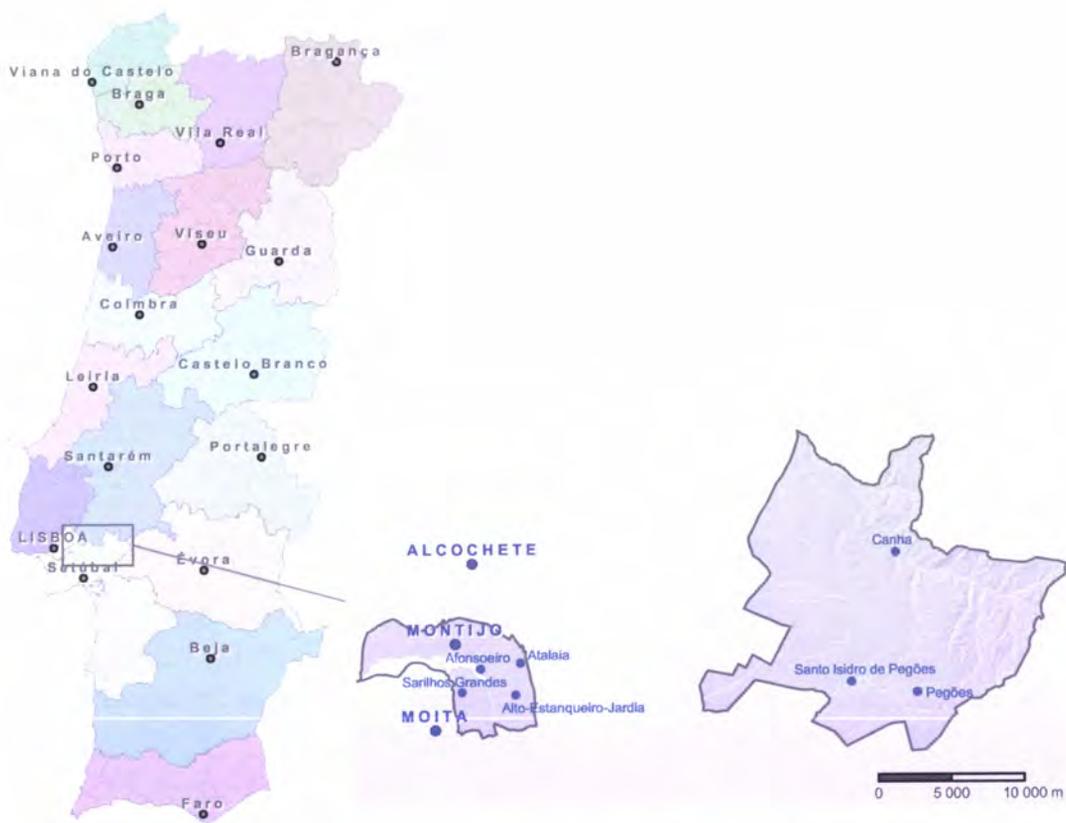


Figura 3 – Enquadramento geográfico do Concelho de Montijo.

Com a particularidade de ser territorialmente descontínuo, o Concelho de Montijo, é constituído por duas áreas: a Este, mais interior, comporta três freguesias (Santo Isidro de Pegões, Pegões e Canha), e a Oeste abrange cinco freguesias (Montijo, Afonsoeiro, Atalaia, Alto Estanqueiro/Jardia e Sarilhos Grandes).

A zona Oeste, de características urbanas e onde habita 86% da população, compreende apenas 17% da área total do Concelho. Este território confronta com os Concelhos de Alcochete, Moita e Palmela.

Topograficamente, no território Oeste dominam as baixas altitudes, atingindo-se a cota máxima (67 m) na freguesia da Atalaia.

Os declives são pouco acentuados, apenas com alguns casos pontuais a atingir valores superiores a 8%.

A rede hidrográfica é dominada pelo Rio Tejo, Vala das Nascentes, Vala do Pau-Queimado, Vala Real e Vala da Broega.

A zona Este, com características essencialmente rurais, compreende cerca de 83% da área do Concelho e confina com os Concelhos de Benavente, Coruche, Montemor-o-Novo, Vendas Novas e Palmela.

Sendo habitada por apenas 14% da população do Concelho, apresenta uma baixa densidade populacional.

A orografia é nesta zona mais acidentada, com uma altitude média superior a 50 metros, atingindo a cota máxima de 136 metros junto a Pegões. Os declives atingem em alguns casos os 25%.

As linhas de água principais são a Ribeira de Canha e Lavre, existindo no entanto uma grande densidade de pequenas linhas de água que apresentam maioritariamente regimes intermitentes que se interrompem durante a época estival.

## 5. Clima

Os estudos climatológicos são de grande importância no conhecimento hidrogeológico de uma região. A quantificação das componentes principais do ciclo hidrológico é essencial na estimativa das disponibilidades hídricas de uma dada área. O clima é condicionado por factores locais tais como a proximidade do mar, a orografia, a hidrografia, altitude, urbanismo, áreas de floresta e massas de água interiores.

A caracterização climática aqui efectuada é apenas uma breve descrição do comportamento climático no Concelho de Montijo, tendo como base as normais climatológicas para o período de 1961-1990 (Instituto de Meteorologia, Lisboa) da estação meteorológica de Montijo - B.A. Pela classificação de Trewartha (1943), o Concelho de Montijo apresenta-se sobre a influência de um clima subtropical seco ou mediterrânico, cujas características são um Verão seco e quente e um Inverno húmido e ameno.

A proximidade do mar é um dos factores que atenua as características anteriormente referidas, uma vez que as massas de ar húmidas têm menor amplitude térmica e resguardam a região de situações extremas que por vezes ocorrem em climas mediterrâneos.

A caracterização climática a seguir apresentada é baseada na descrição efectuada no relatório de revisão do Plano Director Municipal (PDM) de Montijo (2008), e refere-se à análise dos elementos climáticos observados na estação meteorológica acima referida.

### Temperatura do ar

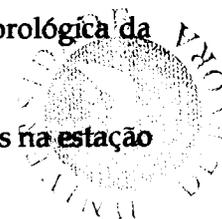
A temperatura do ar tem grande importância na dinâmica do ciclo hidrológico. É condicionada por factores como o relevo, natureza do solo e seu revestimento, proximidade de grandes superfícies de água e regime dos ventos.

No Concelho de Montijo, a temperatura média ao longo do ano é aproximadamente de 16°C, variando as temperaturas médias mensais entre os 10°C em Janeiro e os 22,5°C em Agosto.

Os valores médios das temperaturas máximas variam entre os 14°C em Janeiro e os 28,8°C em Agosto, enquanto que os valores médios das temperaturas mínimas variam entre os 6°C em Janeiro e os 16°C em Agosto.

É no entanto importante referir que estes valores são registados na estação meteorológica da Base Aérea nº 6, com influência directa do rio Tejo.

A Figura 4 refere-se à variação das temperaturas do ar ao longo do ano, registadas na estação Meteorológica de Montijo (B.A.).



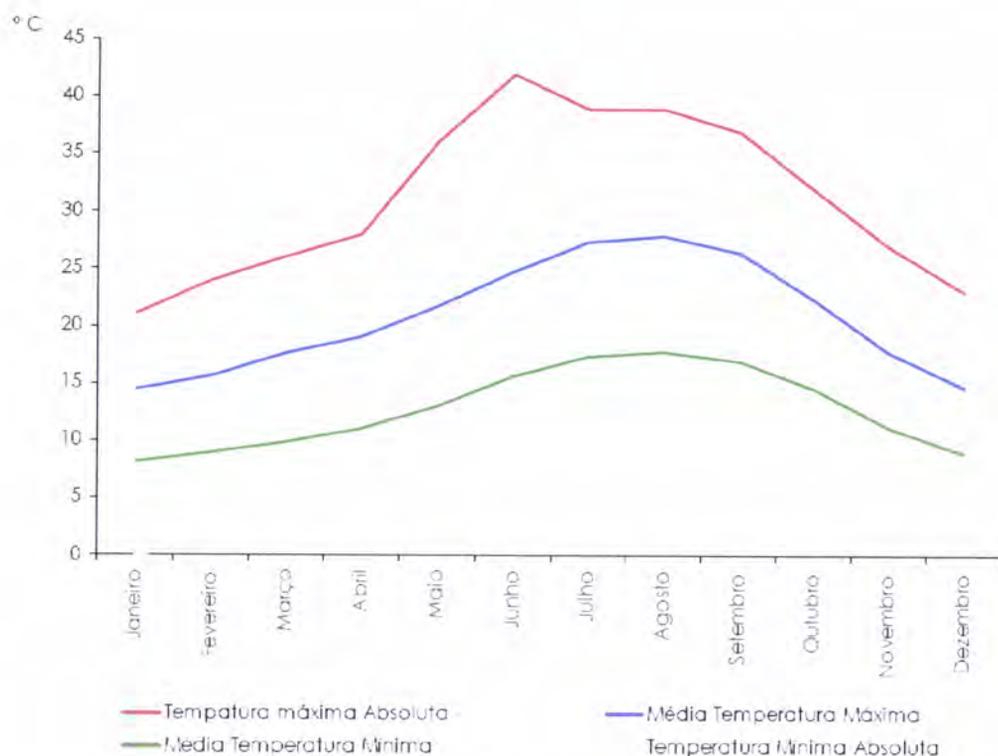


Figura 4- Temperatura do ar - Estação meteorológica de Montijo- B.A.  
(Normais climatológicas entre 1969-1990, Instituto de Meteorologia, Lisboa, *in* relatório de revisão PDM Montijo, 2008).

## Vento

Os ventos predominantes registados na estação meteorológica da Base Aérea nº 6, são de Norte e de Nordeste, com especial predominância de vento Norte durante o Verão, o que se explica pelo facto de ocorrer um maior gradiente térmico ao longo da costa (Figura 5).

Os valores registados de velocidade do vento são predominantemente abaixo dos 20 km/h, ocorrendo cerca de 22 dias de ventos com velocidade superior a 36 km/h e dois dias com ventos de velocidade superior 55 km/h.

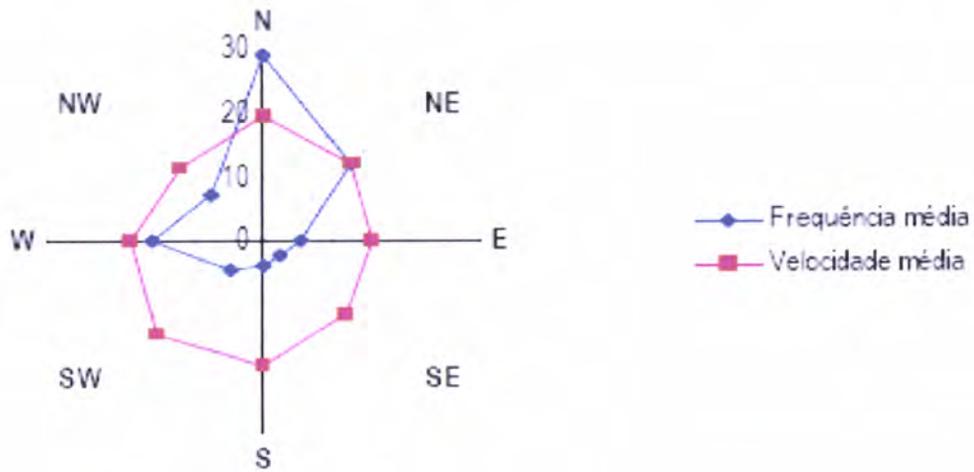


Figura 5- Frequência (%) e velocidade média dos ventos (%) - Estação meteorológica de Montijo- B.A. (Normais climatológicas entre 1969-1990, Instituto de Meteorologia, Lisboa, *in* relatório de revisão PDM Montijo, 2008).

### Humidade Relativa

A humidade relativa depende, entre outros factores, da temperatura. O Concelho de Montijo apresenta uma humidade relativa média, às 9h, na ordem dos 80% e de 63% às 15 h (Figura 6). A localização da estação meteorológica de referência, junto ao estuário, tem grande influência nos valores de humidade do ar registados, pelo que as características não serão as mesmas noutros locais do Concelho, nomeadamente na região Este.

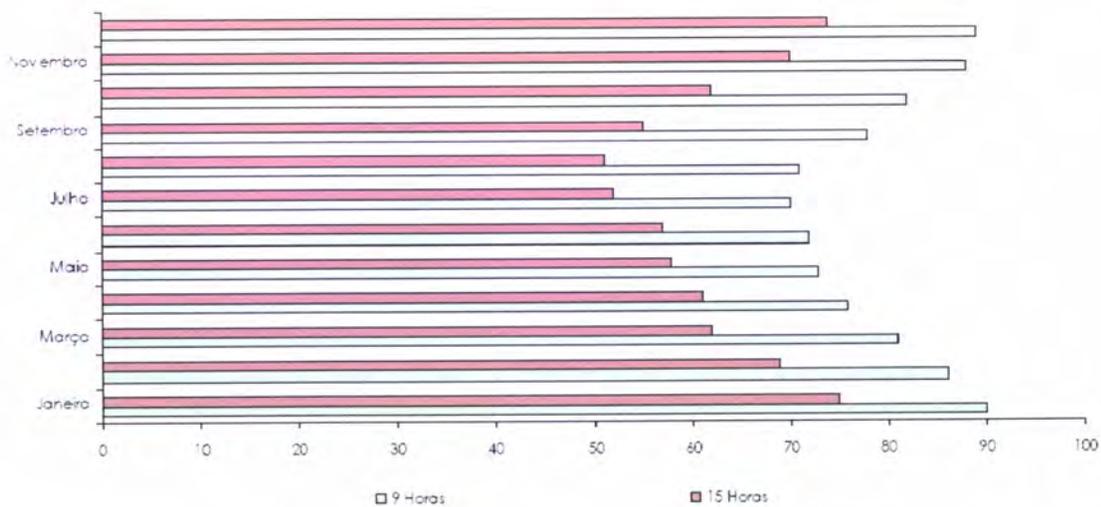


Figura 6- Humidade relativa - Estação meteorológica de Montijo- B.A. (Normais climatológicas entre 1969-1990, Instituto de Meteorologia, Lisboa, *in* relatório de revisão PDM Montijo, 2008).

## Precipitação

O vapor de água contido na atmosfera dá origem à precipitação quando se verificam variações das condições meteorológicas. As primeiras quedas pluviométricas destinam-se à satisfação das exigências resultantes da capacidade de campo e da evapotranspiração, após o que se origina o escoamento superficial e/ou infiltração.

A precipitação é uma das componentes primárias do ciclo hidrológico e constitui a fonte fundamental de recarga dos aquíferos.

Como é característico do clima mediterrâneo, no Concelho de Montijo a maior parte da precipitação ocorre nos meses de Inverno, apresentando um mínimo nos meses de Verão, com os meses de Julho e Agosto em regra extremamente secos. O total anual de precipitação no Montijo é de 577 mm. As situações de chuva intensa ocorrem em cerca de 20 dias por ano, o que corresponde à passagem de superfícies frontais ou de depressões activas.

A Figura 7 refere-se à precipitação média mensal e sua concentração registada na estação meteorológica tomada como referência.

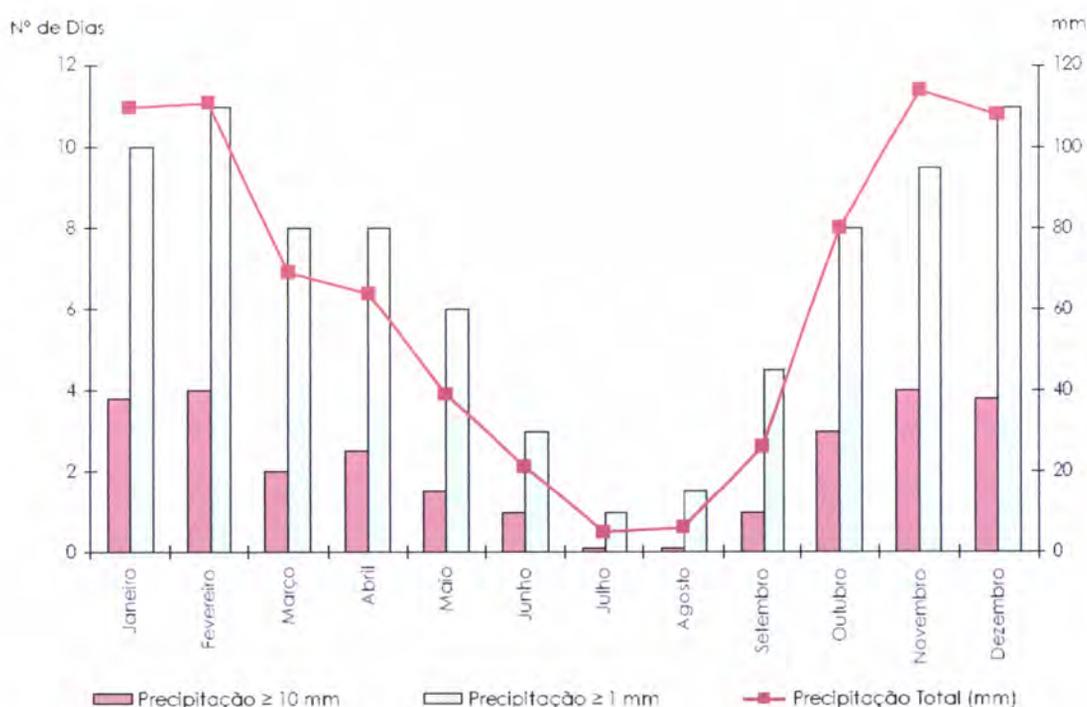


Figura 7 - Precipitação média mensal e sua concentração - Estação meteorológica de Montijo- B.A. (Normais climatológicas entre 1969-1990, Instituto de meteorologia, Lisboa, in relatório de revisão PDM Montijo, 2008).

## Evapotranspiração

Ao calcular-se a água perdida numa região revestida por vegetação, é praticamente impossível separar a transpiração da evaporação do solo, lagos e rios. Assim, em termos de balanço hidrológico, os dois processos devem ser considerados em conjunto, sob a designação de evapotranspiração.

Designa-se por evapotranspiração o fenómeno complexo resultante da transpiração das plantas e da evaporação do meio circundante, nomeadamente superfície do terreno, água de valas, rios, pequenos lagos, etc. (Lencastre e Franco, 1984).

Chama-se evapotranspiração potencial (EVP) ao valor da evapotranspiração que ocorreria se não houvesse deficiência de alimentação em água para o referido processo.

A evapotranspiração abrange grande parte da água retirada de uma bacia hidrográfica, pelo que é importante a sua consideração do ponto de vista do balanço hidrológico.

Simões (1998) apresenta valores de Evapotranspiração real (EVR) e potencial para o Cenozóico da margem esquerda do rio Tejo (Tabela 1).

Tabela 1 - Evapotranspiração real (EVR) e Potencial (EVP) para o Cenozóico da Margem esquerda do rio Tejo (mm/mês).  
(adaptado de Simões, 1998).

	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Annual
EVR	20	24	47	61	69	65	5	5	31	63	44	22	486
EVP	20	24	47	61	99	128	161	153	110	72	44	22	941

## Balanço hídrico

O balanço hídrico consiste na contabilização dos volumes de água envolvidos no ciclo hidrológico para determinado intervalo de tempo, numa dada área, sendo um factor essencial na avaliação das disponibilidades hídricas nessa mesma área.

Segundo Simões (1998) a expressão que o materializa:

$$\text{Precipitação} = \text{Evapotranspiração} + \text{Escoamento} + \text{Infiltração} + \text{Humidade do solo}$$

só por si pode determinar se uma região tem possibilidades de ocorrência de águas subterrâneas e assim permitir encontrar alternativas de abastecimento.

A precipitação e a evapotranspiração constituem os factores quantitativos mais importantes no cálculo do balanço hidrológico.

A mesma autora apresenta o balanço hidrológico para o Cenozóico da margem esquerda do Tejo (Tabela 2 e Figura 8), tendo obtido excedentes de 196 mm/ano.

Tabela 2 - Balanço hidrológico no Cenozóico da margem esquerda do Tejo (mm/mês) (adaptado de Simões, 1998).

	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Anual
P	31	63	80	100	97	88	88	57	46	22	5	5	682
ETP	110	72	44	22	20	24	47	61	99	128	161	153	941
dR	-	-	36	64	-	-	-	4	53	43	-	-	-
CC	0	0	36	100	100	100	100	96	43	0	0	0	-
ETR	31	63	44	22	20	24	47	61	99	65	5	5	486
EXC	-	-	-	14	77	64	41	-	-	-	-	-	196
DEF	79	9	-	-	-	-	-	-	-	63	156	148	455

P - precipitação; EVP - evapotranspiração potencial; dR - variação da reserva de água utilizável no solo;  
 CC - capacidade de campo (100 mm); ETR - evapotranspiração real; EXC - excedentes; DEF - défices.

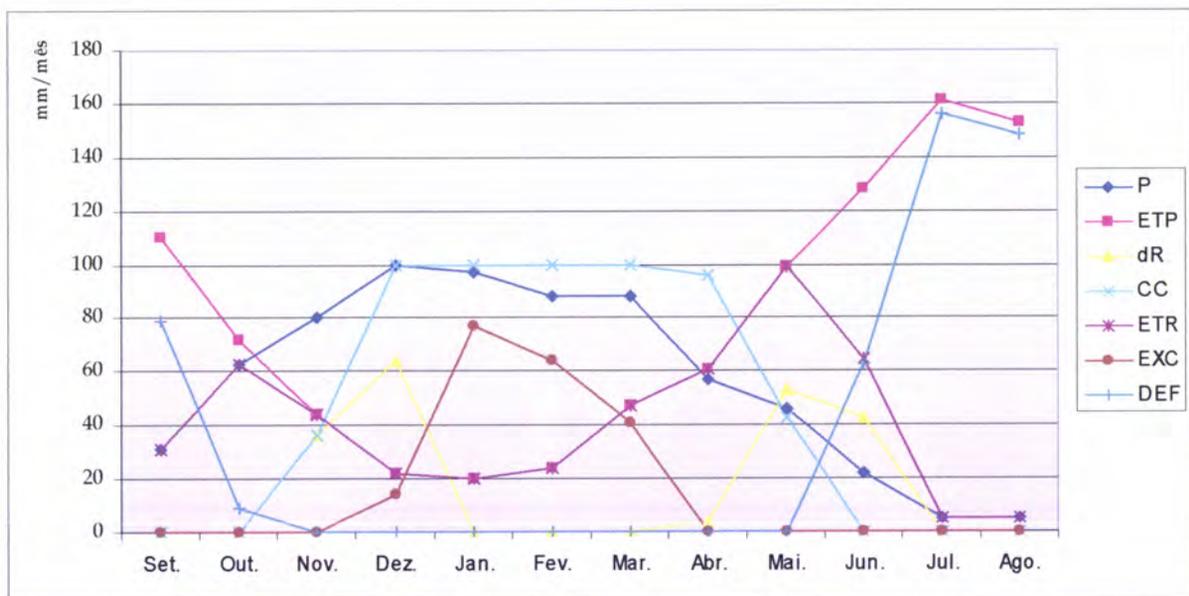


Figura 8 - Balanço hidrológico no Cenozóico da margem esquerda do Tejo.

P - precipitação; EVP - evapotranspiração potencial; dR - variação da reserva de água utilizável no solo;  
 CC - capacidade de campo (100 mm); ETR - evapotranspiração real; EXC - excedentes; DEF - défices.

## 6. Geologia

A geologia de uma região é um factor físico que condiciona de forma primordial a infiltração e circulação das águas subterrâneas.

O Concelho de Montijo localiza-se sobre os terrenos da Bacia Terciária do Tejo-Sado. Esta, constitui uma depressão alongada na direcção NE-SW, marginada a W e N pelas formações Mesóicas da Orla Ocidental, a NE e E pelo Substrato Hercínico e a Sul comunica com o Atlântico, na Península de Setúbal.

O enchimento é constituído por Depósitos Paleogénicos, Miocénicos e Pliocénicos, recobertos em quase toda a área por Depósitos Quaternários (Almeida *et. al.*, 2000).

O Paleogénico é constituído por arcoses, depósitos conglomeráticos, arenitos arcósicos e argilitos e calcários margosos.

O Miocénico é caracterizado por depósitos continentais alternados por outros marinhos, característicos de uma alargada planície aluvial, em forma de estuário, aberta ao Oceano (entre as Serras de Sintra e da Arrábida) e sujeita a transgressões e regressões do mar.

O Pliocénico é constituído quase exclusivamente por areias, com intercalações lenticulares de argilas. Estes sedimentos, que afloram em grande parte da área do sistema, são de origem fluvial, constituindo uma espessa série, essencialmente arenosa.

Associados com a rede hidrográfica do Tejo, ocorrem depósitos de terraços e de aluviões Modernas.

Na Figura 9 pode ser observado o enquadramento geológico do Concelho de Montijo, com base na carta geológica de Portugal à escala 1:500000 (Oliveira *et al.*, 1992).

A caracterização geológica que a seguir se apresenta tem como base a cartografia geológica à escala 1:50000, baseada nas notícias explicativas correspondentes às cartas geológicas representadas no Concelho. A relação com a geologia à escala 1:500000 representada na figura não é explícita, pelo que importa referir algumas correspondências.

As camadas de Alfeite (PAF), que surgem representadas na zona Oeste do Concelho, correspondem essencialmente à Formação de Santa Marta (P<sub>SM</sub>), descrita na notícia explicativa da carta geológica 34-D de Lisboa (Pais *et al.*, 2006).

Os arenitos do Ulme (PU), largamente representados na zona Este do Concelho e as Argilas de Tomar (MT), surgem descritos nas notícias explicativas das cartas 34-C de Santo Isidro de Pegões (Zbyszewski *et al.*, 1968) e 35-A de Santo Estêvão (Zbyszewski *et al.*, 1969) como complexo Greso-argiloso de Pegões e complexo Argilo-gresoso de Coruche ou Bombel.

As formações do Moderno, Holocénico e Plistocénico, a seguir descritas, correspondem a dunas, aluviões, terraços arenosos e areias e cascalheiras representados na figura.

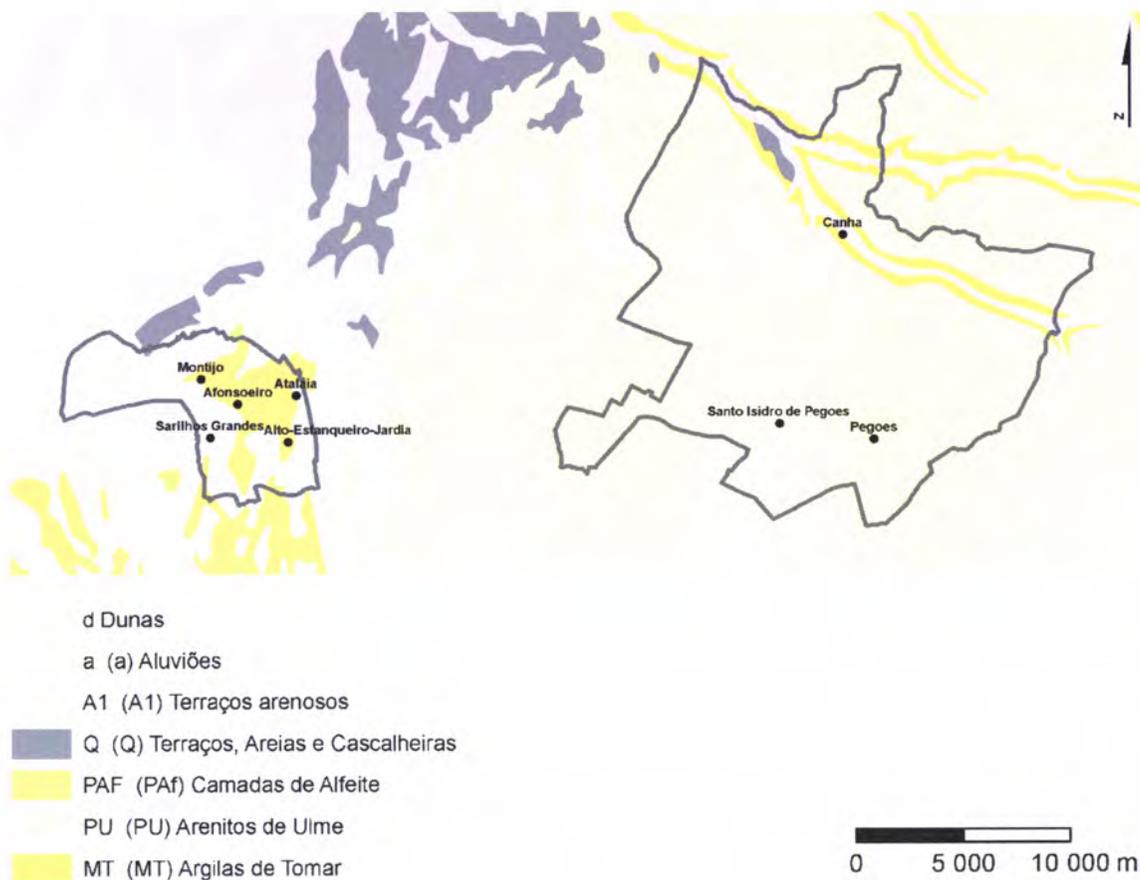


Figura 9 - Enquadramento geológico (baseado na Carta Geológica de Portugal à escala 1:500 000).

A região Oeste do Concelho é a seguir caracterizada geologicamente através da folha 34-D de Lisboa e respectiva notícia explicativa (Pais *et al.*, 2006).

## Holocénico

### d – dunas

Ocorrem a norte dos terrenos da base aérea de Montijo, na faixa litoral.

### Ap – areias de praia

Estão representadas numa faixa contínua no litoral a norte dos terrenos da base aérea de Montijo.

### **a - aluviões e/ou aterros**

Ocorrem ao longo das principais linhas de água, com espessura muito variável, com alguma extensão no Concelho de Montijo. Sondagens efectuadas no leito do Tejo indicam espessuras de 58 m.

## **Plistocénico**

### **Q<sub>MF</sub> - Formação de Marco Furado**

Trata-se de uma unidade conglomerática com matriz areno-argilosa, vermelha. Atinge 30 a 40 m de espessura. Os clastos, angulosos, são predominantemente de quartzo, mas ocorrem quartzitos, jaspes, sílex e xistos.

São frequentes os encouraçamentos ferruginosos, particularmente para o topo.

### **Q<sub>f</sub> - Depósitos de terraços marinhos**

Terraços fluviais estão representados próximo de Alcochete, constituindo uma banda paralela ao Tejo, e nas proximidades da Vala Real.

## **Pliocénico**

### **P<sub>SM</sub> - Formação de Santa Marta**

As areias de Santa Marta estão largamente representadas no território Oeste do Concelho de Montijo. Na base ocorrem conglomerados pouco espessos, descontínuos. Seguem-se areias finas a grosseiras, quase sempre arcósicas, frequentemente com estratificação entrecruzada e/ou estruturas convolutas, fluviais. A cor é variável desde o branco até ao vermelho e amarelo. Os fundos de canal estão atapetados por leitos de calhaus muito rolados, alguns de rochas ígneas. No seio das areias ocorrem blocos isolados de arenitos cretácicos e nódulos de sílex. Atingem cerca de 320 m de espessura em Pinhal Novo, mas na faixa litoral não ultrapassam os 50 m.

As notícias explicativas das folhas 35-A de Santo Estêvão (Zbyszewski *et al.*, 1969) e 35-C de Santo Isidro de Pegões (Zbyszewski *et al.*, 1968) permitem efectuar, para o território Este do Concelho, a caracterização litológica que a seguir se descreve.

## **Moderno**

### **a - Aluviões modernas**

São distribuídas ao longo das principais linhas de água e a sua espessura varia conforme a posição geográfica, não ultrapassando em geral os 10 metros.

## **Plistocénico**

### **As - Areias superficiais de vales e de terraços**

Trata-se por vezes de areias eólicas, mas sobretudo de areias provenientes da lavagem das vertentes e da desagregação das formações greso-arenosas miocénicas e pliocénicas.

### **Q - Cascalheiras e terraços**

São representados por areias e cascalheiras de antigos terraços, que se observam ao longo das principais linhas de água da região.

## **Pliocénico**

### **P- Complexo greso-argiloso de Pegões**

Os afloramentos deste complexo cobrem praticamente 2/3 da área Este do Concelho de Montijo. É no planalto de Pegões que o referido complexo apresenta as suas principais características.

Estudos baseados em sondagens e observações do terreno permitem estabelecer a seguinte sucessão (de cima para baixo):

- 8 - Grés argilosos, amarelo-esverdeados e acinzentados (espessura superior a 3 m);
- 7 - Argilas arenosas, amarelo-esverdeadas (3 m);
- 6 - Areias amarelo-acastanhadas (2 m);
- 5 - Grés argilosos, cinzentos, amarelos, acastanhados, com intercalações de argilas acastanhadas, ferruginosas (2 a 7 m);
- 4 - Areias acastanhadas, amarelas, rosadas, com seixos e, por vezes, com níveis gresosos avermelhados, ferruginosos (1 a 2 m);
- 3 - Argilas ferruginosas, cinzentas, esverdeadas (1 a 6 m);
- 2 - Grés argilosos amarelos, acastanhados, ferruginosos, brancos, esverdeados (2,5 a 6 m);

1 - Areias feldspáticas, argilas, amarelas, acastanhadas, brancas, castanho-avermelhadas, por vezes com seixos (2,5 a 16 m).

As referidas formações mostram fortes variações laterais, apresentando-se frequentemente com aspecto lenticular e com estratificação entrecruzada.

A sua espessura varia, na área do planalto de Pegões, entre 17 e 45 metros.

### **Pliocénico e Miocénico indiferenciados**

#### **MP - Complexo argilo-gresoso de Coruche**

Esta formação, referida na carta 35-C como complexo argilo-gresoso de Bombel, ocupa essencialmente a zona a Norte e Este deste território do Concelho, e trata-se de um complexo sobretudo de origem continental, em que se torna difícil a separação entre o Pliocénico e o Miocénico, devido à falta de fósseis.

A N de Canha, nas encostas que descem da Arriça para o rio Almansor, no flanco direito do vale daquele rio, a sucessão observada é sensivelmente a seguinte, de cima para baixo:

5- Grés grosseiros, argilosos, muito feldspáticos, acinzentados, com laivos amarelos ou avermelhados;

4 - Argila castanha com laivos amarelos (6 a 7 m);

3 - Grés muito argiloso, castanho avermelhado (4 a 5 m);

2 - Argila muito arenosa, castanho-amarelada com laivos avermelhados, com algumas intercalações gresosas;

1 - Grés grosseiro, castanho claro, por vezes, amarelado, com seixos mal rolados e algumas intercalações argilosas.

A influenciar a tectónica da região existem dois factores importantes, nomeadamente:

a) a proximidade do Maciço Antigo, que aflora na região a E de Vendas Novas, cujas formações apresentam uma orientação sensivelmente NW-SE;

b) a presença entre Palmela, Pinhal Novo e Alcochete, de um grande alinhamento diapírico que provocou um ligeiro levantamento das camadas terciárias.

Nesta área é difícil evidenciar a presença de falhas, devido ao terreno arenoso, muito coberto. No entanto foram observadas algumas falhas de orientação NNW-SSE.

## **7. Hidrogeologia**

### **7.1. Enquadramento**

A Bacia Terciária do Baixo Tejo integra o maior sistema aquífero do Território Nacional, os seus recursos hídricos subterrâneos constituem um importantíssimo factor de desenvolvimento, assegurando numerosos abastecimentos urbanos, industriais e agrícolas.

Esta unidade pode dividir-se em duas sub-unidades: a sub-unidade da Bacia Terciária do Baixo Tejo, que integra três sistemas aquíferos, nomeadamente o Sistema Aluvionar do Tejo, a Margem Direita e a Margem Esquerda, e a sub-unidade da Bacia de Alvalade.

Segundo Almeida *et al.* (2000), as aluviões do Tejo são áreas de descarga dos sistemas aquíferos da Margem Direita e Esquerda. O mesmo autor sugere que, uma vez que o Tejo é o eixo drenante principal da bacia, é provável que constitua uma divisória hidráulica, que justifique a separação entre estes dois sistemas aquíferos. As diferenças nos ambientes de sedimentação e a falha do Tejo são outros factores que justificam a referida separação.

Hidrogeologicamente o Concelho de Montijo desenvolve-se sobre o sistema aquífero da Bacia do Tejo-Sado/Margem Esquerda (T3). A Figura 10 refere-se ao enquadramento hidrogeológico do Concelho de Montijo.

Trata-se de um sistema multiaquífero (poroso), livre, confinado, ou semi-confinado, em que as variações laterais e verticais de fácies são responsáveis por mudanças significativas nas condições hidrogeológicas. A passagem das formações continentais Miocénicas para as marinhas é gradual. Desta complexidade litológica e estrutural, resulta um conjunto alternante de camadas aquíferas separadas por aquitardos e aquiclusos (baixa permeabilidade).

As características do sistema variam em função da importância das camadas Pliocénicas bem como da constituição e espessura das camadas Miocénicas.

Segundo Almeida *et al.* (2000), na Península de Setúbal o sistema aquífero é constituído por um aquífero superior livre instalado nas camadas arenosas do topo do Pliocénico e nos depósitos detríticos mais recentes, sobrejacente a um aquífero confinado, multicamada, que tem por suporte as camadas da base do Pliocénico e as camadas areníticas, calcoareníticas e margosas do Miocénico médio a superior.

A maior profundidade, depois de uma espessa sequência essencialmente margosa, existe outro aquífero confinado, também multicamada, tendo por suporte formações greso-

calcárias da base do Miocénico. Este último, pela sua menor produtividade e inferior qualidade das suas águas, tem sido pouco explorado.

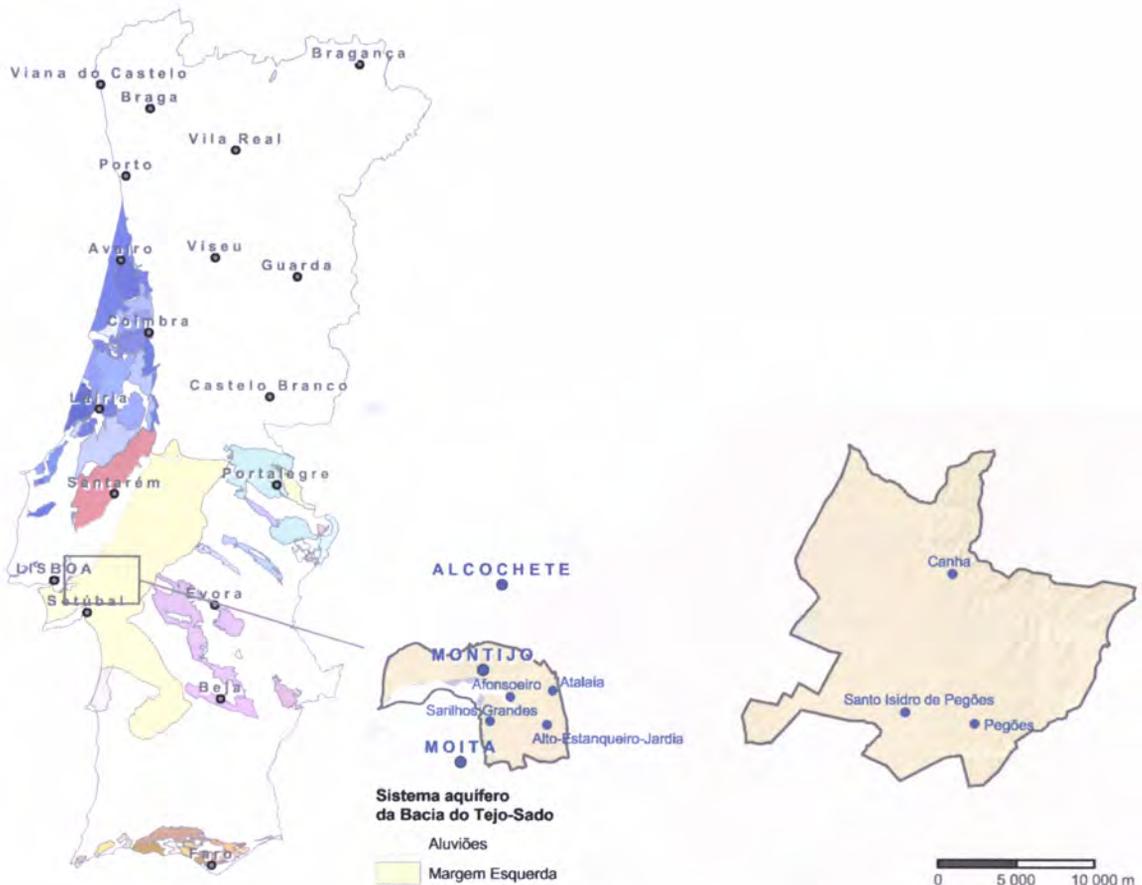


Figura 10 - Enquadramento hidrogeológico do Concelho de Montijo.

A recarga é feita por infiltração directa nos depósitos detríticos pliocénicos ou quaternários que cedem parte desta infiltração às formações mais profundas do Pliocénico e Miocénico. A recarga no Miocénico é feita por drenância, quer em regime natural, quer induzida por exploração intensiva, das formações suprajacentes e por infiltração directa, quer da precipitação quer de cursos de água, nas áreas onde afloram (Almeida *et al.*, 2000).

A maior parte do abastecimento de água para consumo humano, indústria e agricultura é de origem subterrânea e captada no aquífero intermédio, o que faz com que exista uma grande concentração de furos nas zonas urbanas e perímetros industriais. A produtividade destas formações é de uma forma geral elevada.

As captações de abastecimento público do Concelho de Montijo captam exclusivamente o aquífero confinado imediatamente abaixo do aquífero livre.

## 7.2. Piezometria e Sentido do Fluxo

O conhecimento do gradiente hidráulico e sentido do fluxo da água subterrânea é um factor essencial para a delimitação do perímetro de protecção às captações. Uma correcta definição destes valores para as captações, não só optimiza a aproximação do perímetro calculado à sua morfologia real, mas também evita a limitação do uso do solo em terrenos que à partida não interferem com a qualidade da água que afluí à captação.

Neste sentido, foi efectuada uma campanha de medição da profundidade do nível da água em 11 captações de abastecimento público do Concelho e numa captação desactivada, todas elas a captar exclusivamente o aquífero confinado. A medição dos níveis nestas captações foi possível uma vez que todas elas possuem instalados tubos piezométricos, que permitem a introdução de uma sonda de nível com segurança.

A campanha realizada foi programada de modo a que, aquando da medição, a captação se encontrasse em repouso o tempo suficiente para a recuperação total dos níveis.

A conversão dos valores de profundidade do nível da água para nível piezométrico, teve em consideração a carta topográfica do Concelho à escala 1/10 000.

A Tabela 3 refere-se aos valores recolhidos na campanha de medição da profundidade do nível da água (NHE), a cota do furo relativamente ao nível médio da água do mar e o nível piezométrico.

Tabela 3 – Nível piezométrico com base na campanha de medição do nível hidrostático nas captações.

Sistema de Abastecimento	Captação	Tipo de captação	Carta Topográfica	M (m)	P(m)	data	NHE(m)	Cota do terreno (m)	Nível piezométrico (m)
Montijo	F26	furo	432	127175	194862	27-11-2009	26,5	19,4	-7,1
	F21	furo	432	127060	194163	27-11-2009	24,3	15,1	-9,2
	Barrão	furo	432	130278	194379	12-12-2009	53,56	46	-7,56
Pau Queimado/ Atalaia	F22	furo	432	130418	191864	17-11-2009	56,35	42,6	-13,75
	F30	furo	432	129395	191395	12-12-2009	23,9	14,2	-9,7
	F27	furo	432	128307	193504	12-12-2009	16,76	7,8	-8,96
Sarilhos Grandes	F3	furo	432	127671	190767	27-11-2009	12,35	10,7	-1,65
Pegões	F24	furo	434	158033	190386	24-11-2009	66,3	96,6	30,3
Afonso	F11	furo	434	160997	190235	24-11-2009	73,23	111,2	37,97
	F25	furo	434	161001	190275	24-11-2009	75,72	112	36,28
Taipadas	F28	furo	434	153667	197612	24-11-2009	54,6	76,1	21,5
Faixas	F29	furo	433	146304	191897	24-11-2009	27,43	42,4	14,97

Posteriormente ao cálculo dos níveis piezométricos para as captações, foi feito um estudo expedito para conhecimento da sua correlação espacial. Deste estudo, obtiveram-se os seguintes valores para o variograma e modelo do tipo esférico:

- Amplitude: 33287m
- Patamar: 434,56
- Efeito pepita: 0

Pela análise da validação cruzada (Figura 11), conclui-se que estes parâmetros permitem uma boa aproximação entre os valores estimados e observados. A menor correlação entre os valores medidos e estimados (níveis piezométricos negativos) está associada às captações localizadas na área urbana do Montijo, onde a interferência de outras captações é expectável.

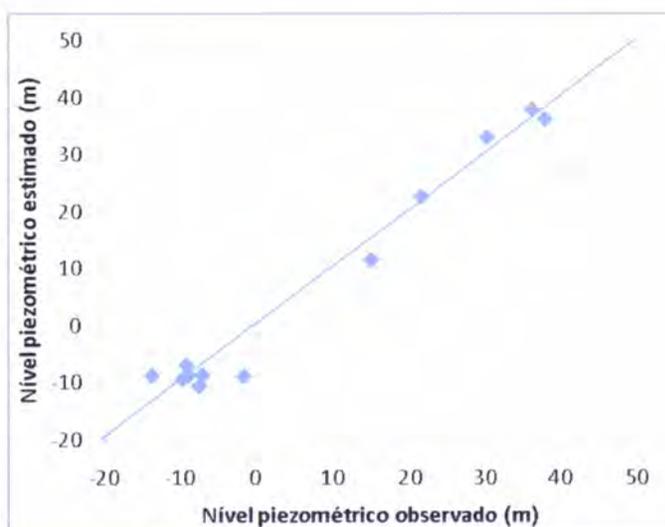


Figura 11 - Validação cruzada do resultado da interpolação.

Após a validação dos resultados, estes parâmetros serviram de base à interpolação dos valores dos níveis piezométricos por krigagem ordinária sem anisotropia, resultando daí o mapa de isopiezas para o aquífero no Concelho (Figura 12). Nesta figura estão também representadas as linhas ilustrativas dos principais sentidos de fluxo.

Pela análise da figura, verificam-se dois comportamentos distintos da superfície piezométrica. Uma região em que o fluxo tem sentido E-W, globalmente coincidente com o sentido das linhas de água que drenam para o Tejo, podendo ser considerado como o fluxo natural do aquífero. E uma segunda área onde é evidente uma inflexão do fluxo para a área

mais urbana do Concelho, indicando uma interferência das explorações no sentido de fluxo natural.

Esta inflexão obrigará a que os perímetros delimitados entre esta e o Rio Tejo tenham o seu eixo maior a Oeste da captação.

Ao gradiente produzido pela diferença de nível entre dois pontos de uma superfície de água chamam-se gradiente hidráulico. Para o seu cálculo considera-se a maior variação de piezometria entre a célula onde está localizada a captação e as oito células vizinhas, tendo por base as isopiezas representadas na Figura 12.

Na Tabela 4 são apresentados os valores do gradiente hidráulico (i) e direcções de fluxo (azimute do vector gradiente).

Tabela 4 - Gradiente hidráulico e direcção do fluxo nas captações de abastecimento público do Concelho.

