

Universidade de Lisboa
Faculdade de Ciências
Departamento de Geologia



**ESTUDO DA RECARGA ARTIFICIAL DE AQUÍFEROS COMO MEIO DE
MITIGAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO POR NITRATOS. CASO DE ESTUDO
NA REGIÃO DE LOURES**

Ana Rita da Claudina Quaresma

Trabalho de Projecto

Mestrado em Geologia Aplicada
Especialização em Hidrogeologia

2015

Universidade de Lisboa
Faculdade de Ciências
Departamento de Geologia



**ESTUDO DA RECARGA ARTIFICIAL DE AQUÍFEROS COMO MEIO DE
MITIGAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO POR NITRATOS. CASO DE ESTUDO
NA REGIÃO DE LOURES**

Ana Rita da Claudina Quaresma

Trabalho de Projecto

Mestrado em Geologia Aplicada
Especialização em Hidrogeologia

Trabalho de Projecto orientado pela Prof.^ª Doutora Maria Catarina
Rosalino da Silva e pela Doutora Paula Alexandra Galego Fernandes

2015

“The golden rule in artificial recharge is to start small, learn as you go, and expand as needed.”

“A regra de ouro na recarga artificial é, começar pequeno, aprender á medida que se avança e expandir quando necessário.”

Dr. Herman Bouwer (2002)

Agradecimentos

No fim da longa e por vezes atribulada viagem, que foi a realização desta dissertação, gostaria de agradecer às pessoas que de uma forma ou de outra a tornaram, na medida do possível, mais suave.

Agradeço a todas as pessoas que, não estando referidas nominalmente, me ajudaram de alguma forma na concretização deste objectivo.

Às minhas orientadoras, Professora Doutora Catarina Silva e Doutora Paula Galego Fernandes, pelo apoio, paciência e compreensão demonstrados ao longo de toda esta jornada.

À Professora Doutora Catarina Silva, pelos contactos com a Câmara de Loures e por ter permitido o uso dos dados das águas, assim como por ter disponibilizado as amostras de solo por si recolhidas, quando se verificou necessidade das mesmas. Um grande obrigado, pelo incentivo, na fase final.

À Doutora Paula Galego Fernandes, pelo apoio dado na fase de modelação, na tentativa de resolução dos problemas encontrados.

À Câmara de Loures, nomeadamente à técnica Marta Santos, pelo fornecimento dos dados iniciais.

Aos meus colegas de mestrado, Ana Catarina Lopes e Nuno Guerreiro, por se terem mostrado disponíveis para que fosse possível que recolhesse dados de relatórios de sondagens de furos, existentes no repositório da Agência Portuguesa do Ambiente (APA), pela ajuda na seleção dos que, efectivamente possuíam as informações relevantes para o meu objectivo e, por fim, por me terem “aturado” no seu local de trabalho.

Aos professores Dr. Gabriel de Almeida e Dr. Albino Medeiros, pela disponibilidade, quando solicitado, para o esclarecimento de dúvidas em relação às características das formações.

Ao Professor Doutor Rui Taborda, pelas bases de ArcGis dadas na licenciatura, essenciais para a realização desta dissertação e, pelo esclarecimento de dúvidas que surgiram ao longo da mesma.

À Técnica Vera Lopes, pelas instruções dadas durante a fase de análise das amostras de solo, pela pronta disponibilidade, arranjando sempre um tempinho, apesar das inúmeras solicitações de que é alvo, por parte, quer de professores quer de alunos. Pelo incentivo, na fase final, quando o desespero apertou... Obrigada Vera!

Aos meus amigos: Laura Simas, Ana Dias e André Policarpo, pelas conversas, por ouvirem os meus desabafos e pelo incentivo dado.

Ao meu amigo Luís Costa, por me ter dado as “luzes” do Photoshop, por ter paciência para me aturar e por me desenrascar quando o ArcGis ficava parvo...

À minha grande amiga “*mana*” e revisora oficial, Madalena Leitão, por se mostrar sempre disponível para ajudar apesar da distância, por me aturar e acreditar em mim, pela paciência, carinho, apoio e incentivo que sempre me deu ao longo deste percurso.

À minha grande amiga “*mana*” e revisora oficial, Cátia Matias, por estar sempre disponível, pessoal e telefonicamente, por me aturar a todo e qualquer momento, por acreditar em mim, pela paciência, carinho, apoio e incentivo que sempre me deu ao longo deste percurso.

A todos na minha família, que me incentivaram a avançar, mesmo quando eu já não via a luz ao fundo do túnel. O meu maior e mais sincero OBRIGADO a todos.

Aos meus Avós, sem os quais a minha formação não seria possível. Obrigada pelo incentivo, paciência, mesmo nos momentos mais difíceis.

Aos meus Pais, que sempre acreditaram em mim e sempre me apoiaram nos meus sonhos. Obrigada pela infinita paciência na fase final.

Resumo

A água é um elemento fundamental para a existência de vida na Terra, representando a água doce apenas 2% do volume total de água no planeta, sendo os aquíferos o seu segundo maior reservatório, representando cerca de 12% do total de água doce ([1] *vide websites* consultados). São, por esta razão, um recurso natural precioso pelo que se torna imprescindível protegê-las, de modo a que o seu estado químico seja o mais adequado às diferentes utilizações. Estas estão expostas a vários tipos de contaminações, nomeadamente pesticidas e nitratos.

Na Várzea de Loures, nomeadamente nas formações aluvionares, o valor da concentração dos nitratos é superior ao valor máximo admitido (VMA) por lei, quer para consumo humano (Decreto-Lei n.º 306/2007, de 27 de Agosto), quer para rega (Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto).

A recarga artificial é uma técnica usada tanto para melhorar a qualidade química da água subterrânea, como para aumentar a quantidade de água disponível nas reservas subterrâneas.

Com a presente dissertação pretende-se avaliar os efeitos da Recarga Artificial na reabilitação de formações aquíferas contaminadas por nitratos, através do efeito de diluição. Esta avaliação foi feita de um modo teórico, tentando simular-se, por modelação matemática do sistema, uma situação de reabilitação da água subterrânea da Várzea de Loures, através da aplicação de Métodos de Recarga Artificial. Após a aplicação destes métodos de recarga será expectável uma melhoria da qualidade da água, nomeadamente, uma diminuição da concentração do nitrato.

Os dados necessários, relativos aos parâmetros hidráulicos das formações aquíferas, foram obtidos maioritariamente por pesquisa bibliográfica e, sempre que possível, calculados por métodos de relações empíricas, utilizando valores obtidos em ensaios laboratoriais de granulometria de amostras de solos previamente recolhidas por Silva (2003).

Palavras-chave: Água Subterrânea, Recarga Artificial, Nitratos, Contaminação, Loures.

Abstract

Water is a fundamental element for life on Earth, representing the freshwater only 2% of the total volume of water on the planet and the aquifers, its second largest reservoir, representing around 12% of total freshwater ([1] see consulted websites). They are, therefore, a valuable natural resource and it is necessary to protect them, so that its chemical state is best suited to different uses. These are exposed to various contaminants, including pesticides and nitrates.

In Várzea de Loures, particularly on the alluvial formations, the value of the concentration of nitrates exceeds the maximum allowable value by law, either for human consumption (Decreto-Lei n.º 306/2007, de 27 de Agosto), or for irrigation (Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto).

Artificial recharge is a technique used both to improve the chemical quality of groundwater, and to increase the amount of water available in underground reserves.

The aim of this thesis is to assess the effects of Artificial Recharge in the rehabilitation of water-bearing formations contaminated by nitrates, by the dilution effect. This assessment was made in a theoretical way, trying to simulate by mathematical modeling of the system, a rehabilitation situation of groundwater from Várzea de Loures area, through the application of Artificial Recharge methods. After application of these methods it is expected an improvement of the water quality, particularly, a decrease in nitrate concentration.

The necessary data for the hydraulic parameters of the water-bearing formations were obtained mainly by literature and, when possible, calculated by empirical relation methods, using values obtained by particle size laboratory tests on soil samples previously collected by Silva (2003).

Keywords: Groundwater, Artificial Recharge, nitrates, contamination, Loures.

Conteúdo

1. INTRODUÇÃO	1
2. ENQUADRAMENTOS	5
2.1. ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO.....	5
2.2. ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO.....	6
2.2.1. <i>Holocénico</i>	6
2.2.1.1. Aluviões (a)	6
2.2.2. <i>Plistocénico</i>	7
2.2.2.1. "Areias e cascalheiras de terraços de 5-15 m"(Q)	7
2.2.3. <i>Miocénico</i>	8
2.2.3.1. "Areolas de Cabo Ruivo" (M _{VIIb})	8
2.2.3.2. "Areolas de Braço de Prata" (M _{VIIa})	8
2.2.3.3. "Calcários de Marvila" (M _{VIc})	9
2.2.3.4. "Arenitos dos Grilos" (M _{VIb})	9
2.2.3.5. "Argilas de Xabregas" (M _{VIb}).....	9
2.2.3.6. "Calcários da Quinta das Conchas" (M _{Vc})	9
2.2.3.7. "Areias de Vale de Chelas" (M _{Vb})	10
2.2.3.8. "Calcários da Musgueira" com <i>Chlamys scabriscula</i> (M _{Va3}).....	10
2.2.3.9. Areias com <i>Placuna</i> miocénica (M _{Va2}).....	10
2.2.3.10. "Calcários do Casal Vistoso" com <i>Chlamys scabriscula</i> (M _{Va1})	10
2.2.3.11. " Areias da Quinta do Bacalhau" (M _{IVb})	10
2.2.3.12. " Argilas do Forno de Tijolo" (M _{IVa})	10
2.2.3.13. "Calcários de Entrecampos" (M _{III}).....	10
2.2.3.14. "Areolas da Estefânia" com <i>Chlamys pseudo-pandorae</i> (M _{II})	11
2.2.3.15. "Argilas e Calcários dos Prazeres" com <i>Venus ribeiroi</i> (M _I)	11
2.2.4. <i>Eocénico-Oligocénico</i>	11
2.2.4.1. Formação de Benfica e Calcários de Alfovelos (Φ_{Bf} e Φ_{Bf}^a).....	11
2.2.5. <i>Cretácico</i>	12
2.2.5.1. Complexo Vulcânico de Lisboa (β_1) (Neocretácico)	12
2.2.5.2. Calcários com rudistas e "Camadas com <i>Neolobites vibrayeanus</i> " (Cenomaniano superior) (C ³ _C).....	12
2.2.5.3. Calcários e margas do "Belasiano" (Albiano – Cenomaniano médio) (C ² _{AC})	13
2.2.5.4. "Camadas de Almargem" (Barremiano superior – Aptiano) (C ¹ _{BaA})	13
2.2.5.5. Calcários e margas (Hauteriviano superior – Barremiano inferior) (C ¹ _{HBA})	14
2.2.5.6. Arenitos e argilas com raros níveis calcários (Hauteriviano inferior) (C ¹ _{BeH})	14
2.2.6. <i>Jurássico</i>	14
2.2.6.1. "Camadas do Freixial" (Margas, calcários e arenitos) (Portlandiano) (J ⁵)	14

2.2.6.1. Margas e Calcários ("Camadas com Lima pseudoalternicosta" e "Pteroceriano") (Kimeridgiano superior – Portlandiano inferior (?)) (J4-5).....	15
2.3. ENQUADRAMENTO HIDROGEOLÓGICO.....	16
2.3.1. <i>Parâmetros Físicos</i>	18
2.3.2. <i>Hidroquímica</i>	19
2.4. ENQUADRAMENTO GEOMORFOLÓGICO.....	20
2.5. ENQUADRAMENTO TECTÓNICO.....	21
2.6. ENQUADRAMENTO CLIMÁTICO.....	23
3. RECARGA DE AQUÍFEROS.....	29
3.1. RECARGA NATURAL.....	29
3.2. RECARGA FACILITADA.....	29
3.3. RECARGA INDUZIDA.....	29
3.4. RECARGA INCIDENTAL.....	30
3.5. RECARGA ARTIFICIAL.....	30
3.5.1. <i>Métodos de Recarga Artificial</i>	31
3.5.1.1. Métodos de Recarga Artificial á Superfície.....	33
3.5.1.1.1. Represas de armazenamento de areia (Sand storage dams).....	34
3.5.1.1.2. Lagos/Tanques de percolação ante represa.....	35
3.5.1.1.3. Represas subterrâneas.....	36
3.5.1.1.4. Represas com descarga.....	36
3.5.1.1.5. Bacias de Infiltração ou de recarga.....	37
3.5.1.1.6. Represas Perenes.....	38
3.5.1.1.7. Sistemas de recarga por irrigação.....	38
3.5.1.1.8. Valas, Balsas e Canais.....	39
3.5.1.1.9. Sistemas de recarga por alagamento ou inundação.....	39
3.5.1.1.10. SAT (Soil Aquifer Treatment).....	40
3.5.2. <i>Métodos de recarga artificial na zona vadosa</i>	41
3.5.2.1.1. Trincheiras de infiltração ou de recarga.....	41
3.5.2.1.2. Poços de zona vadosa.....	42
3.5.2.1.3. Aquíferos artificiais.....	42
3.5.3. <i>Métodos de Recarga em Profundidade</i>	43
3.5.3.1.1. Furos de injeção.....	43
3.5.3.1.2. Furos de armazenamento subterrâneo e de extracção (ASR e ASTR).....	44
3.5.3.1.3. Furos Conjuntivos.....	45
3.5.3.1.4. Barreiras de Infiltração.....	46
3.5.3.1.5. Grandes cavidades.....	46
3.5.3.1.6. Drenos e Galerias.....	46
3.5.3.1.7. Valas de Sondagem.....	47
3.5.4. <i>Métodos combinados de recarga artificial</i>	47
3.6. ORIGEM DA ÁGUA DE RECARGA.....	48
3.7. RECARGA ARTIFICIAL NO MUNDO.....	48
3.8. RECARGA ARTIFICIAL EM PORTUGAL.....	49

3.9.	REALIZAÇÃO DE UM PROJECTO DE RECARGA ARTIFICIAL	50
3.9.1.	<i>Estudos gerais</i>	53
3.9.1.1.	Escolha do local de instalação do sistema.....	53
3.9.2.	<i>Estudos Detalhados</i>	53
3.9.2.1.	Análise de Imagens de Satélite	53
3.9.2.2.	Estudos Hidrometeorológicos.....	54
3.9.2.3.	Estudos hidrológicos	54
3.9.2.4.	Estudos de infiltração do solo.....	54
3.9.2.5.	Estudos hidrogeológicos	55
3.9.2.5.1.	Mapa Hidrogeológico Detalhado	55
3.9.2.5.2.	Geometria do Aquífero	56
3.9.2.6.	Estudos geofísicos.....	56
3.9.2.7.	Determinação do potencial de recarga da formação aquífera	56
3.9.2.8.	Estudos Hidroquímicos	56
3.9.2.9.	Sólidos suspensos que poderão colmatar o solo	57
3.9.3.	<i>Dimensionamento e Projecto dos sistemas de recarga</i>	58
3.9.4.	<i>Instalações auxiliares do sistema de recarga</i>	59
3.9.5.	<i>Métodos e equipas de controlo e de acompanhamento</i>	59
3.9.6.	<i>Instalações de transporte da água de recarga</i>	60
3.9.7.	<i>Avaliação económica</i>	60
3.9.8.	<i>Finalização do Plano</i>	61
3.10.	DETERMINAÇÃO DAS TAXAS DE INFILTRAÇÃO.....	61
3.10.1.	<i>Lei de Darcy – Teoria fundamental do fluxo subterrâneo</i>	62
3.10.2.	<i>Cálculo das taxas de infiltração a longo prazo</i>	64
4.	DADOS E TRATAMENTO DE DADOS	71
4.1.	ÁGUAS	71
4.1.1.	<i>Dados base</i>	71
4.1.1.1.	Câmara Municipal de Loures(CML).....	71
4.1.1.2.	Agência Portuguesa do Ambiente (APA)	71
4.1.1.3.	Dados adaptados de Silva (2003).....	72
4.1.2.	<i>Tratamento dos dados</i>	74
4.1.2.1.	Mapa Piezométrico	74
4.1.2.1.1.	Câmara Municipal de Loures	74
4.1.2.1.2.	Dados de Silva (2003).....	75
4.1.2.2.	Mapa da distribuição espacial da concentração de nitratos.....	77
4.1.2.2.1.	Câmara Municipal de Loures	77
4.1.2.3.	Dados de Silva (2003).....	78
4.2.	SOLOS	79
4.2.1.	<i>Dados base</i>	79
4.2.2.	<i>Tratamento dos dados</i>	81
4.3.	ENQUADRAMENTO CLIMÁTICO	81
4.3.1.	<i>Dados base</i>	81
4.3.2.	<i>Tratamento dos dados</i>	81

5. GRANULOMETRIA	83
5.1. PROCEDIMENTOS LABORATORIAIS.....	84
5.2. TRATAMENTO DOS DADOS OBTIDOS.....	85
5.3. CLASSIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS DE SOLO.....	86
5.4. DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA	87
5.4.1. <i>Fórmula de Hazen</i>	87
5.4.2. <i>Fórmula de Burmister</i>	87
5.4.3. <i>Relação D_{10} com K_s</i>	88
5.5. COMENTÁRIO FINAL.....	88
6. ESCOLHA DO MÉTODO DE RECARGA A APLICAR.....	91
6.1. FORMAÇÃO A RECARREGAR	91
6.2. ORIGEM DA ÁGUA DE RECARGA.....	91
6.3. MÉTODO A APLICAR.....	92
7. MODELAÇÃO MATEMÁTICA.....	93
7.1. MODELO CONCEPTUAL DO AQUÍFERO	93
7.2. MODELO DE TRANSPORTE DO AQUÍFERO.....	95
7.2.1. <i>Determinação dos valores a utilizar no modelo</i>	95
7.2.1.1. Valores disponíveis	96
7.2.1.2. Valores a determinar	96
7.2.1.2.1. Porosidade (n).....	96
7.2.1.2.2. Condutividade Hidráulica (K).....	97
7.2.1.2.3. Evapotranspiração, Recarga e Precipitação	98
7.3. CONSTRUÇÃO DO MODELO DE ESCOAMENTO E TRANSPORTE DE CONTAMINANTES.....	100
7.3.1. <i>Modelo de escoamento (MODFLOW)</i>	100
7.3.1.1. Introdução teórica e fundamentação numérica da modelação matemática do escoamento subterrâneo	101
7.3.1.2. Dimensionamento e posicionamento da grelha	102
7.3.1.3. Tipo de camada (layer type)	103
7.3.1.4. Condições de fronteira (IBOUND).....	104
7.3.1.5. Dimensionamento do aquífero (definição da base e do topo)	105
7.3.1.6. Introdução dos valores característicos intrínsecos das diferentes unidades	106
7.3.2. <i>Modelo de transporte de contaminantes (MT3D)</i>	106
7.3.2.1. Introdução teórica da modelação matemática do transporte de contaminantes	106
7.3.2.2. Condições de fronteira (ICBUND)	107
7.3.2.3. Concentração inicial.....	108
7.3.2.4. Advecção	108
7.3.2.4.1. Esquema de solução (Solution scheme).....	108
7.3.2.4.2. Algoritmo de rastreio de partículas (Particle tracking algorithm)	109

7.3.2.5. Dispersão	109
7.3.2.5.1. Dispersividade	109
7.3.2.5.2. Coeficiente de Difusão Molecular Efectivo	110
7.3.2.6. Reacção química (sorção)	110
7.3.3. <i>Aplicação dos Métodos de Recarga</i>	112
7.3.4. <i>Pacote de Poço</i>	112
8. RESULTADOS E DISCUSSÃO	113
8.1. RESULTADOS.....	113
8.1.1. <i>Mapa piezométrico</i>	113
8.1.2. <i>Mapa de concentração de nitratos</i>	115
8.1.3. <i>Aplicação dos Sistemas de Recarga Artificial</i>	116
8.2. DISCUSSÃO.....	117
9. CONSIDERAÇÕES FINAIS	121
10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	123
10.1. PLANOS DE ORDENAMENTO E GESTÃO	128
10.2. SITES	129
10.3. LEGISLAÇÃO:.....	129
10.3.1. <i>Directivas:</i>	129
10.3.2. <i>Leis:</i>	129
10.3.3. <i>Decretos-Lei:</i>	129
10.3.4. <i>Portarias:</i>	130
10.4. NORMAS:.....	130
11. ANEXOS.....	I
11.1. ENQUADRAMENTO CLIMÁTICO	I
11.2. ENQUADRAMENTO LEGAL.....	XI
11.2.1. <i>Recarga Artificial</i>	XI
11.2.2. <i>Qualidade das Águas</i>	XIII
11.2.3. <i>Nitratos</i>	XV
11.2.4. <i>Águas de Rega</i>	XVII
11.3. DADOS E TRATAMENTO DE DADOS.....	XIX
11.3.1. <i>Dados Base</i>	XIX
11.3.2. <i>Dados tratados</i>	XXII
11.3.3. <i>Mapa Piezométrico</i>	XXIV
11.3.4. <i>Mapa de distribuição de Nitratos</i>	XXV
11.4. GRANULOMETRIA	XXVII
11.4.1. <i>Dados</i>	XXVII
11.4.2. <i>Procedimentos de Laboratório</i>	XXVII
11.4.2.1. ... Separação, por via húmida, da fracção superior e inferior a 63 μ m	XXVII
11.4.2.2. Granulometria de grosseiros (>63 μ m)	XXIX

11.4.2.3. ...Granulometria da fracção fina (<63 μ m) por difracção de raio lazer	XXX
11.4.3. <i>Curvas Granulométricas</i>	XXXI
11.5. MODELO CONCEPTUAL DO AQUÍFERO	XXXIX
11.5.1. <i>Cortes/perfis da carta geológica</i>	XXXIX
11.6. MODELO DE TRANSPORTE DO AQUÍFERO ALUVIONAR.....	XLV
11.6.1. <i>Porosidade (n)</i>	XLV
11.6.2. <i>Condutividade Hidráulica (K)</i>	XLVII
11.6.2.1. Precipitação, Evapotranspiração e Recarga	LI
11.6.2.1.1..... Precipitação calculada através do método dos Polígonos de Thiessen	LII

Índice de Equações

Equação 1 - Lei de Darcy – Teoria fundamental da circulação subterrânea	62
Equação 2 – Desenvolvimento da Lei de Darcy	63
Equação 3 – Velocidade de Darcy	63
Equação 4 – Velocidade Efectiva de circulação	63
Equação 5 – Número de Reynolds	64
Equação 6 – Fórmula de Hazen	65
Equação 7 – Fórmula para o cálculo do coeficiente de conversão	65
Equação 8 – Cálculo da Condutividade hidráulica equivalente para a coluna de solo	67
Equação 9 – Cálculo da condutividade hidráulica do conjunto (Solo + Rocha)	68
Equação 10 - Cálculo do Gradiente Hidráulico (i), em condições de regime estacionário	68
Equação 11 – Cálculo do factor de correcção (<i>FCsize</i>)	68
Equação 12 – Cálculo de i , numa vala de infiltração	69
Equação 13 - Equação de Green e Ampt (1911)	69
Equação 14 – Temperatura média (exemplo do calculo para o mês de Janeiro)	81
Equação 15 -Temperatura máxima (exemplo do calculo para o mês de Janeiro)	81
Equação 16 - Precipitação média (exemplo do calculo para o mês de janeiro)	81
Equação 17 -Precipitação máxima (exemplo do calculo para o mês de janeiro)	81
Equação 18 – Fórmula de Burmister (Porosidade de Burmister)	87
Equação 19 – Equação para estado de equilíbrio (Wang e Anderson, 1995; Hiscock, 2005)	101
Equação 20 – Equação para estado de transitório (Wang e Anderson, 1995; Hiscock, 2005)	102
Equação 21 – Equação para a determinação pontual da altura piezométrica, num modelo tridimensional (Zheng (1990) e Zheng e Wang (1999))	102
Equação 22 - Equação de advecção-dispersão (Javandel, <i>et al.</i> , in 1984 Zheng ,1990)	107
Equação 23 - Equação da Concentração relativa	107
Equação 24 - Número de Peclet (Chiang e Kinzelbach, 1998)	108
Equação 25 – αT Versus αL	109
Equação 26 – Fórmula desenvolvida por Xu e Eckstein (1995) que relaciona a Dispersividade Longitudinal (αL) com a Escala de Campo	110
Equação 27 – Cálculo da TRPT	110
Equação 28 – Cálculo da TRPV	110
Equação 29 – Equação que corresponde á reacção química, simplificada, considerando apenas sorção (reacção química água-sólido) e recções de primeira ordem (Zheng e Wang 1999)	111
Equação 30 – Equação do coeficiente de decaimento de primeira ordem, para o nitrato (Shamrukh <i>et al.</i> , 2001)	112