Sistema de Abastecimento	Captação (designação)	Gradiente Hidraulico (i)	Direcção (°) (azimute do vector gradiente)
Montijo	F19	0,00047	243
	F26	0,00203	348
	F21	0,00122	331
	F2	0,0013	258
	F15	0,00208	243
Pau Queimado/Atalaia	F22	0,00106	230
	F30	0,00393	240
	F27	0,00055	261
Sarilhos Grandes	F3	0,00253	231
Canha	F23	0,00066	122
Pegões	F24	0,00182	103
Afonso	F11	0,0015	167
	F25	0,0015	167
Santo Isidro de Pegões	F12	0,0013	101
	F17	0,0013	101
Taipadas	F28	0,00118	118
Faixas	F29	0,00161	97

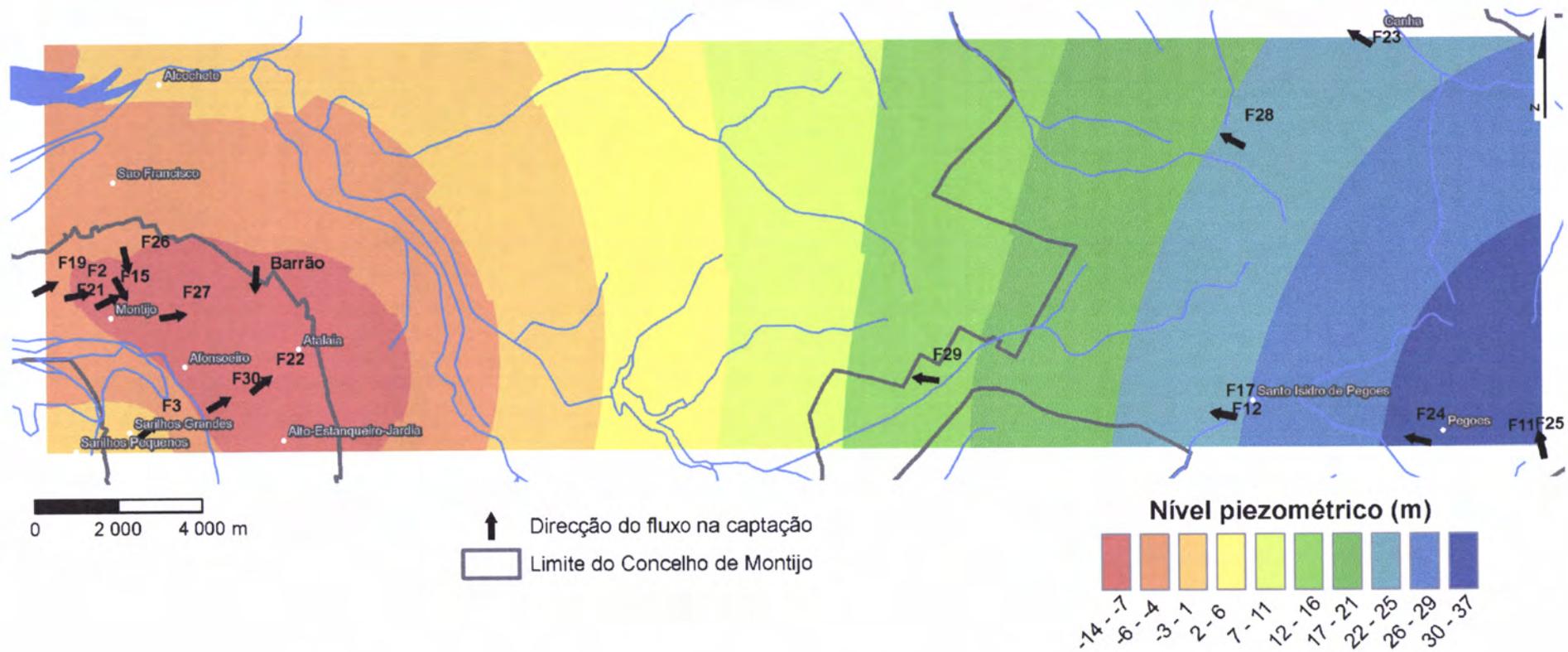


Figura 12 - Piezometria e sentido do fluxo subterrâneo nas captações em estudo.

## **8. Sistemas de Abastecimento Público de Água no Concelho de Montijo**

### **8.1. Considerações Gerais**

O Concelho de Montijo é exclusivamente abastecido por águas subterrâneas, com origem em dezassete captações, tipo furo, que se dividem por nove sistemas de abastecimento e suprimem as necessidades de cerca de 40.263 habitantes, que corresponde a 97% da população total do Concelho, captando um total de 4.418.049 m<sup>3</sup>/ano.

O facto do território Este apresentar uma extensa área geográfica com pequenos núcleos urbanos dispersos faz com se tenha optado pela construção de seis pequenos sistemas de abastecimento junto aos principais aglomerados populacionais.

A zona Oeste apresenta uma maior concentração da população permitindo a existência de apenas três sistemas de abastecimento de maior capacidade e dimensão.

A Figura 13 e Figura 14 apresentam a localização geográfica e principais constituintes dos vários sistemas de abastecimento público de água do Concelho. Na Figura 15 e é possível visualizar as principais infra-estruturas de saneamento, respectivamente na zona Oeste e Este do Concelho.

Os sistemas de abastecimento público de Montijo, Pau Queimado/Atalaia e Sarilhos Grandes servem toda a zona Oeste do Concelho, enquanto os sistemas de Faias, Santo Isidro de Pegões, Pegões, Afonsos, Taipadas e Canha abastecem a zona Este.

Os sistemas a Oeste distinguem-se dos da zona Este essencialmente em termos de volumes distribuídos e população abastecida, uma vez que os primeiros são responsáveis pelo abastecimento de cerca de 88% da população servida no Concelho.

Na Figura 17 é possível observar a população com cobertura de rede de abastecimento público nos vários sistemas do Concelho. Na Figura 18 pode ser observada a representatividade dos sistemas no que se refere a volumes de água captados.

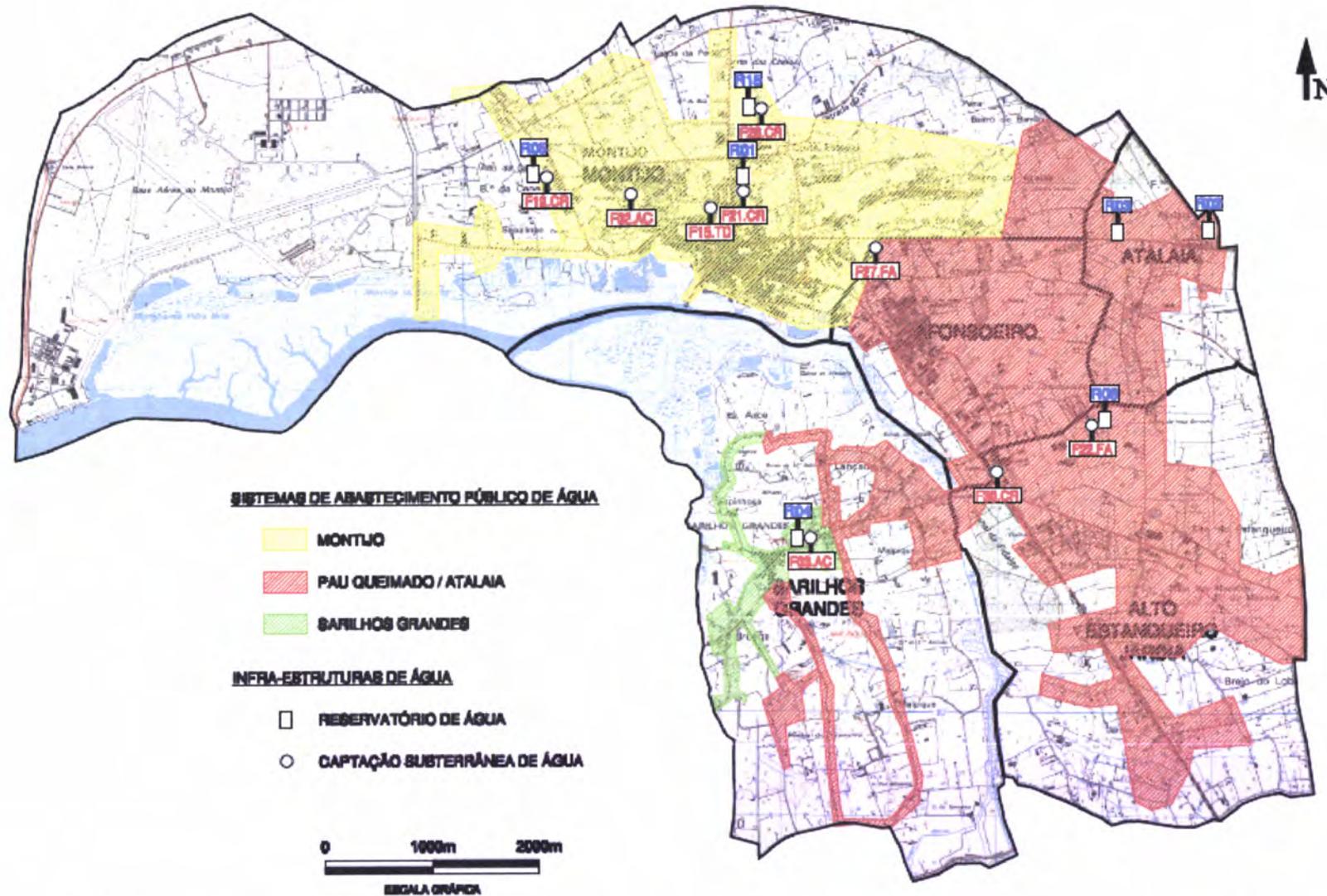


Figura 13 – Localização geográfica dos sistemas de abastecimento público a Oeste do Concelho de Montijo e principais infra-estruturas de água associadas.

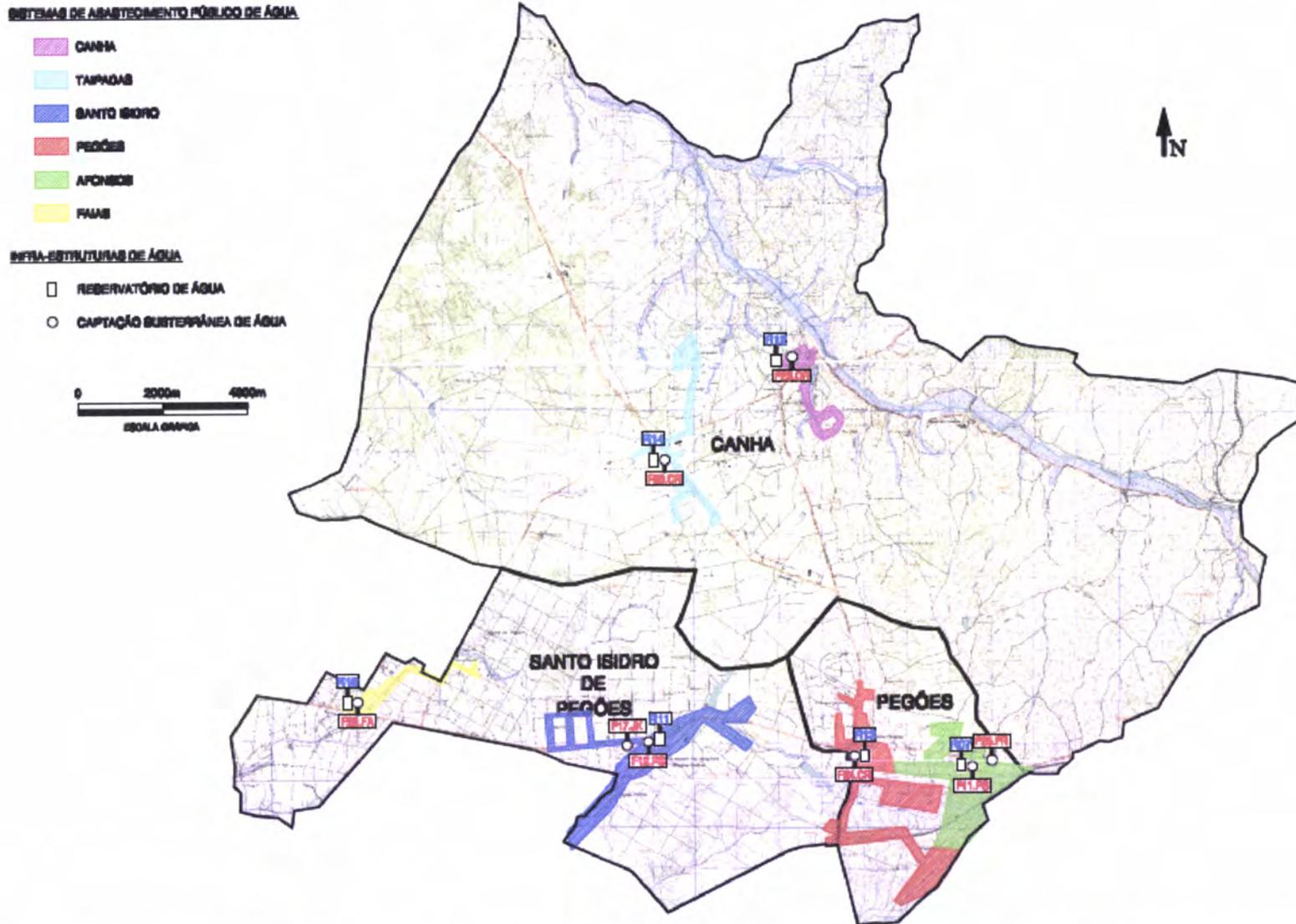


Figura 14 - Localização geográfica dos sistemas de abastecimento público a Este do Concelho de Montijo e principais infra-estruturas de água associadas.

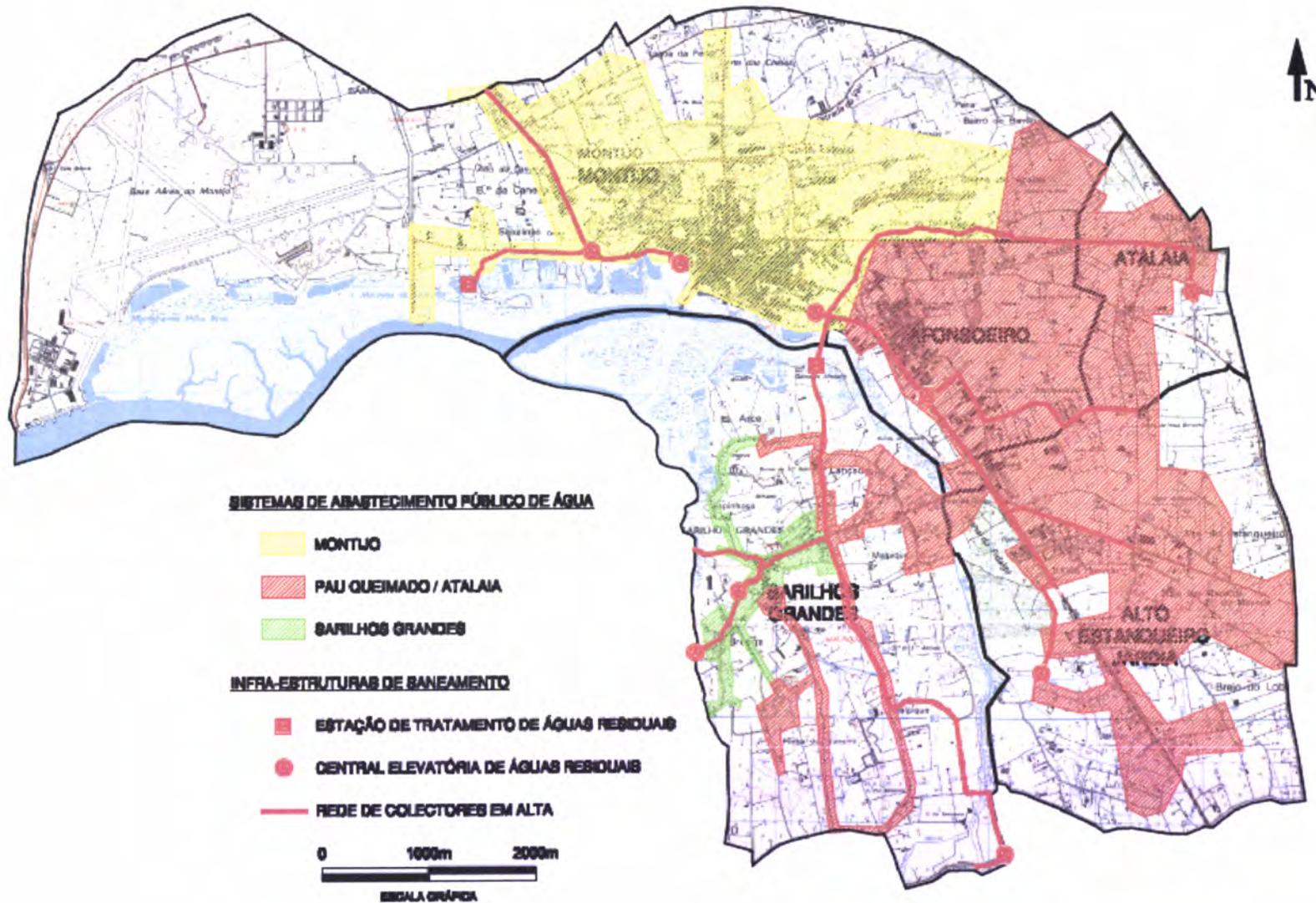


Figura 15 - Principais infra-estruturas de saneamento (zona Oeste).

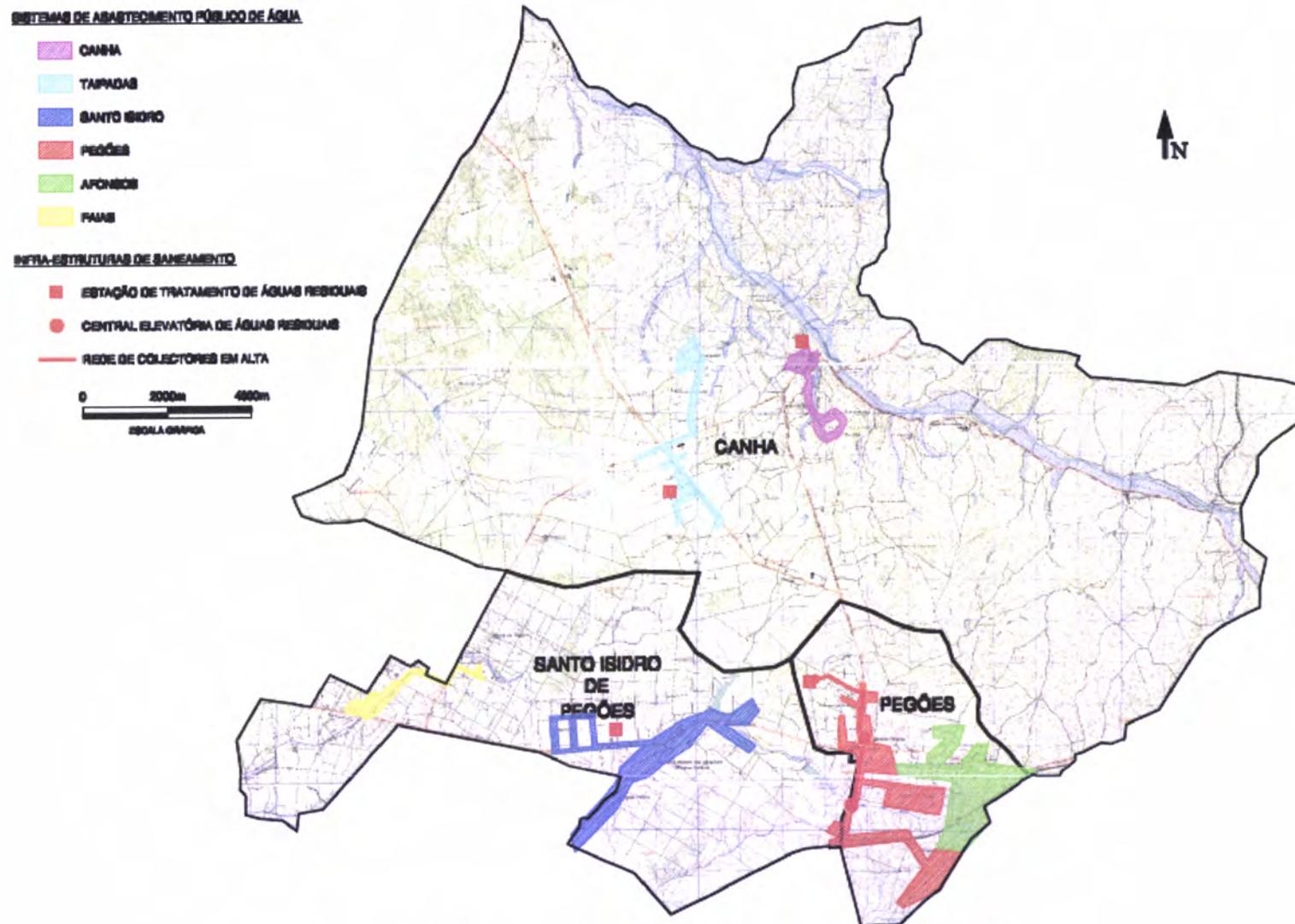


Figura 16 - Principais infra-estruturas de saneamento (zona Este).

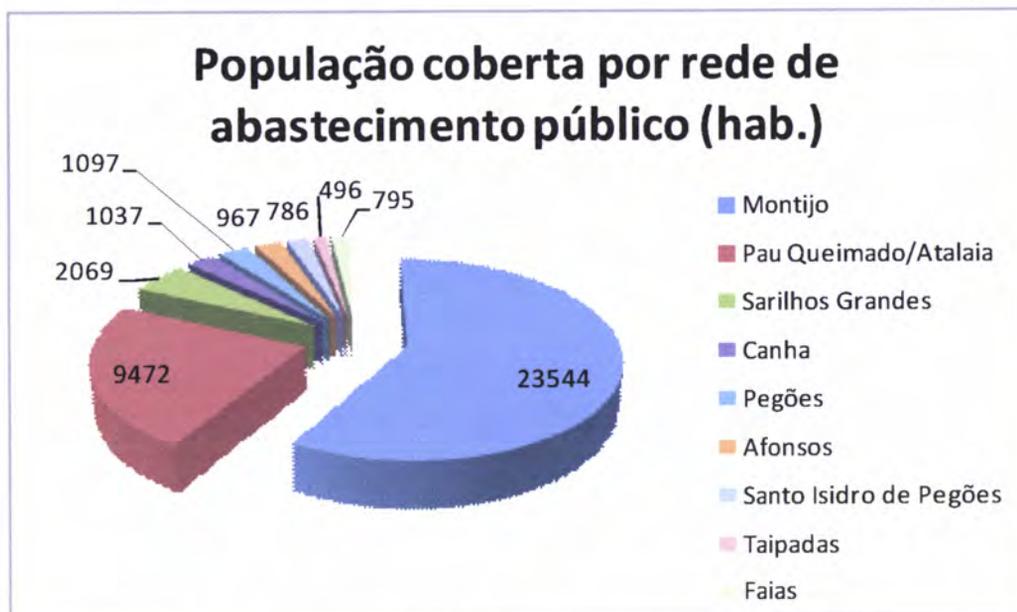


Figura 17 - Contributo dos sistemas de abastecimento público de água na cobertura de rede à população.

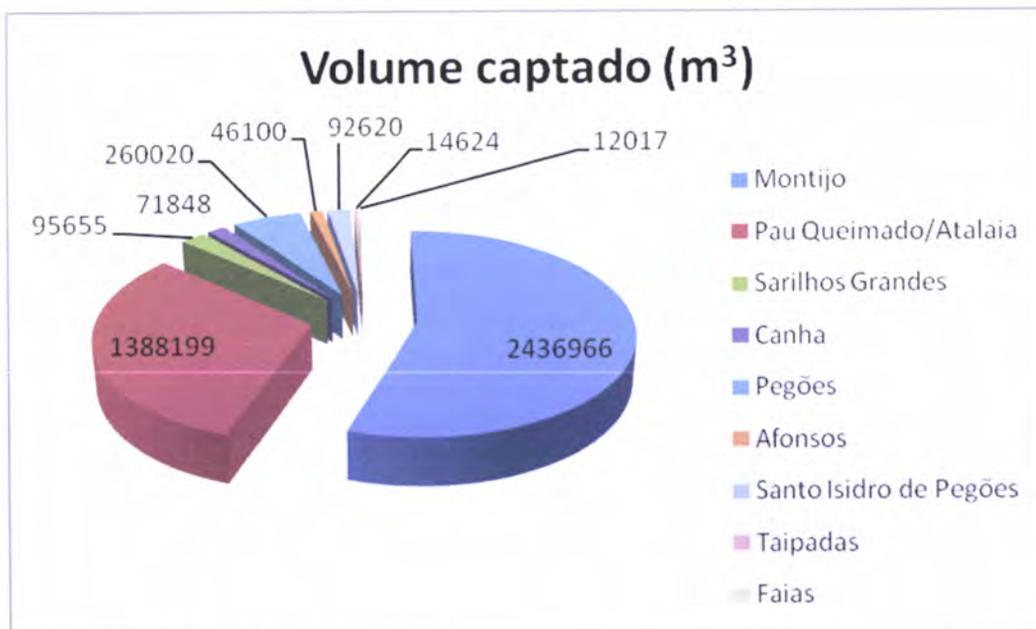


Figura 18 - Contributo dos sistemas de abastecimento público de água na totalidade dos volumes captados.

Na Tabela 5 são referidas as principais características, captações e infra-estruturas associadas a cada um dos sistemas de abastecimento público.

Tabela 5 – Principais características dos sistemas de abastecimento de água no Concelho de Montijo (dados da entidade gestora, ano 2008).

Sistema de Abastecimento	População coberta (hab.)	População atendida (hab.)	Freguesias abrangidas	Captações	Infra-estruturas a jusante	Volumes distribuídos (m <sup>3</sup> /ano)		Captações (L./hab./dia)
						por captação	por sistema	
Montijo	23544	23544	Montijo	F19	ponto de cloragem, reservatório 5, rede de abastecimento	183416	2436966	284
				F26	ponto de cloragem, reservatório 15, rede de abastecimento	1118142		
				F21	ponto de cloragem, reservatório 1, hidropressora, rede de abastecimento	722076		
				F2	ponto de cloragem, rede de abastecimento	187549		
				F15	ponto de cloragem, rede de abastecimento	225783		
Pau Queimado/Atalaia	9472	9472	Montijo, Alto Estanqueiro/Jardia, Afonsoeiro, Atalaia e Sarilhos Grandes	F22	ponto de cloragem, reservatório 6, rede de abastecimento/ adutora distribuidora, reservatórios 2 e 3	938411	1388199	402
				F30	ponto de cloragem, reservatório 6, rede de abastecimento/ adutora distribuidora, reservatórios 2 e 3	449788		
				F27	ponto de cloragem, rede de abastecimento (aguarda entrada em serviço)	0		
Sarilhos Grandes	2069	2069	Sarilhos Grandes	F3	ponto de cloragem, reservatório 4, hidropressora, rede de abastecimento	95655	95655	127
Canha	1037	1037	Canha	F23	ponto de cloragem, reservatório 12, rede de abastecimento	71848	71848	190
Pegões	1097	1097	Pegões e Santo Isidro de Pegões	F24	ponto de cloragem, reservatório 13, rede de abastecimento	260020	260020	649
Afonso	967	967	Pegões	F11	ponto de cloragem, reservatório 7, rede de abastecimento	22500	46100	131
				F25	ponto de cloragem, reservatório 7, rede de abastecimento	23600		
Santo Isidro de Pegões	786	786	Santo Isidro de Pegões	F12	ponto de cloragem, reservatório 11, rede de abastecimento	46310	92620	323
				F17	ponto de cloragem, reservatório 11, rede de abastecimento	46310		
Taipadas	496	200	Canha	F28	ponto de cloragem, reservatório 14, rede de abastecimento	14624	14624	200
Faias	795	100	Santo Isidro de Pegões	F29	ponto de cloragem, reservatório 16, rede de abastecimento	12017	12017	329
<b>Totais</b>	<b>40263</b>	<b>39272</b>					<b>4418049</b>	<b>308</b>

Os valores de população coberta referem-se aos habitantes com possibilidade de ligação à rede de abastecimento público. Este valor, nos sistemas de Taipadas e Faias, diferem da população atendida, uma vez que existe uma fraca aderência ao serviço público. Para os restantes sistemas considerou-se uma equivalência entre as duas populações, no entanto na zona rural os valores de atendimento estão por certo abaixo da população com cobertura, sendo no entanto bastante difícil estimar esta diferença com base nos dados disponíveis. A população que habita a zona Este do Concelho, devido a hábitos já enraizados, e ao facto de

muitas habitações possuem captações particulares, continua a preferir o consumo de água de furos e poços próprios.

De referir é também o facto do volume distribuído não ser o efectivamente consumido pela população uma vez que se encontram também aqui contabilizadas as descargas efectuadas na rede por razões de manutenção da mesma. Nos sistemas mais pequenos, em que os consumos são muito baixos, os volumes associados às descargas na rede são consideráveis e contribuem por certo para valores de capitações acima da realidade.

O valor anómalo de capitação para o sistema de Pegões poderá ser explicado por obras de reestruturação no sistema no ano a que se referem estes valores, nomeadamente a construção de uma nova captação e reservatório que substituíram as infra-estruturas existentes.

O sistema do Pau Queimado/Atalaia apresenta também valores elevados de capitações que se poderão atribuir aos elevados consumos da zona comercial e industrial abastecidas por este sistema.

O valor de capitação calculado para a totalidade do Concelho é de 308 L/hab./dia.

Se no cálculo da capitação tivermos apenas em conta o valor de 3555031 m<sup>3</sup> correspondente ao volume facturado na totalidade do Concelho em 2008 (dados da entidade gestora), obtemos uma capitação média de 248 L/hab./dia. Comparando o volume captado com o volume facturado podemos considerar um valor de perdas na rede de 21%, valor este que contabiliza também regas de espaços verdes sem contador e descargas na rede por motivos de manutenção da mesma.

## **8.2. Características Técnicas das Captações**

As características técnicas das captações de abastecimento público, são apresentadas na Tabela 6 e baseiam-se nos relatórios técnicos dos sondadores. Para a captação F15 não foi possível obter informações quanto às suas características, uma vez que não foi encontrado qualquer relatório técnico.

A projecção espacial dos log's de sondagem com a identificação das principais litologias atravessadas e posição dos tubos ralos pode ser observada na Figura 19.

Verifica-se que, de uma maneira geral, as captações atravessam espessas camadas de areias e argilas atingindo por vezes margas e calcários.

A captação F24 do sistema de Pegões atravessa uma zona de calcários, responsáveis pelas características de qualidade da água bastante diferentes das encontradas nas restantes captações da zona Este.

O conhecimento desta informação é especialmente importante na definição do tipo de sistema aquífero captado (livre ou confinado) e na interpretação dos dados de qualidade da água, tema este que será desenvolvido em capítulo próprio.

Tabela 6 - Características técnicas das captações

Sistema de Abastecimento	Captação (designação)	Carta Topográfica	M (m)	P(m)	Ano de Execução	Empresa de sondagem	Profundidade (m)	Profundidade de entubamento (m)	Diâmetros de entubamento (polegadas)	Posição do tubo ralo (m)	Isolamento (m)
Montijo	F19	432	125251	194219	1999	CBR	252	234	14;8	109,5 a 219,5	0 a 90
	F26	432	127175	194862	2001	CBR	280	252	14;10;8	141 a 248	0 a 112
	F21	432	127060	194163	2000	CBR	265	243	14;10;8	114 a 237	0 a 90
	F2	432	126027	194029	1968	AC	247	234	16;12;10	120,5 a 232,5	0 a 90
	F15	432	126751	193891	1988	-	-	-	-	-	-
Pau Queimado/ Atalaia	F22	432	130418	191864	2000	Furágua	277	257,5	14;8	108 a 256	0 a 90
	F30	432	129395	191395	2003	CBR	290	252	12;8	169,50 a 243,50	0 a 135
	F27	432	128307	193504	2009	Furágua	250	240	14;10;8	145 a 239	0 a 125
Sarihos Grandes	F3	432	127671	190767	1970	AC	126	118,5	10;6	82 a 116,5	0 a 70
Canha	F23	434	156702	200082	2000	CBR	246	231,5	12;8	125 a 230	0 a 109
Pegões	F24	434	158033	190386	2000	CBR	245	222	12;8	105 a 213,5	0 a 88
Afonso	F11	434	160997	190235	1982	Personda	211	187	8	105 a 182	0 a 20
	F25	434	161001	190275	2001	Furágua	200	182	8	105 a 180,5	0 a 80
Santo Isidro de Pegões	F12	434	153423	191018	1989	Personda	165	158,5	8;6	74 a 156,5	0 a 25
	F17	434	153421	190983	1994	J.Keller	154	146,2	8;6	85,20 a 143,10	0 a 45
Taipadas	F28	434	153667	197612	2002	CBR	236	216	12;8	130,5 a 213,5	0 a 106
Faixas	F29	433	146304	191897	2004	Furágua	252	239	14;8	157 a 237,5	0 a 131

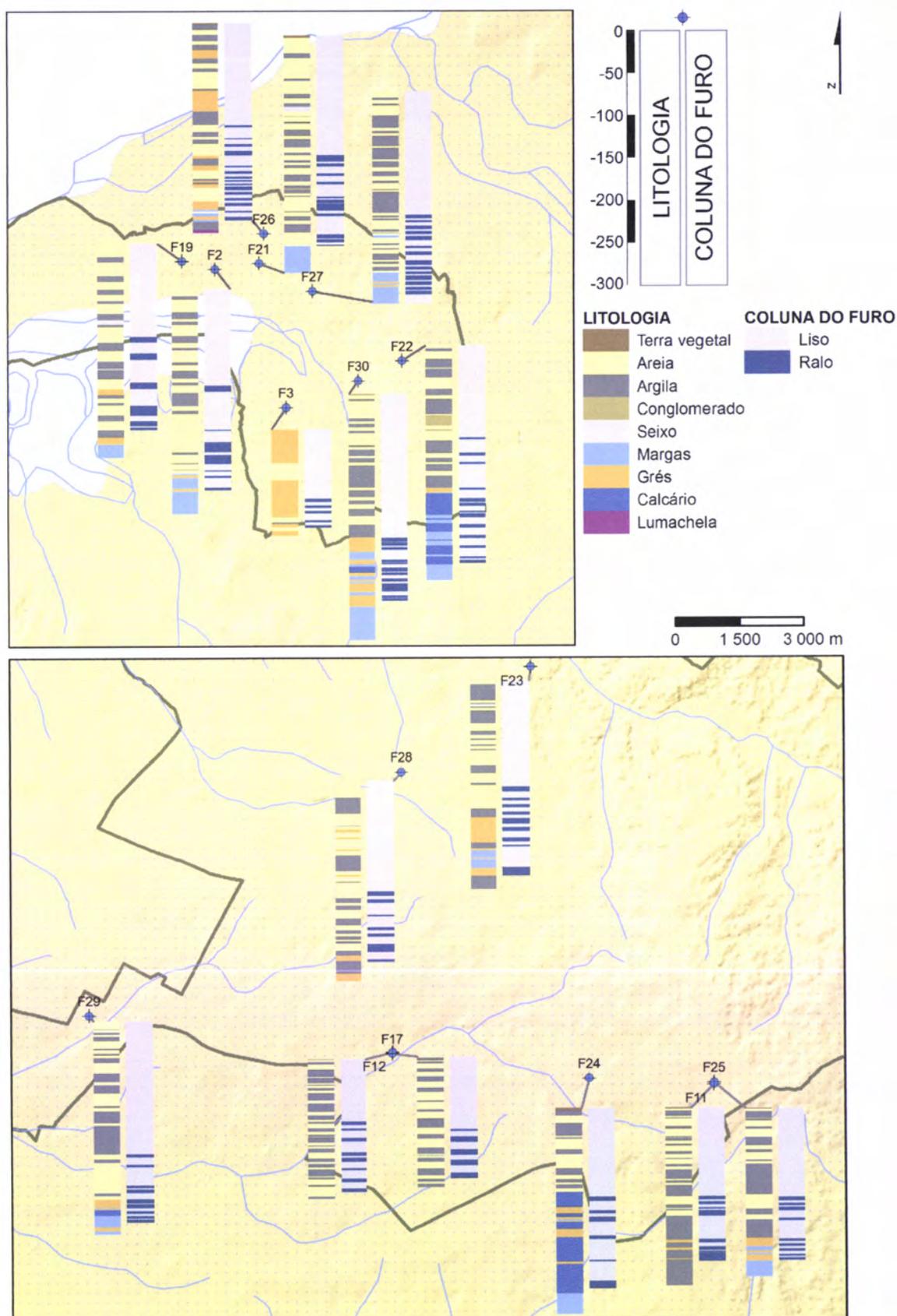


Figura 19 - Projecção espacial dos log's de sondagem das captações de abastecimento público do Concelho de Montijo.

### 8.3. Regime de Exploração actual

As captações de abastecimento público dos sistemas do Concelho de Montijo possuem instalados caudalímetros e contadores horários que permitem conhecer com exactidão o caudal de exploração, volumes captados e horas de funcionamento.

Com base em dados de 2008, fornecidos pela entidade gestora, apresenta-se a tabela resumo dos dados de exploração referentes a cada uma das captações e total por sistema de abastecimento (Tabela 7).

Tabela 7 - Resumo dos dados referentes ao regime de exploração actual.

Sistema de Abastecimento	Captação (designação)	Volumes captados (m <sup>3</sup> /ano)	Horas de trabalho da captação		Caudal de exploração			Volumes captados por sistema de abastecimento (m <sup>3</sup> /ano)
			horas/ano	horas/dia	m <sup>3</sup> /dia	m <sup>3</sup> /h	l/s	
Montijo	F19	183416	908	2,49	502,51	202	56	2436966
	F26	1118142	6120	16,77	3063,40	183	51	
	F21	722076	3621	9,92	1978,29	199	55	
	F2	187549	2424	6,64	513,83	77	21	
	F15	225783	2911	7,98	618,58	78	22	
Pau Queimado/Atalaia	F22	938411	6637	18,18	2570,99	141	39	1388199
	F30	449788	2329	6,38	1232,30	193	54	
	F27*	928800	4300	11,78	2544,66	216	60	
Sarilhos Grandes	F3	95655	1652	4,53	262,07	58	16	95655
Canha	F23	71848	529	1,45	196,84	136	38	71848
Pegões	F24	260020	6584	18,04	712,38	39	11	260020
Afonso	F11	22500	1000	2,74	61,64	23	6	46100
	F25	23600	1000	2,74	64,66	24	7	
Santo Isidro de Pegões	F12	46310	1357	3,72	126,88	34	9	92620
	F17	46310	1149	3,15	126,88	40	11	
Taipadas	F28	14624	90	0,25	40,07	162	45	14624
Faixas	F29	12017	197	0,54	32,92	61	17	12017

\*estimado para o ano de arranque

Para o sistema de abastecimento de Pau Queimado/Atalaia surge referenciada a captação F27 com dados estimados (para o ano de arranque) uma vez que esta ainda não se encontra em funcionamento. O volume contemplado para este sistema não engloba os valores estimados para a referida captação uma vez que se prevê que, com a entrada desta captação em serviço, as outras captações em serviço neste sistema passem a ter menos horas de trabalho. Assim sendo, o volume total captado no sistema não sofrerá alterações significativas.

### 8.4. Parâmetros Hidráulicos

O conhecimento do comportamento hidráulico de um aquífero através da determinação de parâmetros hidráulicos constitui um importante requisito em qualquer estudo

hidrogeológico, sendo uma ferramenta essencial na delimitação de perímetros de protecção de captações subterrâneas.

O recurso a ensaios de caudal permite caracterizar localmente de forma eficaz alguns dos parâmetros hidráulicos. Um ensaio de caudal é um ensaio realizado em condições controladas cujo objectivo pode ser estabelecer as características do aquífero, conhecer o funcionamento da captação ou a sua correcta construção.

Os ensaios de caudal, em que as observações são unicamente feitas na captação em extracção, permitem conhecer a sua eficiência e algumas das características do aquífero, bem como traçar a curva característica. No entanto, para uma maior precisão dos dados obtidos é conveniente que as observações sejam efectuadas noutros pontos, podendo estes ser captações nas proximidades ou piezómetros propositadamente construídos para o efeito.

Os valores obtidos na própria captação são muitas vezes influenciados pelas perdas de carga na mesma e pelas alterações do aquífero nas imediações da captação, nomeadamente desprendimentos de terreno, existência de zonas mais permeáveis por efeito do desenvolvimento da captação e ainda porque o diâmetro eficaz não coincide com o diâmetro de perfuração.

Para 16 das 17 captações estudadas foi possível reunir relatórios técnicos onde constam os dados de ensaios de caudal realizados após a execução da obra. Os dados do ensaio são referentes a medições na própria captação com excepção do ensaio realizado na captação F3 (sistema de abastecimento de Sarilhos Grandes), que possui medições efectuadas em piezómetro.

A representação gráfica dos ensaios de caudal é a seguir apresentada para cada uma das captações estudadas, com excepção da captação F15 (sem dados).

Para a interpretação dos ensaios de caudal foi utilizado Software da especialidade mais concretamente o Programa Aquifer Test pro 4.0.

O ensaio de caudal efectuado na captação F19 (Figura 20), desenvolveu-se ao longo de 94 horas, correspondendo 88 horas à extracção e 6 horas à recuperação.

Durante o período de extracção, com caudal constante de 60 l/s, verificaram-se os seguintes comportamentos do nível hidrodinâmico:

Um rebaixamento de 9,7 metros nas primeiras 6 horas de ensaio;

Um rebaixamento constante de 1mm/min. até às 35 horas de ensaio, correspondendo a um rebaixamento neste período de 0,88 m.

Uma estabilização do nível hidrodinâmico, após um rebaixamento de 10,60 m desde as 35 horas de ensaio até ao final do período de extracção.

O período de recuperação não foi o suficiente para o restabelecimento total do nível piezométrico inicial, no entanto foi possível ajustar à curva teórica do método de Theis-recuperação.

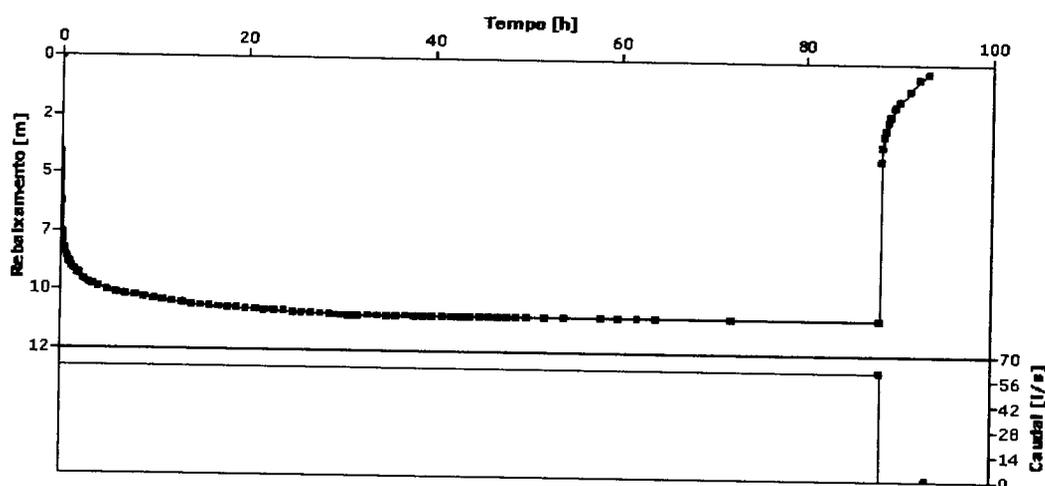


Figura 20 - Gráfico de ensaio de caudal para captação F19 (Sistema de abastecimento público de Montijo).

O ensaio de caudal elaborado na captação F26 (Figura 21), compreendeu 73,5 horas de extracção constante a 67 l/s, e 5 horas de recuperação.

No período de extracção ocorreu um rebaixamento de 7,78 m durante as primeiras 22,5 horas, estabilizando seguidamente os níveis neste valor. Após este período inicial ocorreram pequenas variações no nível sem no entanto haver uma deriva dos valores do nível até ao final do período de extracção.

Após o período de recuperação não houve uma total recuperação dos níveis, no entanto, no final do ensaio o nível encontrava-se a (-) 0,26 m do nível hidrostático inicial.

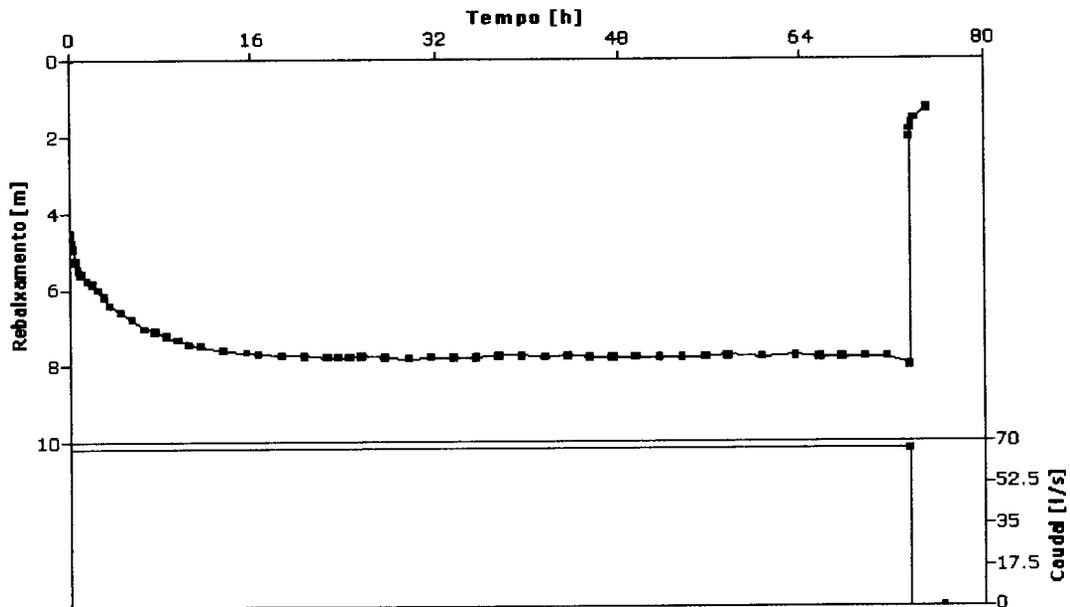


Figura 21 - Gráfico de ensaio de caudal para captação F26 (Sistema de abastecimento público de Montijo).

O ensaio de caudal na captação F21 (Figura 22) teve uma duração de 74,17 horas que corresponderam a 71,17 horas em extração, com caudal constante de 71,1 l/s, e 3 horas em recuperação.

Relativamente ao período de extração, ocorreram 4 comportamentos distintos do nível hidrodinâmico: um primeiro período, de 2,17 horas, correspondeu a uma descida do nível de 4,23 m.; um segundo período com uma duração de 27 horas em que o nível desceu em média 0,046 m/h; um terceiro período em que este valor foi de 0,02 m/h; um quarto período, que corresponde à estabilização do rebaixamento, após uma descida de 5,75 m.

A duração do período de recuperação não permitiu um restabelecimento do nível hidrostático inicial, diferindo este em 16 cm.

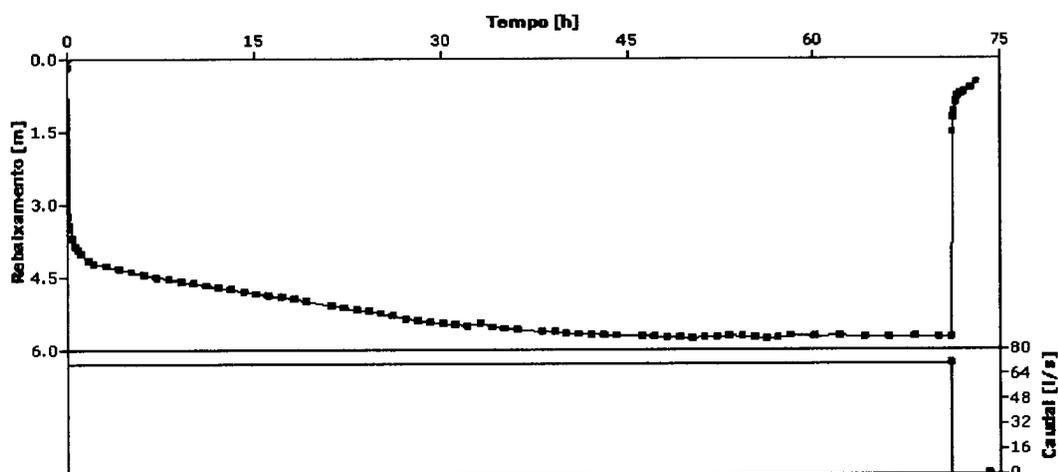


Figura 22 - Gráfico de ensaio de caudal para a captação F21 (Sistema de abastecimento público de Montijo).

O ensaio da captação F2 (Figura 23) compreendeu dois ensaios de caudal com recuperação total dos níveis entre eles.

O primeiro ensaio considerou dois patamares de caudal de 40 e 60 l/s, com uma duração de 24,29 e 23,88 horas respectivamente. Para o primeiro caudal ensaiado o rebaixamento foi cerca de 3,60 m, tendo estabilizado após 14,14 horas de ensaio.

No segundo caudal ensaiado não se verificou uma estabilização do nível, ocorrendo um rebaixamento de 6,48 m relativamente ao nível hidrostático.

A recuperação dos níveis foi monitorizada durante 46,58 horas, após as quais se deu início a um segundo ensaio de caudal, também de dois patamares. Neste ensaio foram considerados caudais de 60 e 80 l/s com duração de 5,07 e 23,65 horas respectivamente. Neste ensaio há a referir um rebaixamento total de 10 metros, sem que tenha ocorrido estabilização dos níveis. A recuperação após o ensaio foi monitorizada durante 6,74 horas ficando a cerca de 0,18 m da recuperação total.