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Valores dos parâmetros físicos gerais das formações disponíveis na carta geológica 34-B (Loures) (Manuppella <i>et al.</i> , 2011)	18
Tabela 2 - Características hidroquímicas gerais das águas das formações aquíferas da carta geológica 34-B (Loures) (adaptado de Manuppella <i>et al.</i> , 2011)	19
Tabela 3 - F (frequência média, %), V (velocidade média, km/h), C (situação em que não há movimento apreciável do ar, a velocidade não ultrapassa o 1km/h) (Retirado de CMDFCIL, 2007)	26
Tabela 4 - Taxas de infiltração recomendadas baseadas na Classificação Textural de Solos (USDA) (adaptado de WDOE, 2005).....	64
Tabela 5 – Tipo de material <i>versus</i> K (Adaptada de Frezze e Cherry,1979)	66
Tabela 6 – Tipo de material <i>versus</i> K (Adaptada de Fetter, 1994).....	66
Tabela 7 – Tabela de relação entre o valor de d_{10} e a taxa de infiltração a longo prazo (adaptado de Massmann e Butchart, 2000).....	67
Tabela 8 - Valores típicos de <i>hwe</i> (Adaptado de Bouwer, 2002).....	70
Tabela 9 - Amostras de solos: profundidade e data de recolha (Adaptado de Silva, 2003)	80
Tabela 10 - Amostras de solos seleccionadas inicialmente: profundidade e data de recolha (Amostras de Silva, 2003).....	83
Tabela 11 – % Grosseiros e % Finos.....	84
Tabela 12 – Valores de d_{10} , d_{30} , d_{50} e d_{60} , para cada uma das amostras e respectivos coeficientes de uniformidade (Cu) e curvatura (Cc) calculados.....	85
Tabela 13 - Tabela de percentagens das fracções de argila, silte e areia das amostras e respectiva classificação (diâmetro (mm)).....	86
Tabela 14 - Valores dos quocientes C necessários para a aplicação da fórmula de Hazen	87
Tabela 15 – Valores de K_b calculados.....	88
Tabela 16 – Classificação de acordo com a permeabilidade do materiais (Adaptado de Custodio e Llamas, 2001)	88
Tabela 17 - Valores das formações disponíveis na carta geológica 34-B (Loures)..	96
Tabela 18 - Valores de porosidade, para aluviões	96
Tabela 19 - Valores de porosidade a utilizar no modelo	97
Tabela 20 – Valores máximos obtidos, para o valor de K.....	97
Tabela 21 - Dados, correspondentes ao intervalo entre os anos hidrológicos 1993/1994 e 1995/1996.....	99
Tabela 22 - Valores para a área em estudo, retirados do <i>site</i> do Atlas do Ambiente [6], referentes às médias dos valores apresentados (médias anuais) e recarga calculada a partir dos mesmos	100
Tabela 23 - Valores de tipo de fronteiras introduzidas no programa	104
Tabela 24 - Valores introduzidos no programa	105
Tabela 25 - Valores introduzidos no programa	106
Tabela 26 – Valores de fontes e sumidouros introduzidos no programa	106

Índice de Figuras

Figura 1 – Enquadramento geográfico da área de estudo (Mapa das freguesias de Loures e Mapa dos distritos de Portugal adaptados de [3] e [4], respectivamente)	5
Figura 2 – Mapa geológico da área de estudo, adaptado de [5]; legenda adaptada de [6].....	6
Figura 3 - Corte geológico representativo, existente na folha 34-B (Loures) (Manuppella <i>et al.</i> , 2011).....	15
Figura 4 – Enquadramento do sistema aquífero da Orla Ocidental Indiferenciado da Bacia do Tejo (Adaptado de PGRHT (2011) - Fichas de diagnóstico)	16
Figura 5 – Unidades de relevo presentes - 1 e 2 (reverso das costeiras Lousa-Bucelas e Odivelas-Vialonga), 3 (curso de água), 4 (limite de unidade de relevo); A1 (estuário do Tejo), A2 (planície aluvial), A3 (terraços e dunas); B1,B2 e B4 (reverso das costeiras de Arruda dos Vinhos Lousa-Bucelas e Odivelas-Vialonga), B3 (baixa de Loures), B5 (relevo anticlinal de Caneças-Montemor) (B - Bucelas; L – Loures; S – Sacavém) (Retirado de Manuppella, <i>et al.</i> ,2011)	20
Figura 6 – Macro- estruturas principais da carta de loures: 1- Antiforma; 2- Sinforma; 3- Monoclinal; 4- Falha; 5- Falha provável; 6- Falha com componente de desligamento; 7- Falha normal invertida; 8 a 10- Estruturas do vale do Tejo com actividade no Cenozoico (inferidas de dados de sísmica e sondagens):8-Falha provável, dentado no bloco deprimido; 9 e 10- Zona de máxima subsidência Neogénica; 11- Jurássico; 12- Cretácico; 13 e 14- Rochas ígneas cretácicas (CVL), basálticas e traquíticas, respectivamente; 15- Paleogénico; 16- Miocénico; 17- Pliocénico; 18- Plistocénico; 19- Holocénico; A a F - Estruturas principais de deformação dúctil; 1 a 5 - Estruturas principais de deformação frágil. (retirado de Ribeiro <i>et al.</i> 1987).....	22
Figura 7 - Métodos de Recarga à Superfície (Adaptado de SEWRPC, 2006)	34
Figura 8 - Represas de armazenamento de areia (Sand storage dams) (Retirado de Gale e Dillon, 2005).....	34
Figura 9 – Lagos/Tanques de percolação ante represa (Retirado de Gale e Dillon, 2005)	35
Figura 10 – Represas subterrâneas (Retirado de Gale e Dillon, 2005)	36
Figura 11 - Represas com descarga (Retirado de Gale e Dillon, 2005)	36
Figura 12 - Bacias de Infiltração ou de recarga (Retirado de Gale e Dillon, 2005) .	37
Figura 13 – SAT (Soil Aquifer Treatment) (Retirado de Gale e Dillon, 2005).....	40
Figura 14 - Adaptado de SEWRPC (2006)	41
Figura 15 - Sistemas de Recarga em Profundidade (Adaptado de SEWRPC, 2006)43	
Figura 16 - ASR (<i>Aquifer Storage and Recovery</i>) (Retirado de Gale e Dillon, 2005)	44
Figura 17 - ASTR (<i>Aquifer Storage Transfer and Recovery</i>) (Retirado de Gale e Dillon, 2005).....	45
Figura 18 - Barreiras de Infiltração (Retirado de Gale e Dillon, 2005)	46
Figura 19 – Métodos Combinados de Recarga Artificial - (1) Valas de Infiltração, (2) Poço de Zona Vadosa, (3) Poço em Profundidade (retirado de Bouwer, 2002)	47
Figura 20 - Número de casos conhecidos de recarga artificial (Retirado de [9])	49

Figura 21 – Efeito causado pela inundação do solo (Retirado de Bouwer, 2002)....	70
Figura 22 – Dados de sondagens recolhidos na APA	72
Figura 23 – Distribuição dos pontos de água L1 (Março/Abril 1995), Silva (2003)	73
Figura 24 – Distribuição dos pontos de água L2 (Outubro de 1996), Silva (2003)..	73
Figura 25 – Mapa Piezométrico obtido, para as amostras da CML, através do método de <i>Krigagem Ordinária, sem efeito de pepita</i>	74
Figura 26 - Cálculo do NHE.....	75
Figura 27 - Mapa piezométrico obtido, para as amostras L1, através do método de <i>Krigagem Ordinária, sem efeito de pepita</i>	76
Figura 28 - Mapa piezométrico obtido, para as amostras L2, através do método de <i>Krigagem Ordinária, sem efeito de pepita</i>	76
Figura 29 - Mapa da distribuição espacial da concentração de nitratos dos dados da CML, realizado através do método de <i>Krigagem Ordinária, sem efeito de pepita</i>	77
Figura 30 - Mapa da distribuição espacial da concentração de nitratos dos dados L1, realizado através do método de <i>Krigagem Ordinária, sem efeito de pepita</i>	78
Figura 31 - Mapa da distribuição espacial da concentração de nitratos dos dados L2, realizado através do método de <i>Krigagem Ordinária, sem efeito de pepita</i>	79
Figura 32 - Pontos de recolha das amostras de solo (Adaptado dos dados de Silva, 2003)	80
Figura 33 - Classificação das amostras num diagrama triangular para a classificação básica da textura do solo (Adaptado de: Gomes e Silva (1962; <i>in</i> Ramos <i>et al</i> 2011), imagem retirada de [10]).....	86
Figura 34 - Tabela tipo	93
Figura 35 - Cortes realizados na carta e Corte G-H.....	94
Figura 36 - Polígonos de <i>Thiessen</i> para as estações pluviométricas de S. Julião do Tojal, B. Magos, Pragança e Moinhola e respectivas áreas de influência, para os anos de 1993/1994, 1994/1995 e 1995/1996	99
Figura 37 – Mapa de base e posição da grelha	103
Figura 38 - Janela de erro do programa (<i>saved in an unsupported binary format</i> .	104
Figura 39 – Distribuição das espessuras do modelo e respectiva legenda	105
Figura 40 - Processos de transformação dos fertilizantes azotados na sub-superfície (Retirado de Shamrukh <i>et al.</i> , 2001).....	111
Figura 41 - Limites de NHE, em metros, interpolados através da análise geoestatística (<i>Krigagem</i>).....	113
Figura 42 - Estado Inicial, do modelo de escoamento subterrâneo, com entradas e saídas do sistema, da hipótese 4	114
Figura 43 – Concentração de nitratos considerando a amostragem LA1 e respectiva legenda (valores em mg/l)	115
Figura 44 - Concentração de nitratos considerando a amostragem LA2 e respectiva legenda (valores em mg/l)	115
Figura 45 - Localização dos furos de injeção, símbolo a azul, considerando a amostragem LA1.....	116
Figura 46 - Localização dos furos de injeção, símbolo a azul, considerando a amostragem LA2.....	117

Figura 47 - Mensagem de erro ocorrido, após a introdução de todos os dados necessários ao modelo de fluxo	118
Figura 48 – Mensagem de erro ocorrido na tentativa de correr a função de calibração automática PEST.....	118
Figura 49 - Mensagem do erro ocorrido na tentativa de análise da situação ao longo do tempo “ <i>Could not find head data in layer 1 of step time 1 stress period 2</i> ”	119

Índice de Gráficos

Gráfico 1 - Valores mensais da temperatura média, média das máximas e máximos do concelho de Loures (1961 – 1990) (Retirado de CMDFCIL, 2007).....	24
Gráfico 2 - Humidade relativa mensal do concelho de Loures (1961 – 1990) (Retirado de CMDFCIL, 2007)	24
Gráfico 3 - Precipitação mensal no concelho de Loures (1961 – 1990) (Retirado de CMDFCIL, 2007)	25
Gráfico 4 - Valores médios e máximos da temperatura mensal, na estação de S. Julião do Tojal (2003 - 2013)	27
Gráfico 5 – Valores médios e máximos da precipitação mensal, na estação de S. Julião do Tojal (2003 - 2013)	27

1. Introdução

A água é um elemento fundamental para a existência de vida na Terra, contudo a água doce apenas representa 2% do volume total de água no planeta. Esta pequena percentagem de água encontra-se distribuída e armazenada sob diferentes formas, sendo os aquíferos o seu segundo maior reservatório, estes representam cerca de 12% do total de água doce do planeta ([1] ver sites consultados), pelo que se torna imprescindível proteger a água subterrânea, de modo a que o seu estado químico seja o mais adequado às diferentes utilizações.

A recarga artificial é usada tanto para melhorar a qualidade química da água subterrânea, como para aumentar a quantidade de água disponível nas reservas subterrâneas em casos de: 1) sobre-exploração de aquíferos, onde os grandes volumes de extracção não são compensados por recarga natural, provocando um rebaixamento acentuado da piezometria a nível local e regional ou, 2) anos extremos, que originam excesso ou escassez de recursos hídricos.

A recarga artificial é uma técnica com grande desenvolvimento e aplicação a nível internacional, estando o seu uso a dar os primeiros passos a nível nacional. Em Portugal são citadas algumas referências a esta técnica, de que se apresentam alguns exemplos: 1) Ferreira da Silva (2003) (*in* PROWATERMAN, 2008) refere o seu uso para o controlo de intrusões salinas em sistemas aquíferos potencialmente vulneráveis; 2) Malheiro (2005) refere, em Mértola, um caso pontual de recarga directa, em furos de abastecimento, cuja água sofreu tratamento prévio (PROWATERMAN, 2008); 3) Oliveira (2007), na parceria internacional ASEM WATERNE, aplica estes métodos ao sistema aquífero Querença-Silves, como forma de aproveitar os excedentes da ribeira do Arade em anos húmidos, para posterior captação em anos secos (*in* PROWATERMAN, 2008) e 4) Diamantino (2009) aplica esta metodologia para melhorar a qualidade química de águas contaminadas por nitratos, dentro do estudo experimental do projeto GABARDINE, no sistema aquífero da Campina de Faro.

O tema desta dissertação é a Recarga Artificial e a sua utilização como auxiliar na reabilitação de formações aquíferas contaminadas por nitratos, através do efeito de diluição. Pretende-se avaliar a situação do ponto de vista temporal, em dois casos distintos: 1) a evolução natural do sistema e 2) a evolução do sistema com a aplicação dos métodos de recarga artificial.

A área de estudo, que inicialmente se estendia por toda a região de Loures, foi posteriormente restringida à Várzea de Loures, nomeadamente às formações aluvionares aí existentes. Antes da reabilitação do rio Trancão, com a construção das ETARs de Frielas (1967), S. João da Talha (1997) e Bucelas (1999), que têm vindo a reduzir progressivamente os problemas de contaminação existente, esta era uma área bastante problemática. No entanto, a construção das ETARs não tem sido suficiente para debelar completamente a contaminação, uma vez que as actividades agrícolas, pecuárias e industriais que estão activas, contribuem para a existência de zonas onde a concentração

de nitratos nas águas subterrâneas é superior a 50 mg/l, valor máximo admitido (VMA) por lei, quer para consumo humano (Decreto-Lei n.º 306/2007, de 27 de Agosto), quer para rega (Decreto-Lei 236/98, de 1 de Agosto).

No início dos trabalhos tivemos acesso a dados fornecidos pela Câmara Municipal de Loures, os quais, mais tarde, se vieram a verificar insuficientes para alcançar os objectivos propostos e, não tendo sido possível realizar saídas de campo por razões logística, optamos por utilizar dados de Silva (2003), referentes a poços existentes na área de estudo. Os dados relativos a parâmetros hidráulicos e texturais característicos das formações aquíferas, foram obtidos maioritariamente por pesquisa bibliográfica. Os parâmetros texturais em falta, foram calculados por métodos de relações empíricas, utilizando valores obtidos em ensaios laboratoriais de granulometria de amostras, previamente recolhidas por Silva (2003). Com este trabalho tentou simular-se, por modelação matemática do sistema, uma situação de reabilitação da água subterrânea da Várzea de Loures, através da aplicação de Métodos de Recarga Artificial.

A presente dissertação tem como objectivos: 1) Identificação e caracterização hidrogeológica dos aquíferos da região de Loures; 2) Identificação de contaminação das águas subterrâneas por nitratos, através dos dados disponíveis; 3) Caracterização do estado químico das águas superficiais, recorrendo a dados bibliográficos; 4) Melhoramento do conhecimento das técnicas de Recarga Artificial de Aquíferos, de modo a otimizar a escolha na aplicação a um caso de contaminação real; 5) Aplicação de sistemas de informação geográfica (SIG) em estudos hidrogeológicos, com a realização de análise espacial e realização de mapas geoestatísticos e 6) Reforço da autonomia na realização de modelos matemáticos de aquíferos, através do aprofundamento do conhecimento dos mesmos.

A metodologia que serviu de base à execução desta dissertação foi: 1) Recolha bibliográfica; 2) Identificação e estudo hidrogeológico do aquífero recorrendo a técnicas de SIG; 3) Realização de trabalho laboratorial (granulometrias de finos e de grosseiros); 4) Identificação das técnicas de recarga artificial a aplicar no caso em estudo; 5) Realização do modelo matemático (hidrodinâmico/químico) do aquífero; e 6) Aplicação dos métodos de recarga artificial no modelo hidrogeológico construído.

A estrutura da dissertação foi organizada de acordo com as diferentes fases do trabalho. De seguida é descrito sucintamente o que é apresentado em cada capítulo.

No *Capítulo 1 – Introdução*, é feita uma introdução ao tema e área de estudo da dissertação. São também indicados os objectivos propostos com a realização desta dissertação. É feita uma pequena introdução ao trabalho levado a cabo, assim como aos estudos realizados dentro do mesmo tema. Por fim será feita uma apresentação breve da estrutura da dissertação.

No *Capítulo 2 – Enquadramentos*, são feitos os enquadramentos gerais da dissertação, nestes incluem-se: o enquadramento geográfico, o enquadramento geológico, o enquadramento hidrogeológico, o enquadramento tectónico e o

enquadramento climático, com dados obtidos através de pesquisa bibliográfica e, para o enquadramento climático também com tratamento dos mesmos.

No *Capítulo 3 – Recarga*, são descritos os principais tipos de recarga, com maior referência para a recarga artificial que é descrita em maior pormenor, com indicação dos diferentes tipos de sistemas existentes e das suas características e condições de aplicação. Neste capítulo é também feita a descrição dos passos a ter na realização de um projecto de recarga artificial.

No *Capítulo 4 – Dados e Tratamento de Dados*, são descritos os dados base para cada uma das fases do trabalho, divididos por tipo de dados usados. Posteriormente é descrito o tratamento dado aos mesmos, de modo a obter os dados necessários para as fases posteriores e para o enquadramento climático.

No *Capítulo 5 – Granulometria*, são descritos sucintamente os procedimentos laboratoriais efectuados e o tratamento dos dados obtidos. É feita para as amostras de solo uma classificação textural e são apresentados os resultados da condutividade hidráulica determinada através dos diferentes métodos usados.

No *Capítulo 6 – Escolha do método de Recarga Artificial a aplicar*, é feita uma síntese das características da formação a recarregar e são sugeridas as hipóteses de fonte de água a usar na recarga e do método de recarga a aplicar.

No *Capítulo 7 – Modelação Matemática*, são apresentados os dados utilizados no modelo conceptual do aquífero, essencial para a construção o modelo matemático do mesmo. São também descritos os valores escolhidos para aplicação no modelo de transporte do aquífero aluvionar, assim como os passos dados na construção do mesmo, de acordo com os dados disponíveis.

No *Capítulo 8 – Resultados e Discussão*, são apresentados os resultados da modelação matemática de escoamento subterrâneo e transporte de contaminantes, com referência às diferentes hipóteses de definição do mesmo. São apresentados os mapas da presumível localização dos sistemas de recarga. É feita a discussão do trabalho, nomeadamente com apresentação dos erros obtidos e dos esforços efetuados para os ultrapassar.

No *Capítulo 9 – Considerações Finais*, é feito o balanço do trabalho, com análise dos resultados obtidos, referência aos resultados espectáveis e aspectos que poderiam sofrer eventuais melhoramentos.

2. Enquadramentos

Neste capítulo são apresentados os enquadramentos: 1) Geográfico, 2) Geológico 3) Geomorfológico, 4) Tectónico e 5) Climático.

2.1. Enquadramento Geográfico

A área de estudo pertence ao concelho de Loures, distrito de Lisboa, sendo que neste concelho se incluem 10 freguesias (Figura 1), de acordo com a nova reforma administrativa, baseada na Lei n.º 11-A/2013 de 28 de Janeiro (reorganização administrativa do território das freguesias, RATF), como resultado da agregação das 18 freguesias originais deste concelho.

A área de estudo está representada na folha 34-I da Carta Militar de Portugal do Instituto Geográfico do Exército na escala 1/50000 e nas folhas 417 (Loures) e 403 Bucelas (Loures) da Carta Militar de Portugal do Instituto Geográfico do Exército na escala 1/25000. Mais recentemente estas cartas estão designadas em [2] por 403 (Póvoa de Santa Iria (Vila Franca de Xira)) e 417 (Loures).

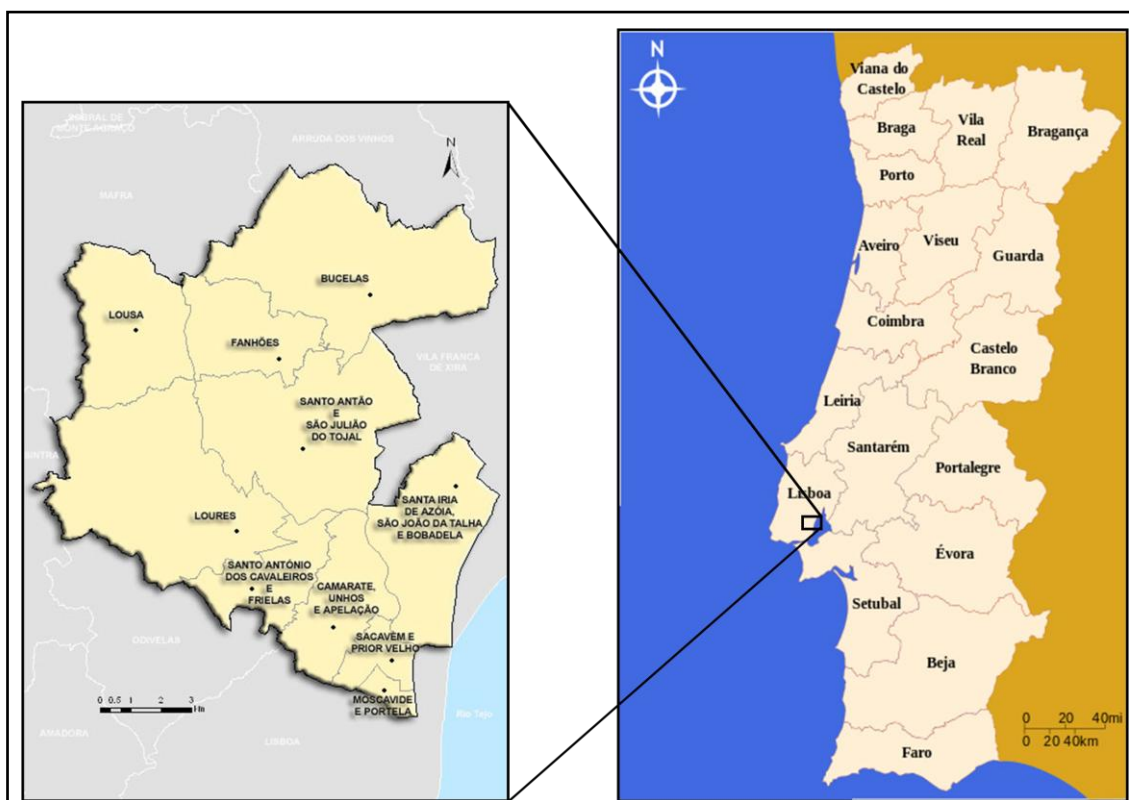


Figura 1 – Enquadramento geográfico da área de estudo (Mapa das freguesias de Loures e Mapa dos distritos de Portugal adaptados de [3] e [4], respectivamente)

2.2. Enquadramento Geológico

A área em estudo (Figura 2) insere-se na folha 34-B (Loures), da Carta Geológica de Portugal, à escala 1:50 000 (Zbyszewski, 1964).

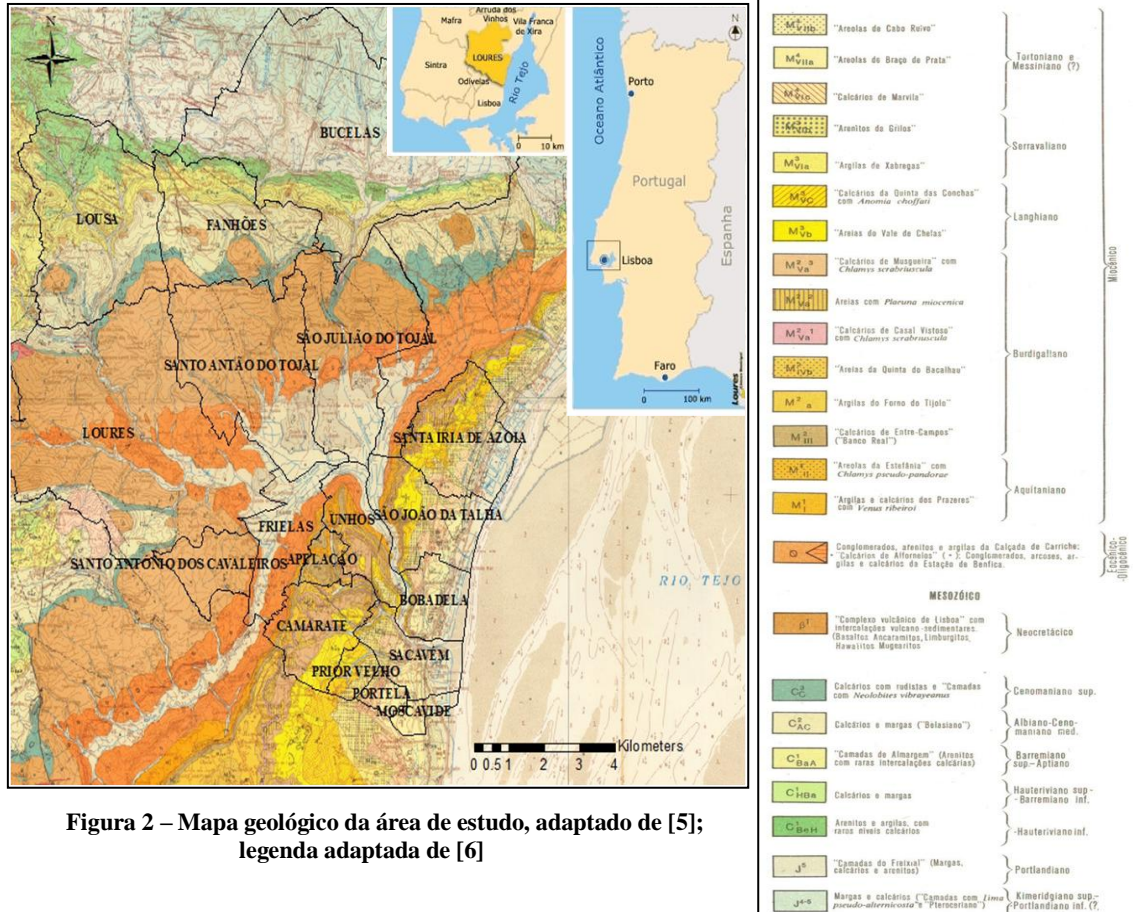


Figura 2 – Mapa geológico da área de estudo, adaptado de [5]; legenda adaptada de [6]

Para que seja possível ter uma melhor compreensão da geologia da região (Figura 2), as unidades estratigráficas presentes na área em estudo serão de seguida descritas de forma sucinta:

2.2.1. Holocénico

2.2.1.1. Aluviões (a)

As aluviões apresentam uma grande extensão em ambas as margens do rio Tejo tendo, nos seus vales afluentes um desenvolvimento muito variável (Zbyszewski, 1964). Na margem direita, onde se localiza a área em estudo, estas atingem uma maior extensão no vale do rio Trancão, na bacia de Loures e na Ribeira de Odivelas. Estas incluem os depósitos directamente associados ao leito principal do rio Trancão e a todas as ribeiras e linhas de água que são seus afluentes.

A espessura das aluviões varia, de ponto para ponto, sendo que Zbyszewski (1964) refere que as aluviões do Rio Trancão, em Sacavém, uma espessura de 60 m fazendo uma descrição da sucessão do topo para a base que se transcreve em seguida:

2- Lodos cinzentos;

1-Areias com alguns níveis de calhaus rolados, principalmente na base.

Estudos realizados na bacia de Loures, por Zêzere (1988), confirmaram as características descritas por Zbyszewski (1964), para os primeiros 1-2 m da planície aluvial de Loures.

Mais recentemente, Manuppella *et al.* (2011), referem que estas características também são reconhecidas, através de sondagens realizadas entre Sacavém e Alhandra, acrescentam ainda que uma sucessão semelhante também é encontrada na margem esquerda do Tejo.

2.2.2. *Plistocénico*

2.2.2.1. *"Areias e cascalheiras de terraços de 5-15 m"(Q)*

A depressão de Loures encontra-se colmatada por uma importante cobertura aluvial englobando importantes terraços: o Terraço da Quinta do Infantado, os Terraços de Santo Antão e São Julião do Tojal e o Terraço de Quintanilho. Zbyszewski (1964) descreve o terraço de Santo Antão do Tojal, do topo para a base:

4- Formações silto-arenosas rosadas ou acinzentadas;

3- Areias rosadas ou avermelhadas;

2- Alternância de argilas esverdeadas e amarelo-alaranjadas com níveis ferruginosos;

1- Argilas avermelhadas e areias com seixos.

Zbyszewski (1943) define este terraço como sendo um antigo cone de dejecção do rio Trancão (*in* Silva, 2003).

Este terraço apresenta, em geral, um rebordo bem conservado, tendo uma altura acima da planície aluvial que varia entre os 10 e os 12 m. Posteriormente Zêzere (1988 e 1991) apresenta uma descrição do mesmo terraço diferente em alguns pontos, em comparação com a referida anteriormente (*in* Silva, 2003):

4- Depósito de solifluxão pelicular com espessura variável entre 10 e 80 cm, constituído por argilas que envolvem calhaus heterométricos, angulosos e sub-angulosos, de natureza basáltica, calcária e quartzosa;

3- Nível areno-argiloso que engloba alguns cascalhos quartzosos e calhaus de sílex de maiores dimensões (até 6 cm). Apresenta uma espessura máxima de 2.5 m;

2- Nível grosseiro constituído por cascalhos quartzosos angulosos e sub-angulosos, com dimensões compreendidas entre 4 mm e 2 cm, envoltos por uma matriz mais fina de areias grosseiras e médias, angulosas e sub-angulosas de natureza quartzosa (3 m);

1- Nível argilo-arenoso onde predominam as argilas e as areias finas e médias. Surgem algumas passagens laterais a material areno-siltoso. Apresenta uma espessura máxima de 4.5 m.

O Terraço da Quinta do Infantado apresenta um rebordo desigualmente conservado tendo uma altura acima da planície aluvial que varia entre os 6 e os 12 m (Zêzere, 1988 e 1991). A sucessão do topo para a base é a seguinte (*in* Silva, 2003):

3- Depósito de solifluxão pelicular constituído por calhaus heterométricos e angulosos de quartzo, calcário e arenito silicioso, dispostos caoticamente e envolvidos numa abundante matriz argilosa. A espessura varia entre 10 cm e 0.5 m;

2- Depósitos areno-argilosos constituídos por argilas e areias finas e médias essencialmente de natureza quartzosa. Surgem alguns leitos de cascalhos angulosos de quartzo sem continuidade lateral;

1- Depósito grosseiro com calhaus (entre 5 mm e 9 cm) de quartzo, quartzito, arenito silicioso e basalto envolvidos por uma matriz de areias grosseiras. Este nível apresenta variações laterais de fácies e pode englobar leitos argilosos intercalados. Apresenta uma espessura máxima de 0,7 m.

2.2.3. *Miocénico*

De seguida apresentam-se os complexos miocénicos que afloram na área em estudo, do topo para a base:

2.2.3.1. "*Areolas de Cabo Ruivo*" (M_{VIIIb})

Manuppella *et al.* (2011) descrevem este complexo como sendo constituído na parte inferior por areias finas e médias, argilosas, e arenitos, referem também que na parte superior ocorrem biocalcarenitos grosseiros, o que está concordante com as descrições feitas anteriormente por Zbyszewski (1943) mais pormenorizadamente refere que o complexo é constituído por areias que são normalmente finas, areolas (também designadas por areias micáceas por alguns autores), grés calcários, calcários gressosos, calcários com fósseis espatizados, argilas e siltes. No topo, predominam os arenitos mais grosseiros e calcários com abundantes fósseis de gastrópodes, enquanto, na base, predominam os termos mais argilosos. Manuppella *et al.* (2011) referem ainda que esta unidade atinge os 21 m de espessura total.

2.2.3.2. "*Areolas de Braço de Prata*" (M_{VIIa})

Este complexo consiste, segundo Manuppella *et al.* (2011), numa alternância de arenitos e areias finas, e bancadas finas de calcários margosos e gresosos muito fossilíferos. Zbyszewski (1943) refere ainda que este apresenta por vezes um aspecto

lumachélico (*in* Silva, 2003). Os afloramentos maiores situam-se entre Olivais, Moscavide e Sacavém e atingem, segundo Silva (2003) largura máxima, de cerca de 600 m. O complexo tem, segundo Manuppella *et al.* (2011) uma espessura total de cerca de 20 m.

2.2.3.3. "*Calcários de Marvila*" (M_{VIC})

Esta formação é constituída, segundo Manuppella *et al.* (2011) por, biocalcarenitos grosseiros, ricos em moluscos, que assentam em desconformidade com a sequência anterior. Os afloramentos aparecem no limite Sul da carta de Loures. É composta por duas zonas, uma superior, constituída por areias finas silto-argilosas (areolas), algo consolidadas, argilas siltosas e, intercalados, estratos de calcário margoso conquífero, rijo e uma zona inferior, constituída por arenitos micáceos, com cimento calcário, muito compactos, bastante fossilíferos, formando duas camadas muito regulares (Silva, 2003). O complexo tem, segundo Manuppella *et al.* (2011) uma espessura total de cerca de 10 m.

2.2.3.4. "*Arenitos dos Grilos*" (M_{VIB})

Consiste num complexo arenoso, com algumas intercalações calcárias e argilosas (Zbyszewski, 1964). Almeida (1991) descreve os arenitos como sendo rijos, por vezes grosseiros, com matriz argilosa mais ou menos abundante e cimento calcário ou ferruginoso (*in* Silva, 2003). Mais recentemente Manuppella *et al.* (2011), descrevem a camada como tendo ostreídeos frequentes e sendo constituída por biocalcarenitos com fragmentos rolados de moluscos a que se sucedem arenitos grosseiros com moluscos, principalmente *Ostrea crassissima*. A espessura total da camada é de cerca de 15 m.

2.2.3.5. "*Argilas de Xabregas*" (M_{VIB})

Designadas por vezes como "Argilas Azuis de Xabregas", estas afloram apenas na parte sul da carta (Manuppella *et al.*, 2011) consistem num complexo representado por argilas e grés ou por areias argilosas, finas, com raras intercalações de calcários, em plaquetas na parte superior (Silva, 2003). Manuppella *et al.* (2011) referem que este nível é rico em moluscos, foraminíferos e ostracodos. A espessura máxima da camada é de cerca de 19 m.

2.2.3.6. "*Calcários da Quinta das Conchas*" (M_{VC})

Este complexo é representado por calcários margosos, argilas, margas e grés calcários. É um complexo formado por estratos finos tabulares, muito fossilíferos, de calcários margosos, endurecidos, existindo alternâncias de camadas mais espessas de argilas e de arenitos argilosos (Silva, 2003). A espessura total é de 10 m (Manuppella *et al.*, 2011).

2.2.3.7. "*Areias de Vale de Chelas*" (M_{Vb})

É um complexo arenoso com algumas intercalações argilosas, arenito-calcárias e argilo-margosas (Silva, 2003). Mais recentemente Manuppella *et al.* (2011) descrevem-nas como sendo areias feldspáticas, fluviais, incoerentes ou francamente cimentadas, às vezes grosseiras e compactas. Manuppella *et al.* (2011) referem ainda que a sua espessura atinge os 35 m.

2.2.3.8. "*Calcários da Musgueira*" com *Chlamys scrabriuscula* (M_{Va3})

Esta formação é constituída por calcários gressosos, de cor branca, por vezes amarelada (Silva, 2003). Manuppella *et al.* (2011) referem que estes são ricos em moluscos e algas rodófitas. Esta camada tem uma espessura aproximada de 5 m.

2.2.3.9. *Areias com Placuna miocénica* (M_{Va2})

São constituídas por areias com alguns calhaus rolados e argilas arenosas com vegetais (Silva, 2003). Manuppella *et al.* (2011) referem que estas apresentam frequentes impregnações de pirrosite que lhes confere a cor escura. Esta camada tem uma espessura de cerca de 25 m.

2.2.3.10. "*Calcários do Casal Vistoso*" com *Chlamys scrabriuscula* (M_{Va1})

Consiste numa bancada carbonatada, gresosa, às vezes grosseira, com uma espessura aproximada de 3 a 12 m (Manuppella *et al.*, 2011).

2.2.3.11. "*Areias da Quinta do Bacalhau*" (M_{IVb})

Segundo Cotter (1956), *in* Silva (2003), este complexo é constituído por uma série de bancadas de areias, em parte ferruginosas, com intercalações de leitões de argila mole micácea, de espessura irregular, sendo estas mais abundantes na base da série. No topo da série encontram-se, predominantemente, lentículas argilo-arenosas. Identificam-se também camadas de areias esbranquiçadas mais homogéneas, formando em parte um arenito ou molasso de cimento calcário. Segundo Manuppella *et al.* (2011) a espessura do complexo é variável, atingindo um máximo de 40 m.

2.2.3.12. "*Argilas do Forno de Tijolo*" (M_{IVa})

É um complexo de argilas azuis e areolas, constituído na sua totalidade por camadas de argilas, margas e arenitos finos, argilosos e micáceos, apresentando algumas intercalações de estratos delgados mais compactos de rocha molássica muito fossilífera, de forma tabular (Cotter, 1956, *in* Silva, 2003). Esta camada tem uma espessura de cerca de 11 m (Manuppella *et al.*, 2011).

2.2.3.13. "*Calcários de Entrecampos*" (M_{III})

Também designado por "Banco Real", este complexo é constituído por um grupo de bancadas de biocalcarenítos, com fracção detrítica abundante, por vezes muito argilosas e ricas em moldes de moluscos. Zbyszewski (1964), refere que este se torna, por vezes,

pouco fossilífero e toma o aspeto de arenito fino, margoso, dando passagem a molasso branco e areias siliciosas pouco cimentadas. Mais recentemente Manuppella *et al.* (2011) descreve uma passagem, à medida que se sobe na camada, a areias muito finas e siltitos argilosos de cor cinzenta. Na folha de Loures este complexo sobrepõe-se em todos os afloramentos às areolas de Avenida da Estefânia ou Areolas da Estefânia. Manuppella *et al.* (2011) referem ainda que esta sucessão assenta sobre uma superfície transgressiva. A unidade tem uma espessura estimada do conjunto, na ordem dos 5 m.

2.2.3.14. "Areolas da Estefânia" com *Chlamys pseudo-pandorae* (M_{II})

Este complexo é constituído, segundo Zbyszewski (1964), por areolas, areias e grés argilosos, argilas e calcários, com zonas onde esta apresenta uma fácies de molasso e de calcário compacto. Posteriormente, Manuppella *et al.* (2011) definem esta unidade como sendo constituída por areias grosseiras a finas, areias argilosas, argilitos e alguns bancos de biocalcarenitos. Cotter (1956) subdivide a unidade, do topo para a base, em três zonas (*in* Silva, 2003):

- 3- Arenito calcário;
- 2- Areolas micáceas;
- 1- Areias e arenitos argilosos.

A espessura total do complexo atinge segundo Manuppella *et al.* (2011) os 35 m.

2.2.3.15. "Argilas e Calcários dos Prazeres" com *Venus ribeiroi* (M_I)

São camadas constituídas por calcários margosos, areias e argilas, margas, grés e areias soltas (Silva, 2003). Segundo Manuppella *et al.* (2011) atinge uma espessura máxima do conjunto de 45 m.

2.2.4. Eocénico-Oligocénico

2.2.4.1. Formação de Benfica e Calcários de Alfovelos (Φ_{Bf} e Φ_{Bf}^a)

Segundo a descrição feita por Choffat (1950), o complexo Oligocénico corresponde a 5 assentadas, num total de 15 camadas, tem uma sequência que se descreve em seguida, do topo para a base (*in* Silva, 2003):

- 5- Argilas, margas e grés avermelhados com calhaus rolados (60 m);
- 4- Conglomerados e margas com numerosos blocos calcários (60 m);
- 3- Margas avermelhadas (200 m);
- 2- Calcários e conglomerados de Alfovelos (16 m);
- 1- Margas avermelhadas e conglomerados, passando por vezes a camadas calcárias (> 8 m).

Mais recentemente Manuppella *et al.* (2011) reafirmam esta descrição, referindo que a sucessão de depósitos atinge uma espessura de cerca de 400 m e que esta é composta por conglomerados, arenitos e argilitos com intercalações carbonatadas.

2.2.5. Cretácico

2.2.5.1. Complexo Vulcânico de Lisboa (β_1) (Neocretácico)

Zbyszewski (1964) descreve o complexo, referindo-o como Complexo basáltico de Lisboa (Manto Basáltico), como sendo constituído por sucessões de derrames lávicos, separados por níveis de materiais piroclásticos (brechas, aglomerados, tufos, cineritos, cinzas, entre outros) e por algumas camadas sedimentares (conglomerados, argilas, etc), contendo por vezes moluscos terrestres e alguns restos de vertebrados, existem também, diversas formas intravulcânicas, como *necks*, filões, soleiras e chaminés.

Tendo sido formado entre o Cretácico Superior, e o Eocénico Inferior, o “Complexo Vulcânico de Lisboa” (CVL) foi datado através do método Rb/Sr e K/Ar, atribuindo-lhe uma idade entre os 100 e os 70 Ma (Ferreira & Macedo, 1979; Miranda *et al.*, 2009), constringindo as datações estratigráficas anteriormente obtidas (Manuppella *et al.*, 2011) A espessura total do CVL é muito irregular, chegando a atingir mais de 400 m na zona ente Caneças e Odivelas (Zbyszewski, 1964).

O CVL ocupa uma extensão de cerca de 200 km², entre Sintra, Mafra, Runa e Lisboa, estendendo-se até à margem Sul do Tejo (Serralheiro, 1978; Alves *et al.*, 1980 *in* Silva, 2003). “A reconstituição do edifício vulcânico”... “aponta uma altura superior a 2 km e diâmetro da base na ordem dos 40 km” (Serralheiro, 1979 *in* Manuppella *et al.*, 2011).

O espectro composicional do CVL é bastante variado, assim como o tipo de estruturas vulcânicas que este possui A fácies mais predominante, é a basáltica sendo que a série mais rara é a gabróide (Manuppella *et al.*, 2011).

O Complexo assenta sobre os calcários margosos, calcários recifais cenomanianos e sobre ele depositaram-se, o "Complexo de Benfica", de idade paleogénica (Manuppella *et al.*, 2011), e as "Argilas e Calcários dos Prazeres". Os grandes centros eruptivos encontram-se situados na zona de Cheleiros-Malveira. Existem algumas chaminés na bacia hidrográfica do rio Trancão, como a de Montachique (Cabeço de Montachique) e Funchal (Silva, 2003).

2.2.5.2. Calcários com rudistas e "Camadas com *Neolobites vibrayeanus*" (Cenomaniano superior) (C³c)

O Cenomaniano superior poderá ser caracterizado pela existência de duas unidades distintas: uma inferior, constituída por calcários cristalinos esbranquiçados designados por "Camadas com *Neolobites vibrayeanus*" e a parte superior, constituída por calcários compactos com rudistas que se encontram fortemente erodidos e lapiesados (Teixeira & Gonçalves, 1980 *in* Silva, 2003). Existem, intercalados nos calcários de fácies recifal do

Cenomaniano superior, nódulos e leitos de sílex correspondendo estes últimos ao enchimento de canais e lagunas (Choffat, 1885; Lepierre, 1981 *in* Silva, 2003).

Também designada como Formação da Bica, esta é descrita como constituída por dois membros, um inferior e um superior (Manuppella *et al.*, 2011):

- Membro inferior: constituído por calcários margosos bioclásticos, compactos ou apinhoados de tom branco ou avermelhado, este é o nível que corresponde ao denominado de "Camadas com *Neolobites vibrayanus*";
- Membro superior: neste nível ocorrem bancos espessos de calcário compacto de tom creme, rosa ou avermelhado.

Manuppella *et al.* (2011) indicam que esta formação tem uma espessura variável, atingindo 53 m em Lousa.

2.2.5.3. *Calcários e margas do "Belasiano" (Albiano – Cenomaniano médio) (C²_{AC})*

Esta formação é constituída, por calcários, calcários margosos, existindo variações verticais das componentes detrítica e carbonatada, sendo estas expressas por variações de cor e dureza nos vários níveis. A componente detrítica apresenta maior intensidade junto à base da formação e vai diminuindo de intensidade à medida que aumenta a componente carbonatada. Existem no interior da formação, alguns leitos gipsíferos. O topo da formação é frequentemente dolomítico (Zbyszewski, 1964).

Na região de Loures conhecem-se as seguintes unidade da base para o topo (Choffat, 1885, 1886, 1900 *in* Manuppella *et al.*, 2011):

- Nível com *Placentoceras uhligi*;
- Nível com *Polyconites subverneuili*;
- Nível com *Ostrea pseudo-africana*;
- Nível com *Pterocera incerta*.

2.2.5.4. *"Camadas de Almargem" (Barremiano superior – Aptiano) (C¹_{BaA})*

Zbyszewski (1964), descreve este complexo como sendo essencialmente constituído por formações arenito-argilosas, definindo a formação como sendo composta por grés de cores variadas, com calhaus rolados e algumas intercalações de argilas. O autor distingue dois níveis que estão separados pelo complexo dos calcários com *Orbitolinas conoidea*. Refere ainda que a espessura varia entre 100 e 200 m.

2.2.5.5. *Calcários e margas (Hauteriviano superior – Barremiano inferior) (C¹_{HBA})*

Segundo Rey (1972) *in* Silva (2003) na região de Caneças, esta unidade é descrita como sendo um conjunto de dolomitos, arenitos e calcários. O mesmo autor, descreve uma primeira camada, com aproximadamente 8 m de espessura, como sendo constituída por alternâncias de leitos de arenitos finos ocres, dolomitos microcristalinos, argilas arenosas brancas e arenitos grosseiros. Refere ainda que a esta camada se sobrepõe uma alternância de calcários e margas com cerca de 20 m, seguindo-se uma camada de calcários areníticos ocres, com uma espessura de 3 m.

2.2.5.6. *Arenitos e argilas com raros níveis calcários (Hauteriviano inferior) (C¹_{BeH})*

Este é um complexo essencialmente gresoso, apresentando por vezes alternâncias de argilas arenosas e grés de grão fino a grosseiro, argilo-caulinífero ou argilo-ferruginoso, tendo uma espessura de cerca de 140 m (Zbyszewski, 1964). Em alguns locais do Cretácico inferior, surgem bancadas calcárias e dolomíticas.

2.2.6. *Jurássico*

De acordo com a Carta Geológica de Portugal, folhas 34B-Loures (Zbyszewski *et al.*, 1981) e 30D-Alenquer (Zbyszewski *et al.*, 1965) as formações, do topo para a base, são as seguintes (*in* Silva, 2003):

2.2.6.1. *"Camadas do Freixial" (Margas, calcários e arenitos) (Portlandiano) (J⁵)*

As características litológicas deste complexo variam bastante de local para local existindo, por vezes, predominância de arenitos, geralmente sem fósseis e, outras vezes, predominam as margas e os margo-calcários, sendo que, as bancadas francamente calcárias são raras (Choffat, 1901 *in* Zbyszewski, 1964). Mais recentemente, Manuppella *et al.* (2011) descreve estas camadas como sendo constituídas por alternâncias de sedimentos siliciclásticos, margosos e calcários depositados num ambiente lagunar e pouco profundo, com influência marinha, alternando com episódios de acarreio fluvial. Segundo Zbyszewski (1964) o limite inferior do Portlandiano está marcado pela existência de duas assentadas de grés, sem fósseis, sendo estas bastante espessas. O mesmo autor refere também que o limite superior é marcado por uma formação gressosa, espessa, que contém algumas intercalações calcárias com fósseis cretácicos entre 50 e 100 m da base da formação. A camada tem uma espessura de cerca de 165 m (Manuppella *et al.*, 2011).

2.2.6.1. *Margas e Calcários ("Camadas com Lima pseudoalternicosta" e "Pteroceriano") (Kimeridgiano superior – Portlandiano inferior (?)) (J4-5)*

Está representado com esta designação o Kimeridgiano superior, constituído pelo "Pteroceriano" de Choffat e pelas "Camadas de *Lima pseudoalternicosta*". O "Pteroceriano" corresponde á formação de Arranhó de Manuppella *et al.* (2011) que a descreve como sendo constituída por calcários argilosos, argilas calcárias e calcários, apresentando cerca de 180 m de espessura. As "Camadas com *Lima pseudoalternicosta*" correspondem a um complexo de margas, arenitos e calcários oolíticos (Ramalho, 1971 in Silva 2003).

O corte geológico representativo, existente na folha 34-B (Loures), da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000 (Manuppella *et al.*, 2011), é apresentado na Figura 3.

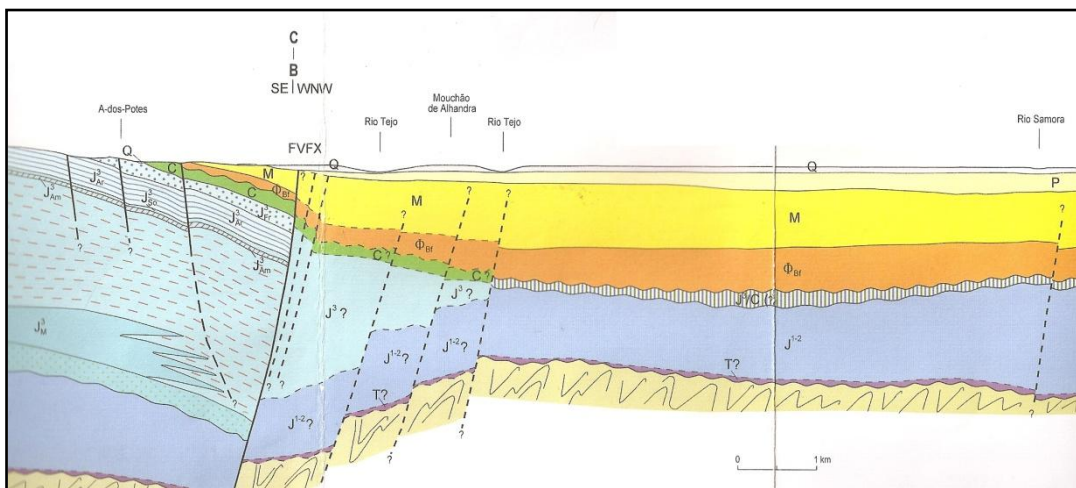


Figura 3 - Corte geológico representativo, existente na folha 34-B (Loures) (Manuppella *et al.*, 2011)

2.3. Enquadramento Hidrogeológico

A área de estudo insere-se no sistema aquífero da Orla Ocidental Indiferenciado da Bacia do Tejo (Figura 4). Os terrenos que constituem a Orla Ocidental depositaram-se numa bacia sedimentar, a Bacia Lusitânica. O seu início de formação é contemporâneo do início da abertura do Atlântico, esta forma uma depressão alongada, de orientação NNE-SSW, tendo a zona axial sedimentos que atingem cerca de 5 km de espessura. É limitada a Este e a Sul pela falha Porto-Coimbra-Tomar, e a ocidente por um Horst Hercínio.