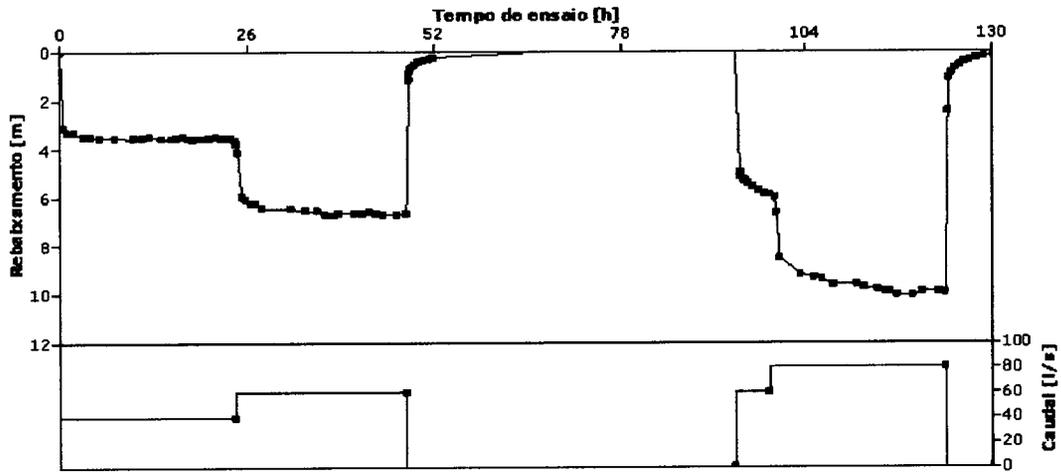


Figura 23 - Gráfico de ensaio de caudal para captação F2 (Sistema de abastecimento público de Montijo).

O ensaio de caudal realizado na captação F22 (Figura 24), teve uma duração de 78 horas em que 6 horas foram de recuperação.

A captação foi ensaiada a caudal constante de 36 l/s. A periodicidade das medições, durante a extracção, não foi a mais correcta, uma vez que a primeira medição se efectuou após uma hora de ensaio e seguidamente a cada hora. Desta forma não foi possível conhecer a curva inicial de rebaixamento para um melhor ajuste às curvas teóricas de interpretação. Durante a extracção verificou-se um rebaixamento total de 32 m, como se verifica no gráfico representativo. O período de recuperação foi monitorizado até um quase total restabelecimento dos níveis.

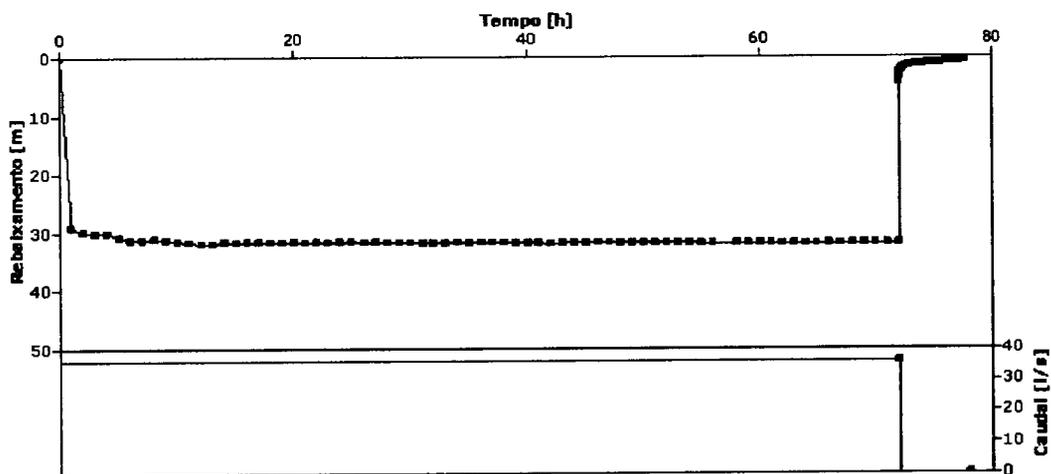


Figura 24 - Gráfico de ensaio de caudal para captação F22 (Sistema de abastecimento público de Pau-Queimado).

O ensaio de caudal realizado na captação F30 (Figura 25) teve uma duração de 74,75 h, das quais 3 h correspondem ao período de recuperação.

O caudal de extracção foi de 50 l/s, tendo provocado um rebaixamento total de 10,94 m estabilizados decorridas 28,75 h de ensaio.

O período monitorizado durante a recuperação não correspondeu ao restabelecimento total dos níveis, ficando a 1,27 m do nível inicial.

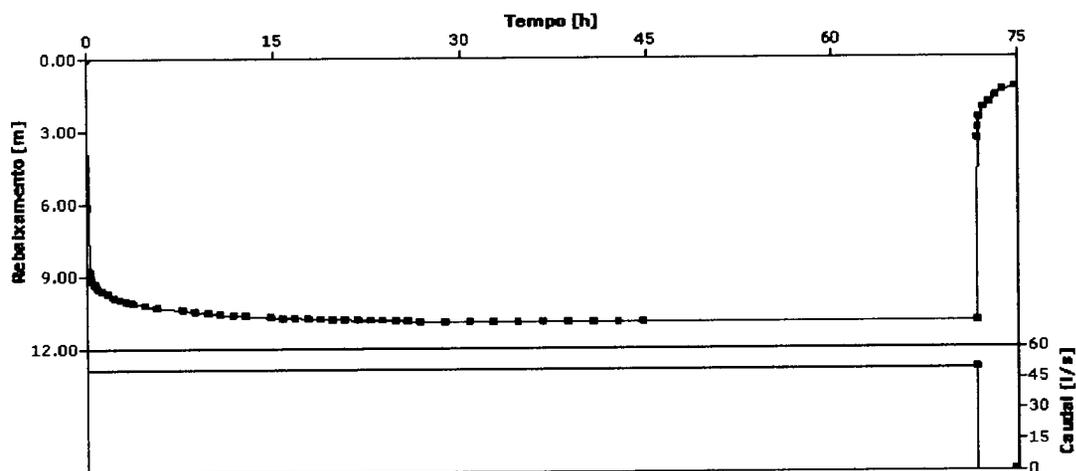


Figura 25- Gráfico de ensaio de caudal para captação F30 (Sistema de abastecimento público de Pau-Queimado).

O ensaio de caudal realizado na captação F27 (Figura 26), teve uma duração de 78 h correspondendo 6 h ao período de monitorização da recuperação.

Durante o período de extracção, que começou com caudal de 74 l/s, verificou-se, após 17 h de ensaio, que existia um estrangulamento de caudal, pelo que a correcção da situação permitiu um aumento do caudal de ensaio para 79 l/s.

Dada a pequena diferença entre os dois caudais não se pode considerar este ensaio como escalonado. Uma vez que o nível hidrodinâmico estabilizou após 7 h, ajustaram-se as curvas teóricas ao primeiro caudal.

No período de recuperação detectou-se a possível interferência de outra captação dada a existência de dois patamares de recuperação. No entanto, para que esta interpretação seja válida, e dado o comportamento dos níveis na fase de extracção, ter-se-ia que considerar que esta suposta interferência decorre desde o início do ensaio.

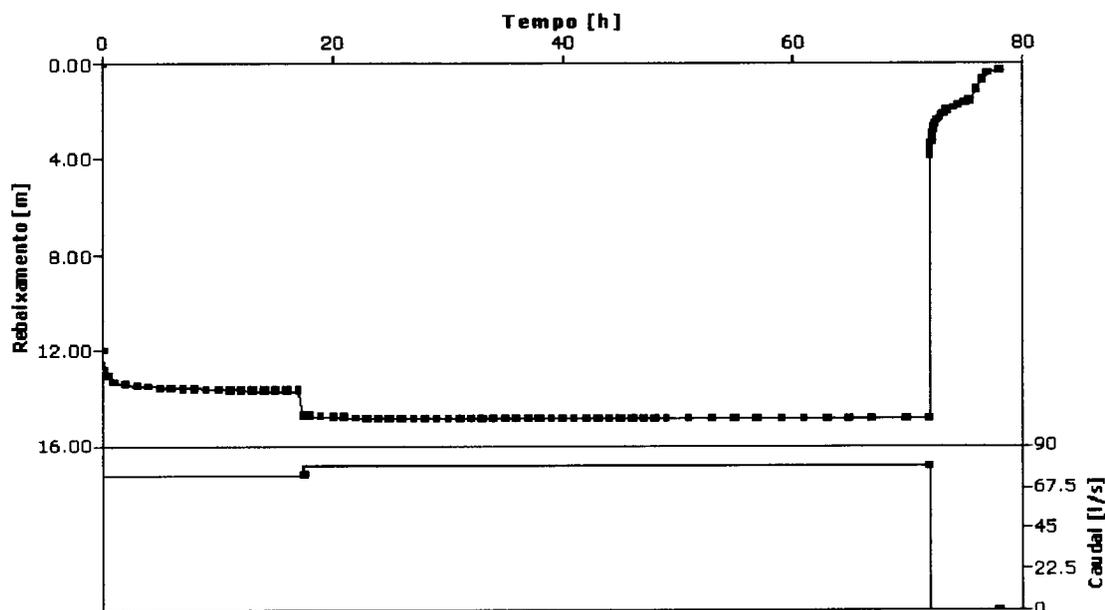


Figura 26 - Gráfico de ensaio de caudal para captação F27 (Sistema de abastecimento público de Pau-Queimado).

A captação F3 é o furo de abastecimento público mais antigo em funcionamento no Concelho de Montijo. Foram efectuados dois ensaios de caudal, que datam de 1970, ambos com medições num piezómetro distanciado a 119 m da captação em extracção.

O primeiro ensaio (Figura 27) teve a duração de 99,3 h e foi efectuado para três patamares de caudal, 10 l/s durante 24 h, 15 l/s durante 24 h e 20 l/s durante 51,3 h. Após o tempo de cada um dos patamares, os rebaixamentos respectivos foram de 7,27 m, 11,87 m e 17,02 m no furo de captação e 1,67 m, 3,07 m e 4,89 m no piezómetro. Em nenhum dos patamares ocorreu uma estabilização total dos níveis dinâmicos.

Neste ensaio não foi monitorizada a recuperação dos níveis piezométricos.

O segundo ensaio de caudal na captação F3 (Figura 28) contou também com a medição dos níveis no piezómetro. No entanto, este ensaio apresenta apenas um patamar com um caudal de 20 l/s durante 24 h e controlo dos níveis na recuperação durante 49 h.

O rebaixamento provocado pelo período de extracção foi de 15,57 m no furo ensaiado e 3,44 m no piezómetro. A recuperação dos níveis foi total no piezómetro após 23,47 h de repouso. No furo ensaiado ficou a 0,15 m do nível inicial após 49 h em repouso.

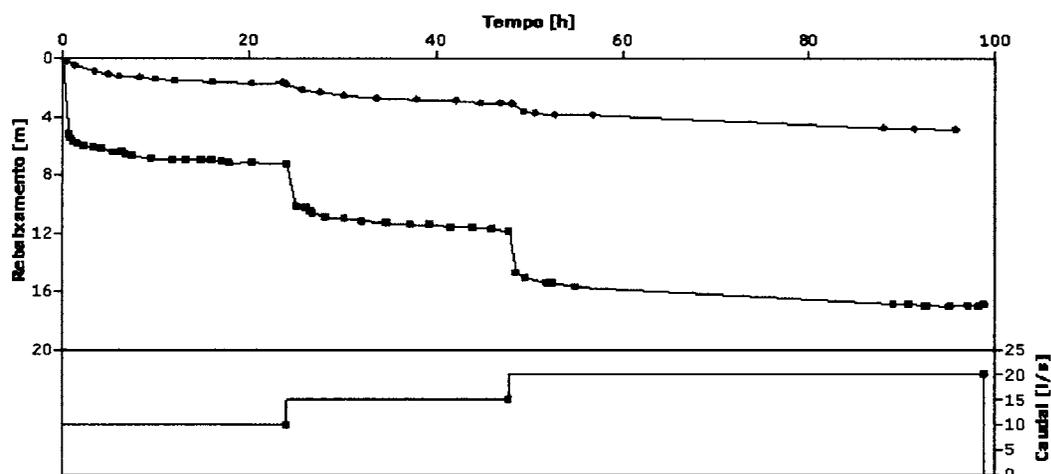


Figura 27 – Gráfico de ensaio de caudal para captação F3, referente ao 1º ensaio (Sistema de abastecimento público de Sarilhos Grandes).

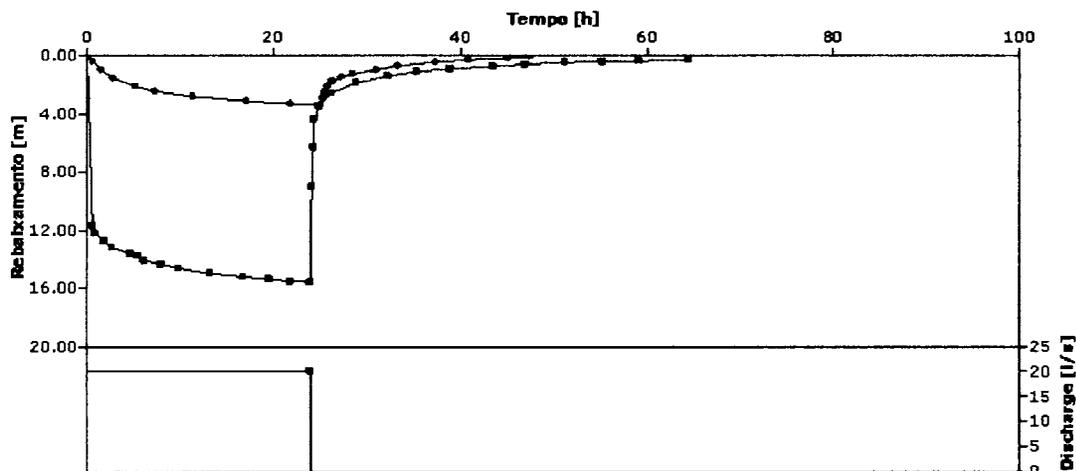


Figura 28– Gráfico de ensaio de caudal para captação F3, referente ao 2º ensaio (Sistema de abastecimento público de Sarilhos Grandes).

A captação F23 foi ensaiada a caudal constante de 47 l/s durante 62,58 h das quais 2,91 h corresponderam á monitorização da recuperação dos níveis piezométricos (Figura 29).

A estabilização do nível hidrodinâmico deu-se às 50 h de ensaio, após uma descida de 9,98 m.

Após paragem da bomba não foi feita uma monitorização suficiente para acompanhar a total recuperação do nível na captação. No entanto, decorridas 2,91 h de repouso, o nível encontra-se a 1,32 m do nível hidrostático inicial.

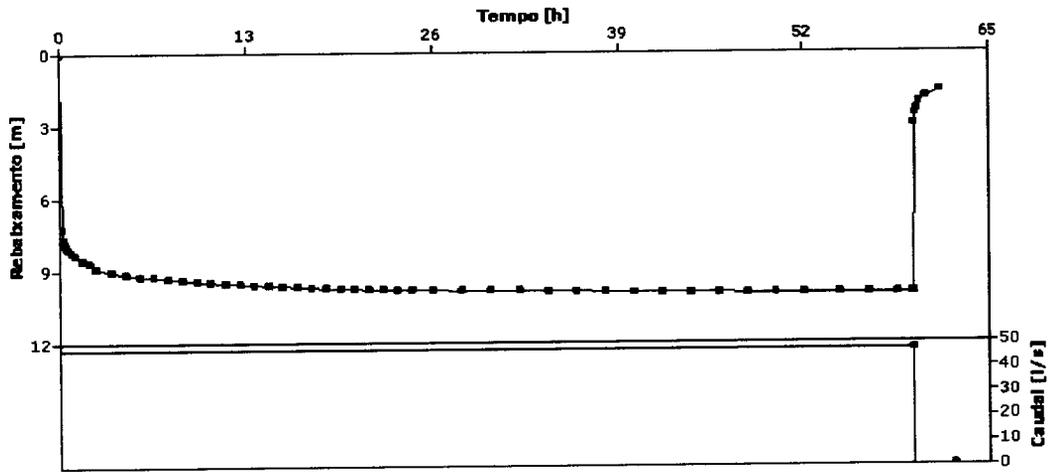


Figura 29 - Gráfico de ensaio de caudal para captação F23 (Sistema de abastecimento público de Canha).

Na captação F24 o ensaio de caudal durou 50,05 h, correspondendo 47,05 h ao período em extracção, com um caudal de 22 l/s, e as últimas três referentes ao período de recuperação (Figura 30). Durante a fase de extracção, os níveis desceram 8,27 m, tendo recuperado em 3 h 6,85 m.

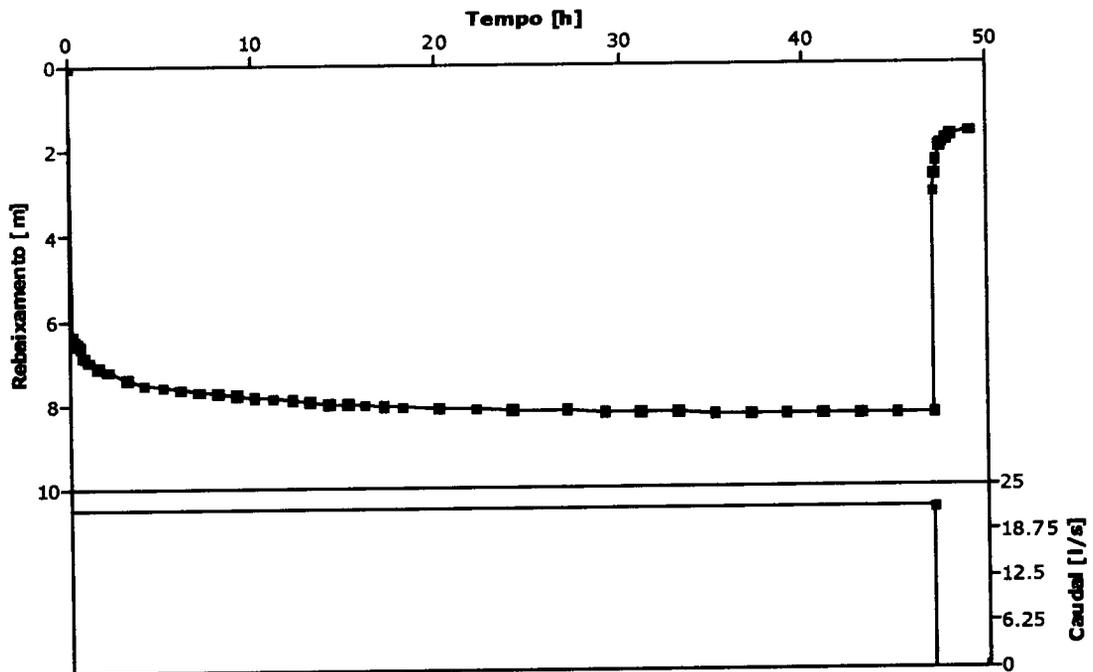


Figura 30 - Gráfico de ensaio de caudal para captação F24 (Sistema de abastecimento público de Pegões).

O ensaio de caudal realizado na captação F11 teve uma duração total de 66 h, com paragem da bomba após 64 h de ensaio a caudal constante de 9,3 l/s (Figura 31).

A recuperação foi monitorizada apenas durante duas horas, ficando o nível a 2,23 m da recuperação total.

Durante a fase de extracção verificou-se uma descida de 20,93 m do nível da água relativamente ao nível hidrostático. Esta descida foi acentuada nos primeiros 20 minutos de ensaio, após os quais se verificou uma descida mais suave, tendo-se dado a estabilização dos níveis decorridas 44 h de ensaio.

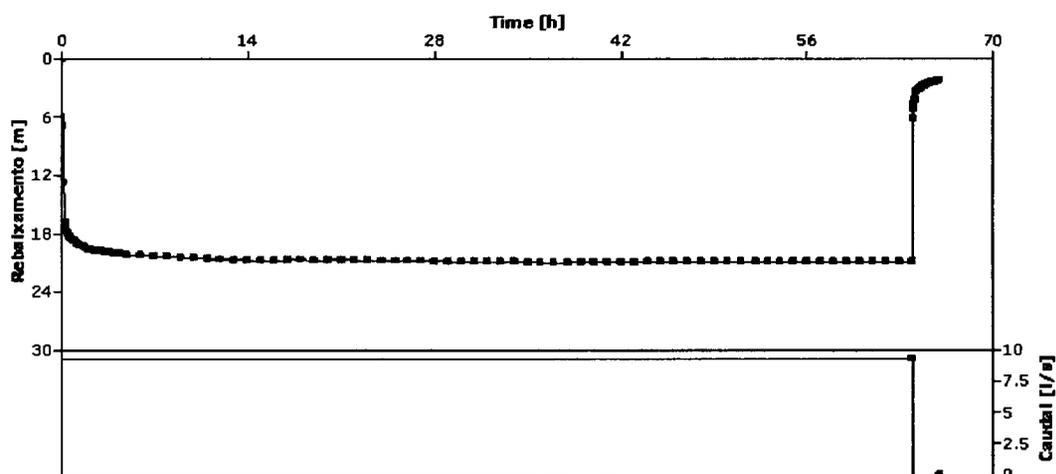


Figura 31 - Gráfico de ensaio de caudal para captação F11 (Sistema de abastecimento público de Afonsos).

O ensaio de caudal efectuado na captação F25 compreendeu 48 h de extracção com 8,3l/s e 3 h de recuperação (Figura 32).

Pela variação dos níveis deste ensaio, parece haver uma interferência da extracção de uma captação próxima. Esta interferência é evidenciada às 8 h de extracção, onde o rebaixamento, quase estabilizado aos 5,5 m, sofre novo rebaixamento até nova estabilização aos 6,9 m. Outro sinal desta interferência é a não recuperação total dos níveis em repouso, havendo uma estabilização destes aos (-)1.06m. Acresce o facto que perto desta captação existe uma outra que abastece o mesmo sistema (F11), que poderá ter estado a debitar durante o período deste ensaio.

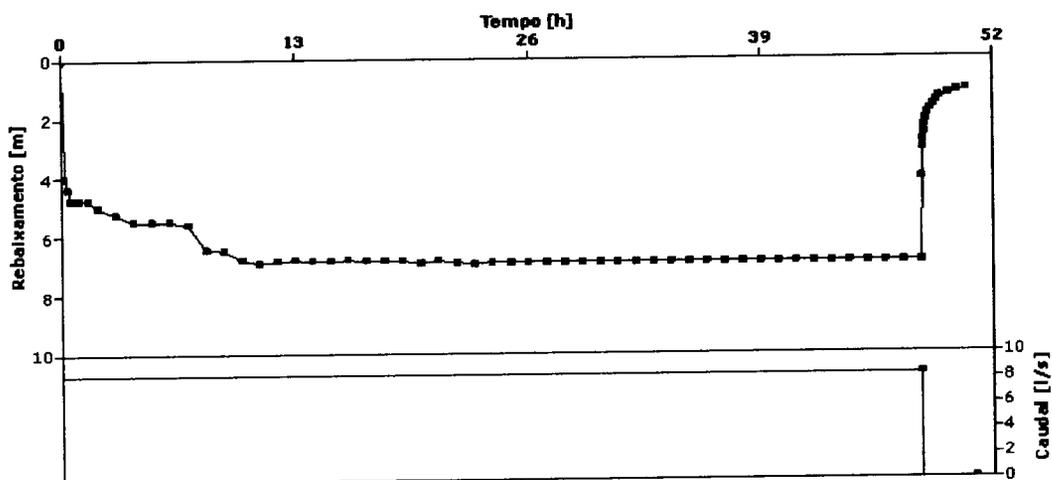


Figura 32 - Gráfico de ensaio de caudal para captação F25 (Sistema de abastecimento público de Afonsos).

O ensaio de caudal na captação F12 compreende um patamar de extracção e o respectivo período de recuperação, ainda que incompleto (Figura 33).

O ensaio teve uma duração total de 50 h, correspondendo, destas, 48 h ao período em extracção e 2 h à recuperação. Durante o período de extracção os níveis estabilizaram após uma descida de 2,65 m, decorridas 13 h de ensaio. No final da monitorização dos níveis, no período de recuperação, estes encontravam-se a 0,27 m do nível hidrostático inicial.

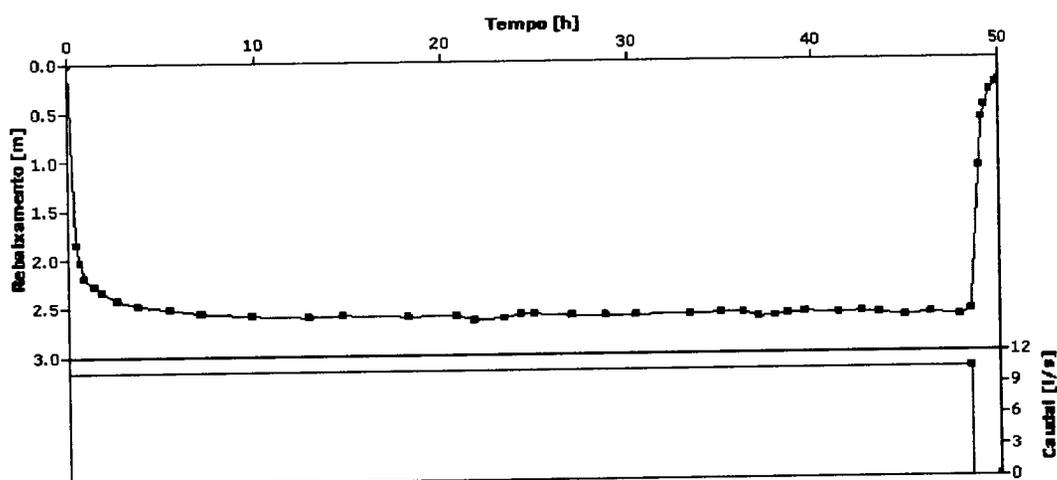


Figura 33 - Gráfico de ensaio de caudal para captação F12 (Sistema de abastecimento público de Santo Isidro de Pegões).

O ensaio de caudal efectuado na captação F17 compreendeu dois patamares de caudal sem recuperação entre eles: o primeiro com 10 l/s durante 25 h e o segundo com 18 l/s durante

42 h. Após este período em extracção foi monitorizado o período de recuperação durante 3 h, sem que tivesse ocorrido nesse período o restabelecimento total do nível (Figura 34).

Como se verifica pela figura, a evolução dos níveis ao longo do ensaio é um pouco atípica, realçando-se o início do ensaio no primeiro patamar como possível indicador de uma limpeza e/ou desenvolvimento da captação incompletos. No entanto, foi possível conhecer a resposta da captação aos caudais impostos, mantendo-se os rebaixamentos perto dos 1,77 m para o caudal de 10 l/s, e 3,36 m para 18 l/s.

Os níveis durante o período de recuperação foram monitorizados até faltarem 0,23 m para o total restabelecimento.

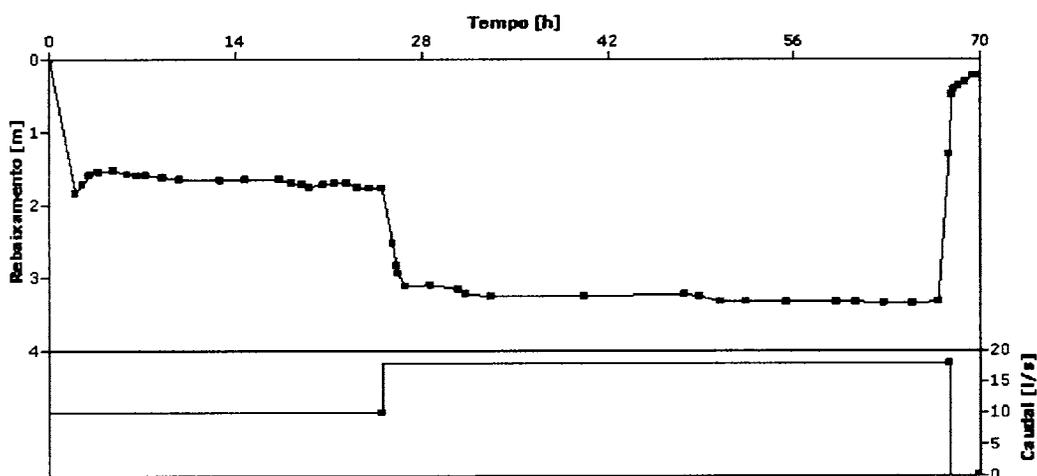


Figura 34- Gráfico de ensaio de caudal para captação F17 (Sistema de abastecimento público de Santo Isidro de Pegões).

O ensaio realizado na captação F28 durou 51 h, das quais 3 h corresponderam ao período de recuperação (Figura 35).

Durante o período de extracção (52 l/s) houve um contínuo rebaixamento dos níveis, sem ter ocorrido uma tendência clara para a sua estabilização. Após 5,5 h de ensaio, o rebaixamento acentua-se como se ocorresse uma interferência de outra captação em extracção.

A duração do período de recuperação monitorizado não permitiu conhecer a evolução dos níveis até ao total restabelecimento, ficando este a 3,08 m do nível inicial.

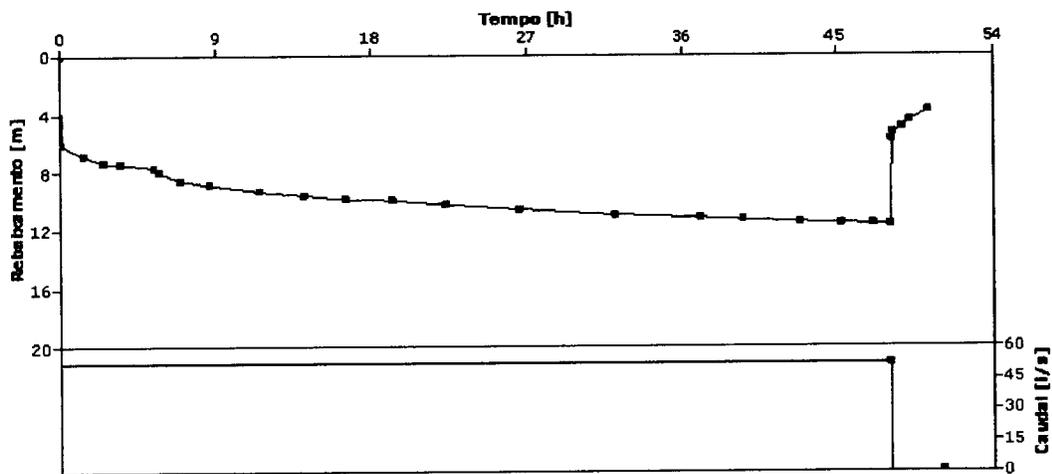


Figura 35 - Gráfico de ensaio de caudal para captação F28 (Sistema de abastecimento público de Taipadas).

O ensaio de caudal realizado na captação F29 teve uma duração de 48 h de extracção a caudal constante de 58,8 l/s a que se seguiram 6 h de monitorização dos níveis após paragem da bomba (Figura 36).

Não se conhece com rigor a curva inicial do ensaio, uma vez que a primeira medição de nível foi efectuada aos 30 minutos e após este período não se registaram variações significativas do nível.

O período de monitorização na fase de recuperação não foi suficiente para o completo restabelecimento dos níveis, ficando este a 1,13 m do nível inicial.

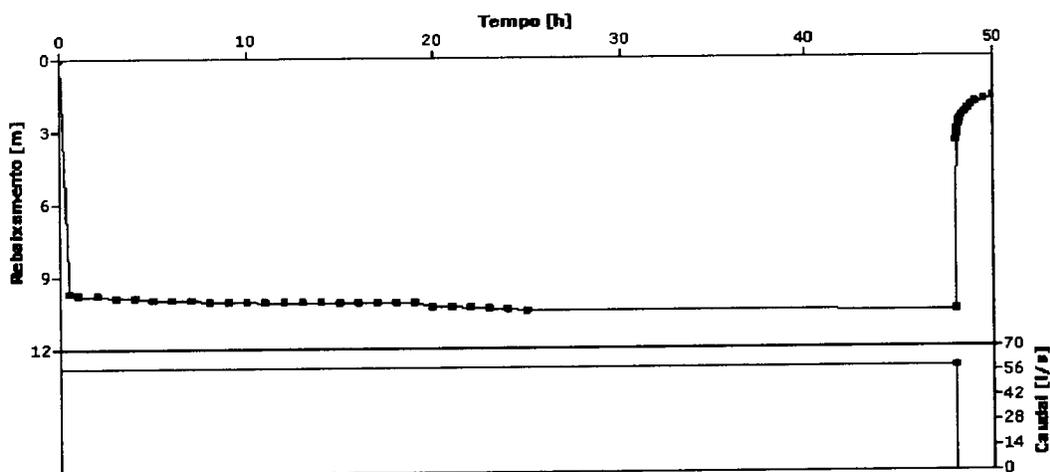


Figura 36 - Gráfico de ensaio de caudal para captação F29 (Sistema de abastecimento público de Faias).

O caudal específico ( $Q_{esp.}=Q/\text{rebaixamento}$ ) e valores de Transmissividade obtidos através dos métodos já referidos são apresentados na Tabela 8. Considerou-se importante a apresentação do caudal específico apesar de em algumas situações não ter havido uma completa estabilização dos níveis hidrodinâmicos.

Uma vez que não se conhecem quaisquer dados de ensaio de caudal da captação F15, o valor de Transmissividade foi nesta situação obtido por interpolação dos valores mais próximos.

A Transmissividade adoptada, neste estudo, corresponde à média dos valores obtidos pelos vários modelos utilizados.

Tabela 8 - Valores de caudal específico e Transmissividade obtidos através da interpretação dos ensaios de caudal.

Sistema de Abastecimento	Captação (designação)	Caudal de ensaio (l/s)	NHE (m)	NHD (m)	Caudal específico (l/s/m)	Transmissividade (m <sup>2</sup> /dia)			Transmissividade média (m <sup>2</sup> /dia)
						Modelo de Theis	Modelo de Cooper Jacob	Modelo de Theis Recuperação	
Montijo	F19	60	21,5	32,1	5,7	655	638	550	614
	F26	67	26,5	34,5	8,4	1050	1050	2120	1407
	F21	70	22,25	28	12,2	1500	1610	1850	1653
	F2	80	9	18,5	8,4	1180	1190	655	1008
	F15	-	-	-	-	valor obtido por interpolação			1250
Pau Queimado /Atalaia	F22	36	49,8	81,75	1,1	267	299	378	315
	F30	50	23,76	34,7	4,6	520	727	703	650
	F27	78	25	39,86	5,2	783	não foi possível ajustar a curva	979	881
Sarilhos Grandes	F3 (ensaio 1)*	20	6,5	23,5	1,2	121	305	82,1	152
	F3 (ensaio 2)*					190	62,3		
Canha	F23	47	39,27	49,25	4,7	630	655	906	730
Pegões	F24	17	66,18	74,45	2,1	360	361	360	360
Afonso	F11	9,1	73,32	94,25	0,4	50	44,3	75,4	57
	F25	8,3	75	81,9	1,2	135	121	84,8	114
Santo Isidro de Pegões	F12	10,47	34,31	37	3,9	456	436	166	353
	F17	18	32,75	36,11	5,4	776	936	891	868
Taipadas	F28	52	53,2	65	4,4	600	700	603	634
Faixas	F29	58,8	24	34,5	5,6	655	não foi possível ajustar a curva	781	718

\* ensaio com medição em piezómetro

## **9. Hidroquímica**

A água, devido às características físico-químicas próprias que a definem, não se encontra no estado puro na natureza. A sua presença é indissociável de substâncias estranhas, presentes em solução e/ou suspensão, circunstância essa que afecta os seus potenciais usos.

A composição química da água é influenciada por factores tais como a natureza e quantidade de gases da atmosfera, os produtos resultantes da alteração das rochas, as reacções de dissolução e de precipitação que ocorrem no subsolo e as actividades do Homem.

O tempo de contacto entre as águas subterrâneas e as rochas das formações que atravessam faz com que haja uma relação entre a litologia destas formações e a qualidade das águas.

A conjugação destes factores explica a ocorrência, no mesmo aquífero, de águas com composições qualitativas diferentes, tanto em extensão como em profundidade. Esta diferenciação traduz-se pelo aumento de teores das substâncias mais solúveis, principalmente nas águas mais profundas e mais afastadas das zonas de recarga, que exibem maior mineralização (Simões, 1998).

Com base em análises laboratoriais efectuadas nas captações durante o ano de 2008 e início de 2009 (Tabela 9 e Tabela 10), é possível fazer uma breve caracterização hidroquímica da água subterrânea captada nas várias origens de abastecimento público do Concelho de Montijo. As considerações relativas a valores limite legislados são feitas com base no Decreto-Lei 306/2007 de 27 de Agosto, que estabelece o regime da qualidade da água destinada ao consumo humano, uma vez que a água captada apenas sofre um tratamento de desinfecção antes da sua distribuição. Uma vez que não existiam análises com determinação do ião bicarbonato, optou-se pelo seu cálculo de forma indirecta através da multiplicação da alcalinidade total por 1,22, conforme referido em Custódio e Llamas (1973).

Tabela 9 – Qualidade da água nas captações de abastecimento público da zona Oeste do Concelho de Montijo.

Captação	Sistema de Abastecimento	Data de recolha	Escherichia coli (UPC/100 ml)	Coliformes totais (UPC/100 ml)	Azoto Amónico (mg/L)	Condutividade eléctrica (uS/cm)	pH (Escala Sorensen)	Ferro (ug/L)	Manganês (ug/L)	Nitrato (mg/L)	Oxidabilidade (mg/L)	Cálcio (mg/L)	Cloretos (mg/L)	Dureza (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Magnésio (mg/L)	Sódio (mg/L)	Alcalinidade (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Bicarbonato* (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Sulfato (mg/L)
F2	Montijo	09-05-2007	0	1	<0,02	230	6,8	<50	16	<10	<1		45		35				11
F2	Montijo	27-02-2008	0	0	<0,02	150	6,8	<50	<15		1,5	20	44	73	6	33	85	104	
F2	Montijo	01-10-2008	0	0	<0,02	280	7,1	170	<15	<10	<1	16	43	65	6	23	84	102	
F2	Montijo	08-04-2009	0	0	<0,02	310	7	<50	<15	<10	<1	16	54	65	6,2	28	68	83	<10
F2	Montijo	23-09-2009	0	0	<0,02	290	7,2	<50	<15	<10	<1	16	46	64	5,9	27	75	92	<10
F15	Montijo	27-02-2008	0	0	<0,02	210	6,1	<50	<15		<1	11	80	59	8	54	39	48	
F15	Montijo	01-10-2008	0	0	<0,02	400	6,8	<50	<15	30	<1	11	79	60	7,9	43	48	59	
F15	Montijo	25-02-2009	0	0	<0,02	380	7,2	<50	<15	20	1,60	15	73	68	7,5	44	53	65	<10
F15	Montijo	23-09-2009	0	0	<0,02	400	6,8	<50	<15	30	1,50	15	78	65	6,7	44	50	61	<10
F19	Montijo	27-02-2008	0	35	<0,02	170	6,3	110	21		<1	12	68	57	7	44	49	60	
F19	Montijo	01-10-2008	0	0	<0,02	280	6,8	80	<15	<10	<1	10	58	51	6,4	32	48	59	
F19	Montijo	25-02-2009	0	0	<0,02	310	7,3	<50	<15	<10	1	14	48	59	5,8	35	65	79	<10
F19	Montijo	23-09-2009	0	0	<0,02	320	7	<50	<15	<10	1,9	14	60	62	6,5	57	64	78	<10
F21	Montijo	27-02-2008	20	>100	<0,02	180	6,8	<50	<15		<1	42	37	133	7	32	140	171	
F21	Montijo	01-10-2008	0	0	<0,02	350	7,9	<50	<15	<10	<1	34	38	121	8,7	22	140	171	
F21	Montijo	25-02-2009	0	0	0,03	370	7,9	<50	<15	<10	<1	41	40	129	6,4	28	140	171	<10
F21	Montijo	23-09-2009	0	0	<0,02	390	7,5	<50	<15	<10	1,2	6	39	41	6,5	25	140	171	<10
F26	Montijo	27-02-2008	0	0	<0,02	190	7	110	22		<1	47	37	139	5	30	150	183	
F26	Montijo	01-10-2008	0	0	<0,02	350	8,1	96	<15	<10	<1	49	35	152	7,3	19	140	171	
F26	Montijo	25-02-2009	0	0	<0,02	380	8,1	<50	16	<10	<1	43	38	132	6	27	150	183	<10
F26	Montijo	23-09-2009	0	0	<0,02	380	7,7	120	<15	<10	1,1	42	36	130	6,2	28	150	183	<10
F22	Pau Queimado/Atalaia	06-02-2008	0	0	0,07	410	6,8	150	49		<1	41	80		11	66	172	210	
F22	Pau Queimado/Atalaia	08-10-2008	0	0	0,11	540	7,8	140	19		1,3	55	16	175	9,1	40	170	207	
F22	Pau Queimado/Atalaia	19-11-2008								<10									51
F22	Pau Queimado/Atalaia	04-02-2009	0	0	<0,02	590	7,7	<50	24	<10	<1	36	91	130	10	76	170	207	15
F22	Pau Queimado/Atalaia	21-10-2009	0	>100	<0,02	380	7,3	420	25	<10	<1	26	60	88	5,6	45	100	122	<10
F30	Pau Queimado/Atalaia	06-02-2008	0	0	<0,02	310	7,2	280	20		<1	70	34		8	28	190	232	
F30	Pau Queimado/Atalaia	08-10-2008	0	0	<0,02	420	8	250	<15		<1	91	31	255	6,7	27	180	220	
F30	Pau Queimado/Atalaia	19-11-2008								<10									11
F30	Pau Queimado/Atalaia	04-02-2009	0	0	<0,02	460	7,9	160	<15	<10	<1	58	38	174	7,2	30	190	232	<10
F30	Pau Queimado/Atalaia	07-10-2009	0	0	<0,02	470	7,9	130	<15	<10	1,1	61	41	185	7,9	27	180	220	<10
F27	Pau Queimado/Atalaia	25-09-2009	0	29	<0,02	410	7	<50	<15	11	<1	34	70	140	11	42	110	134	23
F3	Sarilhos Grandes	06-02-2008	0	0	<0,02	200	6,1	60	<15		<1	<5	48		5	33	52	63	
F3	Sarilhos Grandes	19-11-2008	0	0	<0,02	280	6,8	<50	<15	<10	<1	10	70	44	4,9	38	53	65	
F3	Sarilhos Grandes	11-02-2009	0	1	<0,02	270	6,6	<50	<15	<10	<1	7	14	43	6,2	35	51	62	<10
F3	Sarilhos Grandes	09-09-2009	0	0	<0,02	280	6,6	<50	<15	<10	<1	9	51	53	7,3	35	53	65	<10

Tabela 10-Qualidade da água nas captações de abastecimento público da zona Este do Concelho de Montijo.

Captação	Sistema de Abastecimento	Data de recolha	Escherichia coli (UFC/100 ml)	Coliformes totais (UFC/100 ml)	Azoto Amoniacal (mg/L)	Condutividade eléctrica (µS/cm)	pH (Escala Sorensen)	Ferro (ug/L)	Manganês (ug/L)	Nitrato (mg/L)	Oxidabilidade (mg/L)	Cálcio (mg/L)	Clorretos (mg/L)	Dureza (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Magnésio (mg/L)	Sódio (mg/L)	Alcalinidade (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Bicarbonato* (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Sulfato (mg/L)	Potássio (mg/L)
F12	Santo Isidro de Pegões	20-02-2008	0	7	0,04	140	5,8	<50	<15		<1	<5	28	16	4	23	23	28		
F12	Santo Isidro de Pegões	10-09-2008	0	6	<0,02	180	6,2	<50	<15		<1	<5	38	14	3,4	22	26	32		
F12	Santo Isidro de Pegões	19-11-2008								19									<10	3,6
F12	Santo Isidro de Pegões	19-02-2009	0	0	<0,02	190	6,2	<50	<15	19	1,2	5	37	30	4,1	21	24	29	<10	4
F12	Santo Isidro de Pegões	09-09-2009	0	0	<0,02	220	6,1	<50	<15	34	<1	8	36	46	6,3	23	23	28	<10	4,4
F17	Santo Isidro de Pegões	20-02-2008	0	0	0,03	150	5,7	<50	<15		<1	<5	29	20	5	23	24	29		
F17	Santo Isidro de Pegões	10-09-2008	0	>100	<0,02	210	6,1	860	29		1,3	7	33	34	4,3	24	25	31		
F17	Santo Isidro de Pegões	19-11-2008								26									<10	3,7
F17	Santo Isidro de Pegões	18-02-2009	0	0	<0,02	210	6,2	<50	<15	27	1,4	7	38	39	5,2	22	23	28	<10	4,9
F17	Santo Isidro de Pegões	09-09-2009	0	0	<0,02	200	6,1	<50	<15	24	<1	6	35	33	4,6	23	24	29	<10	4
F24	Pegões	29-08-2007	0	0	<0,02	170	6,6	<50	<15	<10	<1		25			23			<8	
F24	Pegões	20-02-2008	0	0	<0,02	240	6,4	<50	<15		<1	22	35	113	14	22	160	195		
F24	Pegões	10-09-2008	0	0	<0,02	330	7,5	<50	<15		1,8	32	25	125	11	21	160	195		
F24	Pegões	19-11-2008								<10									<10	3,4
F24	Pegões	19-02-2009	0	0	<0,02	360	7,5	<50	<15	<10	<1	35	29	141	13	21	170	207	<10	3,2
F24	Pegões	09-09-2009	0	3	<0,02	370	7,5	<50	<15	<10	<1	50	30	183	14	21	160	195	<10	3,8
F23	Canha	20-02-2008	0	0	<0,02	140	5,8	310	<15		<1	<5	24	18	4	22	53	65		
F23	Canha	10-09-2008	0	3	<0,02	180	6,3	330	<15		1,5	8	27	32	3,1	22	53	65		
F23	Canha	19-11-2008								<10									<10	1,6
F23	Canha	19-02-2009	0	0	<0,02	190	6,4	<50	<15	<10	<1	10	33	45	4,8	22	53	65	<10	1,6
F23	Canha	09-09-2009	0	0	<0,02	200	6,3	<50	21	<10	<1	10	31	45	4,9	23	54	66	<10	1,6
F29	Faixas	19-03-2008	0	0	<0,02	120	6,7	2800	63		1,5	15	32	55	4	29	92	112		
F29	Faixas	17-09-2008	0	9	0,03	300	7,3	270	34		<1	28	23	88	4,3	27	110	134		
F29	Faixas	19-11-2008								<10									<10	3,2
F29	Faixas	18-03-2009	0	0	<0,02	320	7,2	230	66	<10	1	20	36	69	4,7	27	110	134	<10	3,5
F29	Faixas	16-09-2009	0	0	<0,02	330	7,3	1200	62	<10	1,2	16	38	58	4,5	29	110	134	<10	3,8
F28	Taipadas	19-03-2008	0	0	<0,02	88	6,5	310	<15		1,1	<5	28	15	4	26	38	46		
F28	Taipadas	17-09-2008	0	0	<0,02	170	6,8	<50	<15		<1	6	19	25	2,2	20	44	54		
F28	Taipadas	19-11-2008								<10									<10	2,4
F28	Taipadas	18-03-2009	0	0	<0,02	190	6,6	54	<15	<10	<1	<5	34	15	3,5	22	41	50	<10	2,7
F28	Taipadas	16-09-2009	0	0	<0,02	180	6,6	<50	<15	<10	<1	<5	31	13	3,1	23	43	52	<10	2,7
F11	Afonso	20-02-2008	0	0	<0,02	160	6,1	<50	<15		<1	9	24	49	6	19	71	87		
F11	Afonso	10-09-2008	0	0	<0,02	200	6,5	<50	<15		1,6	15	18	54	4,1	19	64	78		
F11	Afonso	19-02-2009	0	0	<0,02	190	6,1	<50	<15	16	1,2	12	37	50	4,8	18	30	37	<10	3,2
F11	Afonso	09-09-2009	0	0	<0,02	220	8	69	<15	13	<1	10	33	41	3,8	18	52	63	<10	3

A representação gráfica dos parâmetros analisados permite caracterizar ao longo dos últimos dois anos as águas subterrâneas do Concelho. Os gráficos seguintes mostram a evolução ao longo do tempo para alguns dos parâmetros analisados, nomeadamente condutividade eléctrica, pH, dureza total, alcalinidade, cálcio, magnésio, sódio e cloreto.

A condutividade eléctrica de uma água mede a capacidade da mesma para conduzir electricidade. Pode servir como índice de avaliação da sua mineralização global e está relacionada com a concentração total de iões presentes e a sua natureza.

As captações localizadas na zona Oeste do Concelho apresentam águas com valores de condutividade eléctrica que variam entre os 150  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , no sistema de Montijo e os 590  $\mu\text{S}/\text{cm}$  no sistema do Pau Queimado/Atalaia (Figura 37).

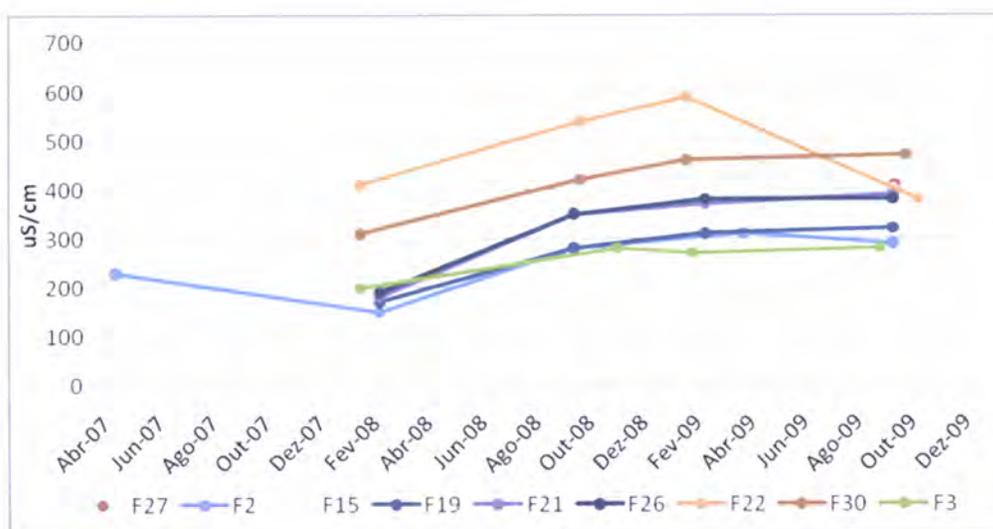


Figura 37- Evolução da Condutividade eléctrica nas captações subterrâneas de abastecimento público do Concelho de Montijo (Zona Oeste).

As captações localizadas na zona Este do Concelho apresentam menor mineralização quando comparadas com a zona Oeste, com valores que variam entre os 88  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e os 370  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Figura 38).

Pela análise da evolução temporal da condutividade eléctrica conclui-se que, exceptuando a captação F22 do Sistema do Pau Queimado/Atalaia, existe uma tendência de subida dos valores em todas as captações do Concelho.

Esta tendência é mais notória na zona Oeste do Concelho onde os valores apresentaram subidas na ordem dos 200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Na Zona Este do Concelho os furos F24 e F29 apresentaram as maiores subidas, duplicando praticamente os valores de condutividade

eléctrica. Segundo a legislação actual o valor de condutividade eléctrica não deverá ultrapassar os 2500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

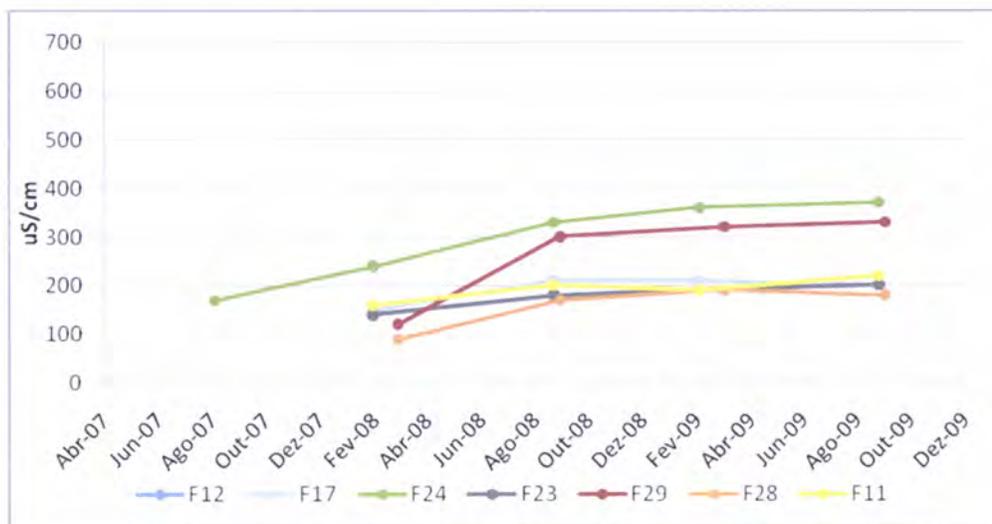


Figura 38 - Evolução da Condutividade eléctrica nas captações subterrâneas de abastecimento público do Concelho de Montijo (Zona Este).

O valor de pH de uma água é um índice da sua acidez ou alcalinidade e resulta das interações ácido/base dos seus constituintes minerais ou orgânicos. Este parâmetro proporciona um valioso dado hidrogeoquímico, intervindo nos diversos equilíbrios químicos, daí dependendo a estabilidade ou instabilidade das espécies em dissolução.

As águas subterrâneas do Concelho apresentam valores de pH que variam entre 6,1 e 8,1 na zona Oeste (Figura 39) e entre 5,7 e 8 na zona Este (Figura 40).

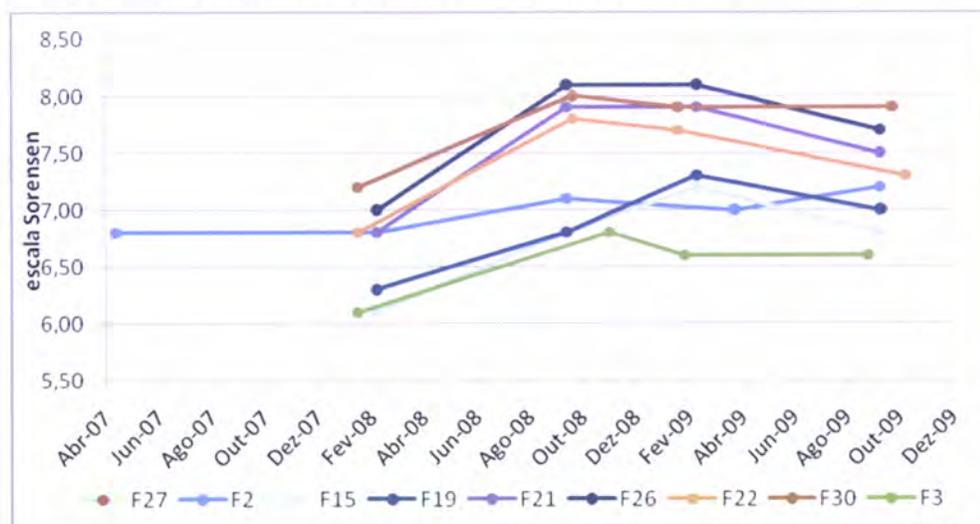


Figura 39 - Evolução do pH nas captações subterrâneas de abastecimento público do Concelho de Montijo (Zona Oeste).

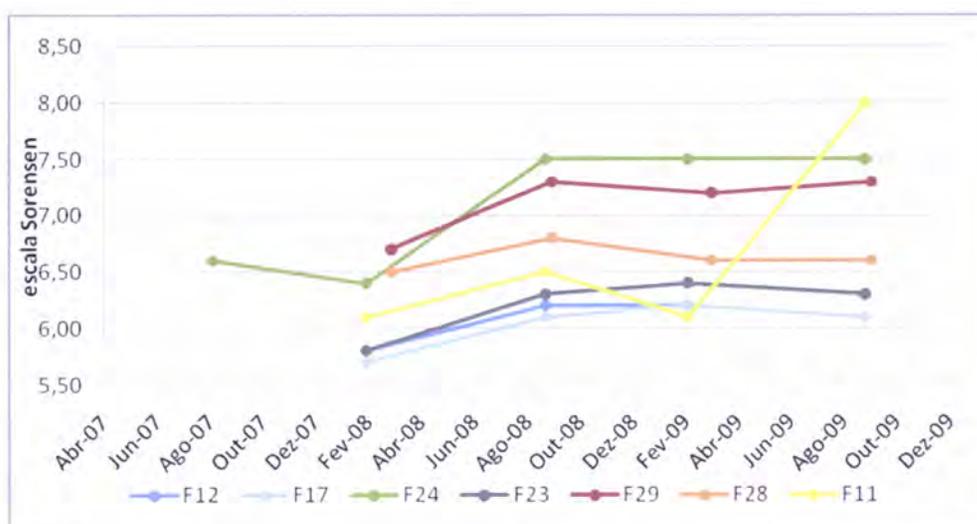


Figura 40 – Evolução do pH nas captações subterrâneas de abastecimento público do Concelho de Montijo (Zona Este).

A análise da evolução temporal do pH, por captação, permite concluir que este parâmetro apresenta uma tendência de subida apesar da instabilidade dos valores observados.

A legislação refere que as águas de consumo humano deverão apresentar pH entre 6,5 e 9. Nas captações localizadas nas zonas Este e Oeste do Concelho observam-se valores de pH abaixo do limite mínimo legislado, associados a furos que captam essencialmente o Pliocénico inferior. Esta situação deve-se a características naturais desta água e não apresenta qualquer risco para a saúde pública.

A dureza da água corresponde à soma das concentrações em catiões metálicos, com excepção dos metais alcalinos e do hidrogénio. É sobretudo devida aos iões cálcio e magnésio e, mais raramente, aos iões ferro, manganês e estrôncio, e depende principalmente da natureza dos terrenos atravessados pela água e da quantidade de anidrido carbónico, actuando como agente de dissolução.

Segundo Custódio e Llamas (1983) águas com menos de 50 ppm de  $\text{CaCO}_3$  denominam-se brandas, entre 50 e 100 ligeiramente duras, entre 100 e 200 moderadamente duras e acima de 200 muito duras.

As águas analisadas apresentam valores de dureza total que variam entre 41 mg/L e 255 mg/L de  $\text{CaCO}_3$  na zona Oeste (Figura 41). O sistema do Pau Queimado/Atalaia apresenta os valores de dureza das águas mais elevados, permitindo classificar estas águas como moderadamente duras. O sistema de Sarilhos Grandes apresenta os valores mais baixos, com águas brandas.

Relativamente à evolução temporal deste parâmetro é notória uma descida acentuada nas captações F30, F22 e F21.

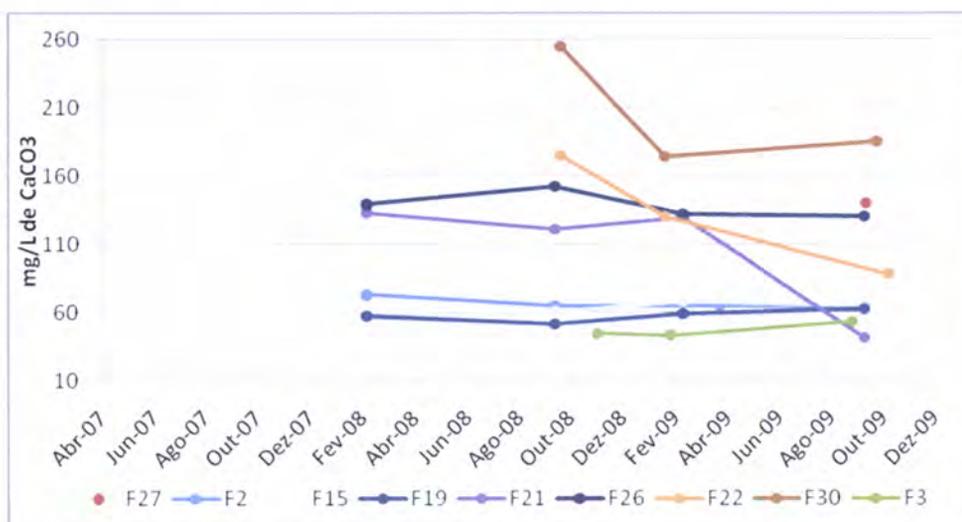


Figura 41 - Evolução da Dureza Total nas captações subterrâneas de abastecimento público do Concelho de Montijo (Zona Oeste).

Os sistemas da zona Este apresentam águas com valores de dureza total que variam entre os 13 mg/L de CaCO<sub>3</sub> e os 183 mg/L de CaCO<sub>3</sub> (Figura 42) e apresentam na sua maioria águas brandas, com excepção dos sistemas de Pegões e Faias, em que as águas são respectivamente moderadamente duras e ligeiramente duras.

Relativamente à evolução temporal, destaca-se na captação F24 uma tendência de subida e na captação F29, uma tendência de descida.

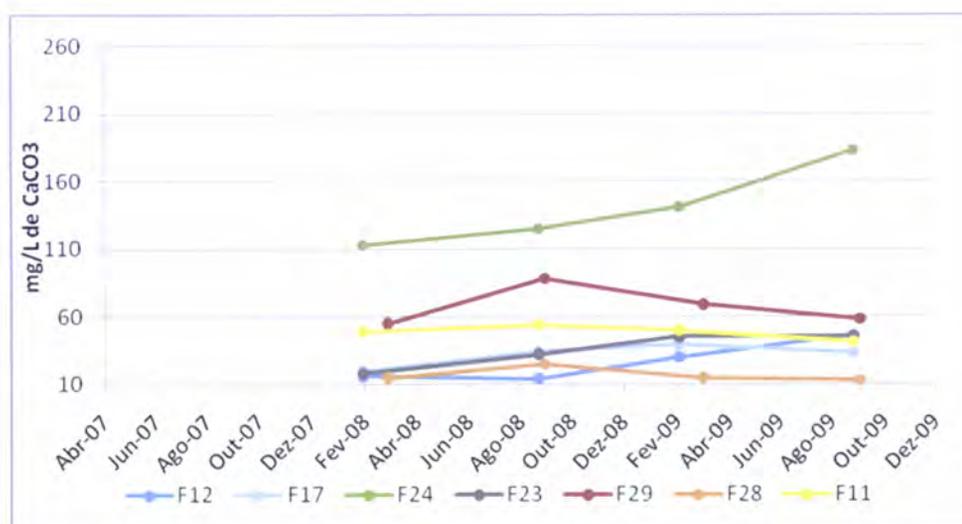


Figura 42 - Evolução da Dureza Total nas captações subterrâneas de abastecimento público do Concelho de Montijo (Zona Este).

A legislação actual não define um valor paramétrico para a dureza total, no entanto refere que esta deverá estar compreendida entre 150 e 500 CaCO<sub>3</sub>.

A alcalinidade de uma água é uma medida da sua capacidade para neutralizar ácidos. Nas águas naturais, a alcalinidade é devida, principalmente, aos bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos, e encontra-se intimamente ligada à dureza.

A alcalinidade de uma água constitui uma das componentes de um equilíbrio, nem sempre estável, que nela se estabelece, entre o respectivo teor em cálcio, a concentração em CO<sub>2</sub> livre e o pH. Estes parâmetros encontram-se portanto intimamente ligados entre si, conduzindo a sua evolução, mais ou menos complexa, a processos de dissolução do carbonato de cálcio (agressividade) ou à sua precipitação (incrustamento).

As águas captadas no Concelho do Montijo apresentam valores de alcalinidade total que variam entre 23 e 190 mg/L de CaCO<sub>3</sub>. Os valores mais elevados são observados nas captações localizadas na zona Oeste do Concelho.

O actual Decreto-Lei não obriga à determinação da alcalinidade total

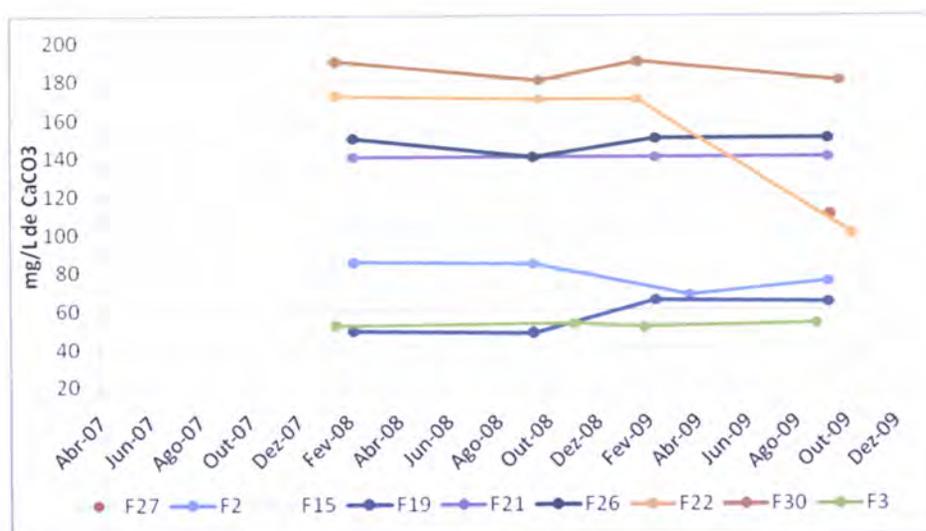


Figura 43 - Evolução da Alcalinidade Total nas captações subterrâneas de abastecimento público do Concelho de Montijo (Zona Oeste).

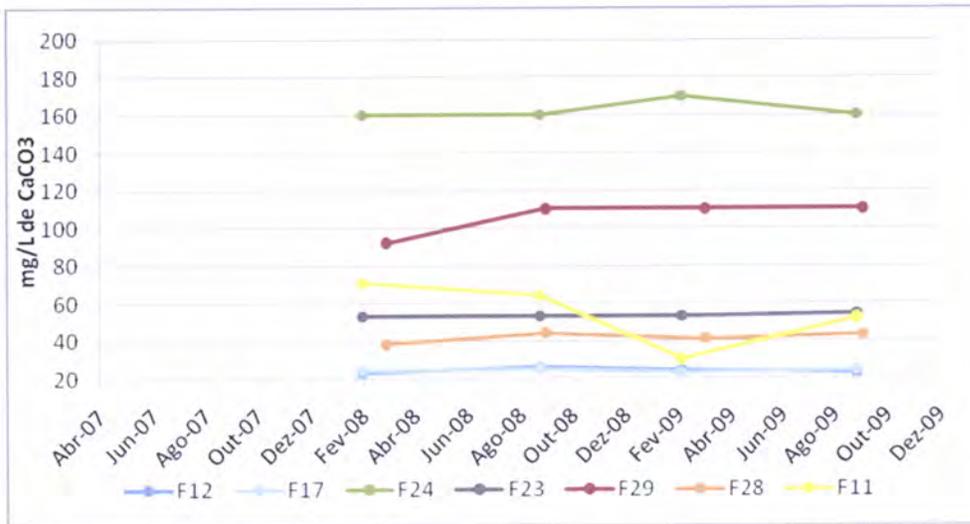


Figura 44 – Evolução da Alcalinidade Total nas captações subterrâneas de abastecimento público do Concelho de Montijo (Zona Este).

O cálcio é o catião predominante nas águas de consumo, fundamentalmente sob a forma de bicarbonatos, mas também de sulfatos, cloretos e outros sais.

O cálcio é o principal responsável pela dureza da água e o seu teor varia com a temperatura, o pH e a alcalinidade da água, não representando um risco para a saúde dos consumidores.

O valor de cálcio nas águas subterrâneas analisadas varia entre 5 e 91mg/L de Ca nos furos da zona Oeste (Figura 45) e 5 e 50 mg/L de Ca nas captações da zona Este (Figura 46) e, tal como seria de esperar, apresenta elevada relação com a dureza.

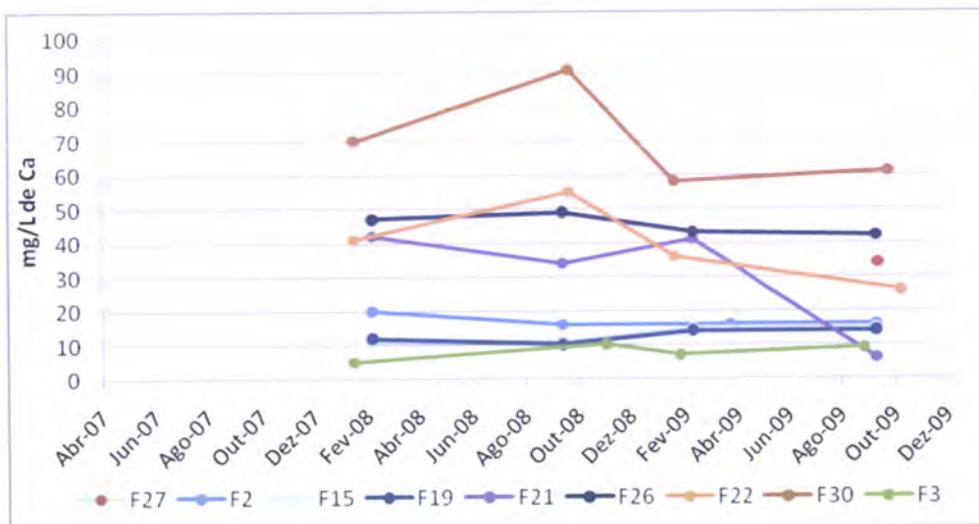


Figura 45 – Evolução do catião Cálcio nas captações subterrâneas de abastecimento público do Concelho de Montijo (Zona Oeste).



Figura 46 - Evolução do catião Cálcio nas captações subterrâneas de abastecimento público do Concelho de Montijo (Zona Este).

O magnésio constitui, tal como o cálcio, um dos factores determinantes da dureza da água, sendo um elemento essencial á vida.

Na zona Oeste (Figura 47) os valores de magnésio variam entre 4,9 e 11 mg/L, com a captação F22 a apresentar o valor máximo medido.

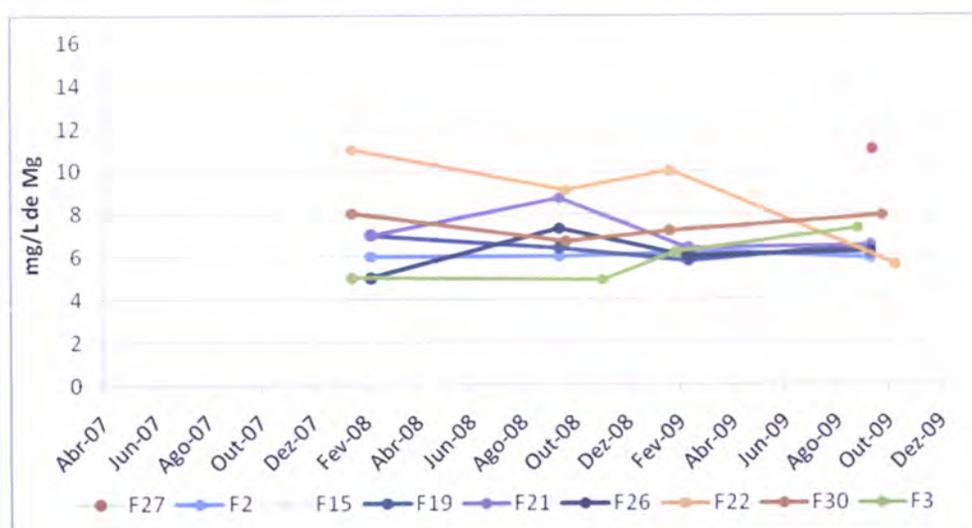


Figura 47 - Evolução do catião Magnésio nas captações subterrâneas de abastecimento público do Concelho de Montijo (Zona Oeste).

Na zona Este do Concelho, o valor médio de magnésio da captação F24, de 13 mg/L, é bastante superior ao valor encontrado nas restantes captações desta zona, que apresentam teores sempre inferiores a 7 mg/L (Figura 48).

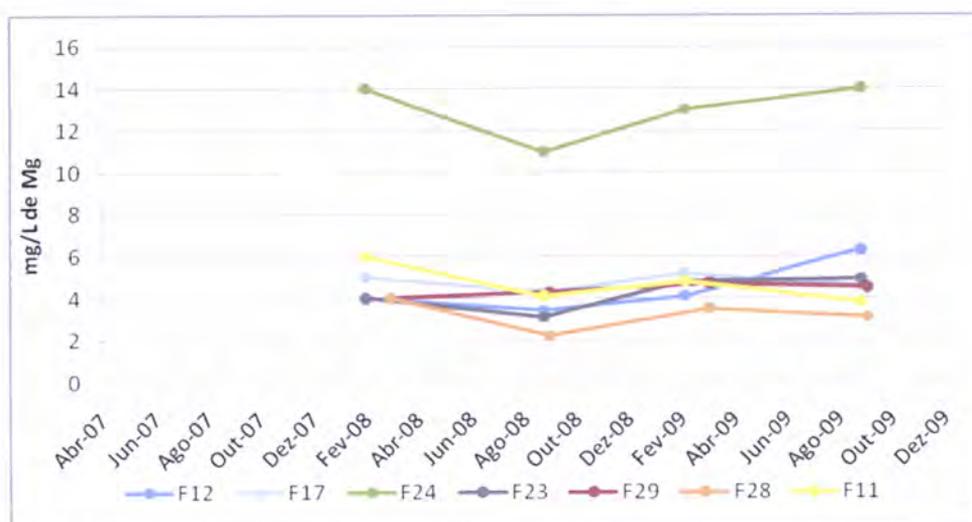


Figura 48 - Evolução do catião Magnésio nas captações subterrâneas de abastecimento público do Concelho de Montijo (Zona Este).

O sódio é um elemento alcalino bastante abundante na crosta terrestre e, devido à sua elevada reactividade, encontra-se sempre sob a forma combinada. Essencial para muitos organismos, o sódio pode ser tóxico para muitas plantas e animais quando presente em concentrações elevadas.

Os valores de sódio observados nas águas analisadas variam entre 19 e 76 mg/L na zona Oeste (Figura 49) e 18 e 29 mg/L na zona Este (Figura 50).

A captação F22 apresenta uma grande instabilidade de valores ao longo do tempo. É também de realçar uma subida acentuada do sódio na captação F19. As restantes captações da zona Oeste apresentam valores relativamente constantes ao longo do tempo.

Na zona Este é visível uma marcada estabilidade deste parâmetro ao longo dos dois últimos anos.

Relativamente aos catiões analisados, a legislação define valor paramétrico para o sódio, que não deverá ultrapassar 200 mg/L. Os catiões cálcio e magnésio são de determinação obrigatória, mas a legislação apenas define valores limite desejáveis, respectivamente 100 e 50 mg/L.

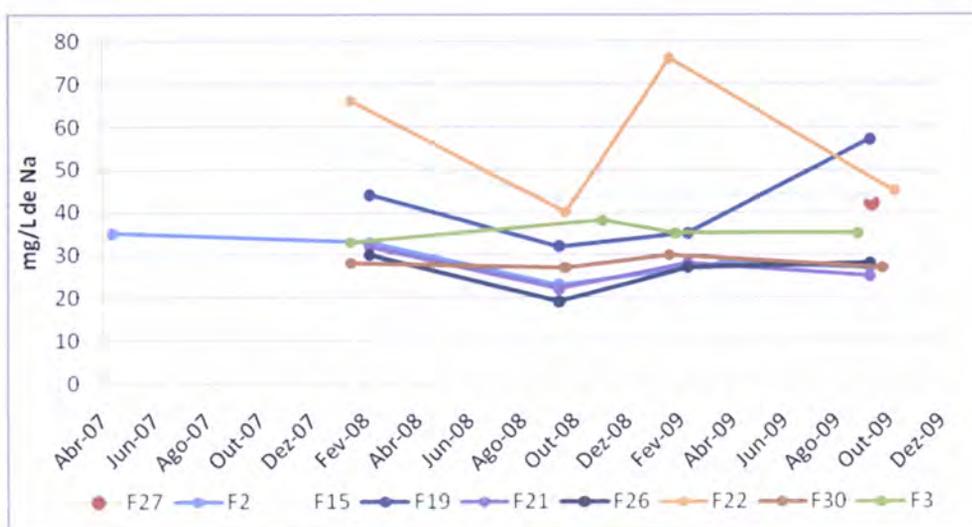


Figura 49 – Evolução do catião Sódio nas captações subterrâneas de abastecimento público do Concelho de Montijo (Zona Oeste).

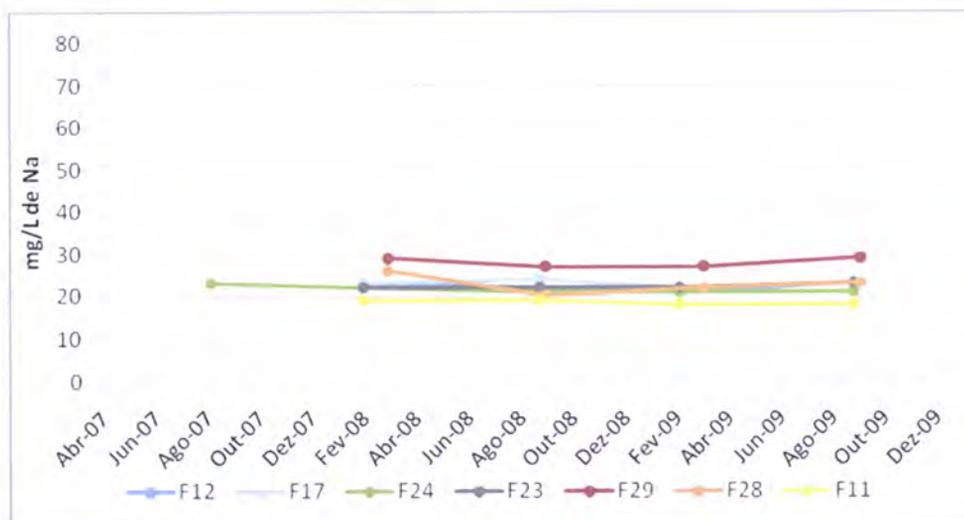


Figura 50 – Evolução do catião Sódio nas captações subterrâneas de abastecimento público do Concelho de Montijo (Zona Este).

Os cloretos representam um dos sais mais abundantes na natureza. Os maiores ou menores teores na água subterrânea podem estar relacionados com a natureza dos terrenos captados, com intrusão salina ou mesmo com contaminação por efluentes industriais e fossas domésticas.

Relativamente ao anião cloreto, os teores analisados na zona Oeste variam entre 14 e 91 mg/L, com as captações F22 e F3 a apresentarem uma grande discrepância de valores ao longo do tempo (Figura 51).

Na zona Este os teores variam entre 18 e 38 mg/L, com valores que se podem considerar estáveis ao longo do tempo (Figura 52).

A legislação define 250 mg/L como valor máximo de cloretos na água de consumo humano.

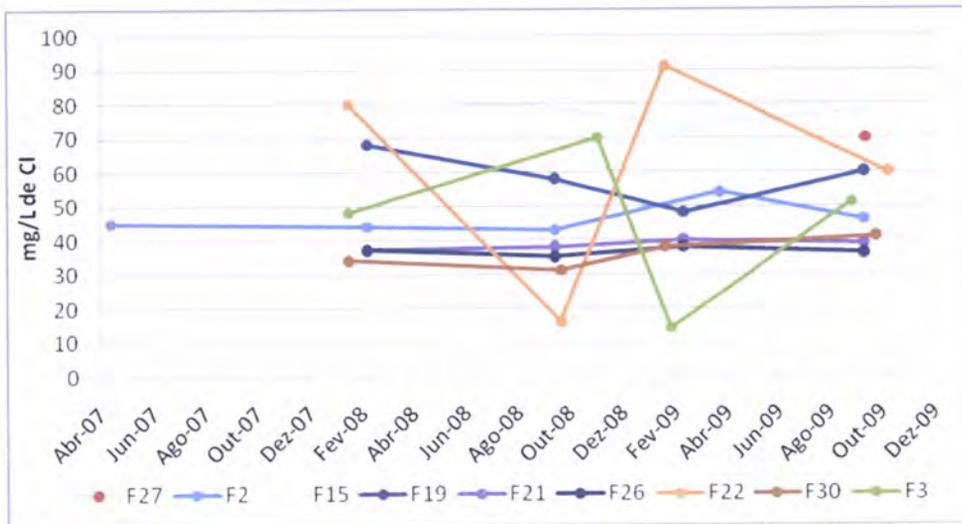


Figura 51 – Evolução do Anião Cloreto nas captações subterrâneas de abastecimento público do Concelho de Montijo (Zona Oeste).

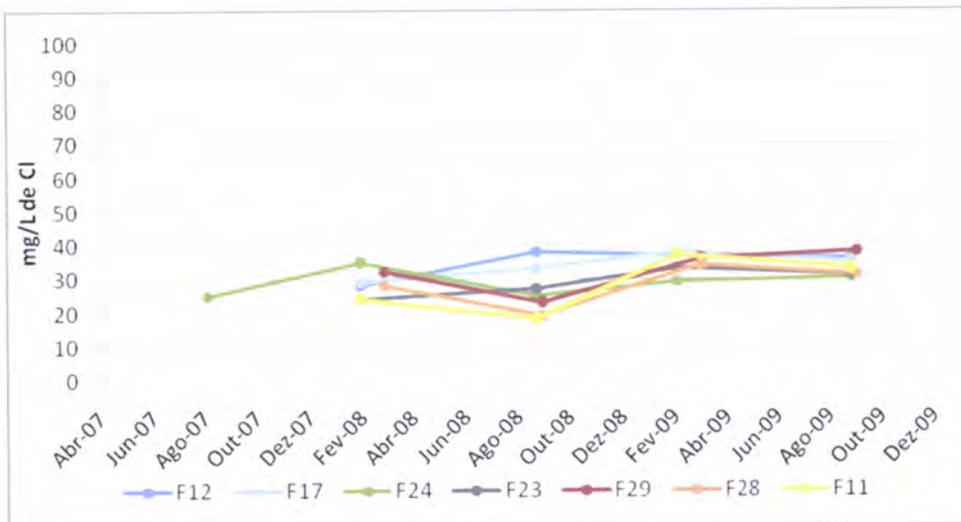


Figura 52 – Evolução do Anião Cloreto nas captações subterrâneas de abastecimento público do Concelho de Montijo (Zona Este).

Para além dos parâmetros representados graficamente, foram ainda analisados os teores em azoto amoniacal, ferro, manganês, nitrato, oxidabilidade, sulfato e potássio, e parâmetros microbiológicos tais como Coliformes totais e *Escherichia coli*.

Os resultados obtidos no que se refere a estes parâmetros são muitas vezes inferiores ao limite de detecção laboratorial, pelo que se optou por não efectuar uma representação gráfica dos mesmos.

É importante referir que, relativamente ao teor em ferro e manganês, foram detectados valores bastante elevados na captação F29 do sistema de Faias. Esta situação parece estar associada à natureza geológica dos terrenos atravessados, que podem apresentar neste tipo de formações níveis intercalados com teores significativos de ferro e manganês.

Relativamente ao parâmetro nitrato, as amostras apresentam quase sempre valores inferiores a 10 mg/L, com excepção das águas captadas no sistema de Santo Isidro de Pegões onde a tendência de subida é notória, sem no entanto ultrapassar os 34 mg/L.

Os parâmetros microbiológicos analisados apresentam, em algumas situações, valores indicadores de contaminação, esta poderá no entanto estar associada ao facto das condições de recolha das amostras não serem as melhores, podendo estar a reflectir uma deficiente desinfecção da torneira onde é efectuada a colheita da água para análise.

O estudo dos resultados das análises químicas pode simplificar-se com o uso de gráficos e diagramas, em especial quando se trata de fazer comparações entre diferentes parâmetros de vários locais. O uso de diagramas, como os de Piper e Stiff, realça a composição iónica de uma água, facilitando análises comparativas.

Para a representação gráfica, de cada parâmetro, nos diagramas foram utilizadas as médias dos resultados analíticos disponíveis por captação.

A análise do diagrama de Piper, para as águas captadas nas zonas Oeste (Figura 53) e Este (Figura 54) do Concelho de Montijo, permite efectuar a caracterização da fácies hidroquímica destas águas. Na zona Oeste do Concelho predominam fácies bicarbonatadas cálcicas e cálcico-sódicas, surgindo ainda 3 captações com fácies cloretada sódica. Uma observação mais atenta indica que as fácies cloretadas sódicas aparecem associadas a captações com menor profundidade e aproveitamento de níveis ligeiramente superiores, quando comparadas com as restantes.

Na zona Este do Concelho, as captações do sistema de Santo Isidro de Pegões e Taipadas apresentam água de fácies cloretada sódica e tal como na zona Oeste do Concelho, este tipo de fácies surge associado a furos com menor profundidade que captam níveis mais superiores. Surgem ainda duas captações que captam água de fácies bicarbonatada-cloretada sódica e duas outras de fácies bicarbonatada sódica e calco-sódica.

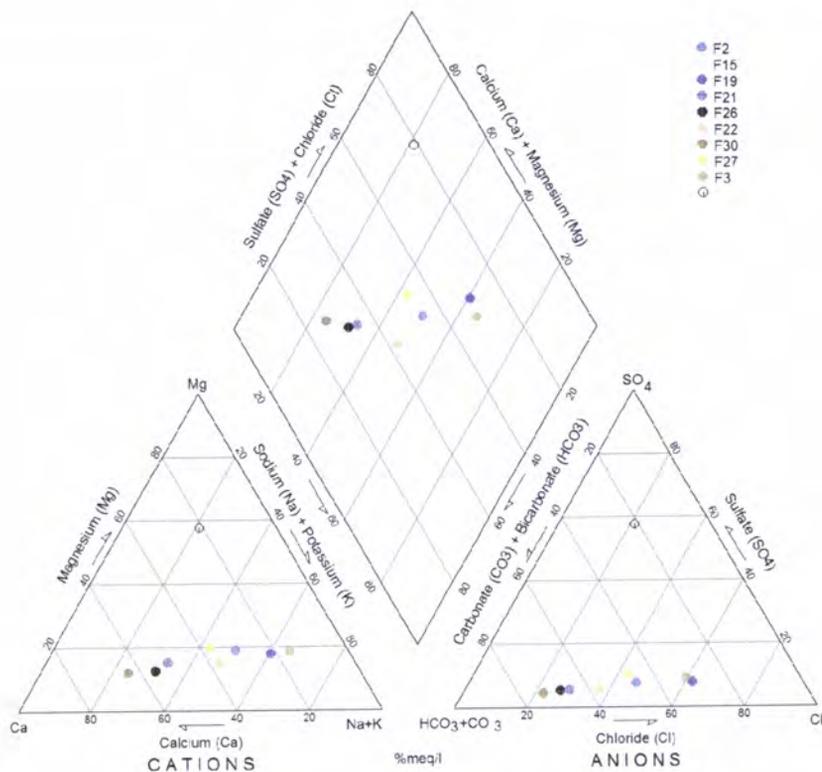


Figura 53 - Projecção do diagrama de Piper para a água captada na Zona Oeste do Concelho de Montijo.

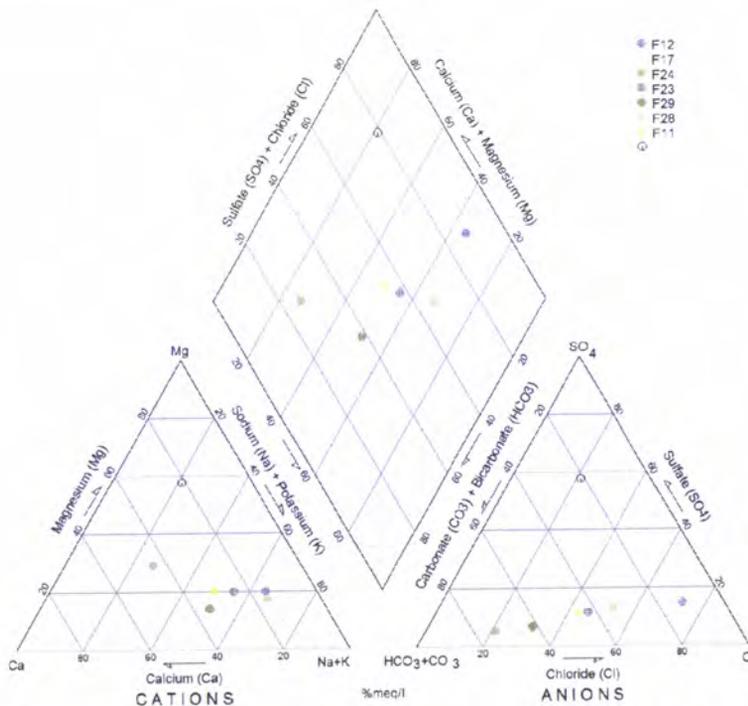


Figura 54 - Projecção do diagrama de Piper para a água captada na Zona Este do Concelho de Montijo.

A distribuição espacial das fácies hidroquímicas através de diagramas de Stiff (Figura 55) permite analisar a sua relação com a maior ou menor mineralização da água e a sua distribuição geográfica.

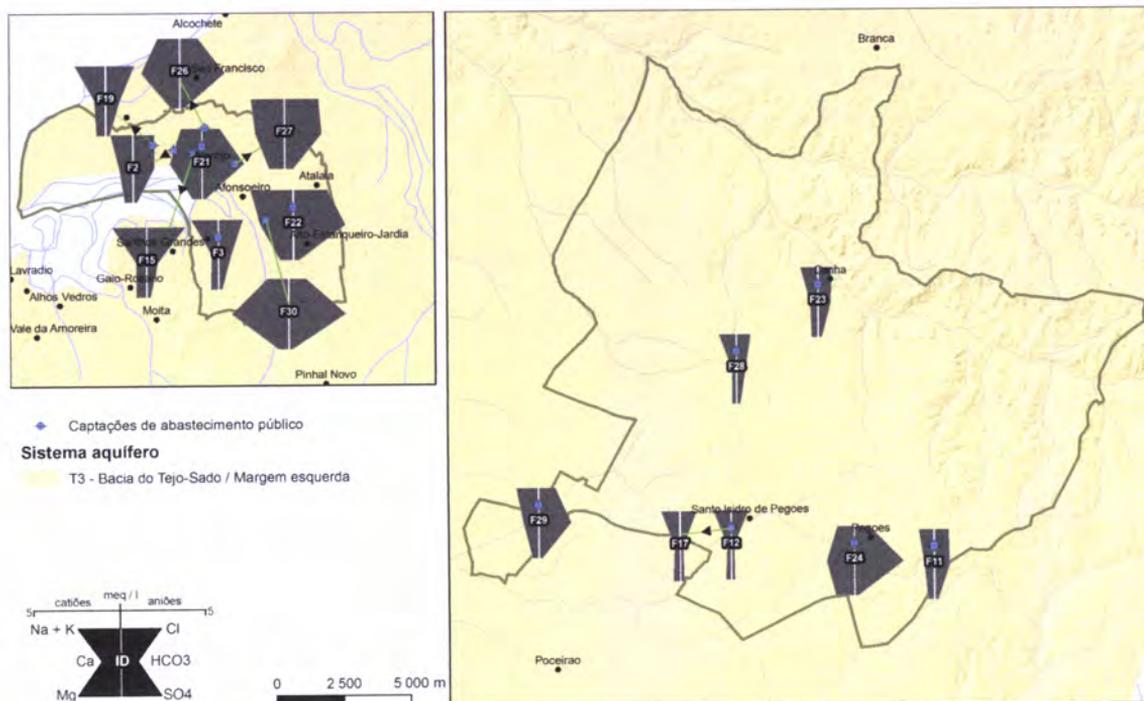


Figura 55 – Projecção de diagramas de Stiff referentes à fácies hidroquímica da água subterrânea captada para abastecimento público no Concelho de Montijo.

Na zona Oeste do Concelho verifica-se que águas mais mineralizadas apresentam fácies bicarbonata cálcica enquanto que águas menos mineralizadas estão associadas a fácies cloretada sódica.

Na zona Este do Concelho as menores mineralizações da água surgem tal, como na zona Oeste, associadas a fácies cloretada sódica e ainda fácies bicarbonatada-cloretada sódica. As duas captações que apresentam água de fácies bicarbonatada sódica e calco-sódica apresentam água bastante mais mineralizada.

Comparando a água captada nas duas zonas geográficas do Concelho, verifica-se claramente uma maior mineralização na zona Oeste. As diferenças verificadas, quer entre zonas, quer dentro da própria zona, parecem estar relacionadas com factores tais como a profundidade da captação, profundidade do isolamento e níveis captados. A maior ou menor contribuição das camadas da base do Pliocénico e do Miocénico superior a médio é o factor que mais influencia estas diferenças de fácies e mineralização da água captada. Assim, as captações que aproveitam predominantemente as camadas do Pliocénico, relativamente às do

Miocénico, apresentam fácies essencialmente cloretada sódica e uma baixa mineralização. As captações cuja contribuição é essencialmente das camadas Miocénicas, apresentam predominantemente águas de fácies bicarbonatada sódica na zona Este e bicarbonatada cálcica na zona Oeste, bem uma maior mineralização quando comparadas com as restantes. As análises efectuadas nas origens não permitem classificar com pormenor a qualidade das águas para consumo humano, uma vez que foi apenas determinado um pequeno número de parâmetros.

O já mencionado Decreto-Lei 306/2007 de 27 de Agosto, que estabelece o regime da qualidade da água destinada ao consumo humano, define um conjunto considerável de parâmetros químicos e bacteriológicos que deverão ser sujeitos a análise ao longo do ano nos vários sistemas de abastecimento público.

A entidade gestora dos sistemas de abastecimento público de Montijo (Serviços Municipalizados de Água e Saneamento de Montijo) cumpre anualmente um rigoroso programa de controlo de qualidade, tendo efectuado nos anos 2008 e 2009, um total de 4194 análises nos vários sistemas de abastecimento do município.

A amostragem para análise é efectuada na torneira dos consumidores e corresponde maioritariamente ao resultado da mistura de água de várias origens. O Programa de Monitorização é sujeito à aprovação da Entidade Reguladora de Águas e de Resíduos (ERSAR), que assegura também o seu cumprimento por parte da Entidade Gestora.

Foi possível aceder ao resultado das análises efectuadas durante os anos 2008 e 2009, tendo-se observado um cumprimento de 99,3% de valores paramétricos. As raras situações de incumprimento surgem associadas a parâmetros microbiológicos, pH, ferro, manganês, turvação, cor e nitrato.

As situações de contaminação microbiológica detectadas estão na maior parte das vezes associadas a falhas no sistema de desinfecção, não tendo sido detectada qualquer relação directa com a qualidade da água na origem. Relativamente aos restantes parâmetros, as situações de incumprimento podem ser associadas às características da água na origem. No entanto, as situações detectadas são pontuais e não apresentaram persistência, pelo que se pode considerar que a água distribuída no Concelho é de boa qualidade, com raras situações de incumprimento (0,7%).

## 10. Índice de Susceptibilidade

O Índice de Susceptibilidade (IS) surgiu da necessidade de munir os decisores com um novo método de avaliação de vulnerabilidade de aquíferos, de características específicas, que fosse uma alternativa válida aos índices de vulnerabilidade intrínseca correntes.

Tendo como base alguns descritores do índice DRASTIC (Aller *et al.*, 1987), incorpora princípios de vulnerabilidade específica associados a um determinado tipo de ocupação do solo.

Os ponderadores atribuídos aos parâmetros do IS foram calculados a partir de um painel DELPHI de técnicos e especialistas portugueses em hidrogeologia e áreas afins.

O IS foi desenvolvido por Ribeiro (2005) e tem sido aplicado com sucesso em vários casos de estudo portugueses (Paralta, *et al.*, 2001, Francês *et al.*, 2001, Stigter *et al.*, 2002).

Pretende-se com este método avaliar de forma expedita a vulnerabilidade de uma área através do cálculo da soma ponderada de vários parâmetros (equação 20).

$$IS = D_{di} + R_{ri} + A_{ai} + T_{ti} + OS_{osi} \quad \text{Equação 20}$$

Na Tabela 11 apresenta-se o significado dos parâmetros do IS, a forma como foi obtida a informação para o cálculo do índice no Concelho de Montijo, e respectivos factores de ponderação.

Tabela 11 – Parâmetros e ponderações do Índice de Susceptibilidade

Parâmetro	Significado	Fonte de informação	Factor de ponderação
D	Profundidade do nível piezométrico	medições in situ	0,186
R	recarga anual do aquífero	SNIRH - INAG	0,212
A	geologia do aquífero	Carta geológica de Portugal à escala 1/500 000	0,259
T	declives do terreno	Câmara Municipal de Montijo	0,121
OS	ocupação do solo	Carta Corine Land Cover, escala 1/100 000 (CNIG, 2006)	0,222

Os primeiros quatro parâmetros (D,R,A, e T) são extraídos directamente do DRASTIC. As classes definidas para cada um dos parâmetros são iguais às dos DRASTIC e os valores atribuídos às classes, que no DRASTIC variam entre 1 e 10, são aqui multiplicados por 10 para facilitar a leitura do resultado final (Tabela 12).

O quinto parâmetro (OS) define a ocupação do solo, e a sua integração no índice pretende que este não dependa apenas das condições naturais, mas também dos impactes associados ao uso do solo e dos contaminantes associados a práticas agrícolas. Divide-se o uso do solo

por classes, conforme classificação da carta CORINE Land Cover 2006 (Caetano, M. *et al*, 2009), os valores atribuídos variam entre 0 e 100 (Tabela 13). Uma classificação mais elevada indica actividades mais poluentes.

Tabela 12 - Classes definidas para os Parâmetros D,R,A e T e valores atribuídos a cada classe.