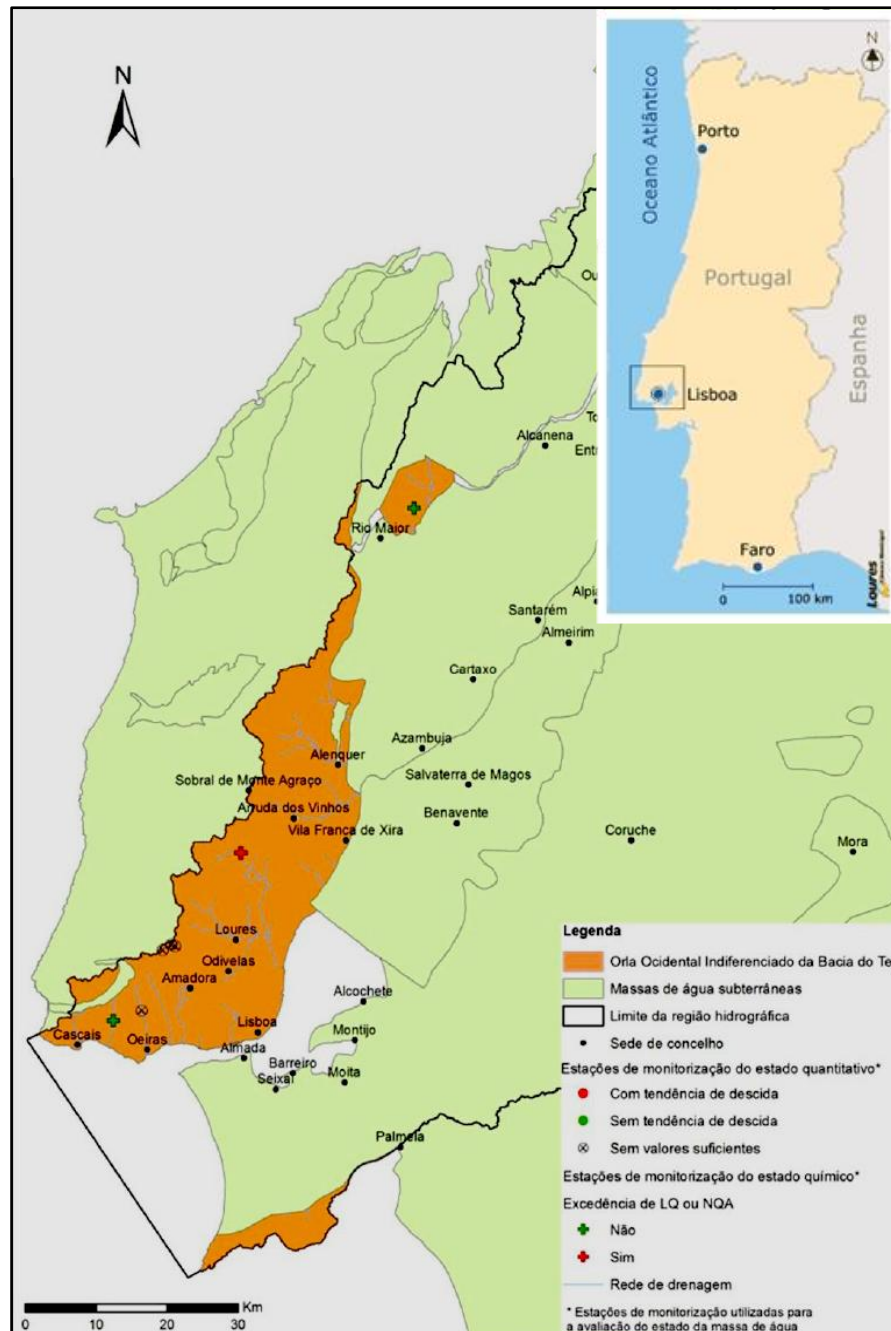


Figura 4 – Enquadramento do sistema aquífero da Orla Ocidental Indiferenciado da Bacia do Tejo (Adaptado de PGRHT (2011) - Fichas de diagnóstico)

Na notícia explicativa da Carta Geológica de Portugal na escala de 1/50 000 na Folha 34-B (Loures), Zbyszewski (1964) refere 7 formações de natureza a aquífera:

- ***Aluviões Modernas:*** As areias e cascalheiras da base desta formação possuem camadas aquíferas, cujos níveis hidrostáticos são influenciados pelas marés, devido à proximidade destas formações com o mar da palha (estuário do Tejo). Estas camadas possuem águas cloretadas. As profundidades variam dos 0 aos 95 m.
- ***Formações de Antigos Terraços:*** Possuem águas superficiais com caudais baixos. No caso da quinta da Godinha as profundidades variam dos 12 aos 19 m.
- ***Formações Miocénicas:*** Na margem direita do Tejo, nos níveis superiores do complexo miocénico que inclui toda a zona entre Vila Franca de Xira e Póvoa de Santa Iria foram identificadas águas cloretadas. Entre Vila Franca de Xira e Alhandra identificaram-se águas salgadas em múltiplos níveis aquíferos entre os 58 e os 197 m. Em Sacavém, nas margens do rio Trancão Zbyszewski identificou " vários níveis com águas repuxantes entre os 20 e os 100 m de profundidade".
- ***Complexo Paleogénico:*** Constituído pelas camadas de Benfica que apresentam uma componente argilosa mais ou menos pronunciada, sob a forma de cimento, este complexo é pouco permeável e não favorável para obtenção de caudais de interesse. O complexo basáltico pode ter, em certos casos, caudais aproveitáveis mas fracos, tais como os "níveis sobrepostos às camadas de tufos vulcânicos intercalados entre os vários derrames lávicos".
- ***Calcários do Turoniano:*** Como rochas cristalinas que são, têm uma maior probabilidade de apresentar boa circulação de água em profundidade quando fracturados. Assim, neste nível aquífero, as captações são de grande profundidade, existindo furos que vão desde os 12 aos 250 m.
- ***Cretácico Inferior e Médio:*** Incluem-se complexos gresosos com vários níveis aquíferos, no complexo do Albiano-Aptiano, por exemplo, identificaram-se 10 camadas aquíferas, que são susceptíveis de apresentar algumas possibilidades hidrogeológicas.
- ***Complexo Jurássico:*** Complexo de natureza argilosa, não apresentando nesta região caudais significativos. As águas são aproveitadas por meio de poços, em intercalações calcárias ou gesosas existentes neste complexo.

Mais recentemente, Manuppella *et al.* (2011), baseando-se em dados mais recentes, fazem uma divisão e descrição diferentes das formações e da sua aptidão aquífera:

- ***Depósitos do Quaternário:***
 - ***Sistema aquífero das "Aluviões do Tejo":*** Descrito por Almeida *et al.* (2000) como sendo constituído por:
 - ***Aluviões do Tejo:*** são camadas mais ou menos contínuas e espessas de lodos e/ou areias lodosas que cobrem,

semiconfinando uma camada de areias e cascalho. São depósitos holocénicos.

- *Terraços do Tejo*: apesar de possuírem materiais de granulometria mais grosseira, geralmente são menos produtivos que as aluviões. São depósitos plistocénicos.
- *Aluviões e Terraços da Sub-Bacia do Rio Trancão*: a informação hidrogeológica sobre estas unidades é reduzida.
- *Formações do Miocénico da margem direita do Tejo*: Estas constituem um sistema aquífero multicamada que é caracterizado pela alternância de camadas de arenitos e calcários, com potencial aquífero, e argilas e margas, camadas de baixa permeabilidade que funcionam como aquitardos e aquíclusos.
- *Formação de Benfica*: Os conglomerados, arenitos e argilitos desta formação apresentam uma fraca aptidão aquífera, sendo que a formação se comporta como um aquitardo.
- *CVL*: Apresenta uma fraca aptidão aquífera, apesar de zonas fracturadas os produtos da alteração (argilas) não favorecem a circulação da água. O autor sugere que esta formação deverá funcionar como um aquitardo cuja drenância contribui para a recarga das formações subjacentes.
- *Formações do Cretácico*: É um sistema multicamada, livre a confinado, onde as unidades aquíferas (calcários e arenitos) são intercaladas por níveis margosos e argilosos que funcionam como aquitardos. Principalmente os calcários do Cenomaniano médio e as formações predominantemente areníticos do Barremiano-Albiano (Camadas de Almargem) apresentam, em regra, condições hidrogeológicas interessantes.
- *Formações do Jurássico*: Podem ter produtividades apreciáveis, principalmente em zonas de falha ou contacto geológico. Estas unidades apresentam frequentemente características de confinamento.

2.3.1. Parâmetros Físicos

Na tabela seguinte (Tabela 1) são apresentados os parâmetros físicos gerais das formações aquíferas descritas anteriormente, tal como apresentadas em Manuppella *et al.*, 2011.

Tabela 1 – Valores dos parâmetros físicos gerais das formações disponíveis na carta geológica 34-B (Loures) (Manuppella *et al.*, 2011)

Formação	K (m/dia)	T (m ² /dia)	Q (L/s)	Q _e (L/s.m)
Miocénico	-	-	9,30	0,66
Terraços (Tejo)	140	1992	-	5,80

Formação	K (m/dia)	T (m²/dia)	Q (L/s)	Q_e (L/s.m)
Aluviões (Tejo)	139	1587	-	7,40
Aluviões (Trancão)	-	-	5,1* e 0,7**	5* e 0,15**

Continuação da tabela 1

* Furo com cerca de 20 m em Póvoa de Santo Adrião

** Furo com cerca de 20 m em S. Julião do Tojal

2.3.2. Hidroquímica

Na tabela seguinte (tabela 2) são apresentadas as características hidroquímicas gerais das águas das formações aquíferas descritas anteriormente, tal como apresentadas em Manuppella *et al.* (2011).

Tabela 2 - Características hidroquímicas gerais das águas das formações aquíferas da carta geológica 34-B (Loures) (adaptado de Manuppella *et al.*, 2011)

Formações	Fácies	pH (geral)	pH (médio)	Rs (Resíduo Seco) (médio) (mgL)	Dureza total (mg/L CaCO₃)
Quaternárias (Aluviões e Terraços do Tejo e Trancão)	A qualidade destas águas é condicionada pelas águas do tejo, sendo que são registadas concentrações de cloretos superiores a 3000 mg/L, encontram-se também contaminadas antropicamente.				
Miocénicas	Bicarbonatadas cálcicas, Cloretadas sódicas e mistas	Neutro a ligeiramente alcalino	7,3	525	
Cretácicas	Bicarbonatadas cálcicas e Calco-magnesianas	Ligeiramente alcalino	7,3* a 7,4**	550* e 849**	Muito > 200
Jurássicas	Bicarbonatadas cálcicas	Neutro a ligeiramente alcalino	7,2	530	> 200

* Cretácico Inferior (alternância de níveis areníticos e carbonatados)

** Cretácico Superior (formações carbonatadas)

2.4. Enquadramento Geomorfológico

A área de estudo, como foi anteriormente referido, situa-se no concelho de Loures e inclui duas grandes áreas geomorfológicas: parte da Planície Aluvial do Tejo (Bacia Sedimentar do Baixo Tejo-Sado) e a Margem Direita do Tejo (Bacia Sedimentar do Baixo Tejo-Sado e Orla Ocidental), sendo que, a segunda, ocupa grande parte da área em estudo. Ambas têm características geomorfológicas contrastantes, quer em termos de natureza e formas do relevo, mas também na dinâmica geomorfológica actual. Caracterizada por uma grande variação de declives, com um relevo algo acidentado, as cotas não ultrapassam, no geral, os 350 m, à excepção do cabeço de Montachique com uma cota de topo que atinge os 403 m. A morfologia é dominada por costeiras, das quais se destacam: Lousa-Bucelas e Odiveias-Vialonga (Figura 5). Da atitude que pode ser generalizada como monoclinal, com uma moderada inclinação média para SSW, destaca-se o relevo anticlinal de Caneças-Montemor (Manuppella, *et al.*, 2011).

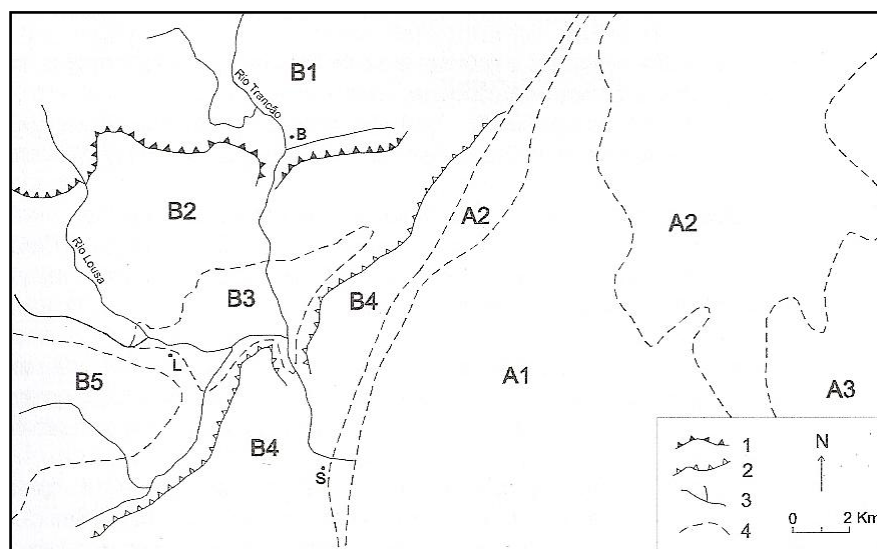


Figura 5 – Unidades de relevo presentes - 1 e 2 (reverso das costeiras Lousa-Bucelas e Odiveias-Vialonga), 3 (curso de água), 4 (limite de unidade de relevo); A1 (estuário do Tejo), A2 (planície aluvial), A3 (terraços e dunas); B1,B2 e B4 (reverso das costeiras de Arruda dos Vinhos Lousa-Bucelas e Odiveias-Vialonga), B3 (baixa de Loures), B5 (relevo anticlinal de Caneças-Montemor) (B - Bucelas; L – Loures; S – Sacavém) (Retirado de Manuppella, *et al.*,2011)

O concelho inclui-se, quase na sua totalidade, na Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Trancão, que faz parte da Bacia Hidrográfica do Rio Tejo. O Rio Trancão actuou ao longo do tempo como um importante modelador do território do concelho. A actividade erosiva exercida por este teve como consequência o "...encaixe violento do Trancão nos sedimentos miocénicos..." destruindo também uma importante parte dos sedimentos da formação de Benfica. As formações basálticas existentes a montante provocaram a desaceleração da erosão provocada pelo rio, o que originou os níveis mais bruscos visíveis actualmente. Para montante das formações vulcano-sedimentares e do nível de calcários do cenomaniano superior, compactos e cristalinos, as formações são menos resistentes, o que faz com que sejam, conseqüentemente, mais erodíveis. Estas formações compõem os terrenos cretácicos e jurássicos. Nesta secção a rede hidrográfica complica-se com vales mais abertos, verificando-se por isso uma

suavização do relevo, constituindo depósitos aluvio-torrenciais nos leitos das linhas de água. No vale do Trancão constituiu-se entre as cotas 80 e 90 m (PDM Loures, 1987).

A drenagem existente pertence, quase exclusivamente, à Bacia Hidrográfica do Rio Trancão (Figura 5), refletindo a organização geral do relevo. O rio Trancão tem cerca de 25 km de comprimento e apresenta uma bacia hidrográfica com, aproximadamente, 292 km² (Freitas *et al.*, 2011). Os cursos de água são no geral cataclinais sendo que, os principais desvios a este modelo de drenagem resultam da adaptação dos cursos de água aos afloramentos de rocha branda. Estes desvios são mais frequentemente observáveis nas depressões ortoclinais que se desenvolvem à frente das costeiras (Manuppella, *et al.*, 2011).

2.5. Enquadramento Tectónico

A Bacia Lusitânica é, segundo Manuppella *et al.* (2011), “uma estrutura complexa... alongada segundo uma direcção N-S”, tendo sido gerada por extensão litosférica associada à abertura do Atlântico Norte, durante o Mesozóico. Esta é segmentada pela falha da Nazaré que a separa em dois sectores (Norte e Sul). A Norte dominam *fabrics* de direcção NNW-SSE, a Sul a orientação das estruturas toma duma direcção N-S a NNE-SSW. Existem também estruturas que funcionaram como transferência entre as falhas extensivas principais sendo que estas têm uma direcção compreendida entre WNW-ESE e ENE-WSW. A este evento seguiram-se, no final do Cretácico, eventos magmáticos regionais que foram resultantes da inversão da tectónica regional, que passou a actuar num regime compressivo, aquando da convergência entre a microplaca Ibérica e a placa Euroasiática, e, principalmente entre a Ibéria e a placa Núbia, durante o Miocénico (Ribeiro *et al.*, 1979, 1990, 1996; Wilson *et al.*, 1989; Rasmussen *et al.*, 1998; Carvalho *et al.*, 2005; Alves *et al.*, 2003, 2006; *in* Manuppella *et al.*, 2011). A tectónica desenvolveu-se em 3 fenómenos de rifting (Triásico, Sinemuriano-Caloviano e Oxfordiano) definindo grabens e hemi-grabens como resultado de uma tectónica de blocos limitados por faixas. Estes episódios foram intercalados por episódios de subsidência ou levantamentos regionais, gerando inconformidades estratigráficas, das quais se destaca a que separa as formações do Caloviano dos sedimentos Oxfordianos (Manuppella *et al.*, 2011). Existem indícios de um quarto fenómeno de rifting que terá ocorrido no Cretácico inferior e que afectou a bacia de Peniche, a ocidente da bacia Lusitânica. Uma transgressão generalizada marca a passagem para o Cretácico superior, sendo esta representada pela sedimentação dos calcários e margas da formação da Galé a Caneças indiferenciadas (Albiano superior e Cenomaniano médio) e dos calcários com rudistas da formação da Bica (Cenomaniano superior). Existe, limitando o topo dos calcários com rudistas do cenomaniano superior, uma desconformidade em resultado de movimentos verticais de levantamento e erosão subaérea, a sua superfície encontra-se coberta por rochas basálticas e piroclásticas do CVL, já referido anteriormente. Sobrepostos aos depósitos do CVL encontram-se sedimentos fluviais da formação de Benfica, de idade paleogénica (Eocénico e Oligocénico). Sobre o CVL encontram-se os

depósitos cenozóicos da Bacia do Baixo Tejo. Esta integra-se na bacia cenozóica do Tejo-Sado sendo que a segunda resultou da acção de compressão de direcção N-S, gerada pela convergência da Ibéria e da Eurásia. Esta evoluiu como depressão tectónica, de contorno rectangular, alongada segundo a direcção NE-SW onde a subsidência foi controlada por falhas, no decurso do Miocénico. O conjunto sedimentar existente no seu interior tem uma disposição que pode ser dita sub-horizontal a ligeiramente inclinado sendo que este se apresenta perturbado devido a acidentes tectónicos principais que delimitam os depocentros, que são as zonas de maior espessura de uma deposição sedimentar. A bacia Cenozóica do Tejo-Sado é interpretada por Ribeiro *et al.*, (1979, 1990); Curtiss, (1999) e Kullberg *et al.*, (2000), *in* Manuppella *et al.* (2011), como uma bacia de ante-país gerada na dependência de um regime compressivo que desencadeou a inversão tectónica da bacia Lusitânica, a Oeste, em resultado da convergência do continente africano relativamente ao bloco continental ibérico. No registo sedimentar da bacia não são evidentes as três fases de inversão tectónica neogénica. A evolução quaternária da área consistiu na passagem da agradação pliocénica, de tipo estuarino, a agradação fluvial, por encaixe da rede de drenagem. Este encaixe ocorreu como resultado de uma descida relativa do nível do mar, causada por um levantamento do continente, a nível regional. Os níveis de terraços fluviais escalonados e também os níveis de erosão são provas deste encaixe. A estrutura resultante da geodinâmica anteriormente referida é esquematizada na Figura 6.

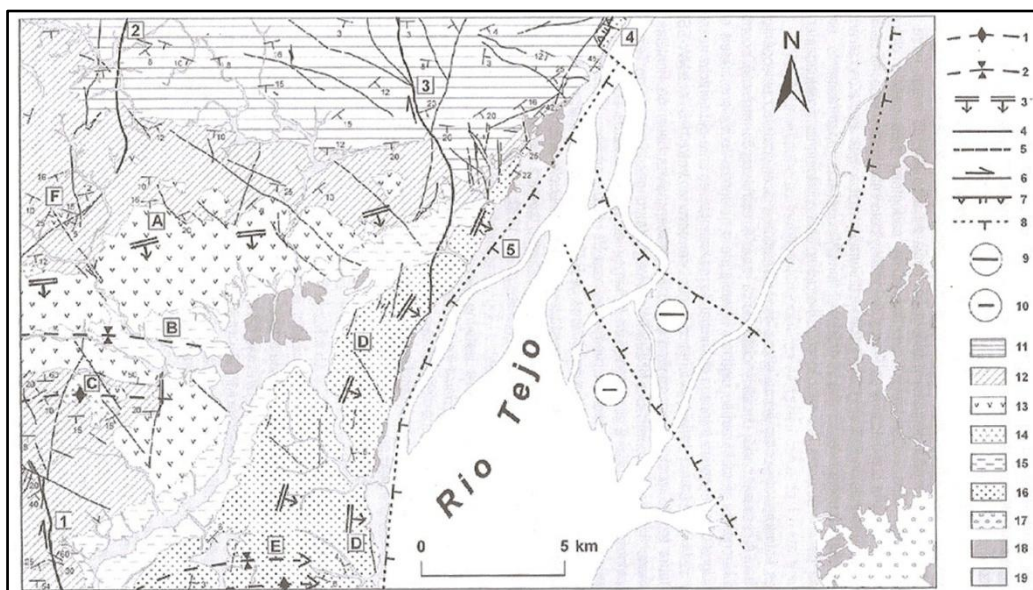


Figura 6 – Macro- estruturas principais da carta de loures: 1- Antiforma; 2- Sinforma; 3- Monoclinal; 4- Falha; 5- Falha provável; 6- Falha com componente de desligamento; 7- Falha normal invertida; 8 a 10- Estruturas do vale do Tejo com actividade no Cenozoico (inferidas de dados de sísmica e sondagens); 8- Falha provável, dentado no bloco deprimido; 9 e 10- Zona de máxima subsidência Neogénica; 11- Jurássico; 12- Cretácico; 13 e 14- Rochas ígneas cretácicas (CVL), basálticas e traquíticas, respectivamente; 15- Paleogénico; 16- Miocénico; 17- Pliocénico; 18- Plistocénico; 19- Holocénico; [A] a [F]- Estruturas principais de deformação dúctil; [1] a [5]- Estruturas principais de deformação frágil. (retirado de Ribeiro *et al.* 1987)

Estruturas principais de deformação dúctil na área de estudo

- O flanco meridional do antiforma anticlinal de Arruda dos Vinhos, que integra o monoclinal de Bucelas (A);
- O sinforma anticlinal de Almargem do Bispo-Loures (B) e o antiforma anticlinal de Caneças (C), com eixos orientados aproximadamente E-W, assimétricos e vergentes para norte;
- O monoclinal (D) de direcção N-S a NNE-SSW que se dispõe ao longo da margem direita do rio Tejo, este corresponde ao bordo oriental da bacia do Baixo Tejo.

Estruturas principais de deformação frágil na área de estudo

- Uma falha (E), de direcção NNW-SSE a N-S que se estende desde a Falagueira a A-da-Beja;
- Uma falha de traço sinuoso, a falha de Vialonga (F), com orientação geral NNW-SSE a N-S e que se estende desde póvoa de Santa Iria, a Sul, S.Romão, a Norte;
- Um sistema de falhas (G), junto á margem direita do tejo, de direcção NNE-SSE, que se estendem desde Alverca, a Sul, até ao Carregado, a Norte.

Rede filoniana

Existe uma rede filoniana densa, constituída por filões subverticais de rocha ígnea básica, com direcções que vão de WNW-ESE a E-W.

2.6. Enquadramento Climático

Aquando da revisão do Plano Director Municipal (PDM) de Loures, em 2003, foi feito um estudo climatológico do concelho, em que usaram os dados existentes na base do “ Atlas do Ambiente” [7], recolhidos desde 1931 a 1960. Estes dados permitem, para a zona em estudo, médias anuais de:

- Temperatura do ar (°C): 15 – 16
- Precipitação (mm): 600 – 800
- Humidade Relativa do Ar (%), às 9h: 73 – 77
- Insolação (horas): 2500 – 3000
- Radiação Global (kcal.cm⁻²): 147 – 156

Posteriormente, a Comissão Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios de Loures (CMDFDIL) também analisou algumas destas características da região, tendo

como base dados de normais climatológicas, medidos na estação meteorológica de Lisboa/Portela, e recolhidos desde 1961 a 1999. De seguida apresentam-se as conclusões a que o referido estudo chegou.

Os valores mensais de temperatura do ar (Gráfico 1) revelam que os meses mais quentes, Julho, Agosto e Setembro, designados como *Período Crítico*, apresentam temperaturas superiores aos 20°C, enquanto a média da temperatura máxima é superior a 25°C.