D (m)		R (mm/ano)		A		T(%)	
classe	valor	classe	valor	classe	valor	classe	valor
<1,5	100	<51	10	Xisto argiloso, argilito	10-30 (20)	<2	100
1,5-4,6	90	51-102	30	Rocha metamórfica/ígnea	20-50 (30)	2-6	90
4,6-9,1	70	102-178	60	Rocha metamórfica/ígnea alterada	30-50 (40)	6-12	50
9,1-15,2	50	178-254	80	Till glacial	40-60 (50)	12-18	30
15,2-22,9	30	>254	90	Arenito, calcário e argilito estratificados	50-90 (60)	>18	10
22,9-30,5	20			Arenito maciço	40-90 (60)		
>30,5	10			Calcário maciço	40-90 (60)		
				Areia e balastro	40-90(80)		
				Basalto	20-100 (90)		
				Calcário carsificado	90-100 (100)		

Tabela 13 - Classificação da ocupação do solo com base na carta CORINE Land Cover (Caetano, M. *et al.*, 2009) e respectivos valores atribuídos

OS	classificação
descargas industriais, zonas de eapalhamento de lixos	100
perímetros regados, arrozais	90
pedreiras, zonas de extracção de areia, minas a céu aberto, estaleiros	80
aeroportos, zonas portuárias, infraestruturas da rede de autoestradas e da rede ferroviária	75
espaços de actividades industriais, comerciais e de equipamentos gerais	75
espaços verdes urbanos	75
zonas de equipamentos desportivos e de ocupação de tempos livres	75
tecido urbano contínuo	75
tecido urbano descontinuo	70
culturas permanentes (vinhas, pomares, oliveiras, etc.)	70
culturas anuais associadas às culturas permanentes	50
pastagens	50
sistemas culturais e parcelares complexos	50
terras ocupadas principalmente por agricultura com espaços naturais importantes	50
territórios agro-florestais	50
meios aquáticos (sapais, salinas, etc)	50
florestas e meios semi-naturais, superfícies com água	0

Francês *et al.* (2001), resume a descrição dos parâmetros deste índice e justifica a sua selecção: O parâmetro D (profundidade do nível piezométrico) define a distância vertical que um contaminante tem que atravessar para chegar ao aquífero. Quanto maior essa profundidade menor a probabilidade do contaminante chegar rapidamente ao aquífero. A recarga anual (R) representa a quantidade de água que chega anualmente ao aquífero através da precipitação. Uma elevada recarga aumenta a lexiviação de contaminantes para o aquífero.

A geologia do aquífero (A) determina a mobilidade de um contaminante. Quanto maior o tempo de residência, mais atenuado será o seu efeito.

O parâmetro T define o declive do terreno, que, quanto mais inclinado for, mais promove a escorrência superficial, evitando a sua infiltração e a lixiviação de contaminantes.

A ocupação do solo (OS) define as actividades exercidas no terreno, as quais constituem potenciais fontes de contaminação.

Da Figura 56 à Figura 65 apresenta-se o mapeamento dos parâmetros do IS e valores atribuídos às respectivas classes, na área geográfica do Concelho de Montijo.

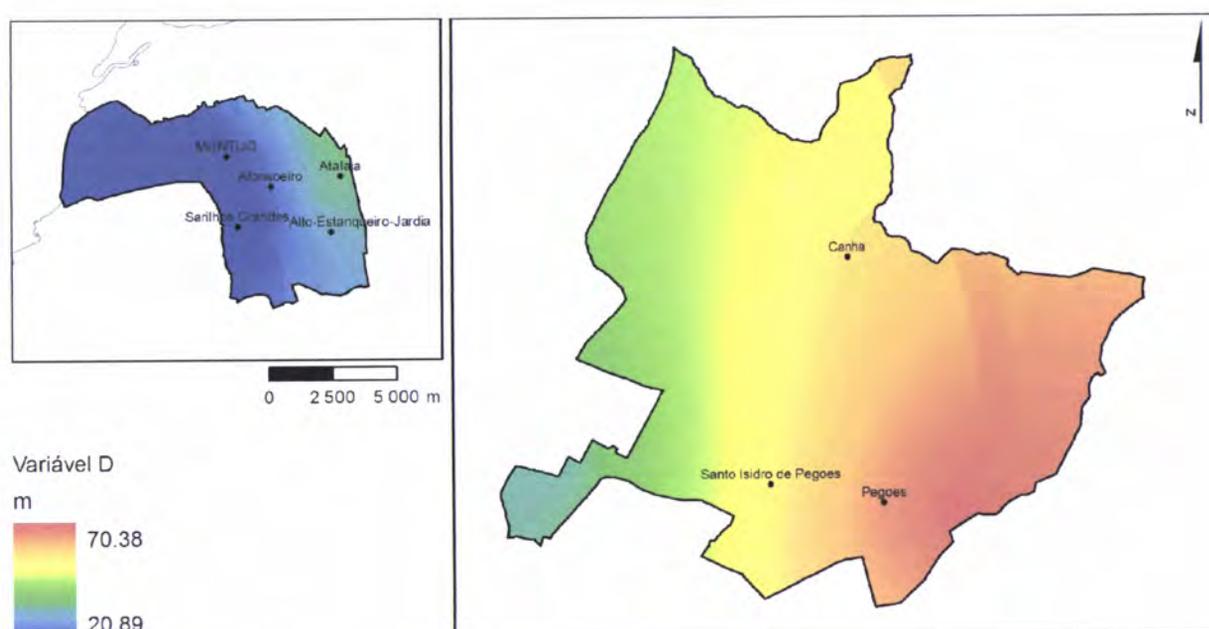


Figura 56 – Projeção espacial das classes da variável D no Concelho de Montijo.

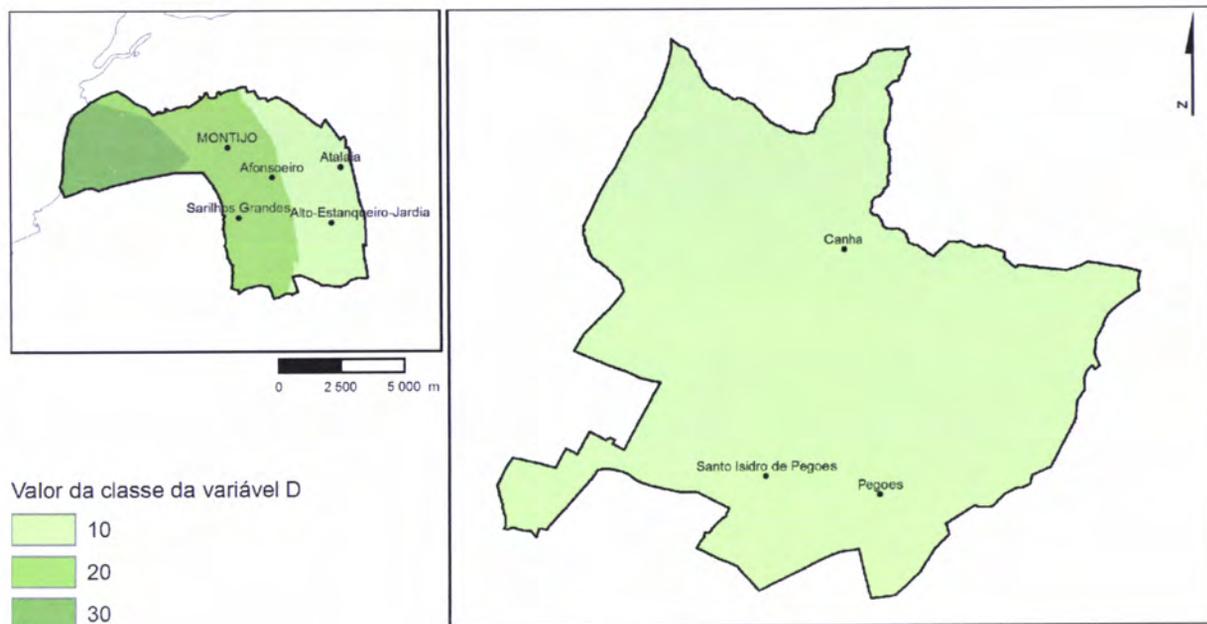


Figura 57 – Projecção espacial dos valores correspondentes às classes da variável D.

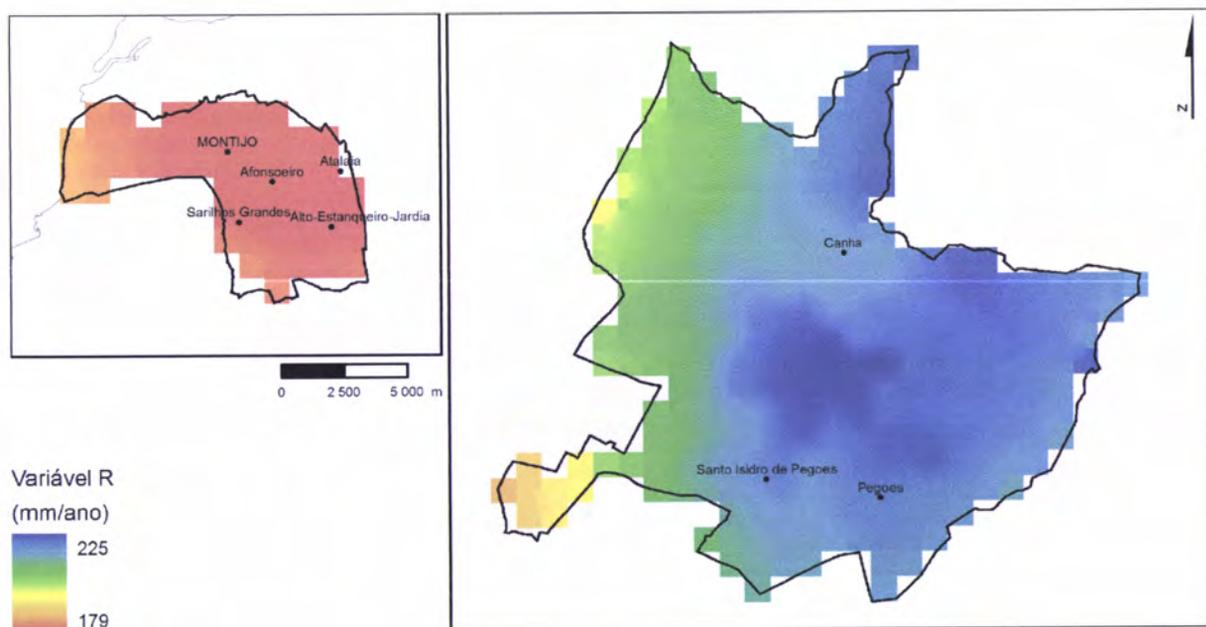


Figura 58 – Projecção espacial das classes da variável R no Concelho de Montijo

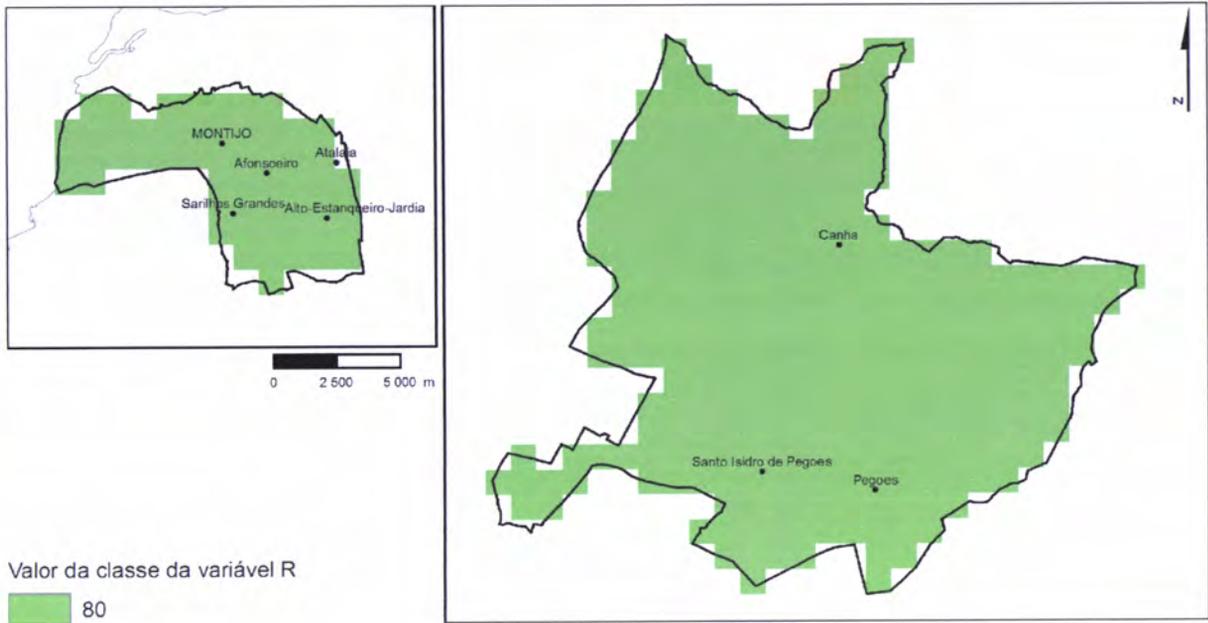


Figura 59 - Projecção espacial dos valores correspondentes às classes da variável R.

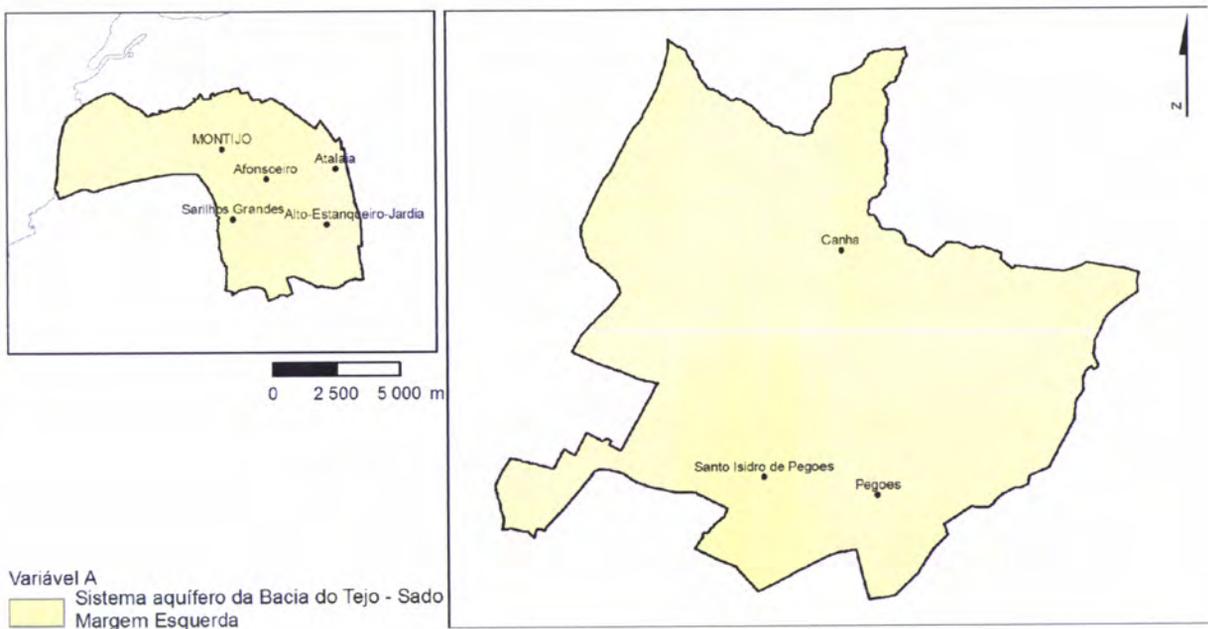


Figura 60 - Projecção espacial das classes da variável A no Concelho de Montijo



Figura 61 - Projecção espacial dos valores correspondentes às classes da variável A.

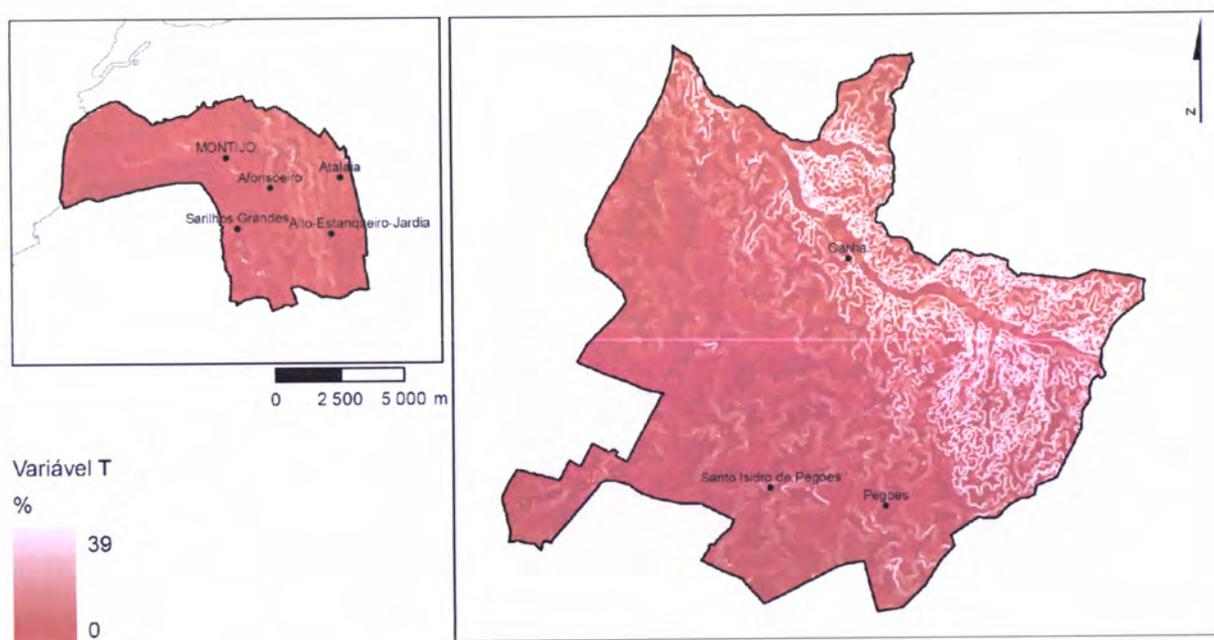


Figura 62 - Projecção espacial das classes da variável T no Concelho de Montijo

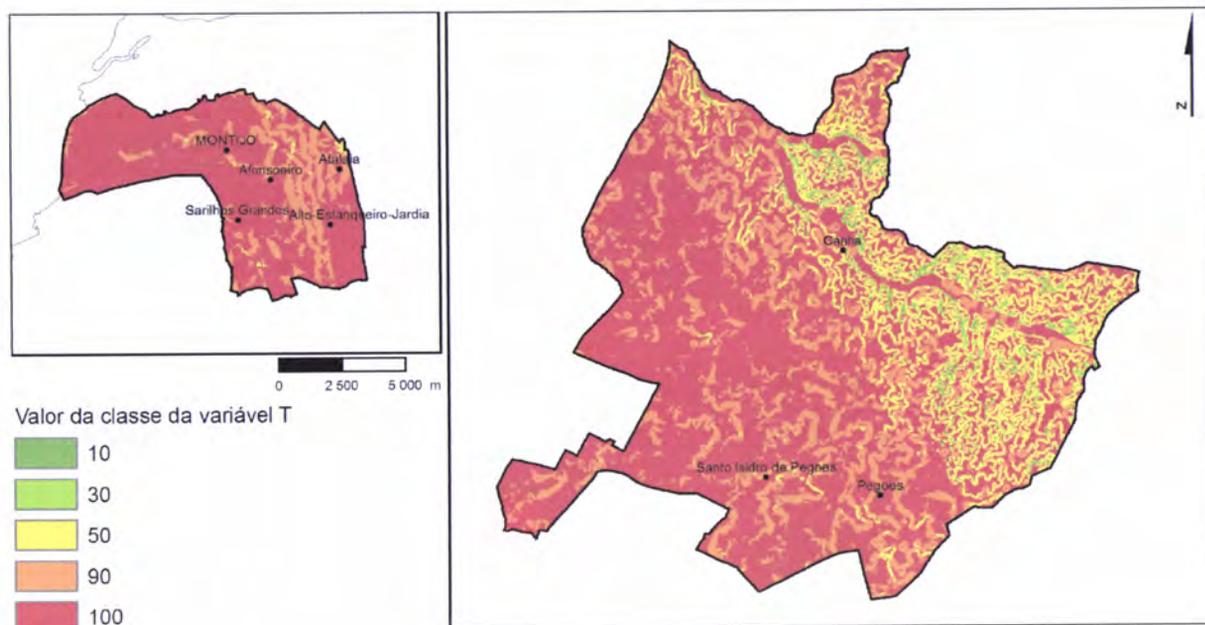


Figura 63 - Projecção espacial dos valores correspondentes às classes da variável T.

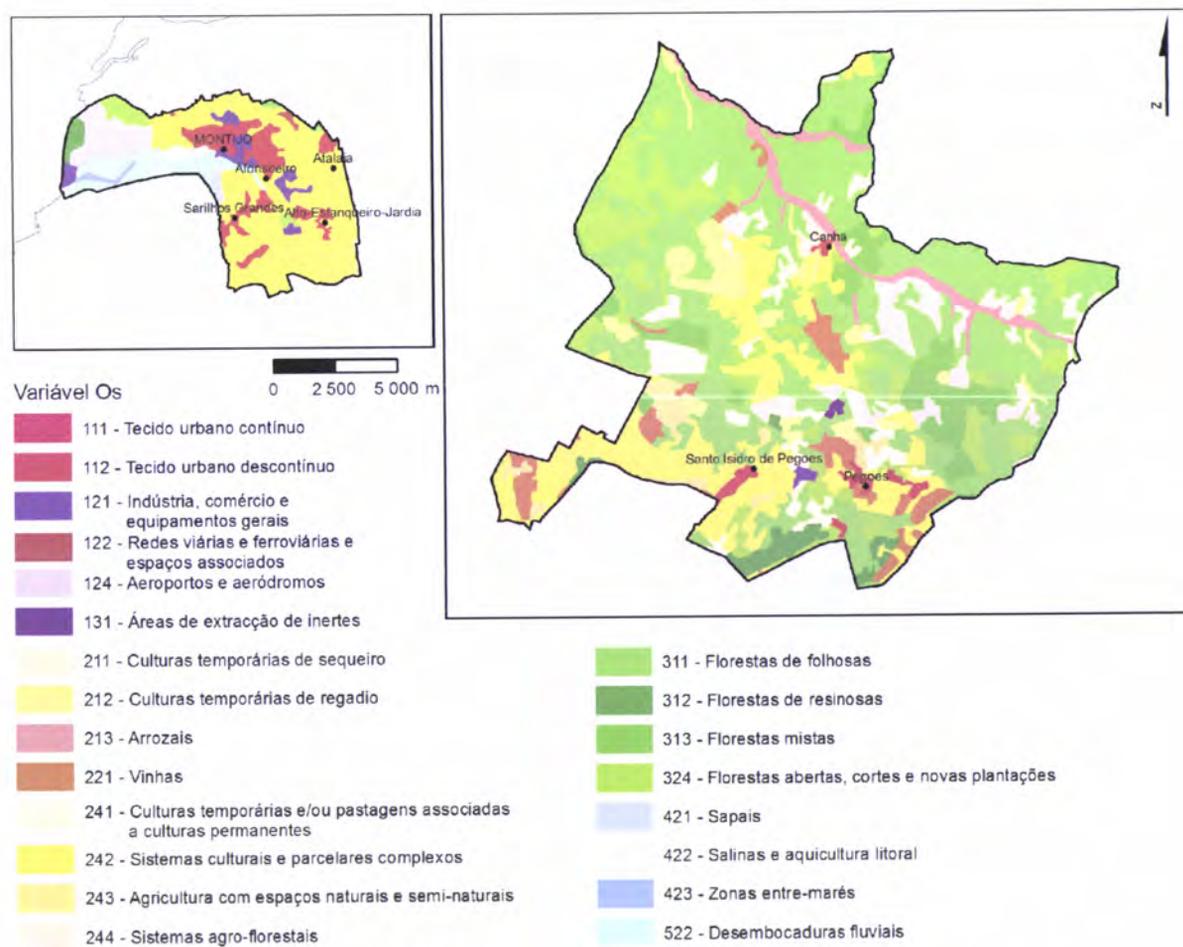


Figura 64 - Projecção espacial das classes da variável OS no Concelho de Montijo

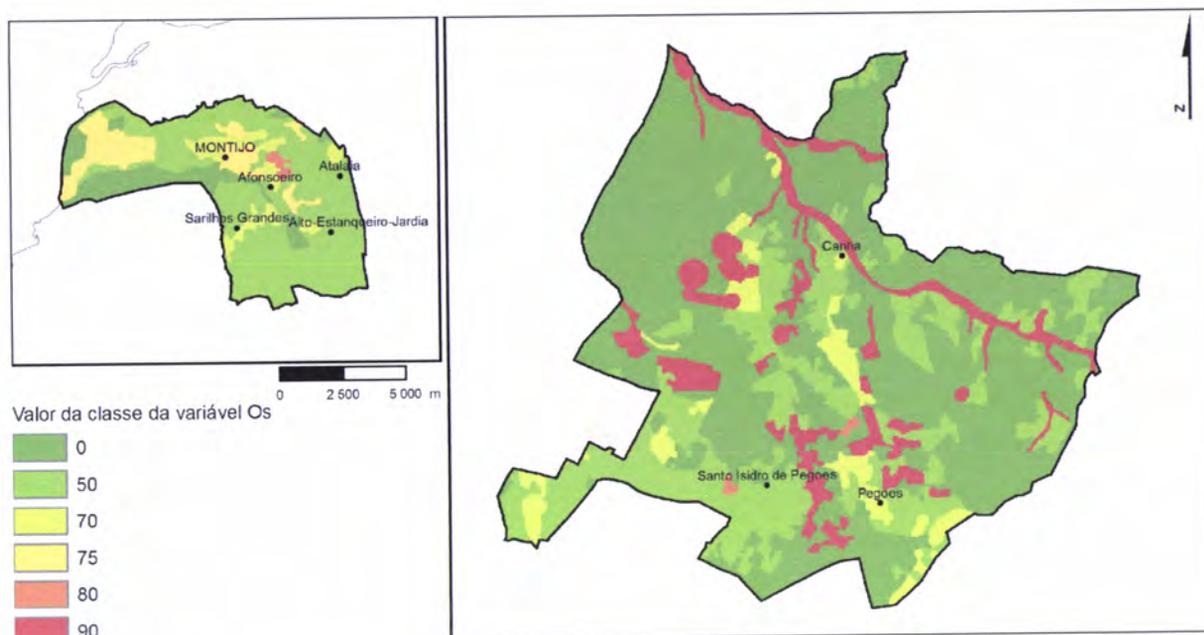


Figura 65 – Projecção espacial dos valores correspondentes às classes da variável OS.

A Figura 66 corresponde ao mapa do IS calculado para o Concelho de Montijo.

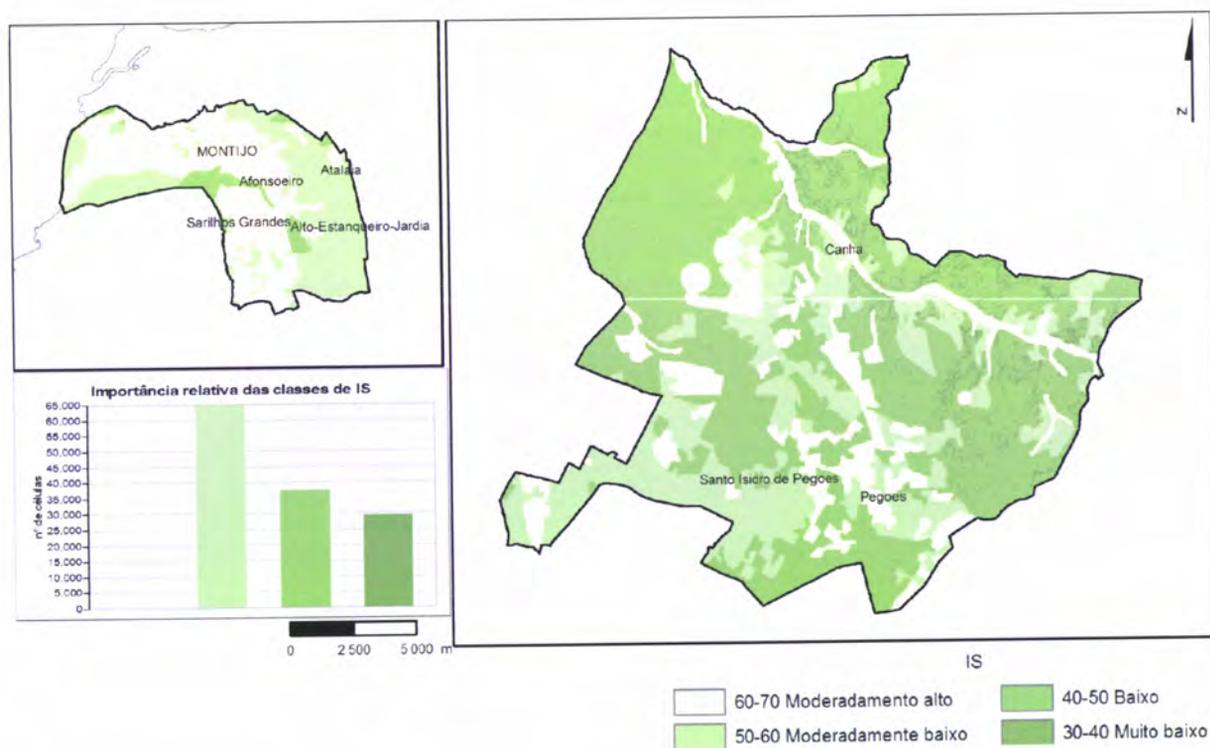


Figura 66 – Mapa do Índice de Susceptibilidade (IS) para o Concelho de Montijo.

O Índice de Susceptibilidade no Concelho de Montijo varia entre muito baixo a moderadamente alto, com predominância da classe moderadamente baixo. A extensa área do território Este, com características rurais e onde ainda se encontram bastantes territórios naturais, apesar de ser também uma zona em que agricultura tem alguma representatividade, contribui para a predominância desta classe na avaliação global do Concelho.

Uma análise individualizada da Zona Este do Concelho permite verificar que aqui predominam as classes de vulnerabilidade baixa a moderadamente baixa, ocorrendo algumas áreas de vulnerabilidade moderadamente alta ao longo das principais linhas de água e perímetros regados.

Na zona Oeste do Concelho predominam as classes moderadamente baixa e moderadamente alta. A maior vulnerabilidade do território Oeste do Concelho deve-se essencialmente ao nível piezométrico, que se encontra a menor profundidade, ao território mais artificializado e declives muito pouco acentuados.

## **11. Perímetros de Protecção**

### **11.1. Introdução**

As águas subterrâneas constituem importantes origens de água, efectivas ou potenciais, a nível regional e local que importa conservar.

As águas subterrâneas são susceptíveis de ser afectadas por actividades sócio-económicas, designadamente pelos usos do solo, com a sua ocupação urbana, agrícola e de zonas verdes.

A melhor forma de conseguir uma absoluta protecção de uma captação, seria impedir todo o tipo de actividade potencialmente contaminante sobre a sua zona de recarga. Esta é, no entanto, uma medida extrema e impossível de levar a cabo pelas implicações técnicas e sobretudo económicas associadas.

Considera-se, pois, mais adequado a definição de perímetros de protecção utilizando um sistema de zonas que rodeiam a captação e no interior das quais se restringe ou proíbe de forma gradual (em função da proximidade da mesma) as actividades susceptíveis de modificar a qualidade da água subterrânea aí captada.

Ao delimitar um perímetro de protecção é importante encontrar um compromisso entre a protecção adequada e suficiente e o respeito, na medida do possível, da actividade sócio-económica da região circundante.

Segundo EPA (1993, *in* Moinante, 2003), num aquífero verdadeiramente confinado, a definição do perímetro de protecção em torno da captação não desempenha qualquer função de protecção, sendo nestes casos suficiente definir uma área imediatamente subjacente à captação para impedir o movimento de poluentes ao longo da coluna da captação. No entanto, Moinante (2003), refere alguns factores que poderão colocar em risco a qualidade da água subterrânea mesmo em aquíferos confinados. Os aquíferos podem por vezes apresentar descontinuidades locais, naturais (variação de materiais, estreitamento local, falhas, fracturas) ou antropogénicas (captações abandonadas ou com roturas no isolamento) e, caso o nível piezométrico desça ao ponto de favorecer o movimento descendente da água subterrânea, estas descontinuidades funcionam como condutas de água e de poluentes em direcção ao aquífero.

Outra situação que poderá conduzir à poluição de um aquífero confinado está relacionada com furos mal construídos que atravessam mais de um aquífero colocando-os em contacto.

A Figura 67 ilustra algumas destas situações.

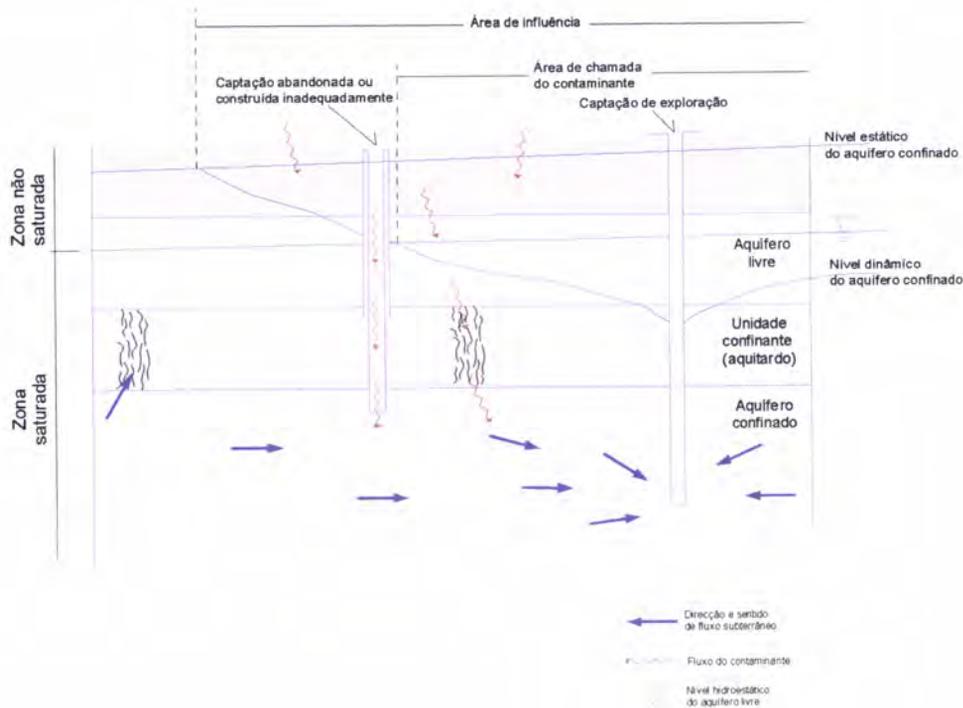


Figura 67 - Situações que poderão colocar em risco a qualidade da água num aquífero confinado (adaptado de ITGE, 1991)

Neste sentido, e apesar das captações de abastecimento público do Concelho de Montijo captarem exclusivamente o aquífero confinado, considera-se a definição de perímetros de protecção um importante instrumento de segurança à qualidade da água distribuída à população.

## 11.2. O Decreto-Lei 382/99 de 22 de Agosto

O Decreto-lei 382/99, de 22 de Setembro estabelece as normas e os critérios para a delimitação de perímetros de protecção de captações de água subterrânea destinadas ao abastecimento público com a finalidade de proteger a qualidade da água dessas captações.

O diploma é aplicado a captações que abastecem aglomerados populacionais com mais de 500 habitantes ou cujo caudal de exploração seja superior a 100 m<sup>3</sup>/dia. Independentemente destes valores, a definição do perímetro imediato é sempre obrigatória.

A definição de perímetros de protecção visa:

- Prevenir, reduzir e controlar a poluição das águas subterrâneas por infiltração de águas pluviais lixiviantes e de águas excedentes de rega e de lavagens;

- Potenciar os processos naturais de diluição e de autodepuração das águas subterrâneas;
- Prevenir, reduzir e controlar as descargas acidentais de poluentes;
- Proporcionar a criação de sistemas de aviso e alerta para a protecção dos sistemas de abastecimento de água com origem subterrânea, em situações de poluição accidental.

O perímetro de protecção é definido como uma área contígua à captação, na qual se interditam ou condicionam as instalações e as actividades susceptíveis de poluírem as águas subterrâneas, que engloba as seguintes zonas:

**Zona de Protecção Imediata** - área de superfície contígua à captação que se destina à protecção directa da mesma, sendo interdita qualquer actividade ou instalação com excepção das que têm por finalidade a conservação, manutenção e melhor exploração da captação.

**Zona de Protecção Intermédia** - área de superfície contígua à zona de protecção imediata, de extensão variável tendo em conta as condições geológicas e estruturais do sistema aquífero, definida de forma a eliminar ou reduzir a poluição das águas subterrâneas, onde são interditas ou condicionadas as actividades e as instalações susceptíveis de poluírem aquelas águas, quer por infiltração de poluentes, quer por poderem modificar o fluxo na captação ou favorecer a infiltração na zona próxima da captação;

**Zona de Protecção Alargada** - área da superfície do terreno contígua exterior à zona de protecção intermédia, destinada a proteger as águas subterrâneas de poluentes persistentes, tais como compostos orgânicos, substâncias radioactivas, metais pesados, hidrocarbonetos e nitratos, onde as actividades e instalações são interditas ou condicionadas em função do risco de poluição das águas, tendo em atenção a natureza dos terrenos atravessados, a natureza e a quantidade de poluentes, bem como o modo de emissão desses poluentes.

Podem também ser definidas zonas de protecção especial e contra o avanço da cunha salina.

O artigo 6º refere as actividades e instalações interditas ou condicionadas em cada uma das zonas de protecção (Tabela 14).

Tabela 14 – Actividades e instalações interditas ou condicionadas nas zonas de protecção definidas no Decreto-Lei 382/99 de 22 de Setembro

	<b>Actividades e instalações que podem ser interditas ou condicionadas</b>	<b>Actividades e instalações interditas</b>
<b>Zona de Protecção Imediata</b>	todas, excepto as que têm por finalidade a conservação, manutenção e melhor exploração da captação	todas, excepto as que têm por finalidade a conservação, manutenção e melhor exploração da captação.
<b>Zona de Protecção Intermédia</b>	pastorícia; usos agrícolas e pecuários; aplicação de pesticidas móveis e persistentes na água ou que possam formar substâncias tóxicas, persistentes ou bioacumuláveis; edificações; estradas e caminhos de ferro; parques de campismo; espaços destinados a práticas desportivas; estações de tratamento de águas residuais; colectores de águas residuais; fossas de esgoto; unidades industriais; cemitérios; pedreiras e quaisquer escavações; explorações mineiras; lagos e quaisquer obras ou escavações destinadas à recolha e armazenamento de água ou quaisquer substâncias susceptíveis de se infiltrarem; depósitos de sucata.	Infra-estruturas aeronáuticas; oficinas e estações de serviço de automóveis; depósitos de materiais radioactivos, de hidrocarbonetos e de resíduos perigosos; postos de abastecimento e áreas de serviço de combustíveis; transporte de hidrocarbonetos, de materiais radioactivos ou de outras substâncias perigosas; canalizações de produtos tóxicos; lixeiras e aterros sanitários.
<b>Zona de Protecção Alargada</b>	utilização de pesticidas móveis e persistentes na água ou que possam formar substâncias tóxicas, persistentes ou bioacumuláveis; colectores de águas residuais; fossas de esgoto; lagos e quaisquer obras ou escavações destinadas à recolha e armazenamento de água ou quaisquer substâncias susceptíveis de se infiltrarem; estações de tratamento de águas residuais; cemitérios; pedreiras e explorações mineiras; infra-estruturas aeronáuticas; oficinas e estações de serviço de automóveis; postos de abastecimento e áreas de serviço de combustíveis; depósitos de sucata.	transporte de hidrocarbonetos, de materiais radioactivos ou de outras substâncias perigosas; depósitos de materiais radioactivos, de hidrocarbonetos e de resíduos perigosos; canalizações de produtos tóxicos; refinarias e indústrias químicas; lixeiras e aterros sanitários.
<b>Zona de Protecção Especial</b>	todas	todas
<b>Zona de Protecção contra o avanço da cunha salina</b>	limitados os caudais de exploração em captações existentes; construção ou exploração de novas captações;	

No caso da impossibilidade de desenvolver estudos hidrogeológicos locais, o diploma prevê como recurso o uso do método do raio fixo calculado, definindo em anexo os valores de raio mínimo a considerar na delimitação das zonas de protecção de acordo com o tipo de aquífero (Tabela 15).

Tabela 15 - Raio mínimo a considerar na delimitação das zonas de protecção segundo o tipo de aquífero.

Tipo de sistema aquífero	Zona de protecção imediata	Zona de protecção intermédia	Zona de protecção alargada
Tipo 1	$r=20$ m	$r$ é o maior valor entre 40 m e $r_1$ ( $t=50$ dias)	$r$ é o maior valor entre 350 m e $r_1$ ( $t=3500$ dias)
Tipo 2	$r=40$ m	$r$ é o maior valor entre 60 m e $r_2$ ( $t=50$ dias)	$r$ é o maior valor entre 500 m e $r_2$ ( $t=3500$ dias)
Tipo 3	$r=30$ m	$r$ é o maior valor entre 50 m e $r_3$ ( $t=50$ dias)	$r$ é o maior valor entre 400 m e $r_3$ ( $t=3500$ dias)
Tipo 4	$r=60$ m	$r$ é o maior valor entre 280 m e $r_4$ ( $t=50$ dias)	$r$ é o maior valor entre 2400 m e $r_4$ ( $t=3500$ dias)
Tipo 5	$r=60$ m	$r$ é o maior valor entre 140 m e $r_5$ ( $t=50$ dias)	$r$ é o maior valor entre 1200 m e $r_5$ ( $t=3500$ dias)
Tipo 6	$r=40$ m	$r$ é o maior valor entre 60 m e $r_6$ ( $t=50$ dias)	$r$ é o maior valor entre 500 m e $r_6$ ( $t=3500$ dias)

$r_i(t)$  - raio do perímetro de protecção calculado com base no método do raio fixo calculado.

Sendo os seguintes os tipos de sistemas aquíferos:

**Tipo 1** - sistema aquífero confinado cujo suporte litológico é constituído por formações porosas;

**Tipo 2** - sistema aquífero livre cujo suporte litológico é constituído por formações porosas;

**Tipo 3** - sistema aquífero semi-confinado cujo suporte litológico é constituído por formações porosas;

**Tipo 4** - sistema aquífero cujo suporte litológico é constituído por formações carbonatadas;

**Tipo 5** - sistema aquífero cujo suporte litológico é constituído por formações ígneas e metamórficas fissuradas;

**Tipo 6** - sistema aquífero cujo suporte litológico é constituído por formações ígneas e metamórficas pouco fissuradas e ou alteradas.

### 11.3. Delimitação das zonas de protecção às captações de abastecimento público do Concelho de Montijo com recurso a métodos analíticos.

#### 11.3.1. Considerações gerais

A selecção do método de determinação do perímetro de protecção depende essencialmente da informação e dos recursos disponíveis.

Segundo Moinante (2003) a selecção do método a utilizar pode basear-se em determinados aspectos, nomeadamente, a população abastecida, considerações técnicas, económicas e políticas.

Para populações inferiores a 500 habitantes podem ser usados métodos como o raio fixo calculado, que exige poucos dados específicos e não considera características importantes do aquífero nem o fluxo da água subterrânea.

Para populações de 500 a 50.000 habitantes devem usar-se, no mínimo, os métodos analíticos e o mapeamento hidrogeológico. Para populações superiores a 50 000 habitantes devem ser

utilizados métodos numéricos ou analíticos equivalentes (DEQ e OHD, 1996 *in* Moinante, 2003).

Segundo ITGE (1991) as considerações técnicas a ter em conta passam pela facilidade de aplicação, complexidade dos dados necessários, adaptabilidade do modelo hidrogeológico regional e precisão.

Na facilidade de aplicação deve ter-se em atenção a necessidade de técnicos especialistas, apoio informático, quantidade e tipo de dados requeridos.

A complexidade dos dados requeridos depende da necessidade de realizar estudos hidrogeológicos, ensaios de caudal, campanhas piezométricas ou de amostragem.

O estudo da adaptabilidade do modelo hidrogeológico regional passa por verificar se o método aplicado pode ser extrapolado para casos similares.

A precisão do método relaciona-se com a sua validação em condições reais.

As considerações económicas a ter em conta passam por quantificar os custos associados à aplicação de um determinado método, nomeadamente relacionados com o pessoal especializado e na obtenção de dados de estudos prévios.

Nas questões políticas a ter em conta na selecção do método é importante referir que os limites de protecção devem ser definidos com clareza, de modo a serem defendidos perante potenciais desafios e processos desencadeados por parte de entidades negativamente afectadas pela implementação do perímetro de protecção. O custo da aplicação é também um factor importante a ter em conta.

Atendendo aos factores anteriormente referidos, optou-se pela definição dos perímetros de protecção das captações de abastecimento público do Concelho de Montijo com base nos métodos analíticos, já descritos em capítulo próprio, nomeadamente:

- a) Raio fixo calculado;
- b) Método de Wyssling;
- c) Método de Bear e Jacobs.

Na aplicação destes 3 métodos analíticos foi utilizado como critério o tempo de propagação, deste modo considerou-se: 50 dias para a zona de protecção intermédia e 3500 dias para a zona de protecção alargada.

O tempo de propagação é um dos critérios mais precisos, pois considera factores importantes do processo de propagação do poluente permitindo determinar o tempo máximo de chegada à captação. No entanto, só entra em conta com velocidades de propagação de poluentes que

se deslocam à mesma velocidade da água, o que não é verdade para muitos dos produtos contaminantes.

Os métodos analíticos são bastante utilizados e permitem o cálculo das dimensões das zonas de protecção recorrendo a equações de simples resolução. Para a sua aplicação é necessário conhecer alguns parâmetros hidrogeológicos, nomeadamente, a Transmissividade, a porosidade, o gradiente hidráulico, a condutividade hidráulica, o caudal extracção e a espessura saturada do aquífero.

Estes métodos fornecem soluções exactas, apesar de serem utilizadas muitas simplificações no que respeita ao sistema de águas subterrâneas, nomeadamente quanto à sua geometria e pressões exteriores. Não são considerados alguns outros factores como as fronteiras hidrogeológicas, heterogeneidades do aquífero e recarga (EPA, 1994).

A aplicação dos métodos anteriormente referidos foi efectuada com recurso ao Programa Peripront desenvolvido por Almeida, (sem data).

### 11.3.2. Dados base

Os dados necessários à aplicação dos métodos utilizados (Tabela 16) na delimitação dos perímetros de protecção às captações de abastecimento público do Concelho de Montijo foram obtidos a partir de relatórios de sondagem das captações, informação recolhida na entidade gestora, relatórios hidrogeológicos e estudos realizados *in situ*.

Tabela 16 - Parâmetros hidrogeológicos utilizados na aplicação dos métodos analíticos.

Sistema de Abastecimento	Captação (designação)	M (m)	P(m)	Caudal de exploração (m <sup>3</sup> /h)	Horas de trabalho da captação previstas no horizonte de projecto (horas/dia)	Caudal de exploração no horizonte de projecto (m <sup>3</sup> /dia)
Montijo	F19	125251	194219	202	18,00	3636
	F26	127175	194862	183	18,00	3289
	F21	127060	194163	199	18,00	3589
	F2	126027	194029	77	10,00	774
	F15	126751	193891	78	10,00	776
Pau Queimado/Atalaia	F22	130418	191864	141	18,00	2545
	F30	129395	191395	193	18,00	3476
	F27	128307	193504	216	18,00	3888
Sarilhos Grandes	F3	127671	190767	58	10,00	579
Canha	F23	156702	200082	136	16,00	2173
Pegões	F24	158033	190386	39	18,00	711
Afonso	F11	160997	190235	23	10,00	225
	F25	161001	190275	24	10,00	236
Santo Isidro de Pegões	F12	153423	191018	34	10,00	341
	F17	153421	190983	40	10,00	403
Taipadas	F28	153667	197612	162	16,00	2600
Faixas	F29	146304	191897	61	16,00	976

(continuação)

Tabela 16 - Parâmetros hidrogeológicos utilizados na aplicação dos métodos analíticos.

Sistema de Abastecimento	Captação (designação)	M (m)	P(m)	Somatório da espessura dos ralos (m)	Transmissividade média (T) (m <sup>2</sup> /dia)	Condutividade hidráulica (K) (m/dia)	Porosidade Eficaz	Gradiente Hidráulico (i)	Direcção (°) (azimute do vector gradiente)
Montijo	F19	125251	194219	43	614	14	0,25	0,00047	243
	F26	127175	194862	43	1407	33	0,25	0,00203	348
	F21	127060	194163	43	1653	38	0,25	0,00122	331
	F2	126027	194029	44	1008	23	0,25	0,0013	258
	F15	126751	193891	43	1250	29	0,25	0,00208	243
Pau Queimado/Atalaia	F22	130418	191864	42	315	8	0,25	0,00106	230
	F30	129395	191395	46	650	14	0,25	0,00393	240
	F27	128307	193504	56	881	16	0,25	0,00055	261
Sarilhos Grandes	F3	127671	190767	15	152	10	0,25	0,00253	231
Canha	F23	156702	200082	42	730	17	0,25	0,00066	122
Pegões	F24	158033	190386	28	360	13	0,25	0,00182	103
Afonso	F11	160997	190235	34	57	2	0,25	0,0015	167
	F25	161001	190275	30	114	4	0,25	0,0015	167
Santo Isidro de Pegões	F12	153423	191018	28	353	13	0,25	0,0013	101
	F17	153421	190983	27	868	32	0,25	0,0013	101
Taipadas	F28	153667	197612	30	634	21	0,25	0,00118	118
Faixas	F29	146304	191897	32	718	22	0,25	0,00161	97

A definição do caudal de exploração no horizonte de projecto foi efectuada tendo em conta o caudal de exploração actual e o aumento previsto das horas de trabalho da captação a médio prazo. Esta previsão foi feita com base na expectativa de desenvolvimento das zonas em causa e tendo em atenção o número de horas trabalho máximo recomendado para uma captação (18 horas diárias). Na zona Este do Concelho com a construção do novo Aeroporto de Lisboa e o desenvolvimento socioeconómico que daí pode advir, é expectável um aumento considerável do consumo, pelo que os caudais diários considerados são bastante superiores aos actuais.

Na definição da espessura do aquífero considerou-se o referido por Moinante (2003), que recomenda que no caso das captações cujos ralos se localizam apenas numa porção do aquífero, se utilize como espessura do aquífero a espessura perfurada (diferença entre o topo do ralo superior e a base do ralo inferior) ou a espessura das zonas produtivas, optando-se pela que for menor. A fundamentação do anterior exposto é o facto do fluxo na captação apresentar tendência para ser horizontal, além do facto da condutividade hidráulica horizontal exceder geralmente a vertical.

Neste sentido foi adoptado como valor de espessura saturada a soma do comprimento dos tubos ralos na captação. Para a captação F15, uma vez que não existe qualquer informação disponível, optou-se por efectuar uma estimativa com base nas espessuras saturadas das restantes captações.

Para o valor de porosidade eficaz foi assumido o valor médio definido no Decreto-lei 382/99, de 22 de Setembro, para rochas sedimentares não consolidadas (areias).

As metodologias utilizadas na determinação dos restantes parâmetros são descritas em capítulos anteriores.

### **11.3.3. Zona de Protecção Imediata**

A definição e implantação da Zona de Protecção Imediata (ZPi), cuja necessidade de materialização no terreno através de um perímetro vedado é obrigatória, reveste-se de alguma complexidade, quer devido a condicionantes físicas, quer sociais e económicas.

O Decreto-Lei 382/99, de 22 de Setembro, define um raio de vinte metros com centro na captação, para este tipo de aquíferos.

A maior parte das captações de abastecimento público do Concelho apresentam uma área vedada ou parcialmente vedada, com mais ou menos anos de existência, cuja delimitação teve como principais condicionantes a ocupação já existente no terreno, nomeadamente zonas urbanas consolidadas e as negociações com os proprietários do terreno e suas expectativas, não sendo possível em muitas das situações cumprir a dimensão do raio definido na legislação.

De modo a perceber a realidade do Concelho no que respeita a esta situação, foi efectuado um levantamento *in situ*, com o objectivo de caracterizar a situação actual, quer a nível da protecção sanitária da captação quer a nível da existência de vedação delimitante da ZPi (Tabela 17).

A visita ao local permitiu ainda efectuar uma caracterização da envolvência e assim definir a possibilidade de implementação de vedações, nas situações em que estas não existem quer na totalidade quer parcialmente.

Uma vez avaliada a situação actual, propõe-se a realização de algumas obras, essenciais no cumprimento da legislação, na protecção da captação e na dignificação dos espaços.

Na Tabela 18 apresentam-se as obras consideradas necessárias, e uma estimativa de custos associados.

Aos proprietários dos terrenos que integrem a ZPi é assegurado o direito de requerer a respectiva expropriação, no entanto este custo não foi aqui contabilizado.

Para além das obras referidas, é também importante deslocalizar os viveiros da Câmara Municipal (junto à captação F2) e estaleiro dos SMAS (junto à captação F21) para locais ~~fora~~ das ZPi. A deslocalização do viveiro municipal reveste-se de especial importância, ~~uma vez~~ que este espaço serve também para armazenamento de produtos químicos ~~afectos a~~

actividade e circulação de maquinaria agrícola de apoio, sendo ainda local de trabalho para alguns operários.

As árvores e arbustos, localizados no interior dos perímetros de protecção imediatos, deverão ser eliminados de modo a facilitar a limpeza e manutenção dos recintos.

A implantação das vedações existentes ou propostas é apresentada em planta, e projectada sobre os ortofotomapas do local ( Figura 68 à Figura 82).

Nas situações em que as captações já apresentam um perímetro vedado e em boas condições propõe-se que este se mantenha como Zona de Protecção Imediata.

Nas situações em que não existe implantação de vedação no terreno, apresentam-se propostas que tentam ir de encontro ao definido na legislação. No entanto, as condicionantes físicas no terreno nem sempre permitem a implantação de um raio vedado de 20 m, sendo as estradas os principais obstáculos encontrados.

Também do ponto de vista socioeconómico foram encontradas dificuldades, uma vez que existem negociações antigas com os proprietários dos terrenos que constituem compromissos da entidade gestora.

Apesar dos perímetros definidos não apresentarem um rigoroso cumprimento da legislação, no que se refere ao raio de 20 m definido em Decreto-lei, considera-se que os custos económicos e sociais associados a uma nova implantação não justificam o benefício que daí possa advir.

No anexo II são apresentadas fotografias referentes às ZPi já implementadas e respectivas captações (Figura II.1 à Figura II.30).

Tabela 17 - Caracterização actual das captações a nível sanitário e da existência/condições da Zona de Protecção Imediata

Sistema de Abastecimento	Captação (designação)	Cabeça da captação fechada e acima da cota do terreno	Superfície impermeabilizada em redor da captação	Existência de caseta de protecção ao furo fechada	Existência de ventilação na caseta de protecção	Existência de vedação	Tipo de vedação	Uso e estado do terreno do interior da vedação	Estado da vedação implementada
Montijo	F19	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Murete em alvenaria com prumos metálicos, rede e portão de acesso com cadeado	Terreno sem pavimento, com arbustos junto à vedação.	Bom
	F26	Sim	Sim	Sim	Não	Parcial	Murete em alvenaria, com prumos metálicos, rede e portão de acesso com cadeado.	Terreno não pavimentado.	Bom
	F21	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Muros laterais e traseiro em alvenaria, frente com muro e ferro. Portão de acesso com fechadura.	Terreno sem pavimento. Uso para estaleiro de material dos SMAS.	Bom
	F2	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Muros em alvenaria, e muretes com pilares de metal e rede. Portão de acesso com fechadura.	Recinto não pavimentado. As instalações servem de viveiro de plantas da Câmara Municipal de Montijo.	Bom
	F15	Sim	Sim	Caseta sem porta	-	Sim	Muros em alvenaria e portão de acesso com fechadura	Recinto pavimentado com calçada. Existência de um gabinete de controlo operacional, com instalações sanitárias. Existe uma captação não selada abandonada.	Bom
Pau Queimado/ Atalaia	F22	Sim	Sim	Caseta sem porta	-	Não	-	Localiza-se nos terrenos de um estaleiro de pavimentos betuminosos.	-
	F30	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Murete em alvenaria com prumos metálicos, rede e porta de acesso com cadeado	Terreno com brita.	Bom
	F27	Sim	em construção	Em construção	-	Sim	Muro em alvenaria	Recinto parcialmente pavimentado	Danificada em 2 dos lados
Sarilhos Grandes	F3	Sim	Sim	Sim	Sim	Parcial	Muro em alvenaria	Recinto não pavimentado.	bom
Canha	F23	Sim	Sim	Sim	Não	sim	Murete em alvenaria com prumos metálicos e rede, portão de acesso com cadeado	Pavimento em pavé e brita.	Bom
Pegões	F24	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Murete em alvenaria com prumos metálicos e rede, portão de acesso com cadeado.	Pavimento em pavé.	Bom
Alfonso	F11	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	-	-	-
	F25	Sim	Sim	Sim	Não	Não	-	-	-
Santo Isidro de Pegões	F12	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Murete em alvenaria com prumos metálicos, rede e portão de acesso com cadeado.	Terreno sem pavimento com árvores de fruto.	Bom
	F17	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	-	-	-
Taipadas	F28	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Murete em alvenaria com prumos metálicos e rede, portão de acesso com cadeado.	Pavimento em pavé.	Danificada num dos lados.
Faixas	F29	Sim	Sim	Sim	Não	Parcial	Murete em alvenaria com prumos metálicos e rede, entrada sem portão.	Terreno sem pavimento.	Bom

Tabela 18 - Custos associados às obras de melhoria da Zona de Protecção Imediata.

Captação (designação)	Obra a executar	Quantidade	Preço unitário	Preço total sem IVA em Euros (referência ao ano 2010)
F19	Ventilação da caseta de protecção	1	200 euros	200
	Pavimentação em pavé do terreno dentro do perímetro imediato	200 m <sup>2</sup>	20 euros/m <sup>2</sup>	4000
F26	Ventilação da caseta de protecção	1	200 euros	200
	Pavimentação em pavé do terreno dentro do perímetro imediato	200 m <sup>2</sup>	20 euros/m <sup>2</sup>	4000
	Construção de vedação/parcial	230 m	100 euros/m	23000
F21	Ventilação da caseta de protecção	1	200 euros	200
	Pavimentação em pavé do terreno dentro do perímetro imediato	200 m <sup>2</sup>	20 euros/m <sup>2</sup>	4000
F2	Pavimentação em pavé do terreno dentro do perímetro imediato	200 m <sup>2</sup>	20 euros/m <sup>2</sup>	4000
F15	Coloção de tampa na caseta de protecção ao furo	1	1000 euros	1000
	Selagem de captação abandonada	1	4000 euros	8000
F22	Coloção de tampa na caseta de protecção ao furo	1	1000 euros	1000
	Construção de vedação/parcial	156 m	100 euros/m	15600
F30	Ventilação da caseta de protecção	1	200 euros	200
F27	Construção de caseta de protecção ao furo	1	1200 euros	1200
	Pavimentação em pavé do terreno dentro do perímetro imediato	100 m <sup>2</sup>	20 euros/m <sup>2</sup>	2000
	Recuperação de vedação/parcial	40 m	100 euros/m	4000
F3	Construção de vedação/parcial	35 m	100 euros/m	3500
	Pavimentação em pavé do terreno dentro do perímetro imediato	150 m <sup>2</sup>	20 euros/m <sup>2</sup>	3000
F23	Ventilação da caseta de protecção	1	200 euros	200
F24	Ventilação da caseta de protecção	1	200 euros	200
F11	Construção de vedação	238 m	100 euros/m	23800
F25	Construção de vedação			
F12	Ventilação da caseta de protecção	1	200 euros	200
	Pavimentação em pavé do terreno dentro do perímetro imediato	150 m <sup>2</sup>	20 euros/m <sup>2</sup>	3000
F17	Pavimentação em pavé do terreno dentro do perímetro imediato	200 m <sup>2</sup>	20 euros/m <sup>2</sup>	4000
	Construção de vedação	133 m	100 euros/m	13300
F28	Ventilação da caseta de protecção	1	200 euros	200
	Reparação da vedação	20 m	100 euros/m	2000
F29	Ventilação da caseta de protecção	1	200 euros	200
	Construção de vedação/parcial e colocação de portão	66 m	100 euros/m	6600
	Pavimentação em pavé do terreno dentro do perímetro imediato	200 m <sup>2</sup>	20 euros/m <sup>2</sup>	4000
<b>TOTAL</b>				<b>136800</b>



Figura 68 - Implantação da ZPi da captação F19 (Sistema de Abastecimento Público de Montijo)



Figura 69 - Implantação da ZPi da captação F26 (Sistema de Abastecimento Público de Montijo).



Figura 70 - Implantação da ZPi da captação F21 (Sistema de Abastecimento Público de Montijo).



Figura 71 - Implantação da ZPi da captação F2 (Sistema de Abastecimento Público de Montijo).



Figura 72 - Implantação da ZPI da captação F15 (Sistema de Abastecimento Público de Montijo).



Figura 73 - Implantação da ZPi da captação F22 (Sistema de Abastecimento Público de Pau-Queimado).

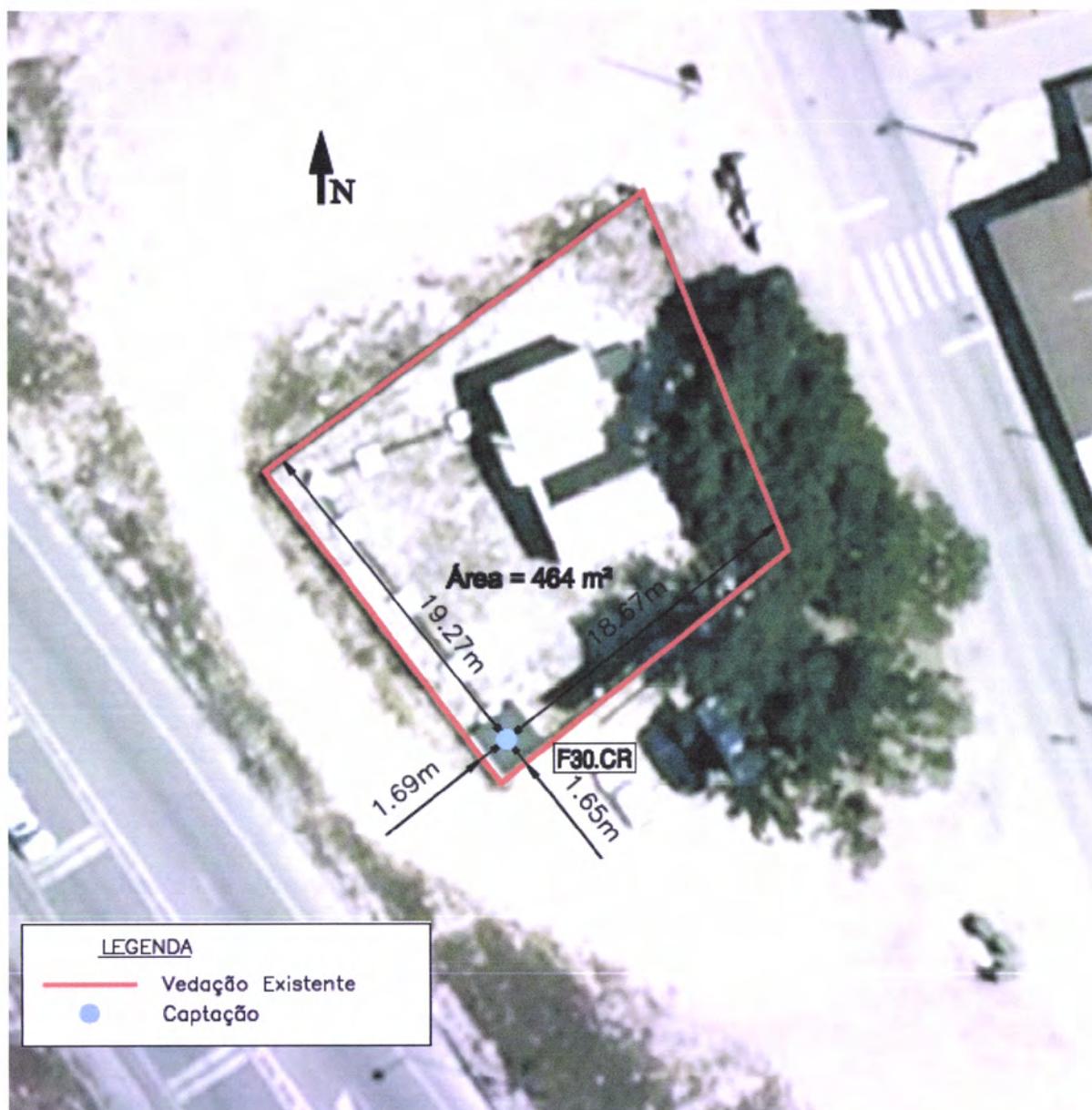


Figura 74 - Implantação da ZPi da captação F30 (Sistema de Abastecimento Público de Pau-Queimado).



Figura 75 - Implantação da ZPi da captação F27 (Sistema de Abastecimento Público de Pau-Queimado).

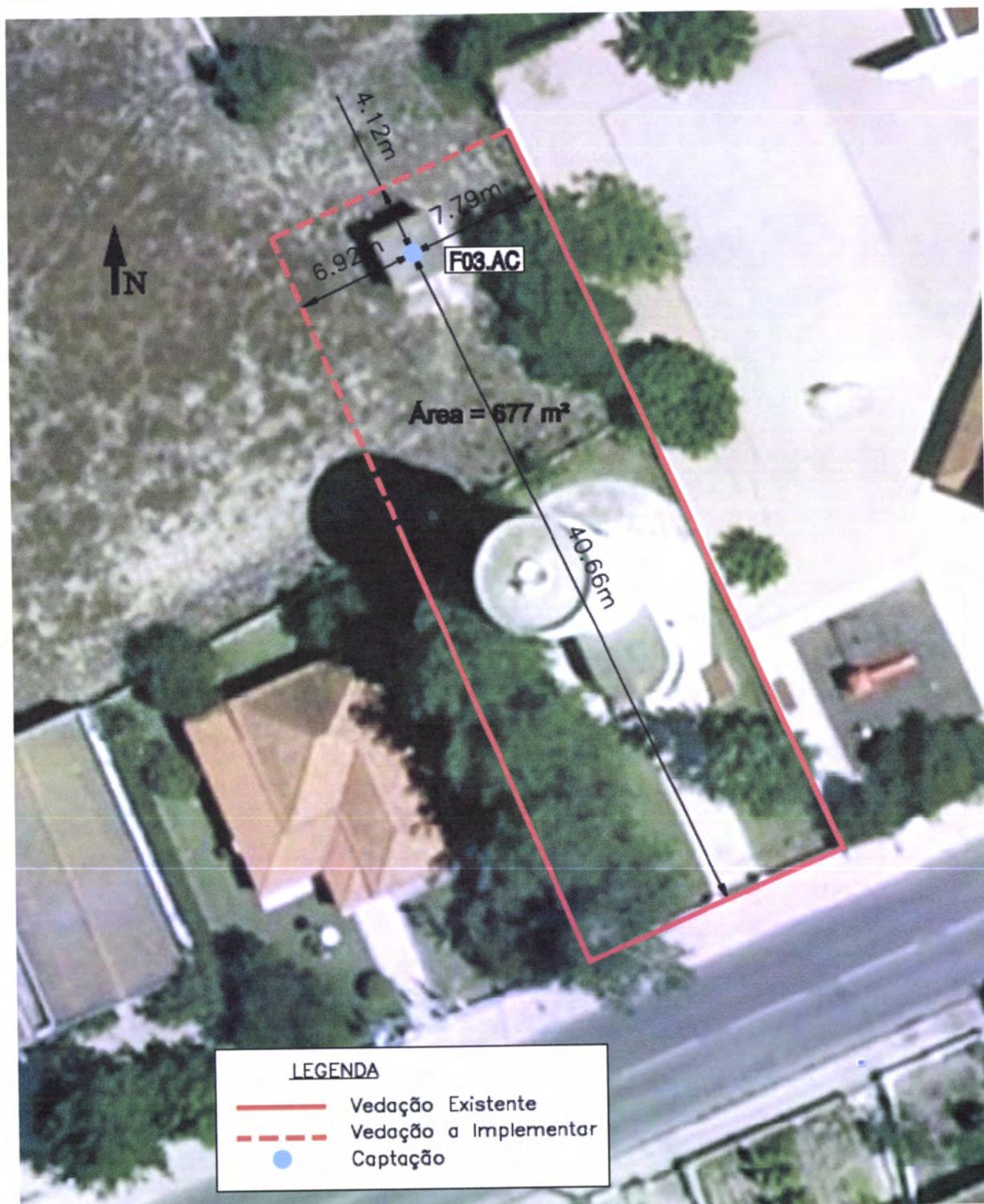


Figura 76 - Implantação da ZPi da captação F3 (Sistema de Abastecimento Público de Sarilhos Grandes).



Figura 77 - Implanta o da ZPi da capta o F23 (Sistema de Abastecimento P blico de Canha).

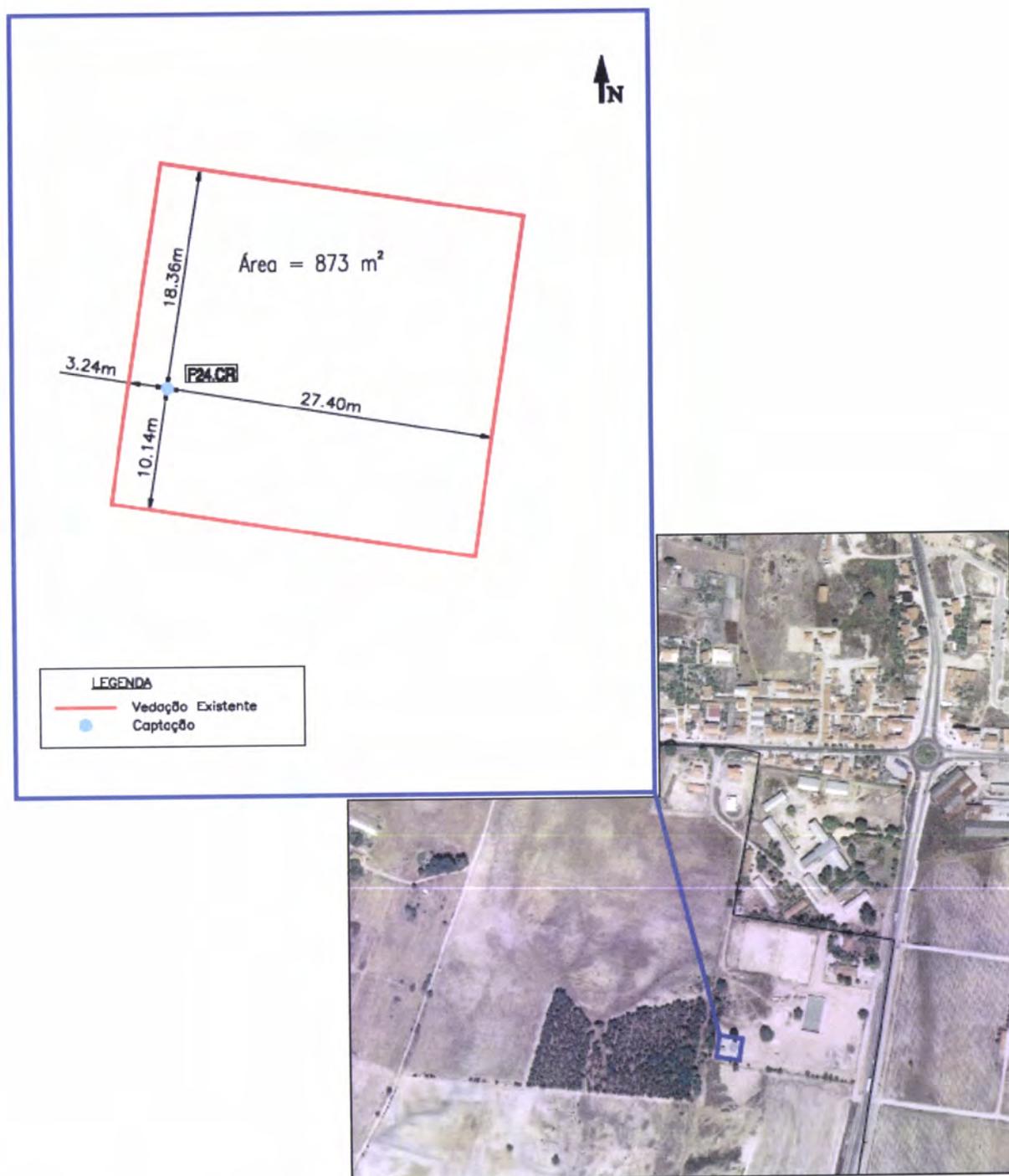


Figura 78 - Implantação da ZPi da captação F24 (Sistema de Abastecimento Público de Pegões).

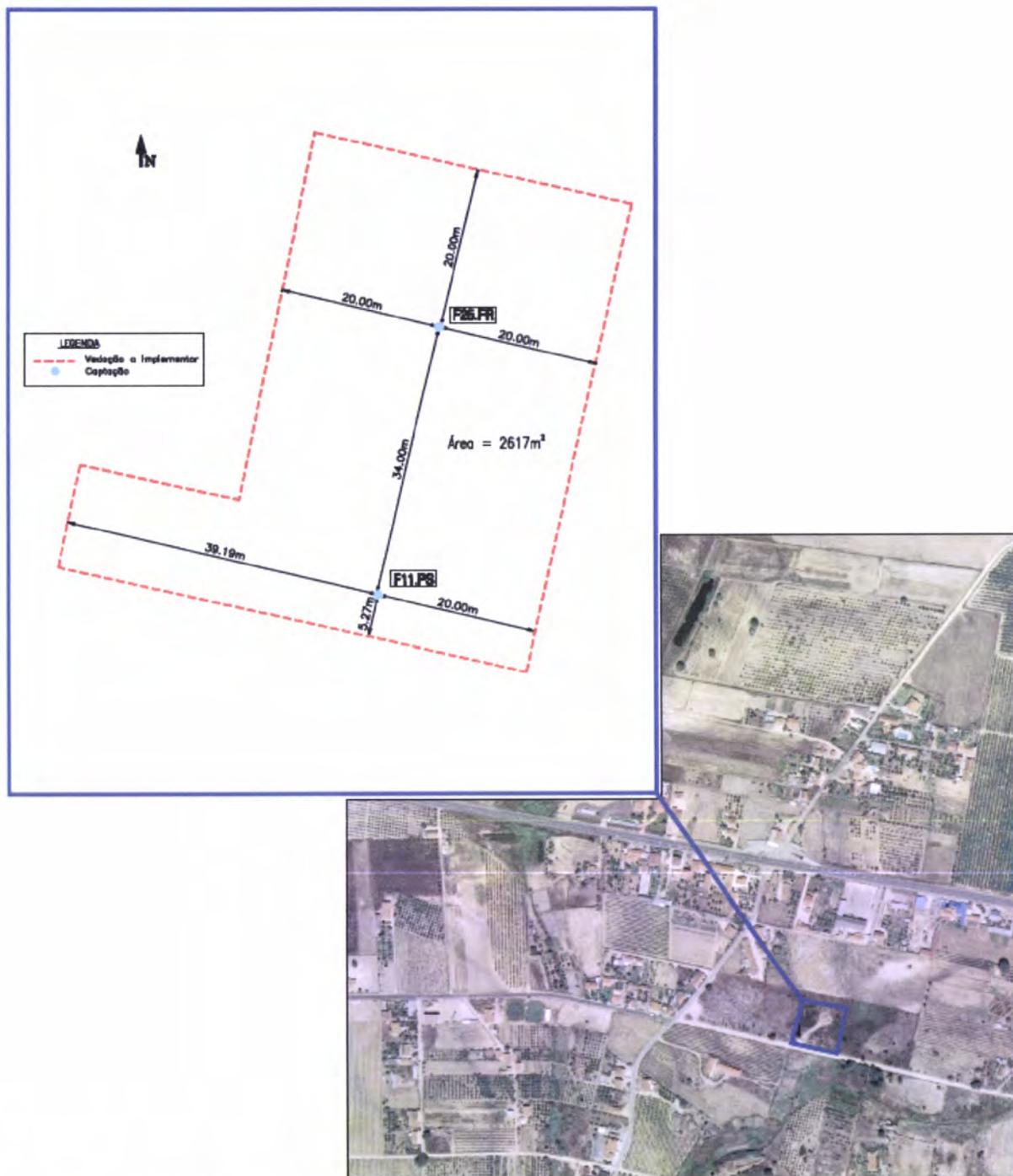


Figura 79 – Implantação da ZPi das captações F11 e F25 (Sistema de Abastecimento Público de Afonsos).

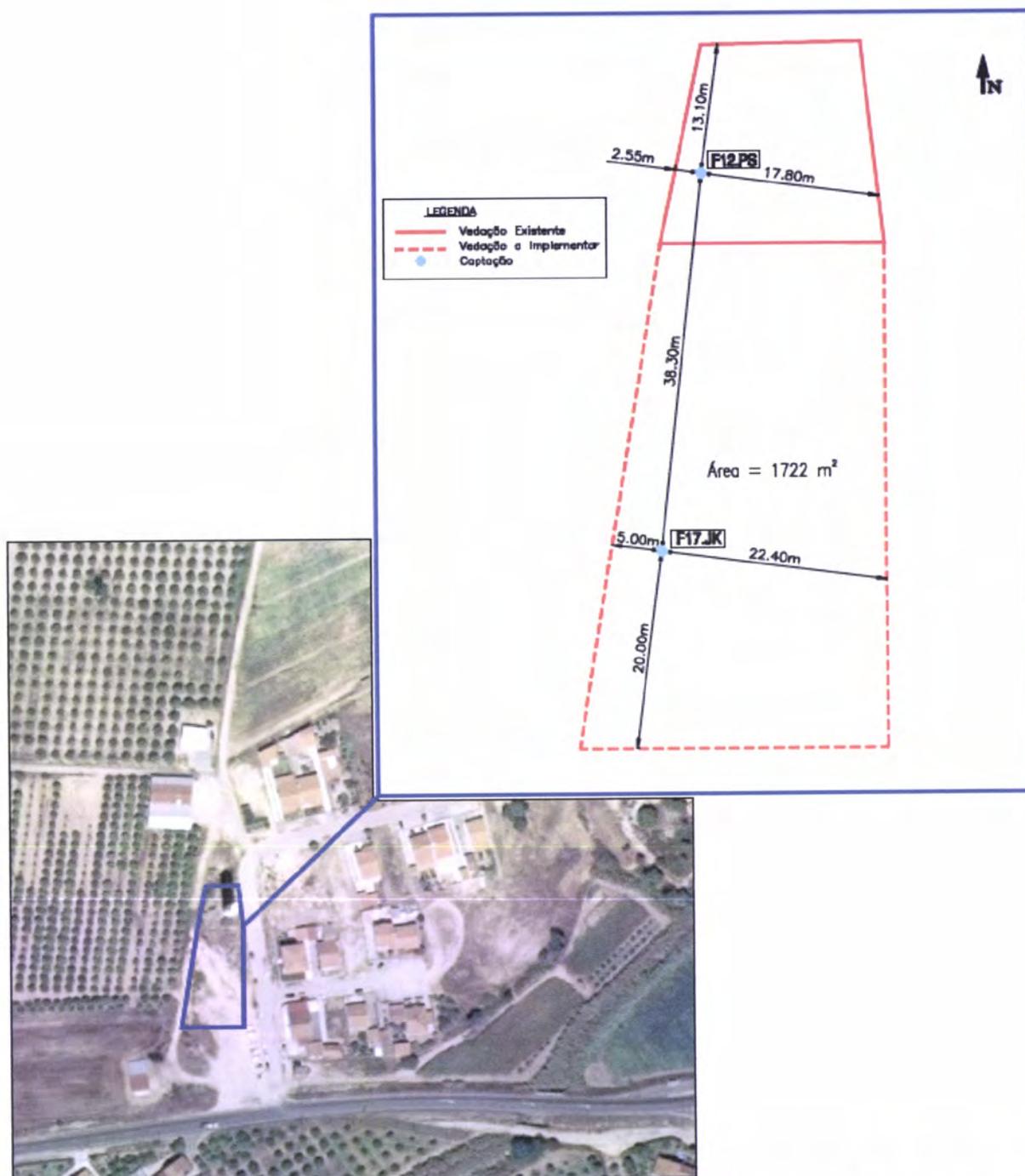


Figura 80 - Implantação da ZPi das captações F12 e F17 (Sistema de Abastecimento Público de Santo Isidro de Pegões).

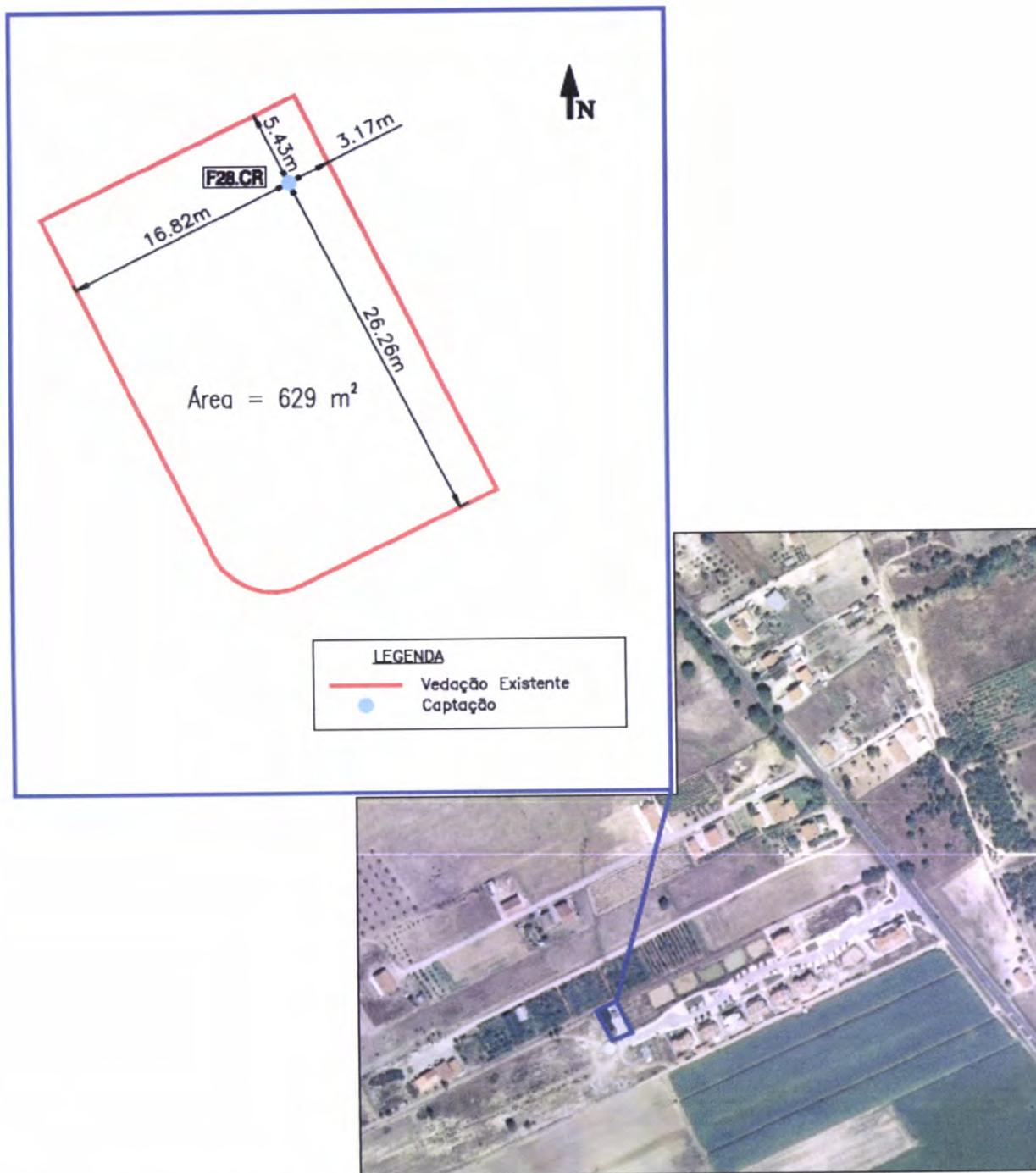


Figura 81 – Implantação da ZPi da captação F28 (Sistema de Abastecimento Público de Taipadas).

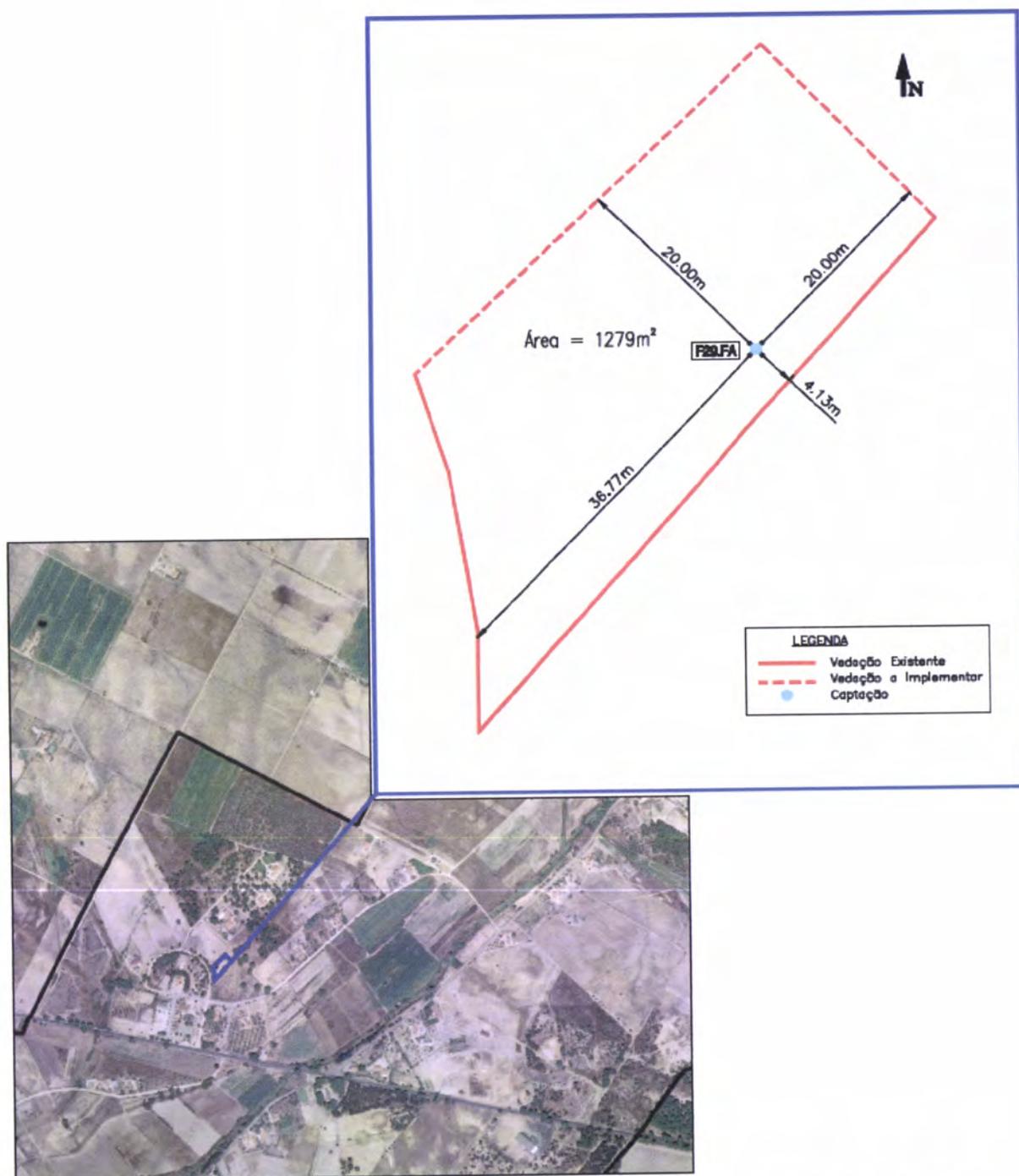


Figura 82 - Implantação da ZPi da captação F29 (Sistema de Abastecimento Público de Faias).

### 11.3.4. Zonas de Protecção Intermédia e Alargada

A definição das Zonas de Protecção Intermédia (ZPI) e Alargada (ZPA) foi efectuada com recurso aos métodos analíticos já referidos tendo-se obtido os resultados apresentados na Tabela 19 para a ZPI e na Tabela 20 para a ZPA.

Tabela 19 - Resultados obtidos para a determinação da ZPI pela aplicação dos três métodos analíticos utilizados.

Sistema de Abastecimento	Captação (designação)	Coordenadas		Zona de Protecção Intermédia						
		M (m)	P(m)	Método de Wyssling			Método de Jacobs e Bear			Raio Fixo Calculado
				Distância máxima na direcção jusante (m)	Distância máxima na direcção montante (m)	Largura da frente de chamada à altura da captação (m)	Distância máxima na direcção jusante (m)	Distância máxima na direcção montante (m)	Distância perpendicular ao eixo xx (m)	
Montijo	F19	125251	194219	72,7	74,0	6299,8	76,0	76,0	76,0	73,4
	F26	127175	194862	63,5	76,6	575,8	61,2	78,7	69,5	69,8
	F21	127060	194163	68,4	77,7	889,8	66,8	79,3	72,8	72,9
	F2	126027	194029	30,6	36,6	295,3	29,6	37,5	33,3	33,5
	F15	126751	193891	28,4	40,5	149,2	26,4	42,4	33,4	33,9
Pau Queimado/Atalaia	F22	130418	191864	61,3	62,9	3811,5	61,7	63,2	62,1	62,1
	F30	129395	191395	64,0	75,1	680,4	62,2	76,9	69,2	69,4
	F27	128307	193504	65,6	67,4	4012,0	65,9	67,6	66,5	66,5
Sarilhos Grandes	F3	127671	190767	47,1	52,2	752,8	46,2	53	49,5	49,6
Canha	F23	156702	200082	56,3	58,5	2255,1	55,9	58,9	57,4	57,4
Pegões	F24	158033	190386	37,9	42,6	542,6	37,1	43,4	40,1	40,2
Afonso	F11	160997	190235	20,3	20,8	1315,8	20,5	20,9	20,5	20,5
	F25	161001	190275	21,8	23,0	690,1	21,6	23,1	22,4	22,4
Santo Isidro de Pegões	F12	153423	191018	26,3	29,5	371,5	25,7	30,1	27,8	27,8
	F17	153421	190983	26,9	35,3	178,6	25,5	36,6	30,6	30,8
Taipadas	F28	153667	197612	71,8	76,8	1737,7	71	77,6	74,2	74,3
Faixas	F29	146304	191897	40,6	47,8	422,2	39,4	49	43,9	44,1

A comparação dos três métodos permite concluir que, pelo método do raio fixo calculado, o facto de este gerar um único valor de raio com centro na captação, produz uma sobreavaliação da área de protecção a jusante e uma subavaliação da área de protecção a montante.

Segundo o Decreto-Lei 382/99, de 22 de Setembro, os resultados produzidos por este método, inferiores a 40 m para a ZPI e inferiores a 350 m para a ZPA, teriam que ser substituídos por estes valores. Esta substituição iria gerar, no caso dos perímetros intermédios, zonas de dimensão consideravelmente superiores às geradas pelos outros dois

métodos. No caso dos perímetros alargados, esta substituição levaria a um aumento considerável da zona de protecção a jusante e diminuição da protecção a montante.

Tabela 20 - Resultados obtidos para a determinação da ZPA pela aplicação dos três métodos analíticos utilizados.

Sistema de Abastecimento	Captação (designação)	Coordenadas		Zona de Protecção Alargada						
		M (m)	P(m)	Método de Wyssling			Método de Bear e Jacobs			Raio Fixo Calculado
				Distância máxima na direcção jusante (m)	Distância máxima na direcção montante (m)	Largura da frente de chamada à altura da captação (m)	Distância máxima na direcção jusante (m)	Distância máxima na direcção montante (m)	Distância perpendicular ao eixo xx (m)	
Montijo	F19	125251	194219	568,7	662,6	6299,8	552,9	677,6	612,3	613,9
	F26	127175	194862	281,4	1211,3	575,8	182,8	1315,0	444,1	583,8
	F21	127060	194163	364,3	1020,9	889,8	272,6	1107,3	535,8	609,9
	F2	126027	194029	140,6	557,5	295,3	93,6	605,6	219,8	280,0
	F15	126751	193891	86,2	932,70	149,2	47,5	993,1	139,5	283,6
Pau Queimado/A talaia	F22	130418	191864	467	578,30	3812	448,3	593,9	517	519,6
	F30	129395	191395	309,7	1087,20	680	214,3	1181,3	475,9	580,3
	F27	128307	193504	499	620,10	4012	478,6	636,8	553,3	556,2
Sarilhos Grandes	F3	127671	190767	272	631,40	753	218,1	681,6	381,2	414,7
Canha	F23	156702	200082	406,5	567,1	2255,1	379,6	592,6	474,2	480,2
Pegões	F24	158033	190386	210,4	538,0	542,6	162,6	582,4	302,5	336,4
Afonso	F11	160997	190235	155,0	190,2	1315,8	149,1	195,3	170,9	171,7
	F25	161001	190275	151,5	231,3	690,1	138,3	243,8	183,5	187,2
Santo Isidro de Pegões	F12	153423	191018	145,0	374,4	371,5	111,7	405,4	209,0	233,0
	F17	153421	190983	97,5	682,5	178,6	56,8	734,8	157,8	257,9
Taipadas	F28	153667	197612	471,0	820,1	1737,7	413,9	873,0	599,9	621,5
Faixas	F29	146304	191897	194,2	699,9	422,2	133,2	760,5	299,6	368,7

O método de Wyssling não permitiu definir valores para a isócrona perpendicular ao fluxo, gerando resultados desproporcionados para a dimensão desta. Em Moinante (2003) é também descrita a dúvida que permanece no dimensionamento desta isócrona pelo método de Wyssling.

Atendendo ao anteriormente referido, considera-se que, de entre os 3 métodos utilizados, o de Bear e Jacobs é o que produz resultados mais coerentes. Segundo Almeida (sem data), entre os métodos analíticos, este é o que produz melhores resultados, o que poderá comprovar-se quando se comparam os perímetros de protecção por ele calculados com os previstos pelo método do rastreio de partículas.

A projecção no terreno das ZPI e ZPA, para as captações estudadas, calculadas pelo método de Bear e Jacobs, é apresentada no anexo III (Figura III.1 à Figura III. 9).

Nas situações em que existe sobreposição das zonas de protecção de captações contíguas, optou-se por definir uma única zona resultante da sua união.

Utilizaram-se 3 tipos de cartografia de base para a projecção das zonas de protecção no terreno:

- cartas militares, que permitem uma visualização geográfica dos locais;
- carta de ocupação do solo, onde se visualizam os principais usos na área considerada;
- ortofotomapas, que permitem uma visualização mais real da zona em causa.

Na figura III.1 (anexo III) verifica-se que a ZPA definida para as captações F26, F21 e F15 se estende para o Concelho de Alcochete. Este tipo de situações requer conversações entre os municípios, de modo a encontrar uma solução de protecção que satisfaça ambas as autarquias envolvidas.

#### **11.4. Caracterização da situação actual face às condicionantes e interdições associadas à implementação das Zonas de Protecção**

De modo a identificar actividades contaminantes ou potencialmente contaminantes no interior dos perímetros definidos, foi efectuado um inventário que se baseou na identificação destas actividades através de ortofotomapas da região, no conhecimento de campo dos técnicos da entidade gestora, e numa posterior visita aos locais, para confirmação *in situ*.

Nas ZPi, onde são apenas permitidas actividades ou instalações que têm por finalidade a conservação, manutenção e melhor exploração da captação, foram identificadas algumas actividades que não respeitam este princípio.

As ZPi das captações F2, F15 e F21 dos Sistema de Abastecimento Público de Montijo servem respectivamente de Viveiro Municipal, Gabinete de Operações de Manutenção e Estaleiro da entidade gestora.

Na Tabela 21 referem-se as actividades actualmente existentes nas ZPI e ZPA que são interditas ou passíveis de ser interditas ou condicionadas segundo o Decreto-Lei 382/99 de 22 de Setembro.

Nas ZPI definidas, não foi detectada a existência de actividades interditas, com excepção da zona associada à captação F22 do Sistema do Pau-Queimado, que se localiza nos terrenos de uma empresa de produção de misturas betuminosas (central asfáltica).

Tabela 21 – Inventário de actividades e instalações interditas ou passíveis de ser interditas ou condicionadas no interior das Zonas de Protecção Intermédia e Alargada das captações em estudo.