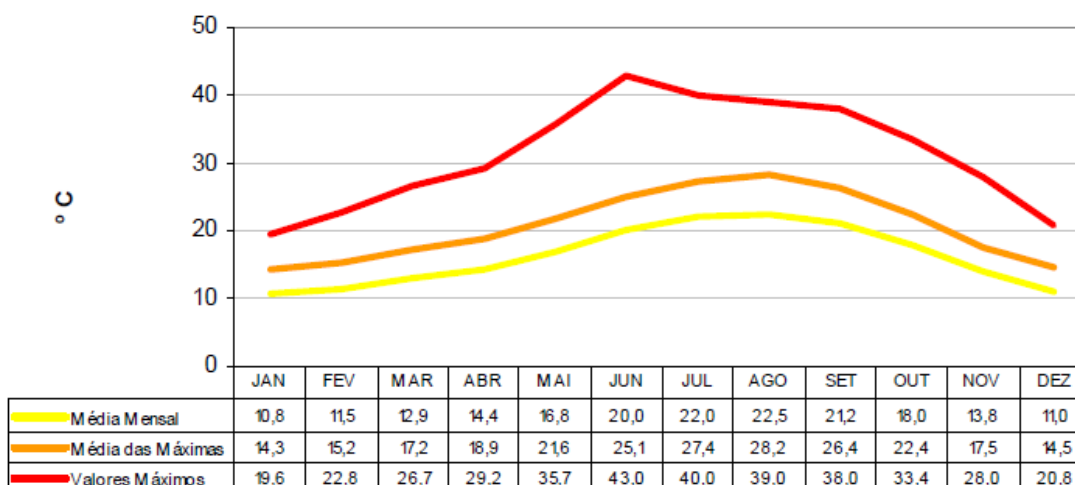


Gráfico 1 - Valores mensais da temperatura média, média das máximas e máximos do concelho de Loures (1961 – 1990) (Retirado de CMDFCIL, 2007)

Os valores mensais da Humidade Relativa do Ar (Gráfico 2), medida às 9h e às 15h, indicam percentagens de 80% e 70% para o Inverno e Primavera respectivamente. No Período Crítico, Julho e Agosto, passa a valores inferiores, sendo que a diminuição de 20% ocorre no período entre as 9h e as 15h. Na sua generalidade a Humidade Relativa do Ar sofre uma diminuição de 50% com um aumento de 10 °C na temperatura atmosférica.

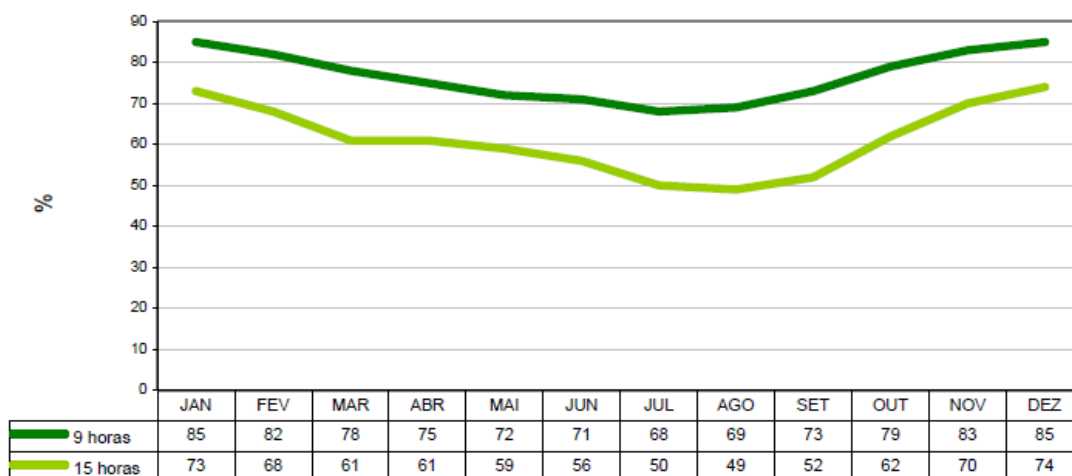


Gráfico 2 - Humidade relativa mensal do concelho de Loures (1961 – 1990) (Retirado de CMDFCIL, 2007)

Os valores da Precipitação (Gráfico 3) têm uma distribuição irregular ao longo do ano, existindo duas estações distintas, uma no inverno, e outra de escassez estival. Na primeira é onde ocorre uma maior concentração da precipitação, sendo por isso designada de estação húmida e que, para a zona em estudo, de acordo com os dados base ocorre de Outubro a Abril, tendo uma média de precipitação mensal entre os 104,3 mm e os 55,8 mm. Na segunda ocorre menos precipitação, sendo por isso esta estação designada como estação seca, que para a zona em estudo, de acordo com os dados base ocorre de Maio a Setembro, tendo uma média de precipitação mensal entre os 38,6mm e os 3,1mm. Em relação à precipitação, chamam à atenção de que “...o período de chuvas, com 86,8% da precipitação anual, poderá conduzir a fenómenos de erosão hídrica do solo.”

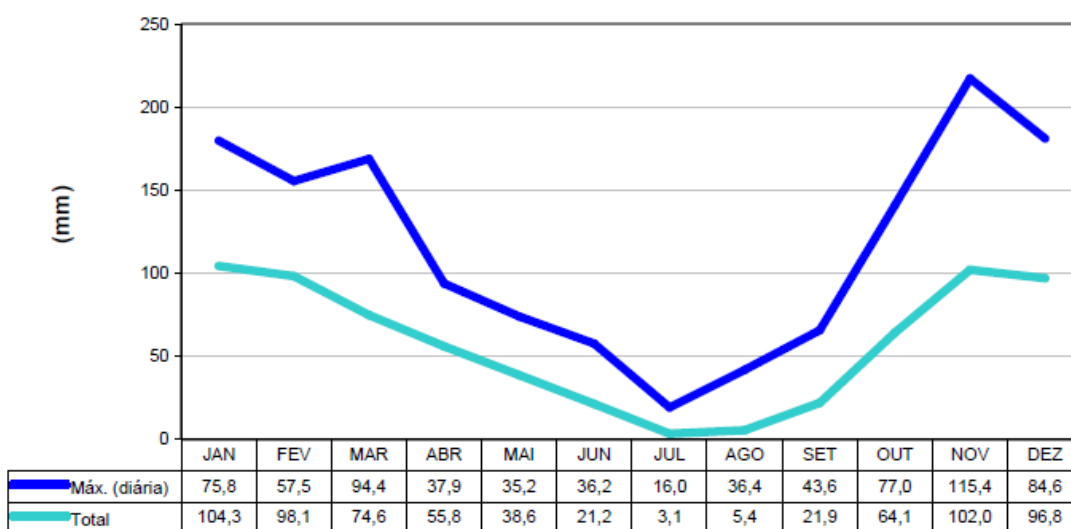


Gráfico 3 - Precipitação mensal no concelho de Loures (1961 – 1990) (Retirado de CMDFCIL, 2007)

Os dados da velocidade média de vento na área (km/h) e a sua frequência média (%) (Tabela 3) foram analisados e verificou-se que os ventos dominantes provêm do quadrante Norte e Noroeste, durante quase todo o ano, tendo uma frequência anual média entre os 32,9% e os 16,4%. Os ventos de Sul e Sudeste são raros ao longo do ano, tendo uma frequência anual de 2,4% a 3,6%. A velocidade do vento é considerada moderada, com valores médios anuais de 15 km/h. Como máximos de velocidade destacam -se os meses de Agosto, com 23km/h, e Julho, com 22km/h.

Tabela 3 - F (frequência média, %), V (velocidade média, km/h), C (situação em que não há movimento apreciável do ar, a velocidade não ultrapassa o 1km/h) (Retirado de CMDFCIL, 2007)

Mês	N		NE		E		SE		S		SW		W		NW		C
	F	V	F	V	F	V	F	V	F	V	F	V	F	V	F	V	F
Janeiro	19,4	15,5	17,9	11,4	12,7	9,8	2,8	10,4	4,5	19,2	10,6	21,4	12,7	16,0	12,6	15,7	6,8
Fevereiro	24,5	18,0	14,1	12,0	10,7	10,9	3,2	12,4	5,4	17,1	10,6	21,3	14,4	18,1	13,1	16,6	4,0
Março	31,9	20,0	12,0	13,5	10,5	11,8	3,1	12,7	3,1	14,9	8,7	17,9	11,3	13,8	16,4	16,6	3,1
Abril	32,3	20,3	9,5	13,5	7,9	12,2	2,2	11,6	4,1	17,5	9,5	19,1	14,5	14,7	17,9	18,0	2,2
Maió	36,4	20,8	6,1	14,4	4,4	11,6	1,2	11,3	2,6	18,5	10,8	18,8	14,1	15,1	23,4	18,6	0,9
Junho	39,2	21,2	3,7	12,3	3,8	9,4	1,1	8,8	2,3	16,5	10,8	17,7	13,7	15,1	24,1	20,0	1,4
Julho	48,2	22,4	4,2	12,5	4,2	9,1	0,9	7,3	1,5	13,0	5,9	15,2	11,6	14,7	22,0	20,0	1,4
Agosto	54,3	22,8	4,5	13,1	3,2	10,8	1,3	8,8	0,9	11,9	5,8	16,1	9,0	14,1	19,6	21,0	1,4
Setembro	36,8	19,3	6,8	11,0	7,3	9,1	2,2	9,6	3,3	15,0	10,3	17,9	12,7	13,4	17,4	18,4	3,3
Outubro	28,2	17,6	12,7	11,1	10,3	9,8	3,4	10,8	6,7	15,7	9,0	16,9	11,9	14,0	13,0	16,1	4,9
Novembro	24,9	15,8	20,2	10,7	13,5	9,2	3,7	12,4	4,6	16,2	7,7	18,8	9,2	14,6	9,4	15,0	6,8
Dezembro	18,6	15,3	24,2	11,4	14,4	10,0	3,4	12,2	4,7	19,9	9,8	20,3	11,7	16,4	7,3	14,8	6,0
ANO	32,9	19,8	11,3	11,9	8,6	10,3	2,4	11,2	3,6	16,8	9,1	18,7	12,2	15,1	16,4	18,1	3,5

As características climáticas gerais do concelho de Loures, que inclui a área de estudo, correspondem às de uma região climática de tipo marítimo de transição, situado entre a fachada atlântica a poente e a região de clima continental atenuado a nascente. Esta faixa de transição tem características de largura muito variadas em função do arranjo relativo que a delimita. Um dos principais condicionantes do clima é o relevo, sendo que a área é influenciada pelos maciços de colinas a poente e a norte do concelho, e o importante conjunto que é o limite interior da faixa atlântica. Nas partes mais baixas da bacia de Loures é frequente a existência de nevoeiros (DPPDM, 2003).

Existem dados mais recentes, referentes ao intervalo entre os anos hidrológicos de 2003/2004 e 2012/2013, disponíveis no *site* do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH) [8] sendo que destes, os que foram considerados relevantes para este estudo foram:

- Os boletins da temperatura (2003/2013), apresentados nas tabelas 1 a 10 do Anexo 11.1;
- Os boletins da precipitação (2003/2012), apresentados nas tabelas 11 a 19 do Anexo 11.1;

Para este intervalo temporal os meses mais quentes são Junho, Julho, Agosto e Setembro, apresentando temperaturas superiores aos 20°C, enquanto a temperatura máxima foi atingida no mês de Agosto (Gráfico 4), do ano hidrológico de 09/10, sendo superior a 24°C. Na tabela 20 do Anexo 10.1 são apresentadas as médias calculadas.

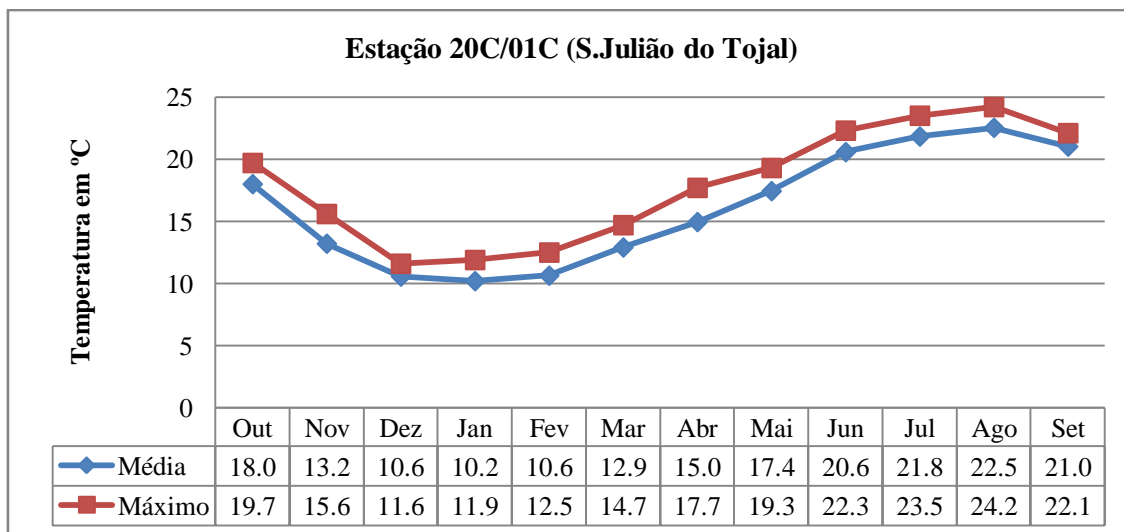


Gráfico 4 - Valores médios e máximos da temperatura mensal, na estação de S. Julião do Tojal (2003 - 2013)

Mais uma vez os valores da Precipitação têm uma distribuição que permite a diferenciação entre duas estações. Na estação húmida que, para a zona em estudo, ocorre de Outubro a Abril, verifica-se uma média de precipitação mensal entre os 130,9 mm e os 68,9 mm. Na estação seca, que para a zona em estudo, ocorre de Maio a Setembro, verifica-se uma média de precipitação mensal entre os 4,3mm e os 2,5mm. O máximo mensal atingido ocorreu no mês de Março (Gráfico 5), do ano hidrológico de 2005/2006. Na tabela 21 do Anexo 10.1 são apresentadas as médias calculadas.

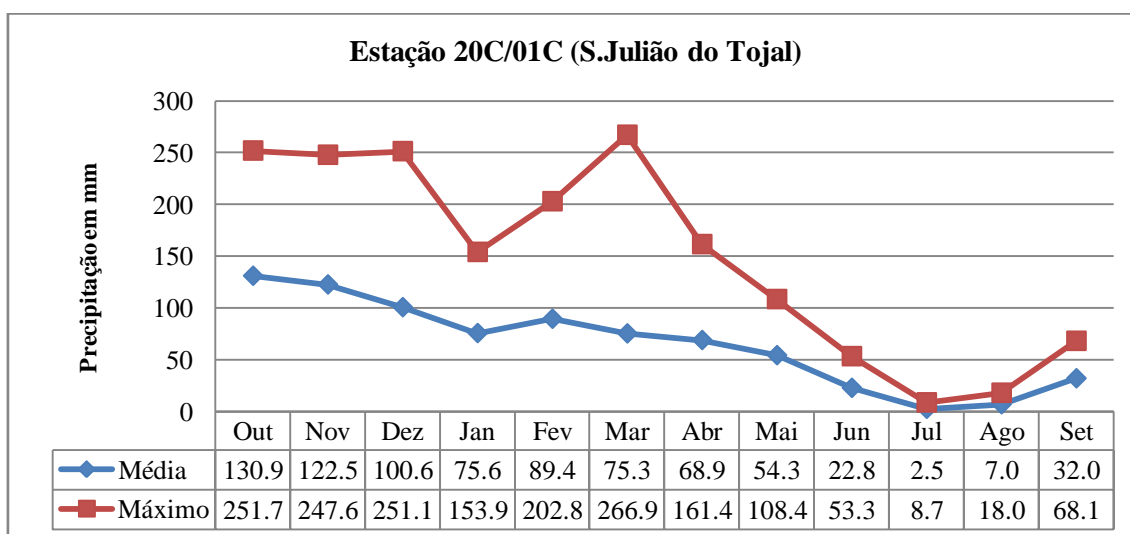


Gráfico 5 – Valores médios e máximos da precipitação mensal, na estação de S. Julião do Tojal (2003 - 2013)

3. Recarga de Aquíferos

Existem várias formas de recarga nas quais se incluem: a natural, a facilitada, a induzida, a incidental e a recarga artificial. De seguida descrevem-se sucintamente cada uma delas.

3.1. Recarga Natural

É o volume de água que se infiltra no sub-solo, sem a intervenção do homem, sendo uma das variáveis do ciclo hidrológico. Resulta da diferença entre a água que se infiltra no solo naturalmente e a que é utilizada pelas plantas e posteriormente libertada por evapotranspiração, isto é, a água que sofre escoamento e chega, efectivamente, à zona saturada. Esta varia em resposta aos efeitos climáticos sazonais a longo prazo.

3.2. Recarga Facilitada

Este tipo de recarga consiste no aumento da capacidade de infiltração natural do solo, este aumento pode ser atingido através de (NNC, 2002):

- 1) Reduções na evapotranspiração,
- 2) Introdução de culturas que interceptem menos precipitação,
- 3) Criação de depressões no solo de modo a que haja uma maior acumulação de água e sua conservação no solo,
- 4) Remoção do material argiloso que se deposita na superfície do solo e que faz com que a sua capacidade de infiltração diminua,
- 5) Rebaixamento do nível piezométrico (o que cria diferenças de pressão e provoca o aumento da capacidade de infiltração), Bouwer (2006) refere ainda, a opção de remover por completo a vegetação existente ou a sua substituição por variedades com raízes menos profundas.

3.3. Recarga Induzida

Este tipo de recarga é conseguido através da instalação de furos de extracção nas proximidades de cursos de água, o que provoca um rebaixamento do nível no aquífero subjacente, induzindo a uma maior recarga do mesmo, com água proveniente do rio. O principal objectivo deste tipo de recarga é o tratamento da água do rio antes de esta ser extraída para abastecimento público, devido às propriedades depuradoras do solo.

3.4. Recarga Incidental

Este tipo de recarga resulta de atividades que não têm como objectivo a recarga artificial de aquíferos. Estas incluem:

- Fossas sépticas não impermeabilizadas, que provocam a infiltração dos efluentes para o solo e, conseqüentemente para as formações aquíferas;
- Campos irrigados, que provocam maior infiltração ou percolação em profundidade;
- Um maior escoamento superficial gerado em zonas urbanas, devido à impermeabilização do solo. Estas superfícies apresentam menor capacidade de evaporação que as, comparativamente com as naturais, o que também provocam um aumento do escoamento;
- Fugas dos sistemas de condutas de água, quer seja no sistema de abastecimento de água quer no sistema de esgotos.

3.5. Recarga Artificial

Define-se como recarga artificial de aquíferos, a introdução de água, quer por infiltração através do solo quer por injeção directa através de furos (Bouwer, 2002). CGWBMWR (2000) referem que a recarga artificial consiste no “... aumento de reservas de água subterrânea, através da modificação do movimento natural das águas superficiais, utilizando técnicas de construção civil adequadas...”. Diaz *et al.* (2000) descreve este tipo de recarga como “ ... um conjunto de técnicas que permitem, através de uma intervenção programada a introdução directa ou induzida de água num aquífero, incrementar o grau de garantia e disponibilidade dos recursos hídricos assim como actuar sobre a sua qualidade...” no caso do motivo da recarga ser a melhoria da qualidade da água do aquífero. A finalidade básica de recarga artificial de águas subterrâneas é restaurar aquíferos esgotados devido à sobre-exploração (CGWBMWR, 2000).

Diaz *et al.* (2000) define dois objectivos principais da recarga artificial:

- O aumento do volume disponível, assim como a optimização da água disponível;
- A prevenção do deterioramento do estado químico da água do aquífero ou, no caso de este já se verificar, o seu melhoramento.

Bouwer (2002) refere como objectivos principais da recarga artificial:

- O aumento da disponibilidade de água no sistema aquífero;
- A reserva de água no aquífero, para extracção em alturas de escassez;
- A melhoria das qualidades da água de recarga, por geopurificação (devido ao efeito filtrante/depurador do solo);
- A redução de subsidência de terrenos;

- O controlo de avanços e redução de cunhas salinas;
- A resolução de problemas de contaminação por diluição com a água de recarga;
- Entre outros.

Este tipo de método também é utilizado em zonas onde as populações dão preferência água subterrânea em relação á superficial (Bouwer, 2002).

3.5.1. Métodos de Recarga Artificial

Os métodos de recarga artificial podem ser separados em dois grupos, dependendo do tipo de recarga ser em profundidade, através de furos ou poços, ou á superfície, em superfícies de infiltração de grandes dimensões, onde a água é infiltrada através do solo. Os métodos de recarga artificial em profundidade são utilizados no caso de formações que são constituídas por alternância de níveis permeáveis com níveis impermeáveis. Os métodos de recarga á superfície, são utilizados em aquíferos freáticos, que não possuem níveis de baixa permeabilidade à superfície do solo ou na zona não saturada do solo, através da qual se pretende que a água de recarga se infiltre e atinja o aquífero (Díaz *et al.*, 2000). Assim, o método a ser utilizado é seleccionado com base nas características hidrogeológicas locais. As fontes de água de recarga e sua qualidade também são variáveis importantes na selecção do método (Dillon *et al.* (2009). A classificação dos métodos é, por vezes, diferente de autor para autor, assim, de seguida apresentam-se as classificações de alguns dos autores consultados:

Kumar e Aiyagari (1997) dividem os métodos de recarga artificial de aquíferos em directos e indirectos. Nos métodos de recarga directa incluem: bacias de alagamento, poços e depressões de recarga, valas e furos de recarga. Nos métodos de recarga indirecta incluem: a infiltração induzida em leito de rios e furos conjuntivos.

Bouwer (2002) refere, de forma simplificada, apenas quatro tipos de sistemas de recarga artificial: 1) Infiltração superficial; 2) Infiltração na zona não saturada; 3) Furos; 4) Sistemas de recarga combinados.

Gale e Dillon (2005), dividem os métodos de recarga artificial em: 1) Métodos de espalhamento (bacias de infiltração, *Soil Aquifer Treatment* (SAT), inundações controladas, recarga incidental por irrigação); 2) Métodos que provocam modificações no leito de rios (bacias de percolação a jusante de açudes de controlo, represas de armazenamento de areia, açudes sub-superficiais, açudes permeáveis); 3) Furos de injeção, furos de injeção e recuperação (*Aquifer Storage and Recovery* - ASR) e poços; 4) Barreiras de infiltração (*Induced bank infiltration e interdune-filtration*); 5) Recolha de água da chuva (*rainwater harvesting*).

No *Manual On Artificial Recharge Of Groundwater* (CGWBMWR, 2007) os métodos são divididos em:

- 1) Métodos Directos;

A) Técnicas de dispersão de superfície (*Surface Spreading Techniques*)

- a) Inundação (*Flooding*);
- b) Valas e Sulcos (*Ditch and Furrows*);
- c) Bacias de recarga (*Recharge Basins*);
- d) Estruturas de manutenção/conservação do escoamento (*Runoff Conservation Structures*);
 - i) Bancadas de terraços (*Bench Terracing*) (consiste no nivelamento de terrenos inclinados (inclinações de superfície até 8%) e em cobrir o terreno com materiais que aumentem a capacidade de infiltração);
 - ii) Contornos formados por muros (*Contour Bunds*) ou trincheiras (*Contour Trenches*) (consiste na criação de desníveis perpendiculares ao declive natural do terreno);
 - iii) Represas (*Gully Plugs, Nalah Bunds, Check Dams*);
 - iv) Lagos/Bacias de percolação (*Percolation Ponds*);
- e) Modificações no leito do rio (*Stream Channel Modification*) (Alargamento, nivelamento, represas de baixo porte, entre outros).

B) Métodos de sub-superfície (*Sub-surface Techniques*)

- a) Furos de injeção (furos de recarga) (*Injection Wells (Recharge Wells)*);
- b) Furos de recarga por gravidade (*Gravity Head Recharge Wells*);
- c) Valas de recarga (*Recharge Pits and Shafts*)

2) Métodos Indirectos

A) Recarga Induzida;

B) Modificação do aquífero

- i) Explosão do Furo (*Bore Blasting*).
- ii) Hidro-fracturação (*Hydro-fracturing*).

3) Métodos de recarga combinados

Mais recentemente Kavuri *et al.* (2011) subdividem, genericamente, os métodos em:

- 1) Métodos directos de superfície (*Direct Surface Techniques*);

- 2) Métodos directos de sub-superfície (*Direct Sub-surface techniques*);
- 3) Métodos de recarga combinados (1 e 2);
- 4) Métodos indirectos.

O local onde se pretende instalar um sistema de recarga artificial, deve ser analisado em detalhe, de modo a determinar qual a metodologia mais correcta e economicamente viável a aplicar, tendo em vista o objectivo do projecto.

De seguida, descrevem-se sucintamente os diferentes métodos de recarga artificial, em que consistem e quais as principais condições de aplicação.

3.5.1.1. *Métodos de Recarga Artificial á Superfície*

Estes são os mais utilizados em todo o mundo, este facto deve-se ao seu baixo custo e simplicidade de aplicação dos mesmos. Estes métodos também apresentam desvantagens, como a baixa taxa de recarga e a elevada área necessária para o seu desenvolvimento (PROWATERMAN, 2008).

Este tipo de métodos necessita de locais onde existam: solo permeável, uma profundidade ao nível da água suficiente, uma topografia apropriada, um aquífero com uma permeabilidade e extensão lateral suficientes para que permitam recepção da água que se infiltra, sem se gerar uma elevação da água no aquífero muito grande que impeça a continuação da infiltração. Para a aplicação deste tipo de métodos, não podem existir níveis impermeáveis na zona não saturada (SEWRPC, 2006). Este tipo de métodos é aplicado quando o aquífero a recarregar é livre e está perto da superfície do terreno. A infiltração da água é feita através de um material permeável á superfície do terreno, de modo a manter as taxas de infiltração constantes (Gale e Dillon, 2005).