Sistema de Abastecimento	Captação (designação)	Actividades e instalações que podem ser interditas ou condicionadas (situação actual)	Actividades e instalações interditas (situação actual)
<b>Zona de Protecção Intermédia</b>			
Montijo	F19	edificações; estradas; colectores de águas residuais.	não foi identificada a existência de instalações interditas.
	F26	edificações; estradas; colectores de águas residuais.	não foi identificada a existência de instalações interditas.
	F21	edificações; estradas; colectores de águas residuais.	não foi identificada a existência de instalações interditas.
	F2	edificações; estradas; colectores de águas residuais.	não foi identificada a existência de instalações interditas.
	F15	edificações; estradas; colectores de águas residuais.	não foi identificada a existência de instalações interditas.
Pau Queimado/Atalaia	F22	edificações; estradas.	empresa de produção de massas betuminosas (asfalto).
	F30	edificações; estradas; colectores de águas residuais.	não foi identificada a existência de instalações interditas.
	F27	edificações; estradas; colectores de águas residuais.	não foi identificada a existência de instalações interditas.
Sarilhos Grandes	F3	edificações; estradas; colectores de águas residuais.	não foi identificada a existência de instalações interditas.
Canha	F23	edificações; estradas; colectores de água residuais.	não foi identificada a existência de instalações interditas.
Pegões	F24	não foi identificada a existência de instalações que possam ser interditas ou condicionadas.	não foi identificada a existência de instalações interditas.
Afonso	F11	estradas; usos agrícolas e pecuários.	não foi identificada a existência de instalações interditas.
	F25	usos agrícolas e pecuários.	não foi identificada a existência de instalações interditas.
Santo Isidro de Pegões	F12	estradas; usos agrícolas.	não foi identificada a existência de instalações interditas.
	F17	estradas; usos agrícolas.	não foi identificada a existência de instalações interditas.
Taipadas	F28	usos agrícolas; edificações, estradas; estação compacta de tratamento de águas residuais (Municipal); colectores de águas residuais.	não foi identificada a existência de instalações interditas.
Faixas	F29	usos agrícolas e pecuários; estradas.	não foi identificada a existência de instalações interditas.
<b>Zona de Protecção Alargada</b>			
Montijo	F19	colectores de águas residuais; fossas de esgoto.	não foi identificada a existência de instalações interditas.
	F26	colectores de águas residuais; fossas de esgoto.	autoestrada (acesso à Ponte Vasco da Gama).
	F21	colectores de águas residuais; fossas de esgoto.	não foi identificada a existência de instalações interditas.
	F2	colectores de águas residuais.	não foi identificada a existência de instalações interditas.
	F15	colectores de águas residuais; esteiro do rio Tejo.	não foi identificada a existência de instalações interditas.
Pau Queimado/Atalaia	F22	colectores de águas residuais; fossas de esgoto; ETAR de suinicultura por lagunagem.	depósitos de entulho com restos de betuminoso; Itinerário Complementar 32 (IC32).
	F30	colectores de águas residuais; fossas de esgoto; cemitério; 3 oficinas e estações de serviço de automóveis; 2 postos de abastecimento de combustíveis.	depósitos de hidrocarbonetos.
	F27	colectores de águas residuais; 1 posto de abastecimento de combustível; 1 oficina automóvel.	depósitos de hidrocarbonetos.
Sarilhos Grandes	F3	colectores de águas residuais; fossas de esgoto.	não foi identificada a existência de instalações interditas.
Canha	F23	colectores de águas residuais; fossas de esgoto; cemitério.	não foi identificada a existência de instalações interditas.
Pegões	F24	colectores de águas residuais; fossas de esgoto; cemitério.	não foi identificada a existência de instalações interditas.
Afonso	F11	não foi identificada a existência de instalações que possam ser interditas ou condicionadas.	não foi identificada a existência de instalações interditas.
	F25	não foi identificada a existência de instalações que possam ser interditas ou condicionadas.	não foi identificada a existência de instalações interditas.
Santo Isidro de Pegões	F12	fossas de esgoto.	não foi identificada a existência de instalações interditas.
	F17	fossas de esgoto.	não foi identificada a existência de instalações interditas.
Taipadas	F28	colectores de águas residuais; ETAR (Fitotar-Simarsul); 1 oficina de automóveis; 1 posto de abastecimento de combustíveis.	depósitos de hidrocarbonetos.
Faixas	F29	fossas de esgoto.	não foi identificada a existência de instalações interditas.

Foram identificadas algumas actividades que poderão ser interditas ou condicionadas, caso se demonstrem susceptíveis de provocar poluição nas águas subterrâneas, nas ZPI de todas as captações, com excepção da F24 do sistema de abastecimento de Pegões.

Nas ZPA definidas foram identificadas algumas actividades interditas, nomeadamente nos sistemas de abastecimento público de Pau-Queimado e Taipadas, onde foram inventariados depósitos de hidrocarbonetos associados a postos de abastecimento de combustível.

Relativamente a actividades ou instalações que poderão ser condicionadas ou mesmo interditas, o sistema de abastecimento de Afonsos é o único que se apresenta sem qualquer actividade deste tipo na ZPA das suas captações.

O conhecimento da existência destas actividades nas zonas a proteger reveste-se de especial importância na boa gestão do perímetro de protecção, devendo dar origem a um plano de monitorização, por parte de entidade gestora, que vise actuar em tempo útil perante uma possível situação de contaminação. A definição do plano deverá passar por um mapeamento das fontes de poluição identificadas, uma inventariação dos poluentes em causa e suas características, e por reuniões com as entidades poluidoras ou potencialmente poluidoras, de modo a identificar a existência, ou não, de planos de segurança e monitorização.

É importante referir que o histórico de análises bacteriológicas e físico-químicas efectuadas pela entidade gestora ao longo dos últimos anos, quer na rede de abastecimento (no âmbito do cumprimento dos Planos de Controlo de Qualidade da Água), quer na captação (no âmbito dos Planos de Controlo Operacional), não evidencia qualquer tipo de contaminação que possa estar ligada às actividades anteriormente identificadas. O facto das captações se encontrarem a captar no aquífero cativo leva a considerar que estão bastante protegidas de qualquer contaminação que ocorra à superfície do solo, e pode ajudar a compreender o motivo porque as análises não mostram quaisquer indícios de contaminação nas mesmas.

## **12. Considerações Finais**

Os trabalhos desenvolvidos culminaram na delimitação dos Perímetros de Protecção às Captações Subterrâneas de Abastecimento Público do Concelho de Montijo.

A utilização de métodos analíticos permite o cálculo das zonas de protecção através de equações de simples resolução. Esta vantagem, associada ao facto de serem métodos pouco dispendiosos, em que os dados podem ser obtidos a partir de relatórios hidrogeológicos, relatórios de sondagens e de estudos *in situ*, faz com que estes sejam de longe os métodos actualmente mais utilizados, e foram factores decisivos para a sua utilização neste estudo.

Na delimitação das zonas de protecção imediatas foram tidos em conta variados factores, nomeadamente, o perímetro vedado actualmente existente, as condicionantes físicas e socioeconómicas no terreno e o raio de 20 m definido na legislação. A análise conjunta destes factores originou as áreas de protecção propostas. A definição do perímetro de protecção deverá ser um compromisso entre a correcta protecção do recurso e o respeito, na medida do possível, das actividades na região circundante. Deste modo, considera-se que o perímetro delimitado cumpre este princípio.

A delimitação das zonas de protecção intermédias e alargadas foi efectuada com recurso a métodos analíticos, nomeadamente o método do raio fixo calculado (previsto no Decreto-lei 382/99 de 22 de Setembro), o método de Wyssling e o método de Bear e Jacobs.

O método do raio fixo calculado origina zonas de protecção circulares gerando normalmente um sobredimensionamento da protecção a jusante e um subdimensionamento a montante.

De acordo com o Decreto-lei 382/99 de 22 de Setembro, o método do raio fixo calculado apenas deverá ser usado quando não existam e não seja possível realizar estudos hidrogeológicos. Neste sentido, parece pertinente clarificar as situações em que estes estudos são impossíveis de realizar, uma vez que o facilitismo poderá, em algumas situações, ser o único critério considerado. Actualmente, a maior parte das entidades gestoras possuem nos seus quadros pessoal habilitado para a realização dos estudos hidrogeológicos adequados para a delimitação dos perímetros de protecção, recorrendo a métodos mais fiáveis do ponto de vista hidrogeológico.

O Decreto-lei refere ainda que, em situações em que o risco de poluição seja reduzido, o perímetro de protecção poderá não incluir as zonas de protecção intermédia e alargada. A utilização do conceito de risco poderia aqui ser substituído pelo conceito de vulnerabilidade à poluição, pois uma zona pode ter elevada vulnerabilidade e no entanto um baixo risco de poluição por nela não se encontrarem actividades potencialmente contaminantes. Sendo o

histórico da qualidade da água na origem uma das maiores provas do risco de poluição, deveria também o Decreto-lei considerar esta informação como critério incontornável na necessidade, ou não, de delimitação das referidas zonas de protecção.

A legislação deveria também, mediante a apresentação de estudos hidrogeológicos credíveis, permitir a desagregação, em termos de espaço territorial, das zonas de protecção, não obrigando a uma sequenciação dos perímetros imediato, intermédio e alargado.

Outro dos factores que seria importante definir é o procedimento a adoptar em situações onde as áreas de protecção se encontrem já ocupadas por actividades potencialmente contaminantes.

O método de Wyssling não permitiu definir a largura perpendicular à direcção do fluxo. Deste modo, o método de Bear e Jacobs foi considerado o que mais se adequa na delimitação das zonas de protecção das captações em estudo.

Uma vez dimensionadas as zonas de protecção e estabelecidas as restrições no interior das mesmas, é necessária a sua implantação no terreno. Estamos pois perante um custo variável, resultado das possíveis restrições impostas à actividade socioeconómica, onde se englobam:

- modificações do uso do solo;
- expropriações ou indemnizações aos proprietários dos terrenos;
- modificação ou transferência de actividades potencialmente contaminantes (industriais, agrícolas ou pecuárias).

O recurso a campanhas informativas que expliquem à comunidade a necessidade da aplicação das zonas de protecção e os benefícios que daí resultam é bastante recomendável nesta fase.

Numa fase final, e após publicação em Decreto-Lei das áreas envolvidas e das interdições ou restrições impostas no seu interior, estas deverão integrar o Plano Director Municipal, de modo a que não surjam incompatibilidades entre os dois documentos, que poderão gerar situações constringedoras e de difícil resolução.

Apesar das sérias dificuldades e dos custos associados à implantação das zonas de protecção, estas deverão ser encaradas como um investimento no futuro e nas gerações vindouras, com benefícios que não têm preço.

### **13. Bibliografia**

**Aller, L.; Bennet, T.; Lehr, J. H.; Petty, R. J. (1987)** - DRASTIC: a Standardized System for Evaluating Groundwater Pollution Potential Using Hydrogeological Settings. Report 600/2-85/018, U.S. EPA (USA).

**Almeida, C., Mendonça, J. J. L., Jesus, M. R., Gomes, A. J., (2000)** - Sistemas Aquíferos de Portugal Continental, Instituto da Água (INAG), Lisboa.

**Almeida, C. (sem data)** - Peripront - Programa de cálculo de perímetros de protecção. Tutorial. Programa cedido pelo autor.

**Caetano, M., V. Nunes e A. Nunes (2009)** - CORINE Land Cover 2006 for Continental Portugal, Relatório Técnico, Instituto Cartográfico Português.

**Custódio, E., Llamas, R. (1983)** - Hidrologia Subterrânea. Ediciones Ómega, S. A., Barcelona, Tomo I e II.

**EPA (1994)** - Ground Water and Wellhead Protection. Handbook. United States Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Office of Water, EPA/625/R-94/001, September 1994.

**Francés, A., Peralta, E., Fernandes, J., Ribeiro, L. (2001)** - Development and application in the Alentejo region of method to assess the vulnerability of groundwater to diffuse agricultural pollution: the susceptibility index, in 3rd International Conference on Future Groundwater Resources at Risk, Lisboa (Portugal).

**INAG (2001)** - Plano Nacional da Água. Instituto da Água, Ministério do Ambiente e Ordenamento do Território, Agosto 2001.

**ITGE (1991)** - Guía Metodológica para la Elaboración de Perímetros de Protección de Captaciones de Agua Subterráneas. Madrid, Instituto Tecnológico GeoMinero de España, Dezembro, 1991.

**Lencastre, A., Franco, F. M. (1984)** – Lições de Hidrologia. FCT/UNL Lisboa.

**Moinante, M.J. (2003)** – Delimitação de perímetros de protecção de captações de águas subterrâneas. Estudo comparativo utilizando métodos analíticos e numéricos. Tese elaborada no LNEC para obtenção do grau de Mestre em Georecursos pela Universidade Técnica de Lisboa.

**Oliveira, J. T., Pereira, E., Ramalho, M., Antunes, M.T., Monteiro, J. H. (1992)** – Carta geológica de Portugal á escala 1:500 000. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.

**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)** – Notícia Explicativa da Folha 34-D- Lisboa (2ª edição). Carta geológica de Portugal na Escala 1/50 000. Instituto Nacional de Engenharia Tecnologia e Inovação, Lisboa.

**Paralta E., Oliveira M., Batista S., Francés A. Ribeiro L., Cerejeira M.J. (2001)** – Aplicação de SIG na Avaliação da Vulnerabilidade Aquífera e Cartografia da Contaminação Agrícola por Pesticidas e Nitratos na Região do Ribatejo, in Actas do Seminário “A Hidroinformática em Portugal”, ed. CDROM, 16p., LNEC, Lisboa.

**Plano Director Municipal de Montijo (2008)** – Relatório Fundamentado de Avaliação da Execução do PDM – Montijo. Câmara Municipal de Montijo. Abril, 2008.

**Ribeiro, L. (2005)** – Development of a susceptibility index to be used in agricultural diffuse pollution, internal report, 9 p., ERHSA-CVRM.

**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. Universidade Nova de Lisboa.

**Stigter, T. Vieira J., Nunes L.M. (2002)** - Avaliação da Susceptibilidade à contaminação das Águas Subterrâneas no Apoio à Tomada de Decisão, Caso de Estudo: Implantação de Campos de Golfe no Concelho de Albufeira (Algarve), in 6º Congresso da Água, APRH, Porto.

**Theis, C.V. (1935)** - "The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage". Am. Geophys. Unin Trans., vol 16, p. 519-524.

**Trewartha, G.T. (1943)** - An introduction to weather and climate, 2<sup>nd</sup> ed.. McGraw-Hill - Series in Geography, New York.

**Zbyszewski, G., Ferreira, O. (1968)** - Notícia Explicativa da folha 35-C - Santo Isidro de Pegões. Carta Geológica de Portugal na Escala 1/50 000. Direcção-geral de Minas e Serviços Geológicos, Lisboa.

**Zbyszewski, G., Ferreira, O. (1969)** - Notícia Explicativa da folha 35-A - Santo Estevão. Carta Geológica de Portugal na Escala 1/50 000. Direcção-geral de Minas e Serviços Geológicos, Lisboa.

## **ANEXOS**

ANEXO I - Decreto-Lei 382/99 de 22 de Setembro.

ANEXO II - Fotografias das captações estudadas e respectiva Zona de Protecção Imediata (ZPi) actual.

ANEXO III - Projecção espacial das Zonas de Protecção Intermédia e Alargada (ZPI e ZPA.) das captações de Abastecimento Público do Concelho de Montijo.

## **ANEXO I**

Decreto-Lei 382/99 de 22 de Setembro.

## MINISTÉRIO DO AMBIENTE

### Decreto-Lei n.º 382/99

de 22 de Setembro

As águas subterrâneas constituem importantes origens de água, efectivas ou potenciais, a nível regional e local, que importa conservar. Porém, a qualidade das águas subterrâneas é susceptível de ser afectada pelas actividades sócio-económicas, designadamente pelos usos e ocupações do solo, em particular pelas áreas urbanas, infra-estruturas e equipamentos, agricultura e zonas verdes. A contaminação das águas subterrâneas é, na generalidade das situações, persistente, pelo que a recuperação da qualidade destas águas é, em regra, muito lenta e difícil. A protecção das águas subterrâneas constitui, assim, um objectivo estratégico da maior importância, no quadro de um desenvolvimento equilibrado e duradouro.

Um instrumento preventivo para assegurar a protecção das águas subterrâneas é a instituição de perímetros de protecção das captações de águas subterrâneas destinadas ao abastecimento público. Trata-se de áreas definidas na vizinhança dessas captações em que se estabelecem restrições de utilidade pública ao uso e transformação do solo, em função das características pertinentes às formações geológicas, que armazenam as águas subterrâneas exploradas pelas captações e dos caudais extraídos, como forma de salvaguardar a protecção da qualidade dessas águas subterrâneas.

Os perímetros de protecção das captações de águas subterrâneas destinadas ao abastecimento público visam, assim:

- Prevenir, reduzir e controlar a poluição das águas subterrâneas por infiltração de águas pluviais lixivantes e de águas excedentes de rega e de lavagens;
- Potenciar os processos naturais de diluição e de autodepuração das águas subterrâneas;
- Prevenir, reduzir e controlar as descargas acidentais de poluentes;
- Proporcionar a criação de sistemas de aviso e alerta para a protecção dos sistemas de abastecimento de água com origem nas captações de águas subterrâneas, em situações de poluição acidental dessas águas.

A delimitação dos perímetros de protecção é realizada recorrendo a métodos hidrogeológicos apropriados que têm em conta os caudais de exploração, as condições da captação e as características do sistema aquífero explorado. A fixação dos caudais de exploração e o dimensionamento das captações de águas subterrâneas destinadas ao abastecimento público têm que atender, necessariamente, aos aspectos económicos, já que a delimitação dos perímetros de protecção das captações impõe restrições ao uso do solo em áreas significativas que se traduzem em custos económicos que se repercutem sobre o custo da água na origem. De facto, não se afigura razoável delimitar perímetros de protecção com áreas ou com restrições excessivas se tal não se traduzir num benefício efectivo em termos da protecção das águas subterrâneas, pelo que se tem de exigir que a delimitação dos perímetros de protecção seja baseada em estudos hidrogeológicos suficientemente rigorosos para evidenciar a eficácia das medidas de protecção

impostas. Por outro lado, não fará sentido localizar captações em áreas em que as pressões sobre o uso do solo são de tal maneira elevadas que os custos de oportunidade das restrições impostas se traduzam em custos da água na origem que não sejam razoáveis, quando comparadas com outras alternativas, sem prejuízo dos critérios gerais que devem ser atendidos na protecção das águas subterrâneas. Sempre que não possam ser realizados esses estudos — por exemplo, no caso de captações com menor capacidade ou em que o uso do solo é compatível com a protecção das águas subterrâneas —, definem-se critérios simples, mas suficientemente rigorosos, que asseguram a efectiva protecção das águas subterrâneas como origens de água para consumo humano.

Os instrumentos normativos vigentes não permitem salvaguardar adequadamente a qualidade das águas subterrâneas, pelo que se justifica a instituição, através do presente decreto-lei, dos perímetros de protecção das captações de águas subterrâneas destinadas ao abastecimento público.

Foi ouvida a Associação Nacional de Municípios Portugueses, bem como os órgãos de Governo próprio das Regiões Autónomas.

Assim:

Nos termos da alínea *a*) do n.º 1 do artigo 198.º da Constituição, o Governo decreta, para valer como lei geral da República, o seguinte:

#### Artigo 1.º

##### Objectivo e âmbito

1 — O presente diploma estabelece as normas e os critérios para a delimitação de perímetros de protecção de captações de águas subterrâneas destinadas ao abastecimento público, adiante designados por perímetros de protecção, com a finalidade de proteger a qualidade das águas dessas captações.

2 — As captações de água subterrânea destinadas ao abastecimento público de água para consumo humano de aglomerados populacionais com mais de 500 habitantes ou cujo caudal de exploração seja superior a 100 m<sup>3</sup>/dia ficam abrangidas pelo disposto no presente diploma para todas as zonas de protecção previstas e definidas nos termos do presente decreto-lei.

3 — Todas as captações de água subterrânea destinadas ao abastecimento público de água para consumo humano são abrangidas pelo disposto no presente diploma no que diz respeito à delimitação da zona de protecção imediata.

#### Artigo 2.º

##### Definições

Para efeitos do presente diploma entende-se por:

- a*) «Aquífero» — domínio espacial de uma formação geológica, limitado em superfície e em profundidade, que pode armazenar água em condições de ser explorada economicamente;
- b*) «Captação de água subterrânea destinada ao abastecimento público» — origem de água subterrânea destinada ao consumo humano mediante um sistema de abastecimento público;
- c*) «Caudal de exploração» — volume de água extraída de um aquífero por unidade de tempo;

- d) «Espessura saturada na captação» — fracção da captação que se encontra preenchida por água;
- e) «Intrusão marinha» — processo que se pode verificar nos aquíferos costeiros, e que consiste no avanço sobre o continente de massas de água salgada;
- f) «Poluição» — degradação da qualidade natural da água, em resultado de actividades humanas, tornando-a imprópria como origem de água destinada à produção de água para consumo humano, nos termos dos artigos 13.º a 19.º do Decreto Lei n.º 236/98 de 1 de Agosto;
- g) «Porosidade eficaz» — percentagem do volume total de uma formação geológica que é ocupada por poros interligados, através dos quais se pode estabelecer um fluxo de água;
- h) «Qualidade da água» — conjunto de valores de parâmetros físicos, químicos, biológicos e microbiológicos da água que permite avaliar a sua adequação como origem de água para a produção de água para consumo humano, nos termos dos artigos 13.º a 19.º do Decreto Lei n.º 236/98 de 1 de Agosto;
- i) «Sistema aquífero» — domínio espacial de uma ou várias formações geológicas, limitado em superfície e em profundidade, que define um ou vários aquíferos, relacionados ou não entre si, e que constitui uma unidade prática para a exploração de águas subterrâneas.

### Artigo 3.º

#### Perímetro de protecção

1 — O perímetro de protecção é a área contígua à captação na qual se interdita ou condicionam as instalações e as actividades susceptíveis de poluírem as águas subterrâneas, que engloba as seguintes zonas:

- a) Zona de protecção imediata — área da superfície do terreno contígua à captação em que, para a protecção directa das instalações da captação e das águas captadas, todas as actividades são, por princípio, interditas;
- b) Zona de protecção intermédia — área da superfície do terreno contígua exterior à zona de protecção imediata, de extensão variável, tendo em conta as condições geológicas e estruturais do sistema aquífero, definida por forma a eliminar ou reduzir a poluição das águas subterrâneas, onde são interditas ou condicionadas as actividades e as instalações susceptíveis de poluírem aquelas águas, quer por infiltração de poluentes, quer por poderem modificar o fluxo na captação ou favorecer a infiltração na zona próxima da captação;
- c) Zona de protecção alargada — área da superfície do terreno contígua exterior à zona de protecção intermédia, destinada a proteger as águas subterrâneas de poluentes persistentes, tais como compostos orgânicos, substâncias radioactivas, metais pesados, hidrocarbonetos e nitratos, onde as actividades e instalações são interditas ou condicionadas em função do risco de poluição das águas, tendo em atenção a natureza dos terrenos atravessados, a natureza e a quantidade de poluentes, bem como o modo de emissão desses poluentes.

2 — A delimitação dos perímetros de protecção, englobando as diferentes zonas definidas no número anterior, obedece a critérios geológicos, hidrogeológicos e económicos estabelecidos em função das características do aquífero em que se encontra a captação, as condições da captação e os caudais de exploração, mediante a realização de estudos hidrogeológicos e económicos.

3 — Quando não existam e não seja possível realizar os estudos hidrogeológicos mencionados no número anterior, mediante prévio parecer favorável da direcção regional do ambiente territorialmente competente, a determinação das zonas de protecção poderá ser feita através de recurso ao método do raio fixo, calculado de acordo com o anexo ao presente diploma, que dele faz parte integrante, ou outro método considerado mais adequado.

4 — Os estudos hidrogeológicos e a aplicação do método do raio fixo têm de ser realizados por técnicos com as habilitações académicas adequadas para o efeito.

5 — O perímetro de protecção poderá não incluir as zonas de protecção intermédia ou a zona de protecção alargada relativamente a captações de águas subterrâneas em sistemas aquíferos cujo risco de poluição seja reduzido, demonstrado por estudos hidrogeológicos.

6 — Sempre que se justifique, nomeadamente em zonas em que haja conexão hidráulica directa ou através de condutas cársicas ou fissuras, o perímetro de protecção poderá ainda englobar zonas de protecção especial, mediante a realização de estudos hidrogeológicos específicos.

7 — Nas zonas costeiras onde exista ou possa existir intrusão marinha, o perímetro de protecção inclui ainda zonas de protecção especiais para prevenir o avanço da cunha salina, mediante a realização de estudos hidrogeológicos específicos.

### Artigo 4.º

#### Delimitação dos perímetros de protecção

1 — Compete ao Governo, através de resolução do Conselho de Ministros, aprovar a delimitação dos perímetros de protecção, identificando as instalações e actividades, de entre as mencionadas nos n.ºs 2, 4 e 7 do artigo 6.º, que ficam sujeitas a interdições ou a condicionamentos e definindo o tipo de condicionamentos.

2 — As propostas de delimitação e respectivos condicionamentos são elaboradas pela direcção regional do ambiente territorialmente competente com base nas propostas e estudos próprios que lhe sejam apresentados pela entidade requerente da licença de captação de águas subterrâneas destinadas ao consumo humano, de acordo com o disposto no presente diploma, no disposto no Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto, e demais legislação aplicável.

3 — As entidades responsáveis pelas captações já existentes, quer estejam em funcionamento quer constituam uma reserva potencial de abastecimento de água subterrânea, devem promover a delimitação dos perímetros de protecção nos termos previstos nos números anteriores.

4 — Os perímetros de protecção das captações de água subterrânea para abastecimento público de água para consumo humano são revistos, sempre que se justifique, por iniciativa da direcção regional do ambiente territorialmente competente ou da entidade responsável pela captação.

5 — A autorização para a captação destinada ao consumo humano, prevista no Decreto-Lei n.º 46/94, de 22 de Fevereiro, que se insira no âmbito de aplicação do presente diploma pressupõe a prévia delimitação do respectivo perímetro de protecção.

#### Artigo 5.º

##### Protecção sanitária da captação

1 — A «cabeça» das captações verticais de águas subterrâneas — poços ou furos — deve estar a cota superior ao terreno circundante, mantendo-se a mesma fechada, de tal forma que se evite a entrada de substâncias de qualquer tipo, devendo ainda o revestimento da captação ser exteriormente rodeado de uma superfície impermeabilizante que promova a drenagem para áreas mais afastadas da captação, de águas que escorram superficialmente para áreas mais afastadas da captação.

2 — Todas as restantes captações de águas subterrâneas têm que estar devidamente protegidas contra a introdução de substâncias poluentes e actos de vandalismo, através de uma porta ventilada.

#### Artigo 6.º

##### Servidões administrativas e restrições de utilidade pública

1 — Na zona de protecção imediata é interdita qualquer instalação ou actividade, com excepção das que têm por finalidade a conservação, manutenção e melhor exploração da captação. Nesta zona o terreno é vedado e tem que ser mantido limpo de quaisquer resíduos, produtos ou líquidos que possam provocar infiltração de substâncias indesejáveis para a qualidade da água de captação.

2 — Na zona de protecção intermédia podem ser interditas ou condicionadas as seguintes actividades e instalações quando se demonstrarem susceptíveis de provocarem a poluição das águas subterrâneas:

- a) Pastorícia;
- b) Usos agrícolas e pecuários;
- c) Aplicação de pesticidas móveis e persistentes na água ou que possam formar substâncias tóxicas, persistentes ou bioacumuláveis;
- d) Edificações;
- e) Estradas e caminhos de ferro;
- f) Parques de campismo;
- g) Espaços destinados a práticas desportivas;
- h) Estações de tratamento de águas residuais;
- i) Colectores de águas residuais;
- j) Fossas de esgoto;
- l) Unidades industriais.
- m) Cemitérios;
- n) Pedreiras e quaisquer escavações;
- o) Explorações mineiras;
- p) Lagos e quaisquer obras ou escavações destinadas à recolha e armazenamento de água ou quaisquer substâncias susceptíveis de se infiltrarem;
- q) Depósitos de sucata.

3 — Na zona de protecção intermédia são interditas as seguintes actividades e instalações:

- a) Infra-estruturas aeronáuticas;
- b) Oficinas e estações de serviço de automóveis;
- c) Depósitos de materiais radioactivos, de hidrocarbonetos e de resíduos perigosos;

- d) Postos de abastecimento e áreas de serviço de combustíveis;
- e) Transporte de hidrocarbonetos, de materiais radioactivos ou de outras substâncias perigosas;
- f) Canalizações de produtos tóxicos;
- g) Lixeiras e aterros sanitários.

4 — Na zona de protecção alargada podem ser interditas ou condicionadas as seguintes actividades e instalações quando se demonstrarem susceptíveis de provocarem a poluição das águas subterrâneas:

- a) Utilização de pesticidas móveis e persistentes na água ou que possam formar substâncias tóxicas, persistentes ou bioacumuláveis;
- b) Colectores de águas residuais;
- c) Fossas de esgoto;
- d) Lagos e quaisquer obras ou escavações destinadas à recolha e armazenamento de água ou quaisquer substâncias susceptíveis de se infiltrarem;
- e) Estações de tratamento de águas residuais;
- f) Cemitérios;
- g) Pedreiras e explorações mineiras;
- h) Infra-estruturas aeronáuticas;
- i) Oficinas e estações de serviço de automóveis;
- j) Postos de abastecimento e áreas de serviço de combustíveis;
- l) Depósitos de sucata.

5 — Na zona de protecção alargada são interditas as seguintes actividades e instalações:

- a) Transporte de hidrocarbonetos, de materiais radioactivos e de outras substâncias perigosas;
- b) Depósitos de materiais radioactivos, de hidrocarbonetos e de resíduos perigosos;
- c) Canalizações de produtos tóxicos;
- d) Refinarias e indústrias químicas;
- e) Lixeiras e aterros sanitários.

6 — Na zona de protecção especial, a que se refere o n.º 6 do artigo 3.º, são interditas quaisquer actividades ou instalações.

7 — Nas zonas de protecção contra o avanço da cunha salina, a que se refere o n.º 7 do artigo 3.º, podem ser limitados os caudais de exploração das captações existentes e interdita a construção ou a exploração de novas captações de água subterrânea ou condicionado o seu regime de exploração.

#### Artigo 7.º

##### Indemnizações

1 — As interdições e os condicionamentos decorrentes da aplicação do presente diploma podem dar lugar a indemnização nos termos previstos no artigo 8.º do Código das Expropriações.

2 — Aos proprietários dos terrenos que integrem as zonas de protecção imediata ou as zonas de protecção especial é assegurado o direito de requerer a respectiva expropriação, nos termos do Código das Expropriações.

3 — O disposto nos números anteriores não é aplicável sempre que os terrenos integrem o património de uma entidade pública.

Artigo 8.º

Encargos

1 — Compete às entidades responsáveis pelas captações de águas subterrâneas abrangidas pelo disposto no presente diploma suportar as indemnizações decorrentes da aplicação do disposto no artigo anterior.

2 — Quando as indemnizações previstas no artigo 7.º se refiram a captações já existentes à data da entrada em vigor do presente diploma, as mesmas serão suportadas pela administração central, nomeadamente pelo Ministério do Ambiente, quando as captações se encontrem autorizadas, e pelas entidades mencionadas no número anterior, com possibilidade de comparticipação da administração central, quando as captações não se encontrem autorizadas.

Artigo 9.º

Enquadramento nos planos de bacia hidrográfica e planos de ordenamento do território

Os planos de bacia hidrográfica, bem como os planos municipais e os planos especiais de ordenamento do território, contêm obrigatoriamente os perímetros de protecção delimitados nos termos do presente diploma.

Artigo 10.º

Contra-ordenações

1 — Constituem contra-ordenações:

- a) A não observância das interdições referidas nos n.ºs 1, 3, 5 e 6 do artigo 6.º;
- b) O não cumprimento das interdições ou dos condicionamentos que vierem a ser concretamente identificados na resolução do Conselho de Ministros prevista no n.º 1 do artigo 4.º

2 — Sem prejuízo da aplicação das sanções acessórias previstas no regime geral das contra-ordenações, as contra-ordenações previstas no número anterior são puníveis com coima de 5000\$ a 750 000\$ ou, tratando-se de pessoa colectiva, de 50 000\$ a 9 000 000\$.

3 — A negligência é punível.

4 — São competentes para o processamento das contra-ordenações a direcção regional do ambiente e a câmara municipal da área onde se tenha praticado a infracção, cabendo ao director regional do ambiente ou ao presidente da câmara municipal a aplicação das respectivas coimas.

5 — A afectação do produto das coimas faz-se da seguinte forma:

- a) 60 % para o Estado;
- b) 40 % para a entidade que processou a contra-ordenação.

Artigo 11.º

Embargo e demolição

As obras e os trabalhos efectuados com inobservância das interdições ou dos condicionamentos previstos no presente diploma e daqueles que vierem a ser fixados na resolução do Conselho de Ministros referida no n.º 1 do artigo 4.º podem ser embargadas ou demolidas, sendo competentes para ordenar esse embargo ou demolição o director regional do ambiente ou o presidente da câmara municipal da área.

Artigo 12.º

Regiões Autónomas

O presente diploma aplica-se às Regiões Autónomas dos Açores e da Madeira, sem prejuízo das competências cometidas aos respectivos órgãos de governo próprio e das adaptações que lhe venham a ser introduzidas por diploma regional.

Visto e aprovado em Conselho de Ministros em 22 de Julho de 1999. — *Jaime José Matos da Gama — João Cardona Gomes Cravinho — Francisco Ventura Ramos — Elisa Maria da Costa Guimarães Ferreira.*

Promulgado em 3 de Setembro de 1999.

Publique-se.

O Presidente da República, JORGE SAMPAIO.

Referendado em 9 de Setembro de 1999.

O Primeiro-Ministro, *António Manuel de Oliveira Guterres.*

ANEXO

Definição dos perímetros de protecção

No quadro seguinte admite-se que a captação é o único elemento drenante do aquífero, onde convergem todas as linhas de fluxo, e que não existem direcções privilegiadas de fluxo:

Tipo de sistema aquífero	Zona de protecção imediata	Zona de protecção intermédia	Zona de protecção alargada
Tipo 1 .....	$r=20\text{ m}$	$r$ é o maior valor entre 40 m e $r_1$ ( $t=50$ dias) .....	$r$ é o maior valor entre 350 m e $r_1$ ( $t=3500$ dias).
Tipo 2 .....	$r=40\text{ m}$	$r$ é o maior valor entre 60 m e $r_2$ ( $t=50$ dias) .....	$r$ é o maior valor entre 500 m e $r_2$ ( $t=3500$ dias).
Tipo 3 .....	$r=30\text{ m}$	$r$ é o maior valor entre 50 m e $r_3$ ( $t=50$ dias) .....	$r$ é o maior valor entre 400 m e $r_3$ ( $t=3500$ dias).

Tipo de sistema aquífero	Zona de protecção imediata	Zona de protecção intermédia	Zona de protecção alargada
Tipo 4	$r=60$ m	$r$ é o maior valor entre 280 m e $r_4$ ( $t=50$ dias)	$r$ é o maior valor entre 2400 m e $r_4$ ( $t=3500$ dias).
Tipo 5	$r=60$ m	$r$ é o maior valor entre 140 m e $r_5$ ( $t=50$ dias)	$r$ é o maior valor entre 1200 m e $r_5$ ( $t=3500$ dias).
Tipo 6	$r=40$ m	$r$ é o maior valor entre 60 m e $r_6$ ( $t=50$ dias)	$r$ é o maior valor entre 500 m e $r_6$ ( $t=3500$ dias).

$$r_i(t) = \sqrt{\frac{Q \times t}{3,14 \times n \times H}}$$

em que:

- $r_i(t)$  — raio do perímetro de protecção (metros);
- $Q$  — caudal de exploração (metros cúbicos/dia);
- $t$  — tempo necessário para um poluente atingir a captação (dia);
- $n$  — porosidade eficaz (percentagem), expressa pelo quadro anexo.
- $H$  — espessura saturada na captação (metros);

sendo os seguintes os tipos de sistemas aquíferos:

Tipo 1 — sistema aquífero confinado cujo suporte litológico é constituído por formações porosas;

Tipo 2 — sistema aquífero livre cujo suporte litológico é constituído por formações porosas;

Tipo 3 — sistema aquífero semiconfinado cujo suporte litológico é constituído por formações porosas;

Tipo 4 — sistema aquífero cujo suporte litológico é constituído por formações carbonatadas;

Tipo 5 — sistema aquífero cujo suporte litológico é constituído por formações ígneas e metamórficas fissuradas;

Tipo 6 — sistema aquífero cujo suporte litológico é constituído por formações ígneas e metamórficas pouco fissuradas e ou alteradas.

Valores de porosidade eficaz

Material		Porosidade eficaz (percentagem)			Observações
Tipo	Descrição	Média	Máxima	Mínima	
Rochas maciças	Granito	< 0,2	0,5	0	(a)
	Calcário	< 0,5	1	0	(b)
	Dolomito	< 0,5	1	0	(b)
Rochas metamórficas	—	< 0,5	2	0	(a)
Rochas vulcânicas	Piroclastos	< 5	20	0	(c) (e)
	Escórias	20	50	1	(c) (e)
	Tufos vulcânicos	< 5	20	0	(d)
	Basaltos densos, fonólitos	< 1	2	0,1	(a)
	Basaltos vacuolares	5	10	1	(c)
Rochas sedimentares consolidadas.	Rochas foliadas	< 2	5	0	(e)
	Arenitos	10	20	0	(f)
	Calcário detrítico	3	20	0,5	—
Rochas sedimentares não consolidadas.	Aluviões	15	35	5	(e)
	Dunas	20	30	10	—
	Cascalheiras	25	35	15	—
	Arcias	25	35	10	—
	Depósitos glaciares	15	30	5	—
	Lodos	10	20	2	(e)
	Argilas não compactadas	2	10	0	(e)
	Solos de cobertura	10	20	1	(e)

(a) A porosidade eficaz aumenta devido à meteorização.  
 (b) A porosidade eficaz aumenta devido a fenómenos de dissolução.  
 (c) A porosidade eficaz diminui com a idade.  
 (d) A porosidade eficaz pode aumentar com a idade.  
 (e) A porosidade eficaz varia muito segundo as circunstâncias e o tempo.  
 (f) A porosidade eficaz varia segundo o grau de cimentação e solubilidade.

## ANEXO II

Fotografias das captações estudadas e respectiva Zona de Protecção Imediata (ZPi) actual.



Figura II.1 – ZPi da captação F19.



Figura II.2 – Captação F19.



Figura II.3 – ZPi da captação F26.



Figura II.4 – Captação F26.



Figura II.5 – ZPi da captação F21.



Figura II.6 – Captação F21.



Figura II.7 - ZPi da captação F2.



Figura II.8 - Captação F2.



Figura II.9 - ZPi da captação F15.



Figura II.10 - Captação F15.



Figura II.11 - ZPi da captação F22.



Figura II.12 - Captação F22.



Figura II.13 – ZPi da captação F30.



Figura II.14 – Captação F30.



Figura II.15 – ZPi da captação F27.



Figura II.16 – Captação F27.



Figura II.17 – ZPi da captação F3.



Figura II.18 – Captação F3.



Figura II.19 – ZPi da captação F23.



Figura II.20 – Captação F23.



Figura II.21 – ZPi da captação F24.



Figura II.22 – Captação F24.



Figura II.23 – Captação F11.



Figura II.24 – Captação F25.



Figura II.25 – ZPi da captação F12.



Figura II.26 – Captação F17.



Figura II.27 – ZPi da captação F28.



Figura II.28 – Captação F28.



Figura II.29 – ZPi da captação F29.



Figura II.30 – Captação F29.

## **ANEXO III**

Projecção espacial das Zonas de Protecção Intermédia e Alargada (ZPI e ZPA.) das captações de Abastecimento Público do Concelho de Montijo.

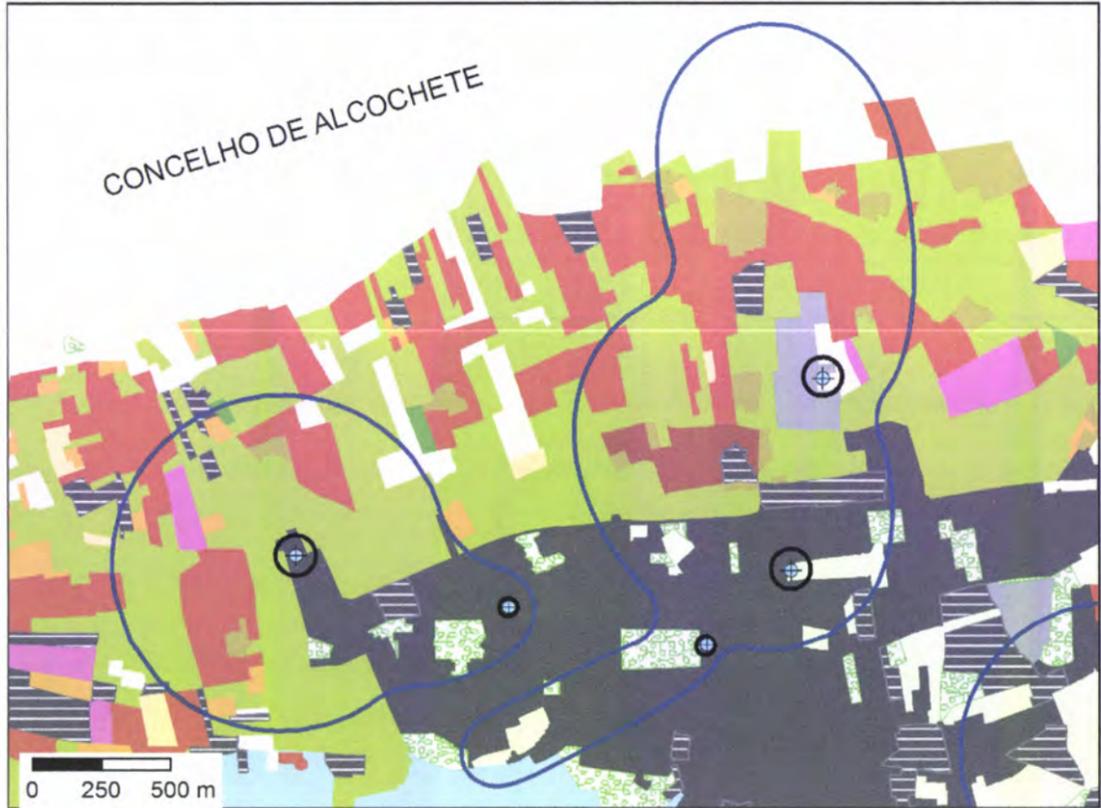
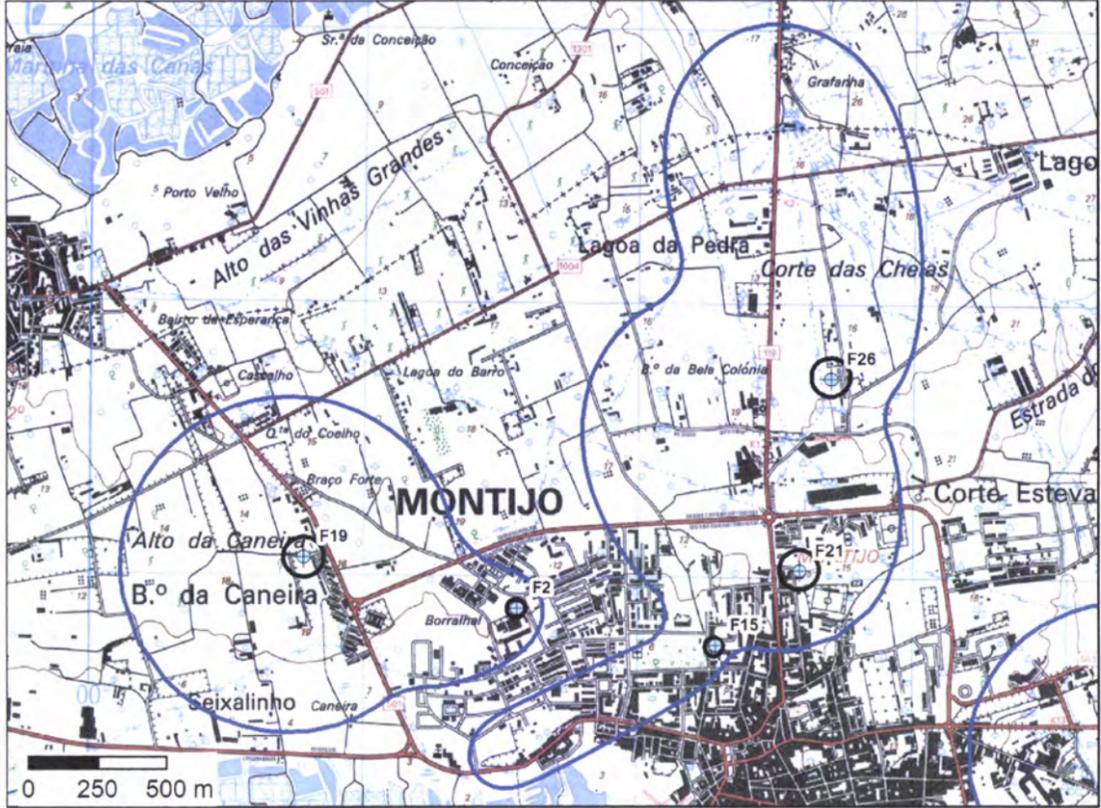


Figura III.1 - Projecção espacial das ZPI e ZPA. das captações de Abastecimento Público do Sistema de Montijo.