Têm como objectivo, o aumento da taxa de infiltração e, conseqüentemente um aumento da água que, por percolação chega ao aquífero. Dos vários factores que influenciam a velocidade de infiltração da água no solo, destacam-se: a área de recarga e o tempo de contacto entre a água e o solo (Tood, 2005).

Quando as condições assim o proporcionam, isto é quando a fonte de água de recarga é de boa qualidade, é possível usar este tipo de métodos durante todo o ano. Nos casos em que a fonte de água de recarga é esporádica ou contém elevada quantidade de sólidos em suspensão, é necessário minimizar as obstruções da estrutura de recarga, de modo a manter as taxas de infiltração, para este efeito uma boa monitorização das taxas de infiltração e de sedimentação devem ser efetuadas (Gale e Dillon, 2005).

Gale e Dillon (2005) referem para estes métodos taxas de evaporação na ordem dos 0,4 m/ano para climas frios e húmidos e 2,4 m/ano para climas quentes e secos.

Os métodos de recarga à superfície (Figura 7), podem ser divididos, de acordo com o local onde são implementados, em:

- Implementados no leito dos rios;
- Implementados fora do leito dos rios.

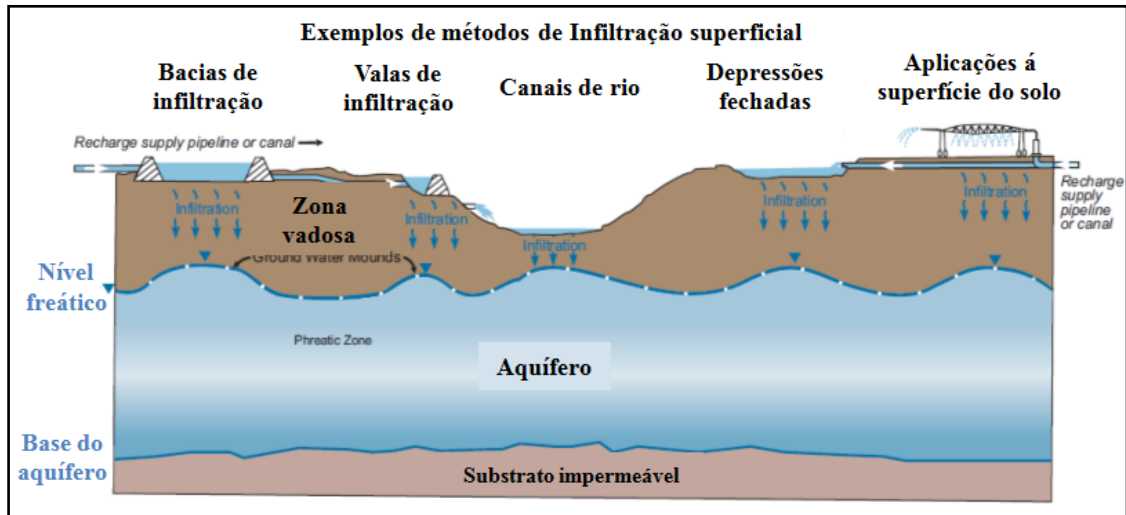


Figura 7 - Métodos de Recarga à Superfície (Adaptado de SEWRPC, 2006)

Implementados no leito dos rios:

Os sistemas de recarga implementados no leito dos rios podem ser: represas de armazenamento de areia (*Sand Storage Dams*), lagos/tanques de percolação ante represa, represas subterrâneas, represas com descarga. Estas formam barreiras à passagem da água, de modo a aumentar o tempo de permanência desta em contacto com o leito do rio, aumentando as taxas de infiltração.

3.5.1.1.1. Represas de armazenamento de areia (*Sand storage dams*)

Bouwer (2000) descreve este método como sendo constituído por represas ou diques (Figura 8) em forma de L ou T ao longo do rio ou ribeira, de modo a aumentara a superfície de contacto da água com o terreno e, conseqüentemente, aumentar a taxa de infiltração no leito do rio.

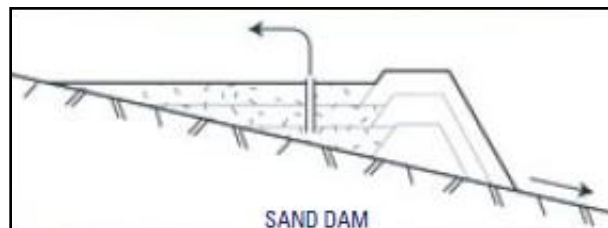


Figura 8 - Represas de armazenamento de areia (*Sand storage dams*) (Retirado de Gale e Dillon, 2005)

Estas represas são mais adequadas em locais onde o terreno é irregular e as condições climáticas são áridas, são normalmente construídas em rios efémeros, onde o escoamento superficial ocorre normalmente sob a forma de cheia, em vales bem definidos. A parede da represa é construída perpendicularmente ao leito do rio, ocupando toda a sua largura (Gale e Dillon, 2005 e PROWATERMAN, 2008).

Têm como objectivo, abrandar as águas de cheias ou de eventos de escoamento efémeros de maior duração, permitindo a deposição do material mais grosseiro e a sua acumulação por detrás da parede da represa, a parede pode, assim, ser aumentada após cada evento de cheia. Os sucessivos eventos de cheia, acabam por gerar um aquífero artificial que permite a infiltração da água em vez do seu escoamento natural pelo rio. A água armazenada fica disponível para extracção, no entanto, quando construídas sobre materiais permeáveis, a água acumulada acaba também por recarregar o aquífero subjacente (Gale e Dillon, 2005).

A deposição de material fino e consequente colmatção do aquífero artificial são os principais problemas da aplicação destas represas, por esta razão deve ser permitido que haja um transbordo suficiente de modo a que os materiais mais finos sejam transportados (Murray e Tredoux, 1998 *in* Gale e Dillon, 2005).

3.5.1.1.2. Lagos/Tanques de percolação ante represa

É frequente, pelo facto de ser mais económico, utilizar como forma de recarga, a construção represas ao longo do curso do rio (Figura 9), para a sua construção utilizam-se os materiais aluvionares provenientes do leito do rio. De modo a evitar e reduzir a destruição e a erosão anual destas estruturas, é incorporado um vazadouro em betão, assim como barreiras que contêm e conduzem a escorrência superficial.

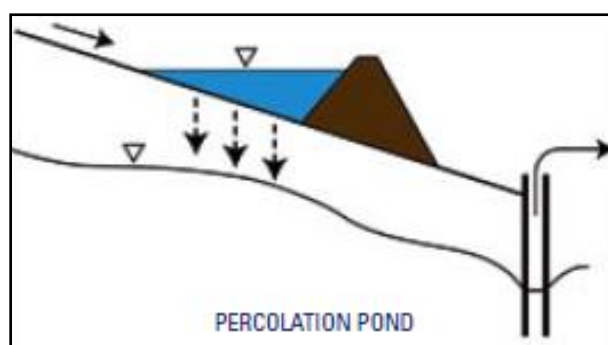


Figura 9 – Lagos/Tanques de percolação ante represa (Retirado de Gale e Dillon, 2005)

Estas barreiras são construídas em série ao longo do leito do rio de modo a permitirem a diminuição da energia do escoamento da água no rio durante episódios torrenciais, fazendo com que seja possível que esta se possa infiltrar no solo. Estas barreiras permitem também reduzir a erosão do solo e o transporte de sedimentos (Gale e Dillon, 2005).

3.5.1.1.3. Represas subterrâneas

São usadas quando o aquífero é aluvial. São valas construídas em rios efémeros, perpendicularmente ao seu leito do rio (Figura 10), em material pouco permeável. Estas valas devem atingir a base do aquífero. A água infiltrada é extraída em furos próximos (Gale e Dillon, 2005).

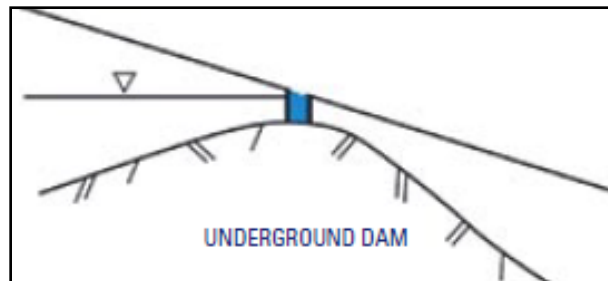


Figura 10 – Represas subterrâneas (Retirado de Gale e Dillon, 2005)

3.5.1.1.4. Represas com descarga

São construídas quando o regime hídrico é torrencial, com caudais elevados e variações rápidas no nível da água, que fazem com que ocorram grandes quantidades de sólidos em suspensão. A construção destas represas facilita a sedimentação e diminui o fluxo da água, para jusante das mesmas, promovendo a infiltração da água no leito do rio. O facto de estas possuírem uma conduta de descarga (Figura 11), faz com que haja um controlo da descarga de água para infiltração a jusante (Gale e Dillon, 2005).

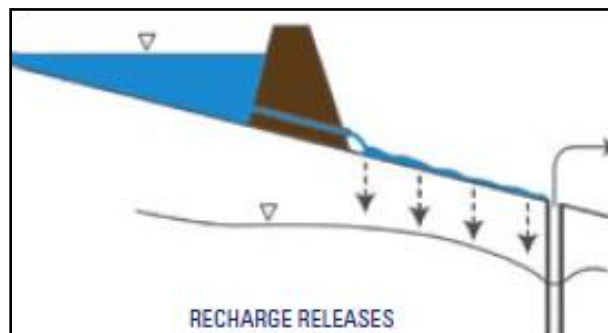


Figura 11 - Represas com descarga (Retirado de Gale e Dillon, 2005)

Implementados fora do leito dos rios:

Estes métodos de recarga consistem essencialmente, em bacias de infiltração, lagoas, antigas cascalheiras, campos que são inundados, ou qualquer outro tipo de instalação onde a água é colocada em contacto direto com o solo e, por acção da gravidade é infiltrada para o aquífero subjacente (Bouwer, 2002). Os sistemas de recarga implementados fora do leito dos rios podem ser: 1) bacias de infiltração ou de recarga, 2) represas perenes, 3) sistemas de recarga por irrigação, 4) valas, 5) canais e

balsas, 6) sistemas de recarga por alagamento ou inundação, 7) SAT (*Soil Aquifer Treatment*).

3.5.1.1.5. Bacias de Infiltração ou de recarga

As bacias de infiltração ou de recarga (Figura 12), são usadas em casos em que o aquífero é livre, superficial, onde a zona saturada não tem camadas impermeáveis, onde os solos são muito permeáveis e onde, quer o aquífero, quer a zona vadosa não se encontram contaminados (Kumar e Aiyagari, 1997; Diamantino, 2009).

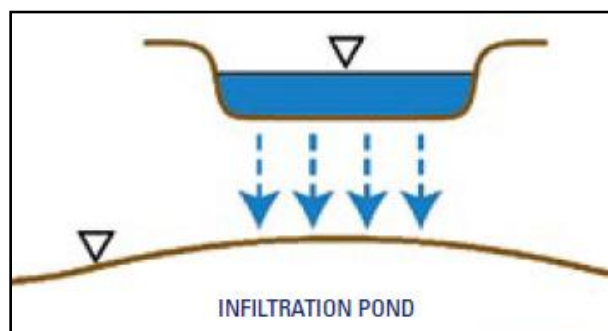


Figura 12 - Bacias de Infiltração ou de recarga (Retirado de Gale e Dillon, 2005)

São frequentemente usadas, em zonas onde os custos de terrenos são elevados, devido ao facto de estas concentrarem grandes volumes de infiltração numa área relativamente pequena, quando os terrenos têm uma boa permeabilidade. (Fetter, 2001 e Bouwer, 2002).

A água de recarga é infiltrada pela base da bacia e pela zona não saturada, até ao nível freático (Brown e Signor, 1974). É frequente que se desenvolvam, durante o processo de recarga, elevações do nível freático, abaixo da área onde se localiza a bacia, estas diminuem à medida que a água se distribui pelo aquífero quando o processo de recarga termina (Fetter, 2001). As taxas de infiltração dependem de vários factores, Brown e Signor (1974) referem a altura da água na bacia, a permeabilidade do material da zona vadosa assim como as características geoquímicas, biológicas e físicas do material que é atravessado pela água em movimento. Um dos principais problemas deste método de recarga é a colmatção e impermeabilização do fundo da bacia, resultantes da existência de sólidos suspensos na água de recarga, mesmo que esta seja considerada como de boa qualidade. Pode, por esta razão, ser necessário fazer um pré-tratamento da água de recarga de modo a minimizar os efeitos de colmatção (Bouwer, 2002).

Quando se verifica uma diminuição nas taxas de infiltração, resultante da colmatção do fundo da bacia, devem ser tomadas as seguintes medidas (Gale *et al.*, 2002):

- Aumentar o nível da água na bacia;
- Aplicar um sistema rotativo de descarga de água, secagem e subsequente raspagem do material depositado no fundo (a secagem elimina o

crescimento microbiológico e este fenómeno juntamente com a raspagem do fundo da bacia reabre os poros do solo);

- Aplicar um tratamento mecânico á água de recarga que consiste primeiro numa sedimentação primária, para remoção dos sólidos suspensos (a eficiência da deposição pode ser aumentada com a adição de um desfloculante químico);
- Adicionar cloro à água de recarga para prevenir a atividade microbiológica;
- Aplicar um tratamento mecânico ao solo para aumentar a sua permeabilidade;
- Forrar a bacia com uma camada de areia de calibre médio que funcionará como um filtro para remover os sólidos suspensos.

Este tipo de sistemas também apresenta vantagens em termos de manutenção das taxas de infiltração, já que há um maior controlo no gradiente hidráulico (Fetter, 2001) essencial no movimento de água por percolação.

3.5.1.1.6. *Represas Perenes*

As represas perenes ou semi-perenes, armazenam grandes quantidades de água, podendo ser utilizadas como fonte de água para irrigação directa, quer como sistemas para aumentar a recarga de aquíferos. A deposição de siltes durante sucessivos períodos de descarga de água conduz a uma redução da taxa de infiltração, por colmatação da base do sistema, o que diminui a eficiência da estrutura de recarga (Diamantino, 2005; 2009). A taxa de evaporação nestes sistemas é elevada, uma vez que se tratam de estruturas abertas (Gale *et al.*, 2002). De modo a assegurar que estes sistemas possam funcionar quer como estruturas de recarga quer como estruturas de armazenamento de água, estes factores devem ser analisados e, se possível, quantificados.

3.5.1.1.7. *Sistemas de recarga por irrigação*

Os esquemas de irrigação são frequentemente, uma forma de recarga não intencional de aquíferos. Em zonas áridas e semiáridas onde a percolação profunda se baseia essencialmente na lixiviação de sais, está-se a recarregar o aquífero com água não adequada para tal. Também são usados estes sistemas com a intenção de, de facto recarregar o aquífero sobrejacente. Neste tipo de recarga, não existem custos adicionais para a preparação do terreno, uma vez que já está instalado no local, um sistema de distribuição da água. A irrigação desenvolve-se em zonas planas onde o nível da água se encontra pouco profundo, o que implica um pequeno volume disponível para o armazenamento de água. A qualidade da água em locais de irrigação deve ser analisada frequentemente uma vez que, como já foi referido anteriormente, pode ter concentrações elevadas de sais e também de produtos químicos residuais resultantes da atividade agrícola (Gale *et al.*, 2002).

3.5.1.1.8. Valas, Balsas e Canais

Uma vala é descrita por O'Hare *et al.* (1986) (*in* Kumar e Aiyagari, 1997) como uma trincheira longa e estreita, onde a largura da base é inferior à sua profundidade. Referem também que este tipo de sistemas pode ser adaptado á topografia e condições geológicas existentes no local. Díaz *et al.* (2000) também designa por valas (*fosas*) sistemas alongados, largos e pouco profundos, nos quais a infiltração é efetuada principalmente pelos flancos da estrutura. Segundo Gale *et al.* (2002), a valas são sistemas compostos por uma série de valas achatadas e pouco distanciadas, de modo a obter uma maior área de infiltração. A forma mais comum consiste num canal principal, que se ramifica em canais mais pequenos, com uma vala de recolha no fim do sistema destinada a conduzir a água em excesso novamente para o canal principal. Os gradientes do canal principal devem ser suficientes para transportar o material em suspensão de modo a evitar a colmatção precoce do sistema (Gale *et al.*, 2002), que também é, assim como nas bacias de infiltração, o principal problema destes sistemas de recarga artificial.

Díaz *et al.* (2000) referem sistemas idênticos às valas, a que dão o nome de balsas, diferenciando-os pelo facto de, nestes últimos, a infiltração se fazer essencialmente pelo fundo da estrutura.

Ainda são descritos por Díaz *et al.* (2000) os canais, que descrevem como “...pouco profundos a acompanhar a topografia do terreno...”, nestes a infiltração pode ocorrer tanto nos flancos da estrutura como no fundo da mesma.

3.5.1.1.9. Sistemas de recarga por alagamento ou inundação

Este tipo de sistemas são utilizados em áreas onde a topografia é relativamente plana e a água pode ser desviada recorrendo a canais, a partir de um rio, e descarregada numa zona com uma área maior. O principal objectivo é a diminuição da velocidade do fluxo de água de modo a não perturbar a cobertura do solo. As áreas onde as taxas de infiltração são mais elevadas são aquelas onde, quer a vegetação quer o solo, não se encontram perturbados. Este método é vantajoso quando comparado com outros de tipo de espalhamento já que nos sistemas por inundação os custos da preparação do terreno são muito mais baixos. (Tood e Mays, 2005). Em redor da planície, são construídas valas, de modo a controlar a inundação. Apresentam como desvantagem o facto de, para o desenvolvimento destas operações de recarga, ser necessária uma grande área de terreno (Gale e Dillon, 2005). As taxas de infiltração podem ser facilmente afectadas, devido ao facto de uma importante carga de sedimentos poder ser transportada pela água e depositar-se na superfície do solo (Esfandiari-Baiat e Rahbar, 2004 *in* Gale e Dillon, 2005)

3.5.1.1.10. SAT (Soil Aquifer Treatment)

Neste tipo de sistemas (Figura 13) são utilizadas águas residuais tratadas, provenientes de estações de tratamento, para a infiltração através do solo, sendo esta tratada devido ao efeito depurador do solo.

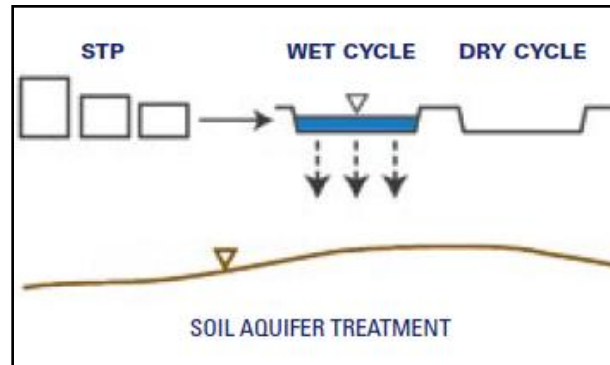


Figura 13 – SAT (Soil Aquifer Treatment) (Retirado de Gale e Dillon, 2005)

Os principais estudos realizados nesta área, essencialmente nos EUA, por Bouwer em Phoenix (Arizona) têm incidido principalmente sobre os processos biogeoquímicos, hidráulicos e operacionais, envolvidos na recarga de águas residuais e a sua recuperação para abastecimento, após beneficiar do tratamento, a que se dá o nome de *Soil Aquifer Treatment* (SAT) (Diamantino, 2009).

A inclusão deste passo no processo de reutilização da água tem como vantagens, (Bouwer, 2002):

- 1) Armazenamento subterrâneo, como forma de atenuar a variabilidade entre a procura e a oferta de água;
- 2) Melhoria da qualidade da água de recarga;
- 3) Factores económicos positivos;
- 4) Melhor aceitação por parte dos consumidores.

As águas residuais, recarregadas através de bacias de infiltração necessitam de um processo prévio de tratamento secundário e clorinação, sendo removidos os sólidos suspensos e micro-organismos. As espécies de azoto são removidas por desnitrificação e o carbono orgânico é dissolvido através de processos biológicos. A remoção dos fosfatos e metais pesados é normalmente feita pelo solo mas também pode ser feita antes da introdução da água na zona de infiltração. A água de recarga pode ser imediatamente recuperada, após a sua passagem pelo solo, evitando a degradação da qualidade das águas subterrâneas, podendo ser utilizada para irrigação de zonas agrícolas ou de lazer. A sua utilização para consumo doméstico requer um tratamento

prévio por osmose inversa, filtração por carbono activo ou a sua diluição durante a recuperação (Gale *et al.*, 2005).

3.5.2. Métodos de recarga artificial na zona vadosa

Estes métodos são utilizados quando o terreno não tem a permeabilidade necessária ou não há área de terreno suficiente para a aplicação de métodos de superfície.

Os sistemas de recarga na zona vadosa (Figura 14) podem ser: 1) trincheiras de infiltração ou de recarga, 2) poços de zona vadosa e 3) aquíferos artificiais.

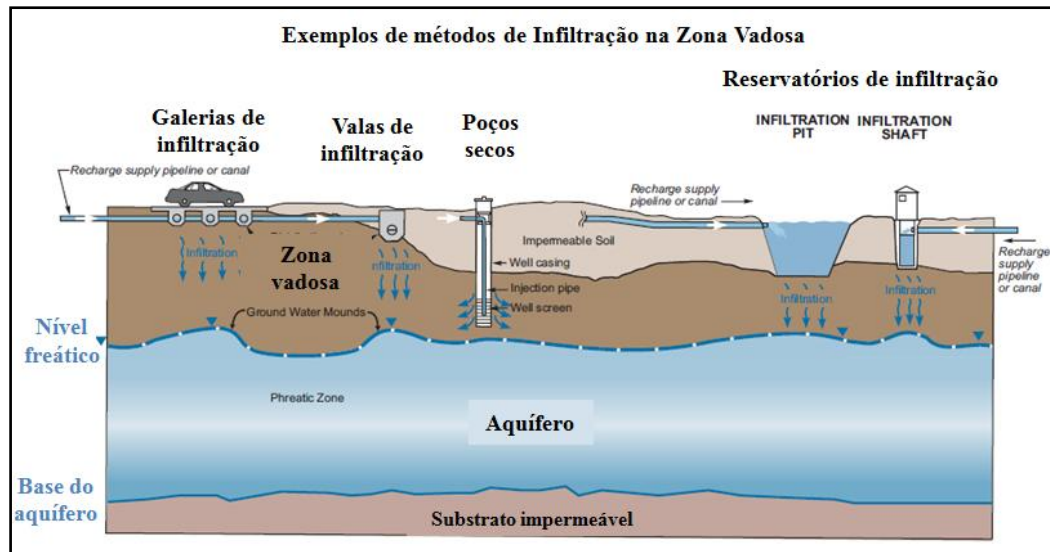


Figura 14 - Adaptado de SEWRPC (2006)

3.5.2.1.1. Trincheiras de infiltração ou de recarga

É utilizado este tipo de estruturas quando a superfície do terreno, sobrejacente ao aquífero, tem uma baixa permeabilidade, e se este está a uma profundidade consistente com este sistema, entre 5 a 15 m (Bouwer, 1996 *in* Gale e Dillon, 2005 e Bouwer, 2002).

As trincheiras são escavações com largura inferior a 1m e cerca de cinco metros de profundidade (Bouwer, 2002). O principal objectivo, da construção destas estruturas, é maximizar a dimensão das paredes e minimizar a dimensão do fundo, de modo a incrementar a percolação horizontal para o aquífero (Murray e Tredoux, 1998 *in* Gale e Dillon, 2005). A água é introduzida através de um tubo e a trincheira é coberta de modo a que se integre com o meio envolvente e também para que esta esteja protegida, quer da luz solar quer de animais e pessoas (Bouwer, 2002 e Gale e Dillon, 2005).

As trincheiras e reservatórios são bastante dispendiosos, devido ao facto de recarregarem pequenos volumes de água. Estes métodos são utilizados quando já existem estruturas semelhantes no local, geralmente abandonadas (Gale e Dillon, 2005).

Os principais problemas que este método apresenta, assim como os vários de infiltração referidos anteriormente, estão relacionados com a colmatagem do sistema, a

água de recarga deverá conter um baixo teor de sólidos suspensos, para reduzir/prevenir este efeito. A água deve passar por um pré-tratamento que, no caso das trincheiras, é feito por introdução de um filtro, um preenchimento de areia grosseira ou cascalho muito fino, e de uma camada de geotêxtil, estes, possuem a vantagem de poderem ser removidos se se verificar a colmatação da estrutura. No caso de esta solução diminuir as taxas de infiltração para um valor que não seja viável, é possível alargar a trincheira de modo a aumentar a sua área de infiltração (Bouwer, 2002 e Gale e Dillon, 2005).

3.5.2.1.2. *Poços de zona vadosa*

São utilizados quando se pretende realizar a recarga de aquíferos freáticos. São poços secos, com cerca de 1 a 2 m de diâmetro e com profundidades que podem ir dos 10 aos 50 m. O fundo é, tal como nas trincheiras anteriormente referidas, coberto com areia grosseira ou cascalho muito fino. Para que a recarga ocorra de forma apropriada estes furos deverão penetrar uma distância adequada na zona de formações permeáveis (Bouwer, 2002). É um método relativamente económico, já que é frequente a utilização de poços já existentes no local, que se encontram secos, em consequência do rebaixamento dos aquíferos. Também é utilizado em zonas onde o nível freático está a profundidades elevadas (100 a 300 m ou mais), visto estes serem muito mais baratos que os furos de injeção (Gale e Dillon, 2005 e Bouwer, 2002).