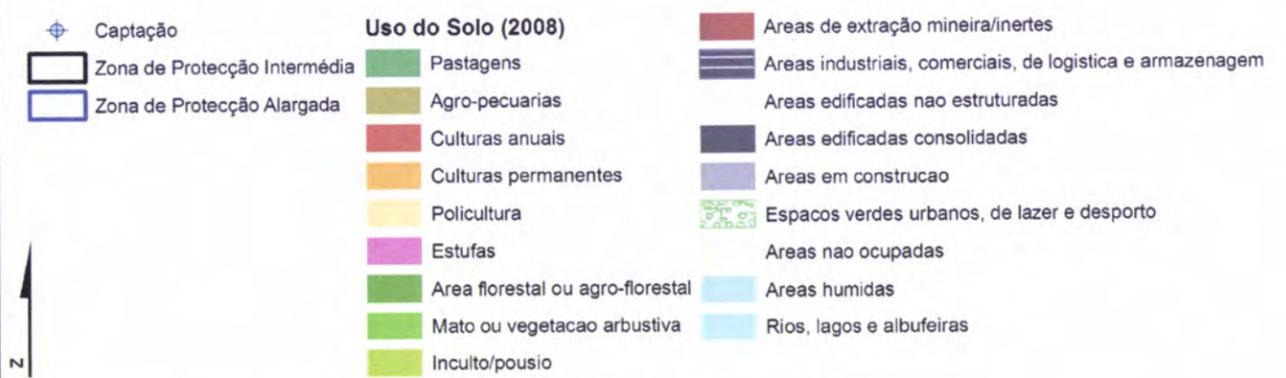
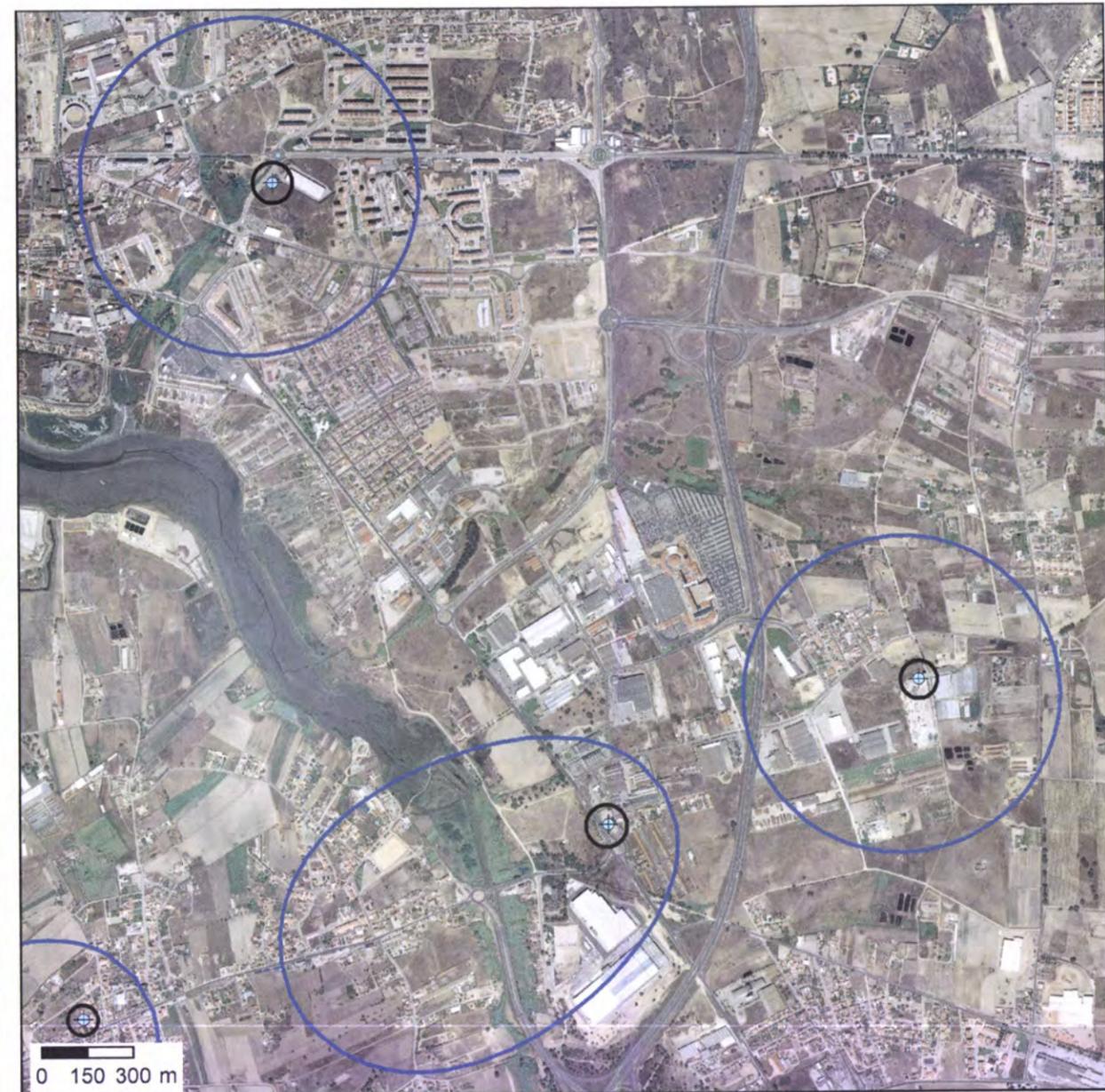
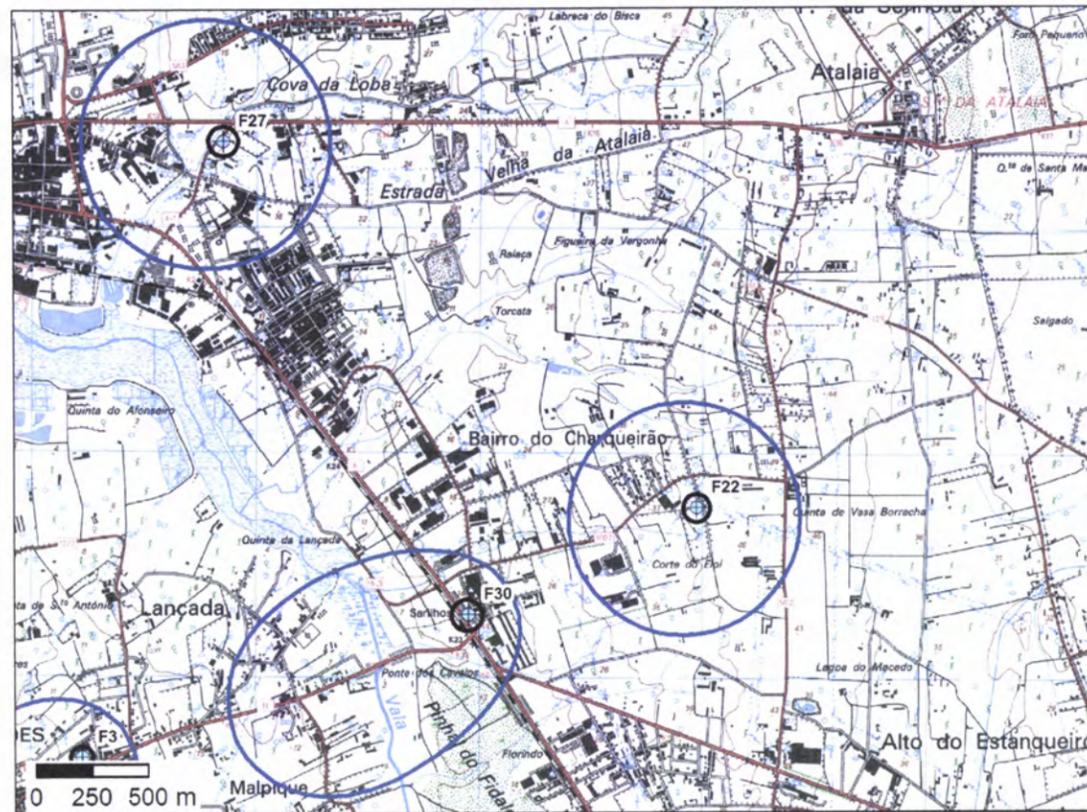


Figura III.2 - Projecção espacial das ZPI e ZPA das captações de Abastecimento Público do Sistema de Pau-Queimado.

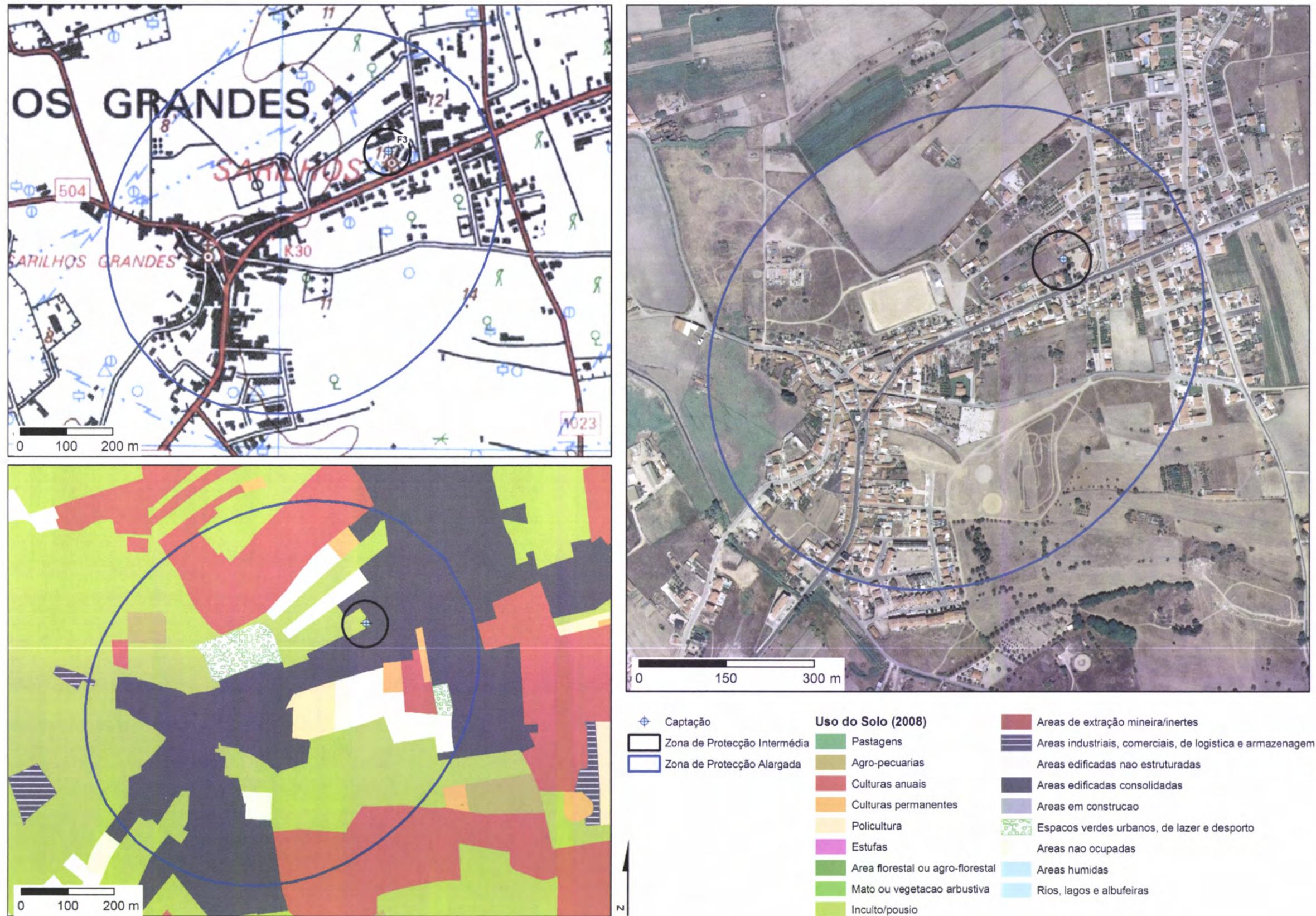


Figura III.3 - Projecção espacial da ZPI e ZPA da captação de Abastecimento Público do Sistema de Sarilhos Grandes.

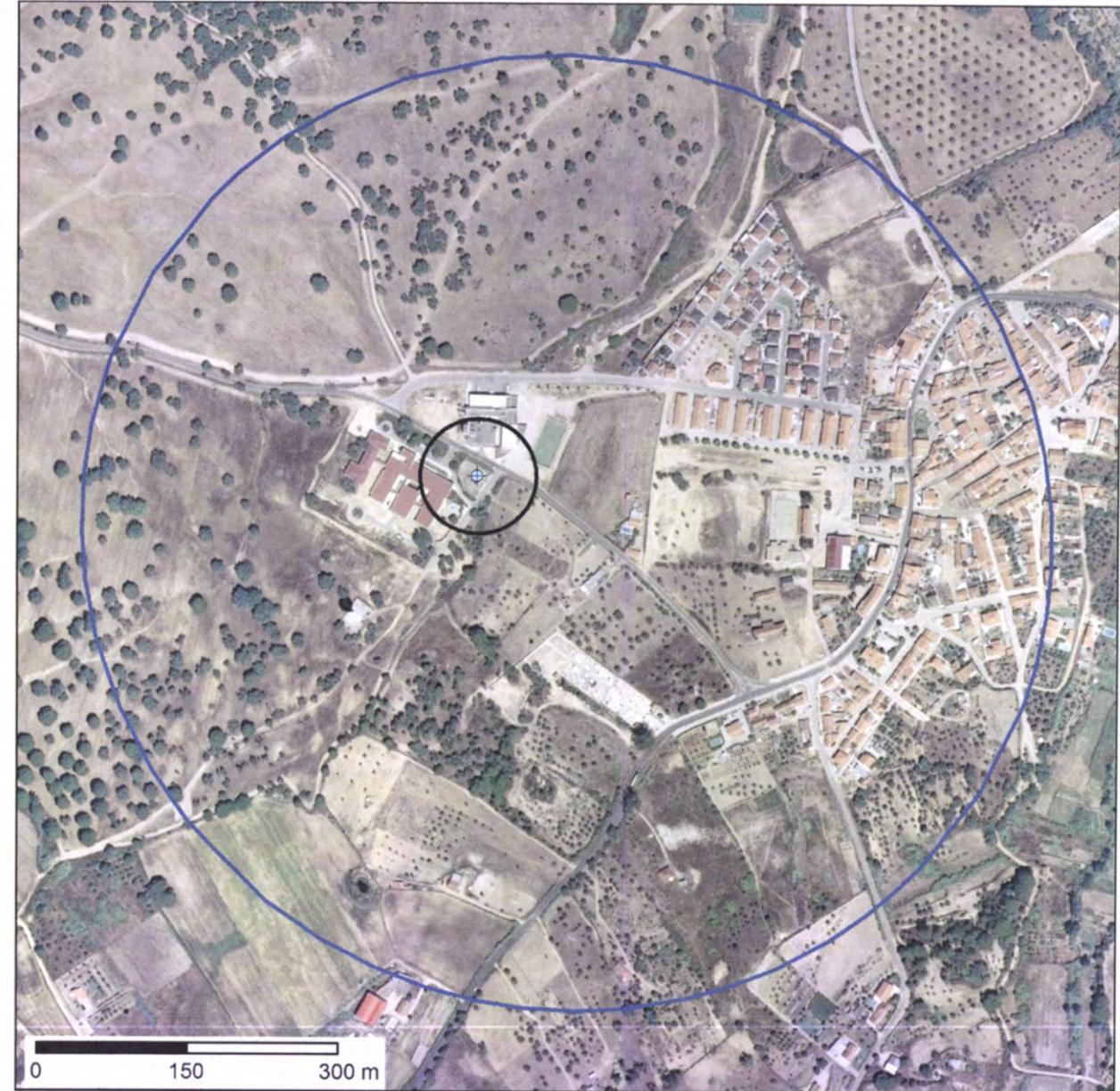
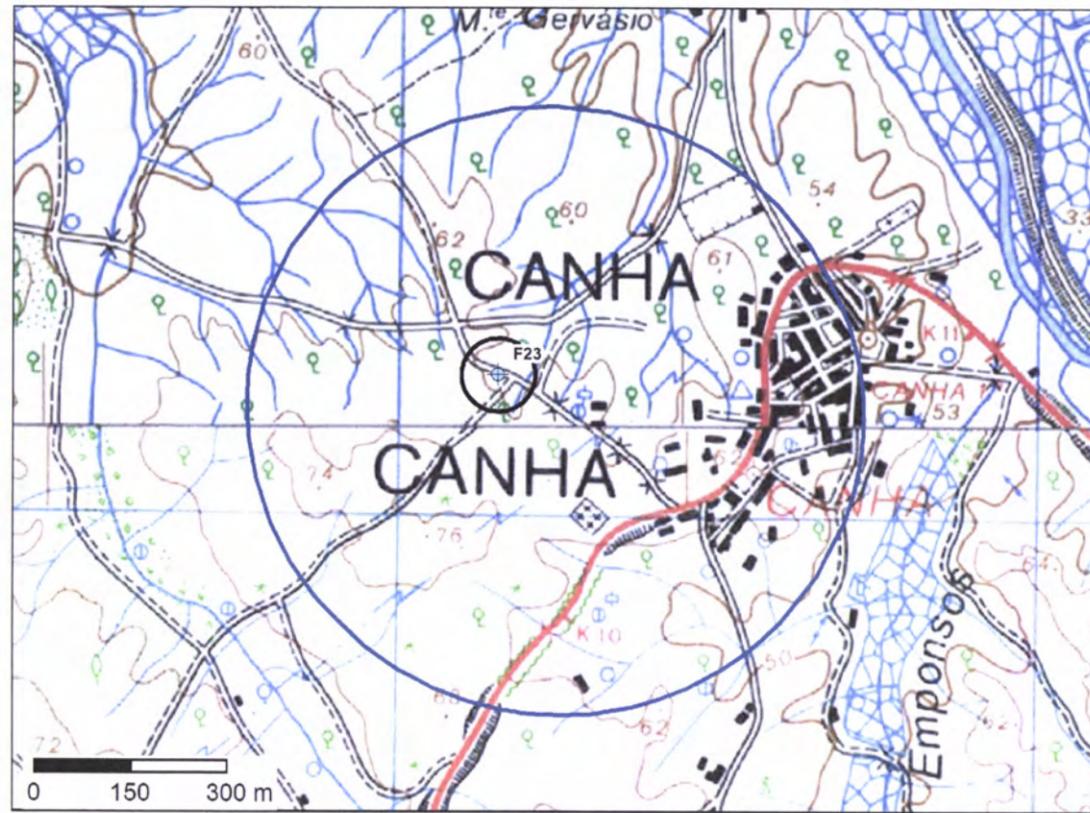


Figura III.4 - Projecção espacial da ZPI e ZPA da captação de Abastecimento Público do Sistema de Canha.

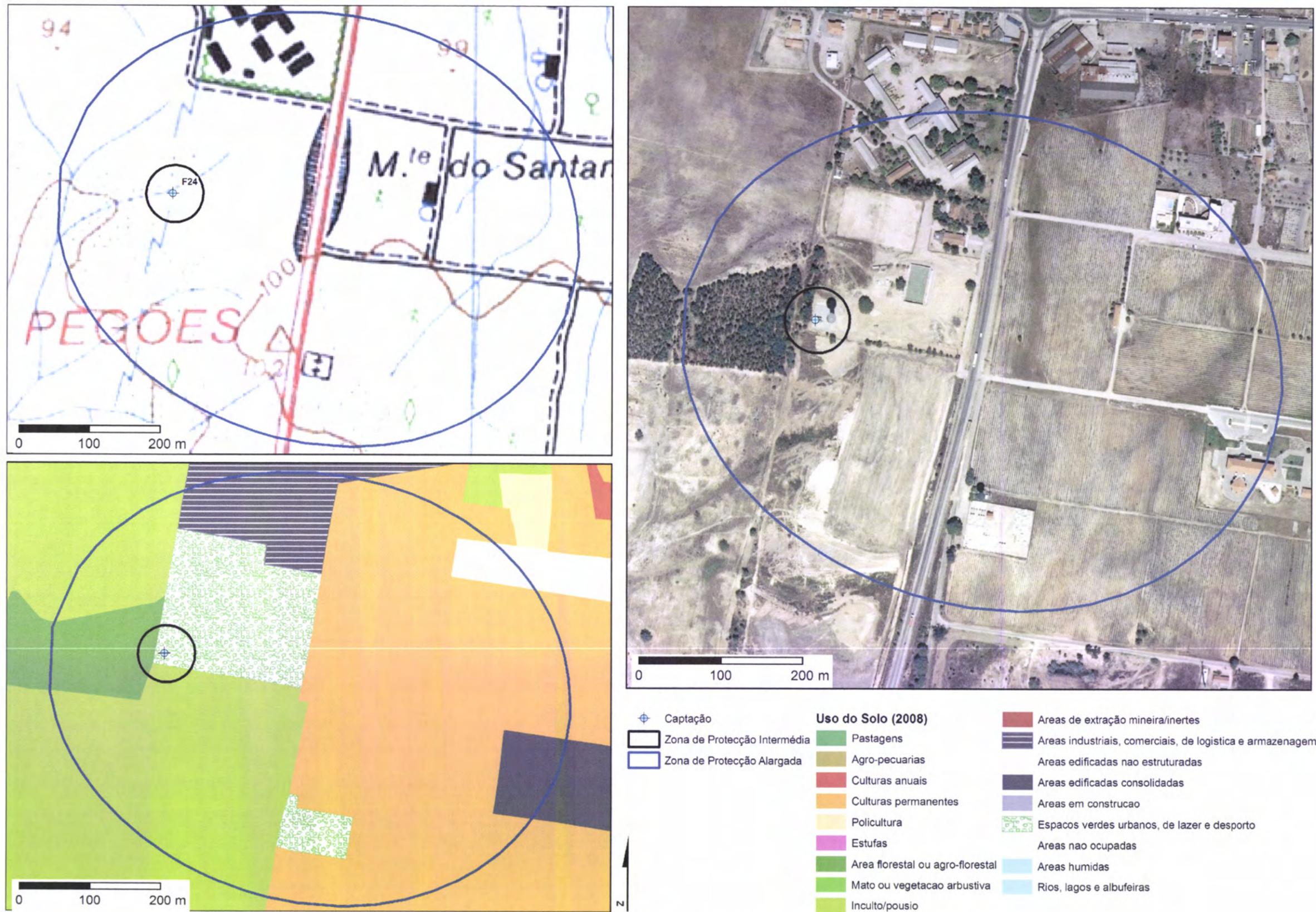


Figura III.5 - Projecção espacial da ZPI e ZPA da captação de Abastecimento Público do Sistema de Pegões.

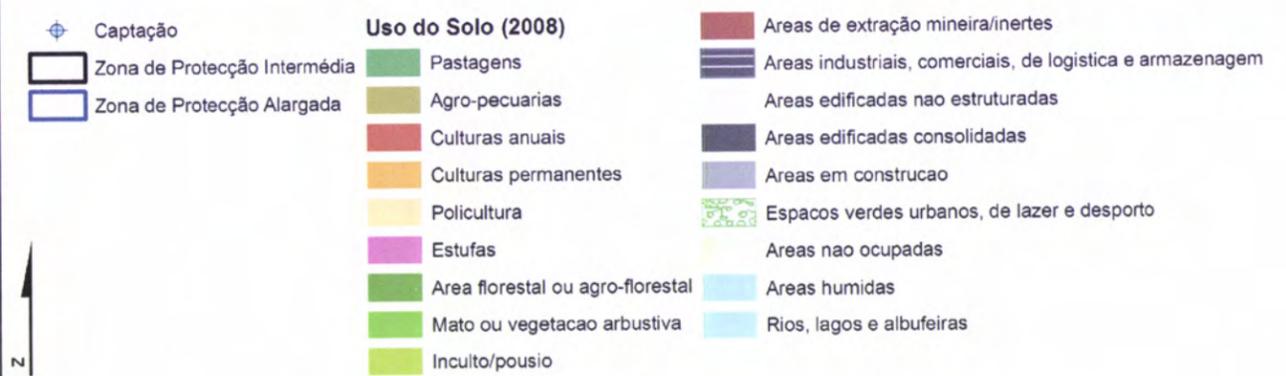
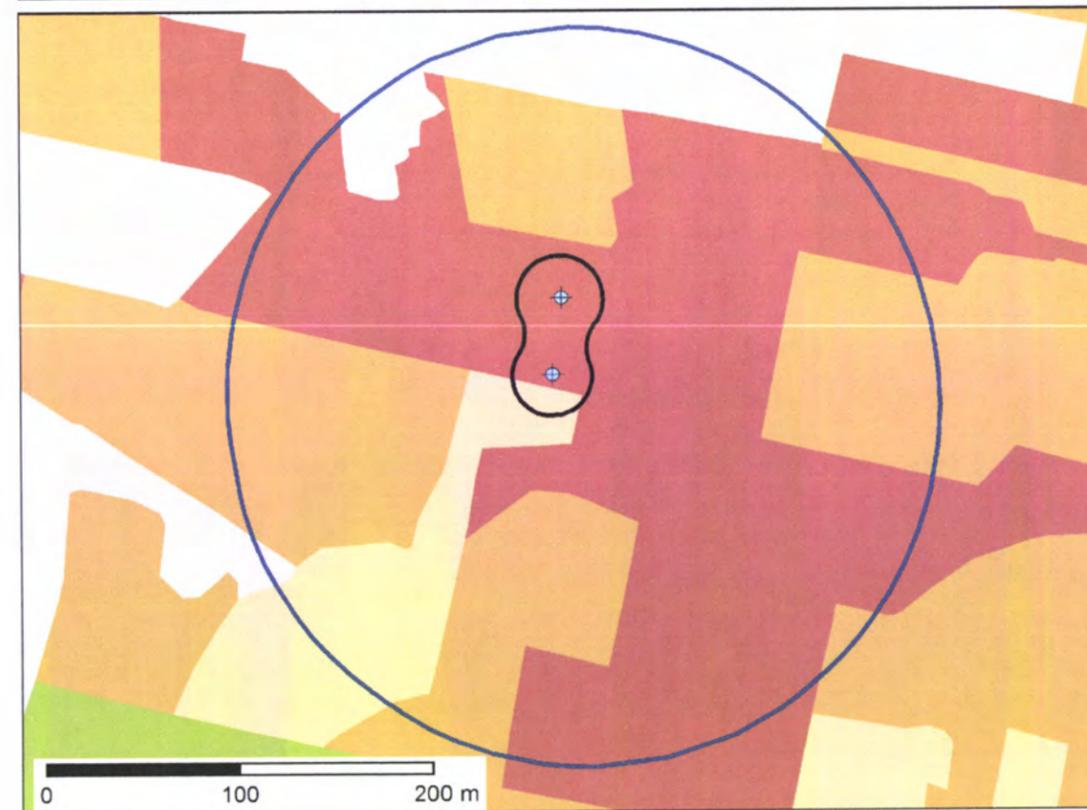
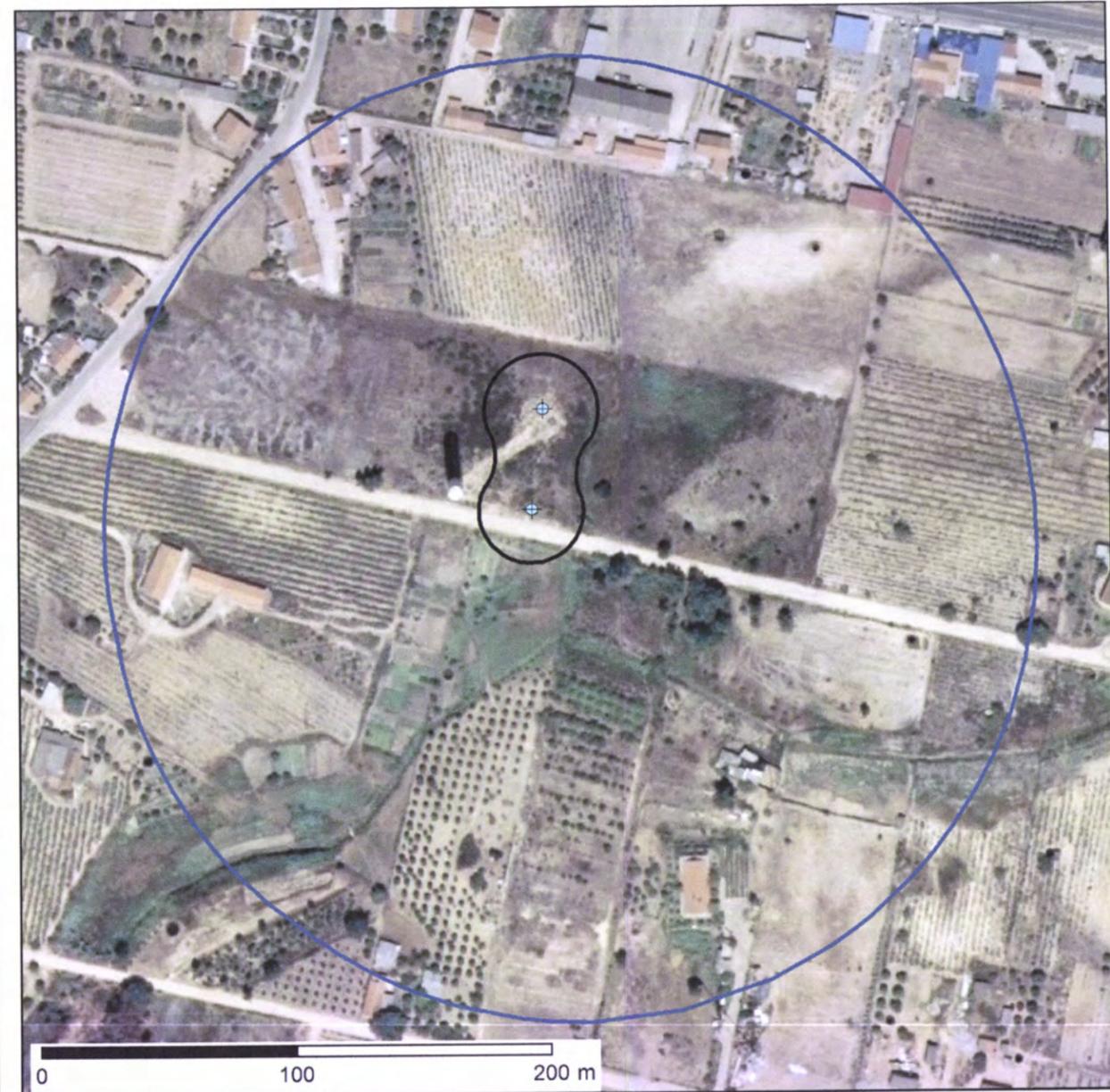
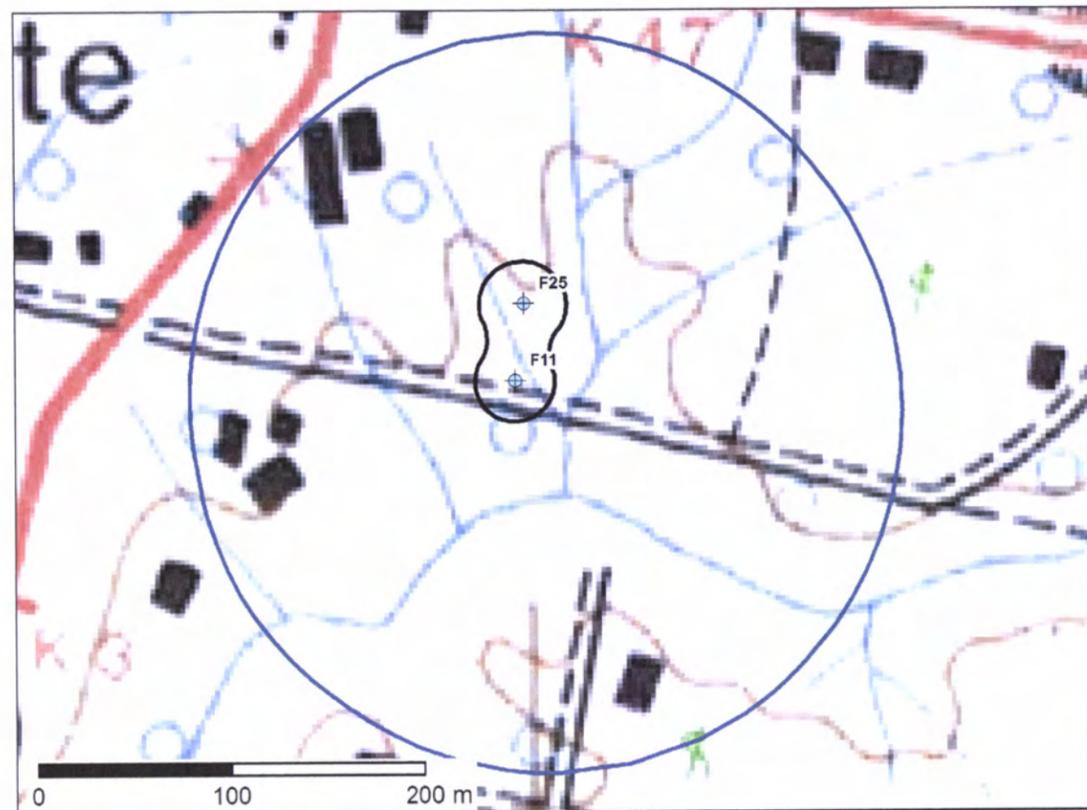


Figura III.6 - Projecção espacial das ZPI e ZPA das captações de Abastecimento Público do Sistema de Afonsos.

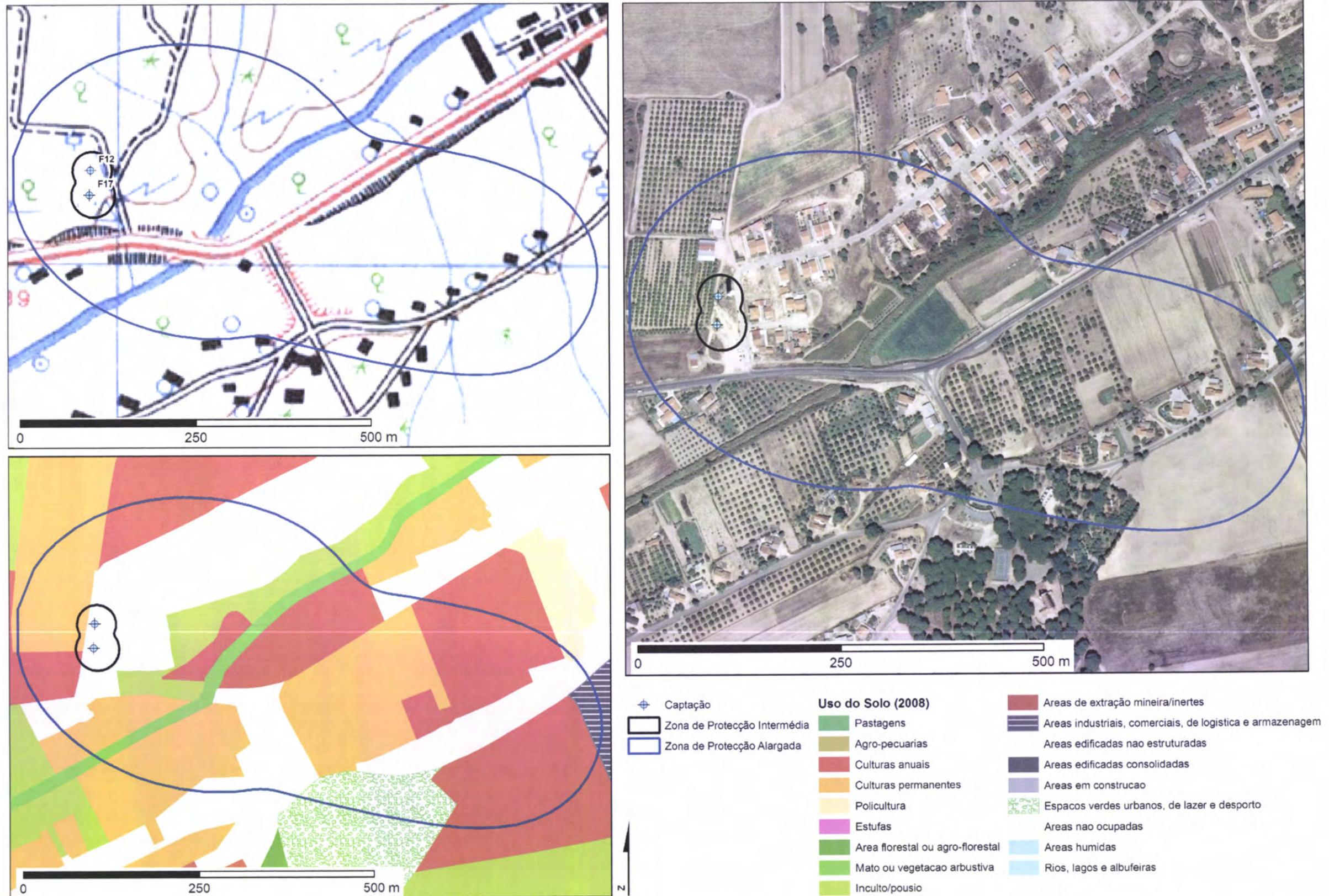


Figura III.7 - Projecção espacial das ZPI e ZPA das captações de Abastecimento Público do Sistema de Santo Isidro de Pegões.

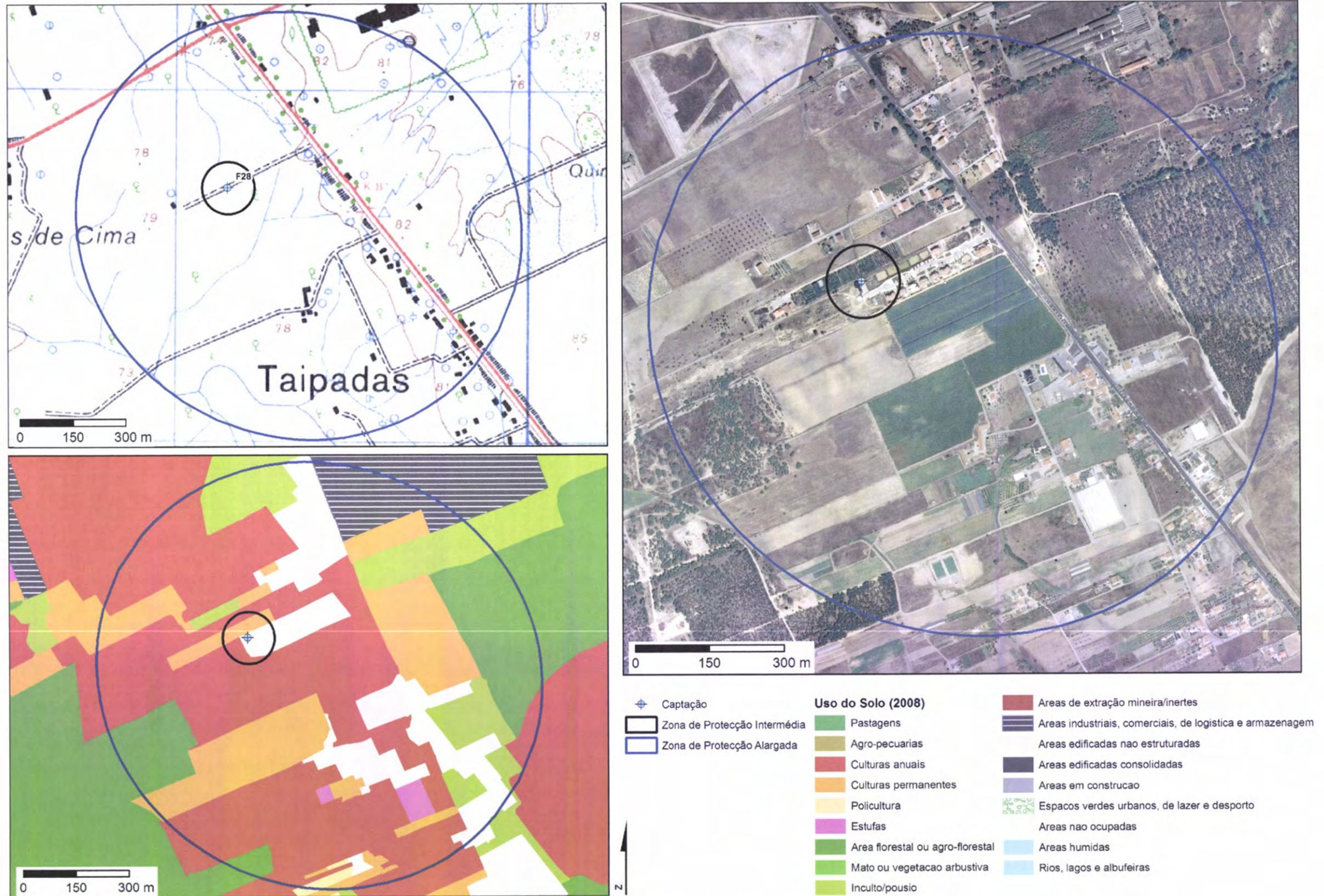


Figura III.8 - Projecção espacial da ZPI e ZPA da captação de Abastecimento Público do Sistema de Taipadas.

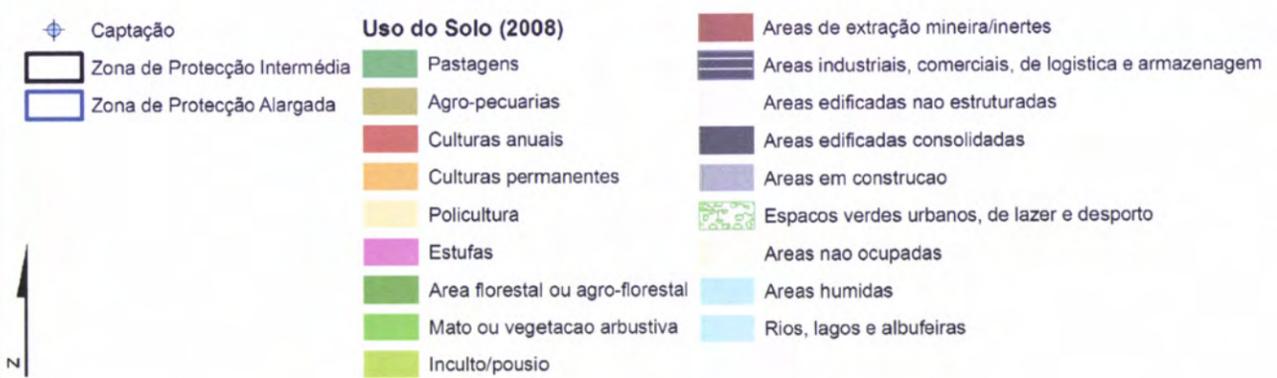
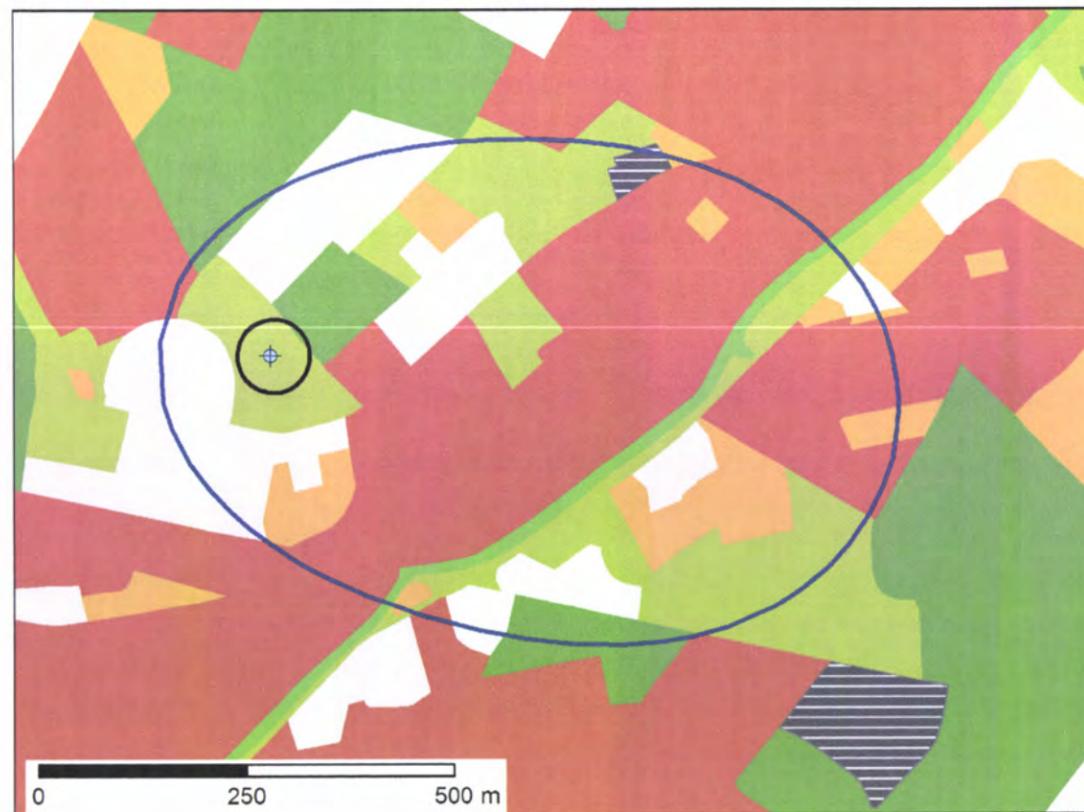
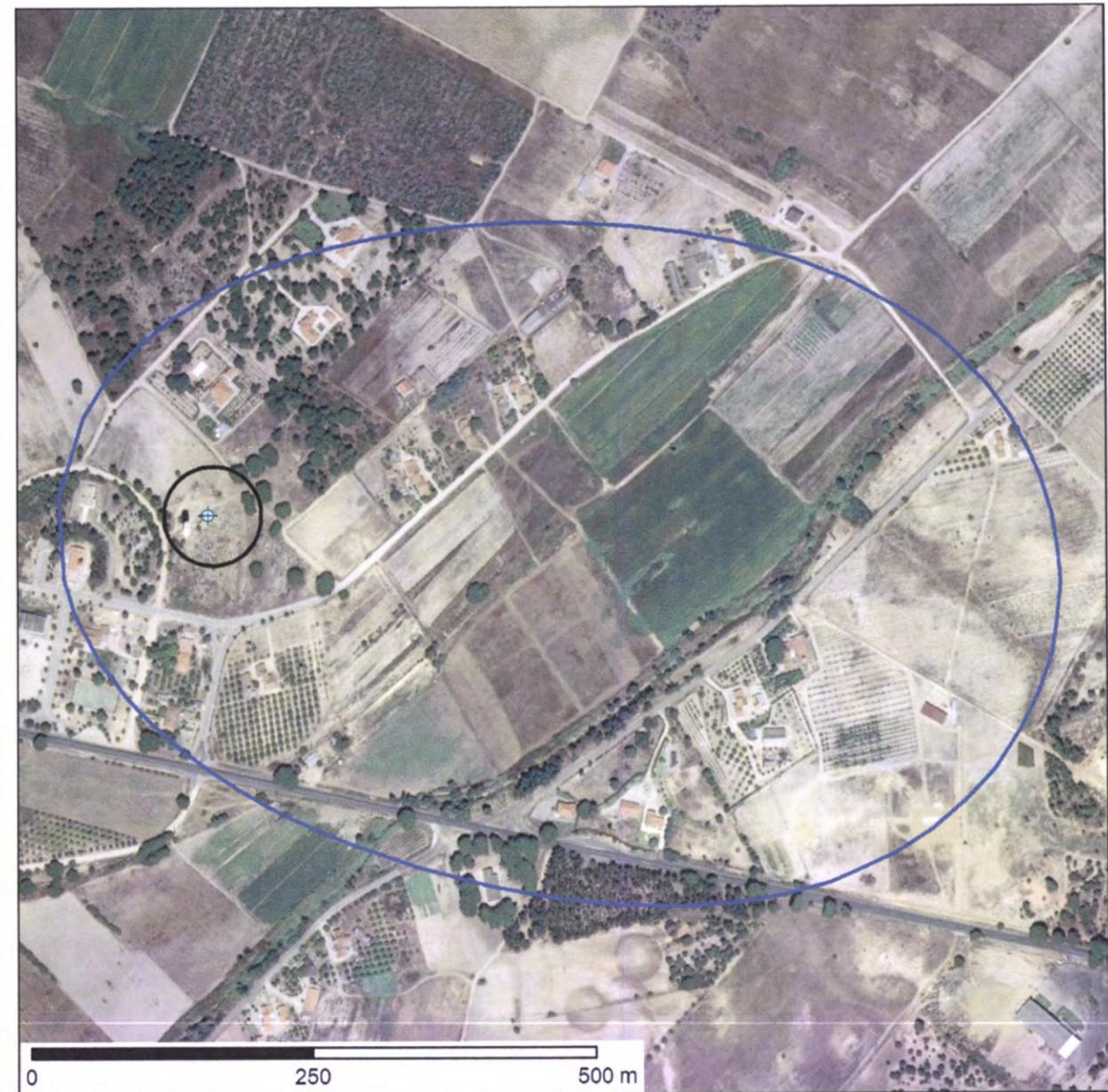
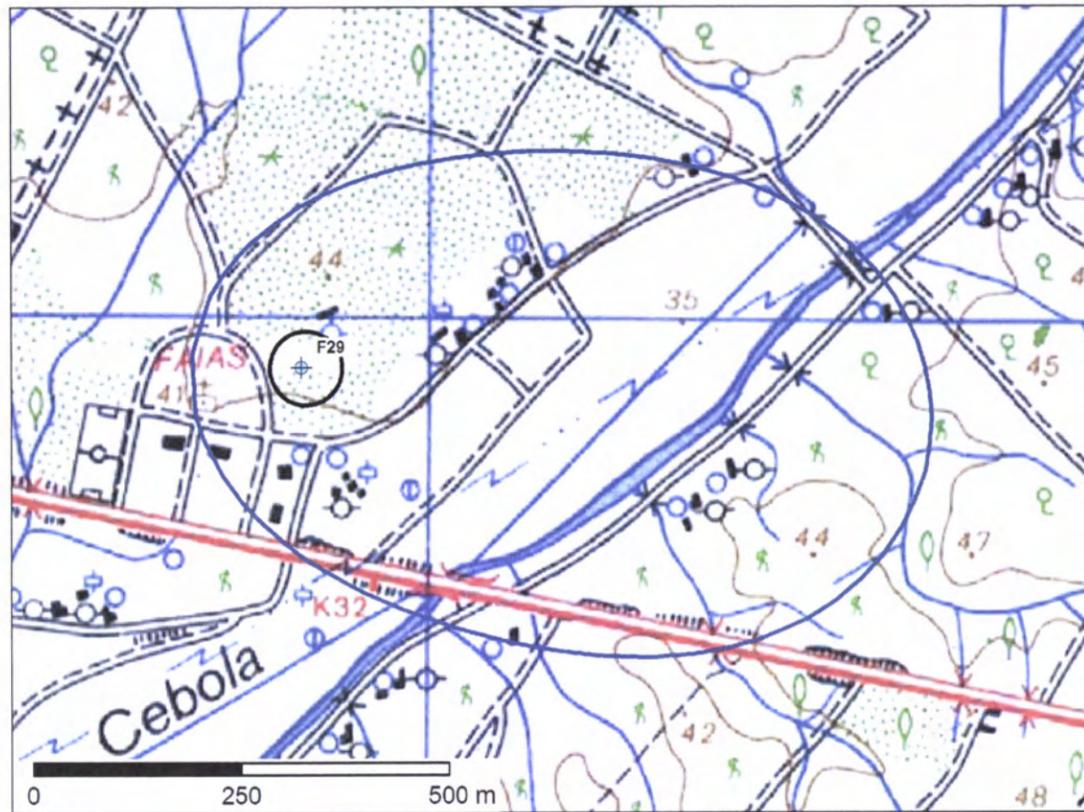


Figura III.9 - Projecção espacial da ZPI e ZPA da captação de Abastecimento Público do Sistema de Faias.