A principal desvantagem decorrente da utilização destes poços, assim como nas trincheiras, relaciona-se com a colmatação devida ao material sólido que se deposita no seu interior. Esta colmatação, pode ser minimizada pela aplicação de um pré-tratamento à água de recarga, antes da sua introdução no poço. Este pré-tratamento consiste na remoção dos sólidos suspensos, do carbono orgânico assimilável, dos nutrientes, do azoto, do fósforo, e dos microrganismos. Deverá ser introduzido cloro para minimizar a atividade microbológica no interior do poço. Este tipo de sistemas possui um tempo de vida útil limitado, por não ser possível que estes sejam bombeados, reconstruídos ou mesmo reabilitados após a colmatação que acaba sempre por ocorrer, mesmo quando a água introduzida é água tratada. Este problema deve ser previsto, tendo depois que se minimizar a sua interferência. O material argiloso que existe na zona vadosa também contribui para a colmatação do poço, assim, a água é introduzida através de um tubo perfurado, com ralos em zonas permeáveis da zona não saturada. Para resolver o problema também é possível, colocar uma camada de geotêxtil nas zonas da parede do poço onde existem as formações argilosas (Díaz *et al.*, 2000, Bouwer, 2002 e Gale e Dillon, 2005).

3.5.2.1.3. *Aquíferos artificiais*

Este tipo de método, referido por Díaz *et al.* (2000) consiste essencialmente em filtros de areia que têm como objectivo recarga do aquífero ou o tratamento de águas de má qualidade. Estes sistemas são implementados pela escavação de um poço, com cerca de 2 metros de profundidade, que se enche com areia, ou outro material permeável. O revestimento lateral é feito com material plástico e o fundo é coberto com um nível de cascalho ou de tubos que servem de drenos para a água. O efluente poluído ou a água de

recarga, dependendo do caso, são introduzidos no aquífero durante curtos períodos de tempo (poucos dias), o sistema é deixado secar durante o tempo suficiente para que a capa colmatada forme gretas e irregularidades, tornando-se mais fácil a sua remoção. Por ser um sistema bastante simples começa a ser amplamente usado em países subdesenvolvidos e em zonas rurais, sendo também utilizado em pequenas urbanizações e hotéis (Díaz *et al.*, 2000).

3.5.3. Métodos de Recarga em Profundidade

Estes métodos são mais dispendiosos do que os anteriormente descritos, devido ao facto de que nestes se recorre principalmente á construção de furos, que são posteriormente utilizados para realizar a recarga do aquífero. São aplicados, a terrenos que, em profundidade possuem alternâncias de camadas permeáveis e impermeáveis, isto é, em aquíferos confinados (Díaz *et al.*, 2000), onde não existem solos permeáveis o suficiente ou terreno disponível para utilizar os métodos de superfície, onde a zona vadosa não possui as características adequadas para a aplicação dos métodos de trincheiras ou furos de zona vadosa, ou quando o aquífero é muito profundo (Bouwer, 2002).

Os sistemas de recarga em profundidade (Figura 15) podem ser: os furos de injeção, os furos de armazenamento subterrâneo e de extracção (ASR e ASTR), os furos conjuntivos, as barreiras de infiltração, as grandes cavidades profundas no solo, os drenos e galerias e as valas e sondagens.

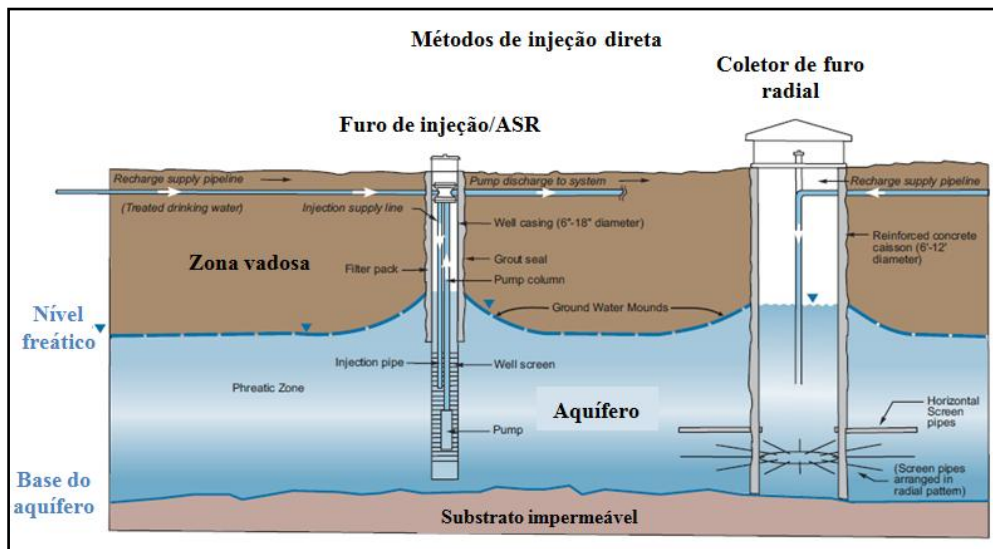


Figura 15 - Sistemas de Recarga em Profundidade (Adaptado de SEWRPC, 2006)

3.5.3.1.1. Furos de injeção

São usados para injetar a água de recarga directamente no aquífero, as condições de aplicação são as referidas anteriormente para os métodos em profundidade. Através deste método é possível a obtenção de elevadas taxas de recarga, idealmente, idênticas às taxas de extracção que o aquífero tem quando é explorado (Kumar e Aiyagari, 1999). Os furos podem ser verticais, horizontais ou radiais.

A água, utilizada na recarga do aquífero deve ser geoquimicamente compatível com a existente no aquífero que está a ser recarregado (Bouwer, 2002).

Como o furo não tem um diâmetro muito grande (área filtrante pequena) é importante que a água de recarga seja de muito boa qualidade e que tenha baixas concentrações de sólidos em suspensão assim como de nutrientes bacteriológicos (Brown *et al.*, 1974) de modo a aumentar a taxa de recarga. Quando estas condições se verificam e quando as formações são suficientemente permeáveis, este método permite que se efetue a injeção da água, durante longos períodos de tempo, sem que se verifiquem diminuições na capacidade de recarga do furo.

Brown *et al.* (1974) referem que mesmo que a água sofra alterações ligeiras de temperatura ou composição química pode ser utilizada para recarregar formações idênticas daquelas em que foi captada.

Os principais problemas deste tipo de método são a colmatção das paredes do furo e a contaminação da água do aquífero, pelo que se torna necessário um pré-tratamento químico da água que é usada na recarga, para prevenir a floculação de ferro e CaCO_3 , entre outros. Clorinação e outros tipos de desinfecção podem ser necessários para prevenir o desenvolvimento microbiano no interior do furo. Outra das soluções para evitar a colmatção das paredes do furo é o funcionamento frequente do furo, Bouwer (2002) sugere 15 min de bombagem, 1 a 3 vezes por dia. Bouwer (2002) dá informação detalhada na determinação do potencial de colmatção da água para furos de injeção.

3.5.3.1.2. Furos de armazenamento subterrâneo e de extracção (ASR e ASTR)

A técnica de ASR (*Aquifer Storage and Recovery*) (Figura 16) consiste na injeção, armazenamento no aquífero, e extracção da água através do mesmo furo.

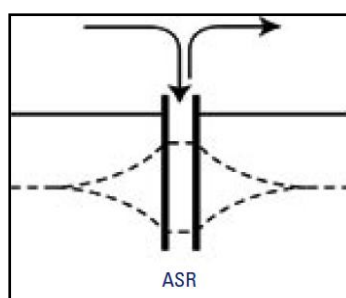


Figura 16 - ASR (*Aquifer Storage and Recovery*) (Retirado de Gale e Dillon, 2005)

O principal objectivo das ASR é o armazenamento de água de alturas onde há excedentes, para extracção em momentos de escassez, como por exemplo (PROWATERMAN, 2008):

- 1) Recarga durante o inverno para extracção no verão (regulação intra-anual);
- 2) Recarga durante anos húmidos para captação em anos secos (regulação inter-anual).

Também é usada esta técnica quando o armazenamento de água á superfície não é possível ou é demasiado caro para que este possa ser aplicado (Bouwer, 2002).

Esta técnica, apresenta grandes vantagens do ponto de vista económico: o mesmo furo serve para recarga e extracção, podendo existir apenas uma estação para o tratamento prévio á recarga e para o tratamento após a captação da água (PROWATERMAN, 2008). O único tratamento por que a água passa após ser extraída é a clorinação (Bouwer, 2002).

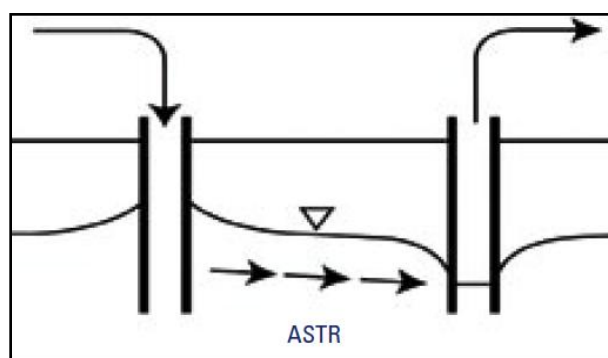


Figura 17 - ASTR (Aquifer Storage Transfer and Recovery) (Retirado de Gale e Dillon, 2005)

A técnica de ASTR (*Aquifer Storage Transfer and Recovery*) consiste na injeção da água num furo e a captação dessa água num furo distinto, a alguma distância do primeiro (Figura 17), o que aumenta o tempo de circulação da água de modo a que esta seja tratada ao longo da passagem pelo aquífero (Gale e Dillon, 2005). Do ponto de vista económico, esta técnica apresenta desvantagens, visto que é necessário um maior investimento inicial, no entanto, os custos do tratamento após a captação poderão ser menores do que na ASR e, desta maneira, essa desvantagem inicial acabar por compensar (PROWATERMAN, 2008). A escolha entre as duas necessita de ponderação de modo a determinar qual a que melhor se adapta às necessidades e aos gastos programados.

Os principais problemas destes tipos de métodos, assim como os tipos de pré-tratamento necessários são semelhantes aos referidos anteriormente para os furos de injeção. No caso da ASR, os custos da prevenção por bombagem são menores já que o mesmo furo é usado para a injeção e extracção da água do aquífero. Mais uma vez é recomendado, assim como nos furos de extracção, um período de bombagem frequente para prevenir a colmatção das paredes do furo.

3.5.3.1.3. Furos Conjuntivos

Um furo conjuntivo é um furo que atravessa duas formações aquíferas sucessivas, existindo tubos ralos em ambas as formações. Este método consiste na extracção de água do aquífero mais profundo de modo a que a sua superfície piezométrica fique mais baixa que o nível freático no aquífero superior, o que faz com que a água do aquífero mais superficial seja drenada para o aquífero mais profundo. A utilização deste método tem como grande vantagem o facto de a água utilizada na recarga não ter as partículas

em suspensão e sedimentos como a usada nos outros métodos, o que faz com que a probabilidade da ocorrência da colmatção das paredes dos furos seja bastante mais baixa (Kumar e Aiyagari, 1997).

3.5.3.1.4. Barreiras de Infiltração

A barreira de infiltração consiste num conjunto de furos, dispostos em linha, paralelos a um rio ou corpo de água próximo que seja usado para recarga do aquífero (Figura 18). A extracção de água pelos furos provoca um rebaixamento do nível piezométrico do sistema aquífero e, conseqüente, percolação da água do rio para o aquífero (Gale e Dillon, 2005). O movimento da água, através do solo, permite a purificação da água, para isso é necessário que os furos estejam localizados a uma distância considerável do corpo de água que está a ser utilizado como fonte de água de recarga.

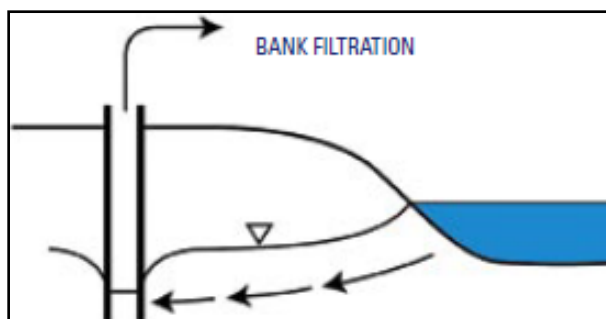


Figura 18 - Barreiras de Infiltração (Retirado de Gale e Dillon, 2005)

O facto da água que está a ser utilizada para a recarga provir de rios ou de lagos faz com que esta tenha frequentemente material em suspensão que, como já foi referido anteriormente, é uma das causas para a colmatção tanto dos furos como, no caso dos métodos à superfície das superfícies de infiltração. Neste caso em particular, como a água circula pelo solo antes chegar ao furo de captação fica purificada, no entanto forma-se uma camada fina de argila/silte no leito do corpo de água, geralmente esta camada pode ser retirada por raspagem durante épocas em que o nível da água é mais baixo (Gale e Dillon, 2005).

3.5.3.1.5. Grandes cavidades

Consiste no aproveitamento de grandes cavidades calcárias, como algares e dolinas, para recarregar o aquífero por introdução de água nas mesmas (Díaz *et al.*, 2000).

3.5.3.1.6. Drenos e Galerias

Consiste no aproveitamento de poços onde se constroem drenos e galerias, por onde se introduz a água (Díaz *et al.*, 2000).

3.5.3.1.7. Valas de Sondagem

Consiste na construção de uma grande vala de infiltração, pouco profunda, que é preenchida com gravilha calibrada. Dentro da vala constroem-se sondagens de recarga. (Díaz *et al.*, 2000).

3.5.4. Métodos combinados de recarga artificial

Na maior parte dos casos é usada uma combinação de métodos de modo a tornar mais eficiente a recarga artificial.

Bouwer (2002) refere que, sempre que possível é preferível utilizar os métodos de recarga que consistem na infiltração da água de recarga á superfície, já que nestes é possível ter um melhor controlo sobre a colmatação e também oferecem um tratamento da água mais eficiente, pela passagem pelo solo.

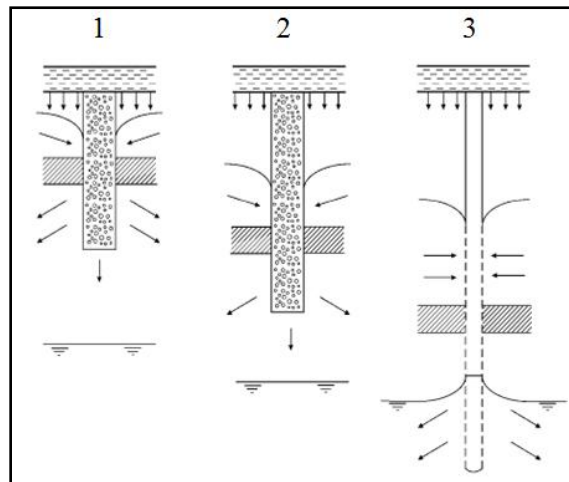


Figura 19 – Métodos Combinados de Recarga Artificial - (1) Valas de Infiltração, (2) Poço de Zona Vadosa, (3) Poço em Profundidade (retirado de Bouwer, 2002)

No caso de existirem solos permeáveis á superfície ou a profundidades escaváveis a água é infiltrada directamente para os solos mais grosseiros. Quando existem, em profundidade, camadas de material mais fino estas dificultam a infiltração da água, podendo criar um nível aquífero suspenso. Neste caso podem utilizar-se métodos de infiltração à superfície desde que se construam sistemas de infiltração vertical ao longo da camada que impede a circulação da água. (Figura 19) Este tipo de sistema tem como vantagem o facto de a água ser purificada (pré-filtrada) na passagem pelo solo e pela camada impermeável o que faz com que o potencial de colmatação seja reduzido.

Bouwer (2002) refere que em qualquer dos casos, mesmo quando a parte inferior do sistema já está em contacto com o nível aquífero, é vantajosa a bombagem regular dos poços. Assinala ainda que deve ser tida em consideração a qualidade da água existente acima da camada impermeável.

Tal como Bouwer (2002) refere: “A regra de ouro na recarga artificial é começar pequeno, aprender á medida a que se avança e expandir quando, e se for necessário”

3.6. Origem da água de recarga

Dois dos pré-requisitos básicos para a elaboração de um projecto de recarga artificial são: a existência no local ou obtenção de uma quantidade suficiente de água para utilizar na recarga do aquífero e o conhecimento da qualidade físico-química da mesma. A origem da água a ser utilizada, na recarga artificial dos aquíferos, pode ser variada:

- As águas pluviais da bacia hidrográfica ou da área onde se irá instalar o sistema de recarga, que são em alguns países recolhidas em valas, bacias ou reservatórios (Tood, 2005)
- Água proveniente de um rio ou nascente próximos (CGWBMWR, 2007);
- Água superficial, disponibilizada a partir de grandes reservatórios localizados dentro da bacia hidrográfica (barragens, entre outros) ou transferida de outras bacias hidrográficas (CGWBMWR, 2007);
- Água superficial, de uma fonte de água distante, onde a água de recarga é importada para a região onde será instalado o sistema de recarga por via subterrânea (condutas de água) ou aérea (aqueduto) (Tood, 2005).
- Água subterrânea, proveniente de outro aquífero (CGWBMWR, 2007);
- Águas residuais domésticas municipais ou águas residuais industriais, tratadas antes de serem utilizadas na recarga (CGWBMWR, 2007), estas podem ser utilizadas para recarga directa ou misturadas com água de outra fonte (Diamantino, 2009);

De modo a ser possível ter uma avaliação realista da fonte de água para a realização da recarga, é necessário ter acessos alguns dados, tais como CGWBMWR (2007):

- Quantidade de água excedentária disponível para a recarga;
- Duração da disponibilidade da fonte de água;
- Qualidade da água da fonte e o pré-tratamento necessário;
- O sistema necessário para trazer a água para o local onde se irá instalar o sistema de recarga artificial.

3.7. Recarga Artificial no Mundo

A recarga artificial começou a ser utilizada, na Europa no século 19, para um uso sustentável da água principalmente em áreas agrícolas, desde essa altura, este método tem visto uma grande amplificação, por todo o mundo (Tood e Mays, 2005). Hoje em dia, com o aumento da população, verifica-se um aumento das necessidades de água, o que torna ainda mais importante a preservação e gestão deste recurso. Este tipo de métodos assume maior importância, especialmente em zonas áridas e semiáridas onde este recurso é escasso, nestes locais, onde existem possibilidades para tal, este tipo de método está bastante desenvolvido (Tood e Mays, 2005).

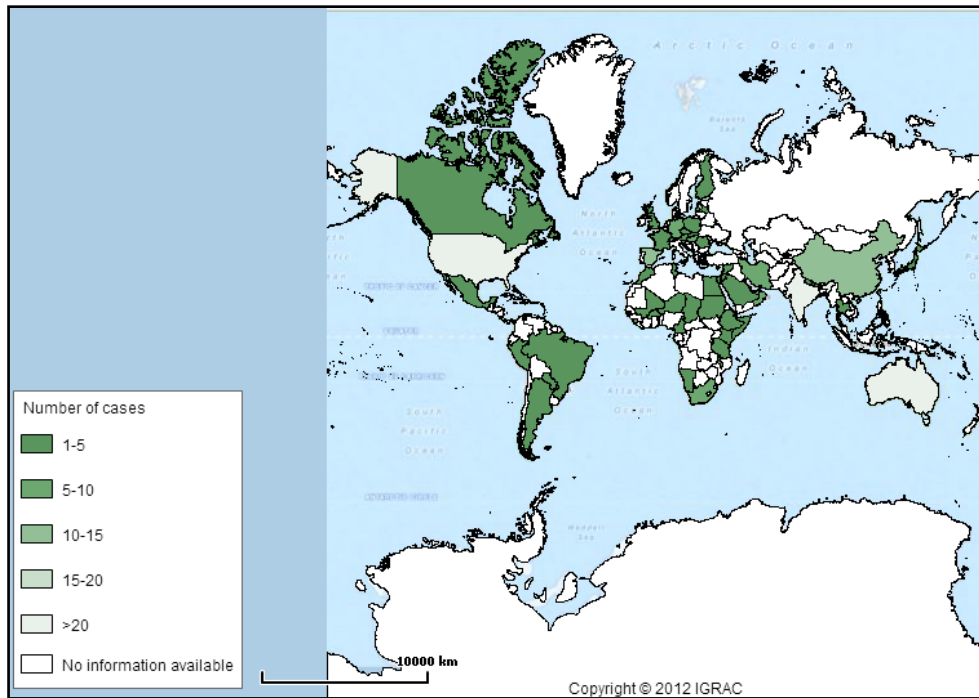


Figura 20 - Número de casos conhecidos de recarga artificial (Retirado de [9])

Esta é atualmente, uma prática comum de gestão dos recursos hídricos em vários países (Figura 20), devido às diversas vantagens que apresenta. Exemplos de sucesso são referidos por Brown *et al.* (1973) em Israel, Reino Unido e nos Estados Unidos da América. Para além destes, vários países europeus e do médio oriente, utilizam a recarga artificial como um meio de desenvolvimento sustentável.

Os projetos financiados pela União Europeia sobre esta temática tem sido vários, mas os principais e mais recentes foram:

- RECLAIMWATER (2005-2008);
- GABARDINE (2005-2008);
- AQUASTRESS. (2005 - 2009)

Outro projeto que foi realizado no âmbito do estudo e aplicação de métodos de recarga artificial foi o ASEMWATERNET (2006-2008), que correspondeu a um plataforma de cooperação científica e tecnológica com múltiplos parceiros europeus e asiáticos.

3.8. Recarga Artificial em Portugal

Em Portugal, o estudo da recarga artificial de sistemas aquíferos está pouco avançado, existindo poucos trabalhos desenvolvidos neste tema, há referência a cinco casos, em Portugal:

1) Referido por Rosa (1997 *in* Ferreira da Silva, 2003), pertencente a um estudo dos Serviços Municipalizados de Portimão para a recarga do sistema aquífero da Mexilhoeira Grande-Portimão, com água de recarga proveniente da ribeira da Torre sendo a recarga feita através furos. Este nunca chegou a ser aplicado (PROWATERMAN, 2008);

2) A dissertação “Gestão otimizada à escala regional de sistemas aquíferos potencialmente sujeitos à intrusão salina” de Ferreira da Silva (2003), onde, aproveitando o estudo anterior, estudou o efeito que a recarga artificial teria nas quantidades máximas a extrair no aquífero, de modo a manter o controlo da intrusão salina. Neste trabalho, Ferreira da Silva, definiu os locais de implantação dos furos de recarga, recorrendo a metodologias de otimização-simulação da intrusão salina (PROWATERMAN, 2008);

3) Um caso pontual em Mértola, referido por Malheiro (2005) que inclui várias operações de recarga directa, em furos de abastecimento, sendo a água de recarga proveniente do rio Guadiana e tendo sido sujeita a um tratamento prévio (PROWATERMAN, 2008);

4) A dissertação de mestrado de Oliveira (2007), que incluiu um estudo teórico do sistema aquífero Querença-Silves no âmbito da parceria internacional ASEMATERNE. Este trabalho visou a possibilidade da aplicação de recarga artificial com excedentes da ribeira do Arade em anos húmidos, para posterior captação em anos secos (PROWATERMAN, 2008);

5) O estudo experimental do projeto GABARDINE, no sistema aquífero da Campina de Faro (Lobo Ferreira, 2008), utilizado para o desenvolvimento da dissertação de Doutoramento de Diamantino (2009). Neste projecto, foi estudada a aplicação de métodos de recarga artificial no sistema aquífero da Campina de Faro, como forma recuperação das qualidades químicas do aquífero, visto este ter integrado em 2004 a zona vulnerável de Faro relativamente à concentração de nitratos (PROWATERMAN, 2008).

3.9. Realização de um Projecto de Recarga Artificial

A probabilidade de sucesso da implementação de um sistema de Recarga Artificial pode ser maximizado seguindo um processo lógico de selecção, avaliação dos projectos e métodos a aplicar. Tendo como base exemplos de sistemas bem-sucedidos e comparando-os com outros com pouco sucesso, é possível produzir, logo de início, um plano que se adegue ao local em causa. Assim, o estudo de anteriores Projectos de Recarga Artificial é importante para um bom desenvolvimento do projecto. Para este efeito é realizado um Plano do Projecto de Recarga Artificial em que são tidos em conta todos os aspectos relevantes e essenciais para o bom funcionamento do sistema a longo prazo. Este deve ser feito de um modo faseado.

O Planeamento de um Projecto de Recarga Artificial é um processo iterativo, que se inicia com conceitos baseados em informações gerais conhecidas e que, à medida que o mesmo avança, são aprofundadas havendo um aumento no detalhe do conhecimento que se possui da área. Deste modo é possível alterar os planos de imediato, sempre que se verifiquem problemas. Apesar de os diferentes locais apresentarem diferentes características, as actividades inerentes ao planeamento de projectos de Recarga Artificial são, na maior parte dos casos, semelhantes servindo de base para o projecto em causa (ASCE, 2001).

No “*Standard Guidelines for Artificial Recharge of Ground Water*” (ASCE, 2001) estão indicadas as seguintes fases de Plano do Projecto de Recarga Artificial:

- Actividades preliminares:
 - Recolha e organização de dados, avaliação de recursos, avaliação de diferentes locais, estudos preliminares;
 - Plano conceptual, avaliação ambiental (Estudo de Impacto Ambiental (EIA)), envolvimento público.
- Investigação de campo e programas de teste (sistemas piloto);
- Projecto do sistema de recarga:
 - Projecto preliminar, relatórios de engenharia e ambientais (EIA);
 - Projecto final, rascunho do relatório final, discussão pública,
 - Relatório final;
- Construção do sistema de recarga e início do seu funcionamento;
- Manutenção, revisão e, se necessário, alteração do projecto;
- Encerramento.

Nem todas estas fases são obrigatórias, isto é, consoante cada caso e, sempre que se considere necessário, é possível acrescentar ou em alguns casos eliminar ou restringir certas actividades. Durante o planeamento/realização do projecto é essencial ter em conta a componente ambiental, sob a forma de Estudos de Impacto Ambiental (EIA), cujos relatórios devem estar disponíveis desde a fase de conceptualização do sistema. É igualmente importante que a equipa que realiza o planeamento seja multidisciplinar, para que todos os aspectos do sistema sejam considerados, incluindo engenheiros, hidrogeólogos, engenheiros de recursos hídricos, entre outros. Estes membros devem ter conhecimentos sobre física do solo, escoamento da água subterrânea, geoquímica, qualidade da água, processos de tratamento de água, operações de serviços públicos, hidráulica, modelação matemática do escoamento subterrâneo, economia, química da água e projecto de condutas, estações de bombeamento e elementos relacionados com os sistemas de serviços públicos de água. Além destes também serão necessários outros especialistas que possam abordar as questões ambientais, reguladoras, arqueológicas, comunicação com o público, entre outras. Quando estas questões não são tidas em consideração nas fases conceptuais e de planeamento do programa pode originar correções dispendiosas numa fase mais avançada e, eventualmente, mesmo a falha do programa (CGWBMWR, 2007).

Antes do desenvolvimento de um projeto de Sistema de Recarga Artificial devem avaliar-se as seguintes condições, de modo a que ele possa ser viabilizado (NHDES, 2012):

1) A água recarregada artificialmente não causa reações geoquímicas no subsolo, que impactem negativamente a qualidade da água do aquífero.

2) O projecto de recarga artificial cumpre o objectivo da sua construção, quer este seja o aumento da quantidade de água disponível, quer seja o melhoramento da qualidade da água subterrânea.

3) A construção, operação e manutenção do projecto de recarga artificial são tecnicamente viáveis.

No CGWBMWR (2000) são referidos vários passos para o planeamento de um projecto de recarga artificial, tais como:

- Identificação das lacunas de dados referentes a informação de base e realização das investigações necessárias para a sua obtenção;
- Uso de dados de base sobre: topografia, pluviosidade, hidrogeologia, características do aquífero, disponibilidade de fontes de água a usar na recarga; identificação dos métodos mais adequados;
- Com referência às condições locais da área, identificação das técnicas de recarga artificial mais adequadas aos diferentes locais;
- Determinação do número necessário de cada tipo de estruturas de recarga artificial para alcançar os objectivos quantitativos;
- Finalização das especificações do projecto, para cada estrutura a ser construída;
- Finalização da concepção do sistema de transporte necessário para transportar a água ao local de recarga e o respectivo tratamento, necessário para que esta possa ser utilizada;
- Planeamento do sistema de monitorização necessário para avaliar a eficiência do sistema de recarga;
- Avaliação da viabilidade económica do projecto.

Independentemente do terreno de implantação, são necessários vários dados concretos, de modo a ser possível um bom planeamento de projectos de recarga artificial. Para obtenção desses dados são realizados estudos que permitem dar a conhecer as características das formações de sub-superfície (em profundidade). De acordo com o *Manual on Artificial Recharge of Ground Water* da *Central Ground Water Board Ministry Of Water Resources* (CGWBMWR, 2007), os estudos podem ser agrupados, em dois grupos: Estudos Gerais e Estudos Detalhados.

3.9.1. Estudos gerais

São aqueles que são usados para analisar a necessidade e a possibilidade da recarga artificial na área. É nesta fase que são escolhidas áreas em que é favorável a construção dos sistemas de recarga e que, posteriormente, serão alvo de estudos mais detalhados com o objectivo de determinar dentro destas o local onde a recarga terá um maior sucesso. É feita uma síntese das informações pré-existentes, relevantes para a água subterrânea, tais como (CGWBMWR, 2007):

- Todas as fontes de recarga como rios, tanques, canais, entre outras;
- Padrão de distribuição das chuvas;
- Parâmetros hidrogeológicos com ênfase nas características litológicas,
- Natureza do terreno;
- Intensidade de práticas de desenvolvimento de água do solo e irrigação;
- Qualidade química das águas superficiais e subterrâneas.

Quando estes dados não se encontram disponíveis ou quando apresentam lacunas é necessária a realização de estudos mais detalhados.

3.9.1.1. Escolha do local de instalação do sistema

Os projectos de recarga artificial devem ser realizados de acordo com o local em causa, mesmo em situações em que já existam outros sistemas de recarga. O projecto deve basear-se em projectos com condições semelhantes no que diz respeito às características do terreno em causa (CGWBMWR, 2000).

3.9.2. Estudos Detalhados

São utilizados, depois da determinação da necessidade da recarga, para estudar em detalhe as áreas que, na fase de estudos gerais foram identificadas com possíveis para a instalação dos sistemas. Deste modo identifica-se com exactidão o local mais favorável para a instalação dos sistemas, assim como a viabilidade dos mesmos. De acordo com CGWBMWR (2007) as técnicas a serem utilizadas são: Análise de Imagens de Satélite, estudos hidrometeorológicos, estudos hidrológicos, estudos geofísicos, estudos hidrogeológicos e estudos hidroquímicos.

3.9.2.1. Análise de Imagens de Satélite

Os métodos de Análise de Imagens de Satélite permitem identificar os vários parâmetros base que controlam a ocorrência e movimento da água subterrânea, sendo estes: a geologia, unidades geomorfológicas, alinhamentos, características estruturais, tipo de solo, uso do solo, cobertura do solo, entre outros. Estas características são observáveis em mapas de imagens de satélite (ex.: *Google Earth*) ou em fotografias aéreas, quando estas se encontram disponíveis. Este método é muito útil na monitorização, conservação e avaliação dos recursos de água subterrâneos. O estudo sistemático destes factores oferece uma ideia mais concreta das áreas que são mais

apropriadas para a implementação dos sistemas de recarga artificial e que, posteriormente, serão sujeitas a outros estudos de modo a aprofundar o conhecimento da área escolhida. Também ajudam a determinar os tipos de sistemas que melhor se aplicam à área. Contudo, estas informações devem ser complementadas por estudos de campo, mapas geológicos e mapas topográficos existentes (CGWBMWR, 2007).

3.9.2.2. *Estudos Hidrometeorológicos*

São aqueles em que se estuda o padrão de precipitação, assim como as taxas de evaporação e características climatológicas gerais, que são dos parâmetros mais importantes para o planeamento correcto dos esquemas de recarga artificial. Estes estudos baseiam-se em informação detalhada, referente à quantidade, duração e intensidade da chuva numa determinada área que é um pré-requisito necessário para o bom planeamento dos esquemas de recarga (CGWBMWR, 2007).

A média da precipitação a longo prazo é um parâmetro importante na determinação da capacidade que as estruturas de recarga deverão ter e os dados de evaporação são úteis para obter valores potenciais de perdas nos sistemas de recarga superficiais. Estes dados podem ser diários, mensais ou sazonais e ajudam na identificação dos esquemas de recarga mais efectivos. O período de recarga com o mínimo possível de perdas também pode ser determinado a partir destes valores (CGWBMWR, 2000).

3.9.2.3. *Estudos hidrológicos*

Estes estudos são úteis na determinação da disponibilidade de água para a recarga do aquífero, sendo efectuados na área onde se pretende construir os sistemas de recarga. Nestes inclui-se o estudo da água a ser utilizada na recarga, determinando qual a melhor opção, das referidas anteriormente, bem como (CGWBMWR, 2000):

- Quantidade e qualidade da água a ser utilizada na recarga artificial do aquífero e, conseqüentemente, no caso de qualidade deficiente, o pré-tratamento necessário para que esta possa ser utilizada;
- A disponibilidade temporal da fonte (no caso de não ser uma fonte permanente, como por exemplo um rio);
- Meios necessários para o transporte da água para o local.

3.9.2.4. *Estudos de infiltração do solo*

São realizados quando são utilizados sistemas de recarga por infiltração, tais como: represas de armazenamento de areia (*sand storage dams*), lagos de percolação ante represa, represas subterrâneas, represas com descarga, bacias de infiltração, entre outros. A infiltração pode ser definida como “o processo em que a água entra no solo através da superfície deste”, assim é necessário distinguir entre este processo e a percolação que é, por definição, o movimento da água no solo. Estes dois processos estão ligados, já que, sem uma boa movimentação da água pelo solo a água que se infiltra não é removida da parte mais superficial do solo (CGWBMWR, 2000).

Para que as taxas de infiltração sejam conhecidas são efectuados testes de infiltração. Estes testes são realizados com auxílio de infiltrómetros. São então criados mapas de taxas de infiltração que ajudam a entender exactamente quais as estruturas de recarga mais adequadas para o local em causa, assim como ter uma ideia dos valores de infiltração espectáveis das estruturas de recarga nesses locais (CGWBMWR, 2000).

3.9.2.5. Estudos hidrogeológicos

O conhecimento da hidrogeologia é essencial para que a implementação do esquema seja bem-sucedida. Através dos mapas geológicos é possível ter informação sobre a localização das diferentes litologias, a sua sequência, contactos entre as diferentes litologias e também elementos estruturais tais como, falhas, dobras, corpos intrusivos, assim como correlacionar a topografia e drenagem com os contactos geológicos. Para este efeito é necessário que os mapas possuam a informação relativa das características geológicas e das formações aquíferas, como também o seu potencial de armazenamento e padrão geral de circulação da água no aquífero. Um mapa que evidencie a qualidade química da água subterrânea também é útil neste tipo de estudos.

3.9.2.5.1. Mapa Hidrogeológico Detalhado

Para que seja possível determinar o regime de escoamento da água subterrânea e a sua capacidade para aplicação de sistemas de recarga é utilizado um mapa hidrogeológico detalhado, a partir do qual se preparam os seguintes mapas (CGWBMWR, 2007):

1. Mapa das unidades hidrogeológicas: elaborado de acordo com a sua capacidade de suporte de água;
2. Mapas piezométricos: cuja finalidade é determinar a geometria do aquífero e a conexão hidráulica entre águas subterrâneas e massas de águas superficiais como rios, tanques e canais;
3. Mapas com a profundidade da água no aquífero: para os períodos de máxima, mínima e média posição anual do aquífero;
4. Mapas com as amplitudes de variação do nível de água;
5. Mapas com os níveis piezométricos e as suas variações com o tempo;
6. Mapas com a qualidade química das águas subterrâneas.

Estes mapas devem ser abordados de modo combinado, uma vez que, desse modo proporcionam um maior conhecimento e compreensão da área. A partir destes é possível determinar (CGWBMWR, 2007):

- A existência de possíveis lacunas nos dados sobre a geologia de sub-superfície;
- Se os dados disponíveis sobre os parâmetros do aquífero são suficientes;
- Se as estruturas de águas subterrâneas (furos e piezómetros) disponíveis são suficientes para monitorizar os impactos da recarga artificial.

3.9.2.5.2. Geometria do Aquífero

Os dados sobre as unidades hidrogeológicas sub-superfície, a sua espessura e profundidade de ocorrência, são necessários para determinar a disposição e as propriedades hidráulicas dos aquíferos presentes na área.

3.9.2.6. Estudos geofísicos

O principal objectivo da aplicação de métodos geofísicos é a selecção do local apropriado para estudos de recarga artificial, já que estes permitem ter uma visão real da geometria da formação aquífera, bem como de algumas características físicas. Para além de ajudar na determinação da área mais favorável à recarga, auxiliam na escolha do tipo de sistema de recarga que melhor se adequa. Estes servem de complemento aos dados recolhidos nos estudos hidrogeológicos (CGWBMWR, 2007).

No contexto da recarga artificial, os estudos geofísicos são particularmente úteis na determinação dos seguintes aspectos:

- Estratificação dos sistemas aquíferos e variabilidade espacial da sua condutividade hidráulica;
- Zonas não-produtivas, ou seja, de baixa condutividade hidráulica, nas zonas saturadas e não saturadas;
- Estruturas que originem descontinuidades verticais de condutividade hidráulica, tais como filões, falhas, entre outras;
- Direcção do fluxo de água do solo sob processos de recarga, natural e artificial;
- Variação do teor de sais dissolvidos na água subterrânea.

3.9.2.7. Determinação do potencial de recarga da formação aquífera

Através dos levantamentos hidrogeológicos e geofísicos, pode avaliar-se o potencial de recarga artificial que a formação aquífera possui. Este é determinado através da espessura da zona não saturada e é dado em termos de volume de água total.

3.9.2.8. Estudos Hidroquímicos

O conhecimento da qualidade química e bacteriológica da água de recarga é importante, pois esta geralmente requer um tratamento prévio, e este, tem de ser tido em conta no planeamento do projecto. No decorrer da infiltração da água ocorrem alterações na estrutura do solo, tais como: fenómenos biológicos e interacção entre as duas águas (a de recarga e a água da formação aquífera). Esta interacção deve ser tida em conta, para que não ocorram alterações significativas na composição e para que não se formem precipitados indesejados (CGWBMWR, 2007). Estas possíveis reacções (água-rocha e água-água) podem ser simuladas em programas de modelação geoquímica tais como o *PHREEQC for Windows*® ou *PHREEQC I*®, entre outros.

Quando se pretendem aplicar técnicas de recarga directa, o estudo detalhado da qualidade da água da fonte é de grande importância. Quando a água utilizada é proveniente de precipitação *in situ* ou de origens superficiais não existem grandes restrições devido à qualidade da água. No entanto, nos casos em que são utilizadas águas do curso inferior dos rios ou águas residuais, quer sejam municipais quer industriais, o estudo da qualidade tem que ser mais cuidadoso. A análise prévia é necessária também para determinar a necessidade e o tipo de pré-tratamento requerido (CGWBMWR, 2007).

3.9.2.9. Sólidos suspensos que poderão colmatar o solo

A colmatção é uma situação que poderá pôr em causa o funcionamento do sistema de recarga artificial, quer este seja superficial ou em profundidade. É essencial que a água utilizada na recarga não tenha material em suspensão (ex.: siltes). No “*Guide On Artificial Recharge To Ground Water*” (CGWBMWR, 2000) os siltes são descritos como “...o teor de matéria sólida não dissolvido, normalmente medido em mg/l, que se instala em água estagnada com velocidades que não excedam 0,1 m/h...”. Referem ainda um valor de “...10 - 12 mg/l de sólidos em suspensão que se pode atingir recorrendo á adição novos de floculantes e também à agitação da água...”. Estas partículas podem-se acumular tanto à superfície, formando uma camada de lama, como podem penetrar no solo e acumular em profundidade, provocando a sua colmatção.

Segundo Martin (2013) existem quatro tipos principais de colmatção dos sistemas de recarga artificial:

1. **Química:** inclui a precipitação de elementos como o ferro e o alumínio, dissolução da matriz da formação aquífera e variações de temperatura;
2. **Física:** inclui sólidos em suspensão, migração de finos intersticiais (ilite ou esmectite), fracturação do aquífero, quer intencional, isto é, durante a furação do furo, quer por fracturação natural do aquífero;
3. **Mecânica:** entrada de ar ou de gás;
4. **Biológica:** crescimento de algas ou de bactérias reductoras de ferro e sulfatos.

Para minimizar os efeitos da colmatção são utilizados os seguintes métodos (CGWBMWR, 2000):

- Remoção periódica da lama da camada superficial, por raspagem;
- Instalação de um filtro sobre a superfície, com uma permeabilidade menor do que a das camadas naturais, devendo ser substituído periodicamente;
- Adição de compostos químicos á camada mais superior;
- Cultivo de plantas para a protecção do sistema.

A prevenção é a forma mais efectiva de controlar a colmatção. Martin (2013) refere que esta prevenção deve começar com o pressuposto inicial de é tido como certo que a

colmatação irá de facto ocorrer, durante a vida operacional de um sistema de recarga artificial.

3.9.3. Dimensionamento e Projecto dos sistemas de recarga

Dois dos aspectos a ter em conta na determinação das dimensões de um sistema de recarga artificial são: as características hidráulicas do terreno e as características hidrodinâmicas do aquífero. Estas determinam o tipo de sistema a aplicar: de superfície ou em profundidade. As condições para o uso de cada um deles são referidas anteriormente.

No caso de sistemas de superfície o factor condicionante na dimensão dos sistemas é a taxa de infiltração, que pode ser determinado pela razão entre o caudal infiltrado e a superfície de infiltração (Díaz *et al*, 2000).

Segundo Massmann (2003) devem ser consideradas as etapas abaixo enumeradas para o dimensionamento de sistemas de recarga superficial, mais particularmente para o caso de Bacias de Infiltração:

1. Determinação do volume de água infiltrada no sistema de recarga;
2. Escolha da geometria e determinação da profundidade da bacia de teste;
3. Caracterização e recolha de amostras da zona de sub-superfície;
4. Determinação da condutividade hidráulica na zona saturada, a partir de informações de amostras de solo, através de testes laboratoriais ou ainda através de medições de campo;
5. Determinação do gradiente hidráulico;
6. Determinação da taxa de infiltração, através do produto do gradiente hidráulico pela condutividade hidráulica;
7. Aplicação de factores de correção, por incrustação, assoreamento e geometria da bacia;
8. *Design* considerando hidrogramas de evento único;
9. *Design* considerando hidrogramas de uso continuado;
10. Aplicação de modelação matemática para a melhoria do *design* da bacia de infiltração;
11. Avaliação da bacia após a sua construção.

Díaz *et al.*, (2000) referem ainda que neste tipo de sistemas a recarga é feita em períodos de inundação e que a estes se seguem períodos de secagem para que seja possível proceder á raspagem da camada depositada e, conseqüentemente, ao aumento da taxa de infiltração. Para a aplicação destes métodos, devido ao facto de necessitarem destes cuidados, torna-se necessária a existência de várias bacias de infiltração alternativas, para que o processo de recarga possa ocorrer de forma contínua.

No caso de sistemas em profundidade, torna-se necessário determinar o número de furos necessários para produzir um caudal de recarga específico, o qual é calculado pela

razão entre o caudal de injeção e a subida de nível no interior de cada furo (Díaz *et al.*, 2000).

Como já foi referido anteriormente, a colmatação dos sistemas de recarga é um factor que reduz as taxas de caudais específicos, isto faz com que os valores calculados não sejam constantes à medida que se avança no processo de recarga (Díaz *et al.*, 2000). Ainda de acordo com o mesmo autor, isto faz com que seja possível manter os valores das taxas de infiltração, desde que se aumentem, no caso de sistemas de recarga superficiais as dimensões ou, no caso de sistemas em profundidade, o número de furos de recarga dos sistemas. A aplicação de métodos de prevenção e remoção da colmatação também auxiliam na manutenção das taxas de infiltração ao longo da vida útil dos sistemas.

3.9.4. *Instalações auxiliares do sistema de recarga*

Independentemente do tipo de sistema de recarga escolhido são necessárias instalações auxiliares para garantir o bom funcionamento do mesmo. Estas incluem dispositivos de decantação e de sedimentação. No caso de sistemas de grandes dimensões podem ser utilizados filtros no fundo do sistema, tal como referido anteriormente. O material filtrante pode ser de diferentes naturezas e granulometrias, podendo variar desde cascalho, mais permeável que o terreno natural, a areia fina, com uma permeabilidade igual ou inferior a do terreno

Diferentes filtros obrigam a diferentes procedimentos posteriores, como por exemplo (Díaz *et al.*, 2000):

- Filtros mais grosseiros: são mais permeáveis, resultando numa maior taxa de infiltração. Há passagem de material fino no solo, o que faz com que haja a necessidade de retirar o filtro, assim como uma pequena porção do terreno subjacente, de modo a proceder à substituição do material filtrante e da zona na qual o material mais fino se começou a acumular e a, conseqüentemente, colmatar o sistema.
- Filtros mais finos: com uma taxa de infiltração menor, provocam uma rápida colmatação do sistema. O método necessário para a remoção da camada colmatante, que neste caso tem apenas poucos centímetros consiste na remoção de uma pequena camada do material filtrante.

Díaz *et al.* (2000) refere que no caso de furos de injeção ou na generalidade dos métodos em profundidade, deve ser evitada a injeção de ar, directo ou por vaporização. Assim sendo a água deverá ser injectada abaixo do nível piezométrico, de modo a evitar depressões piezométricas. Os autores referem também que o ar deverá ser evacuado com o auxílio de brocas de aspiração.

3.9.5. *Métodos e equipas de controlo e de acompanhamento*

O controlo do funcionamento dos sistemas é essencial para que a sua aplicação seja correcta e os objectivos alcançados. Este controlo serve para avaliar os efeitos que a

recarga tem na água subterrânea, quer em termos de quantidade quer em termos de qualidade. Estes auxiliam na gestão do processo de recarga e na eventual recuperação da água recarregada.

Os parâmetros a que se deve dar maior destaque neste controlo são o nível piezométrico e a composição química, para o caso da água subterrânea e o caudal e a qualidade da água, no caso da água de recarga.

Este controlo pode ser feito em modo contínuo ou descontínuo. No primeiro caso a informação obtida é mais completa e permite ter acesso a dados pontuais que de outro modo não seriam possíveis de obter. São utilizados caudalímetros, cuja tipologia e características variam de acordo com a dimensão e tipo de condução por onde circula a água de recarga assim como o caudal circulante e a quantidade de sólidos em suspensão do mesmo, e sondas de registo contínuo, estas também controlam a condutividade e a temperatura. Os níveis piezométricos podem ser medidos com sondas automáticas, instaladas em piezómetros construídos propositadamente para o efeito. Podem também ser instalados turbidímetros que medem a quantidade de sólidos em suspensão que a água contém. Assim, é possível que, quando este valor é superior ao pré-determinado para o bom funcionamento do sistema, seja possível desviar o curso da água de modo a não comprometer o sistema (Díaz *et al.*, 2000).

3.9.6. *Instalações de transporte da água de recarga*

Estas são necessárias para conduzir a água de recarga desde a sua origem até ao local onde se encontra instalado o sistema de recarga artificial, podem ser: condutas, canais, valas, entre outros. (Díaz *et al.*, 2000).

3.9.7. *Avaliação económica*

A viabilidade económica é outro parâmetro que deve ser determinado antes de ser tomada uma decisão em relação à implementação de qualquer esquema de recarga artificial. Todos os custos possíveis devem ser tidos em conta, tais como: pesquisa, água para a recarga, o transporte e tratamento que pode ser necessário antes da sua utilização da água no sistema de recarga, a construção das estruturas de recarga, assim como a operação e manutenção das mesmas. Os benefícios devem ser registados e avaliados de modo a que possa ser decidido se o plano é viável. Antes de decidir a atribuição de fundos para este tipo de obra terá sempre de ter, uma análise de custo-benefício a qual consiste na quantificação das implicações do projecto em si, sendo realizada antes de ser tomada a decisão de investir no projecto. A avaliação económica do projecto é feita para analisar o desempenho e os efeitos do mesmo, desde antes da sua execução e até depois de este ter sido completado (CGWBMWR, 2007).

A avaliação do custo do projecto deve ter três componentes (CGWBMWR, 2000):

- Custo do esquema de recarga;
- Custo do fornecimento da água para recarga;
- Custo de operações de manutenção do sistema de recarga.

3.9.8. Finalização do Plano

A finalização do plano físico para recarga artificial envolve as seguintes etapas (CGWBMWR, 2007):

- I. Elaboração do plano de *layout* da área do projeto, à escala adequada, que mostre a localização de estruturas/sistemas de recarga propostas e dos sistemas de transporte da água desde a origem;
- II. Determinação do número de estruturas necessárias para recarga;
- III. Identificação de locais experimentais das estruturas propostas;
- IV. Preparação de especificações de projeto e desenhos;
- V. Calendarização das várias etapas do plano com vista à sua conclusão;
- VI. Planeamento de aspectos financeiros, tais como: fonte de recursos, atribuições exigidas em várias etapas, escalas de reembolso;
- VII. Identificação da agência para a execução do programa.

3.10. Determinação das taxas de infiltração

A taxa de infiltração é definida por Bouwer (1999) como o “*volume de água que se infiltra no solo ou aquífero por unidade de área de infiltração e por unidade de tempo*”. A sua dimensão depende das unidades de volume, área e tempo utilizadas: cm/h ou m/dia.

A determinação das taxas de infiltração é, como já foi referido anteriormente neste capítulo, essencial para o dimensionamento dos sistemas de recarga por infiltração à superfície. Prever e controlar as taxas de infiltração são dos aspectos mais importantes no planeamento, construção e manutenção dos sistemas de recarga. É este valor que determina qual a área que o sistema deve ter para que seja introduzida a quantidade de água necessária, no intervalo de tempo pretendido, e no caso de a área ser restrita, determinar qual o volume de água que pode ser recarregado no espaço disponível para o efeito. Também é desta maneira possível determinar qual a quantidade de água que, por uso de sistemas de recarga superficiais é perdida por evaporação (Bouwer, 1999). O mesmo autor indica ainda os valores típicos de taxas de infiltração para bacias: 0,3 a 3 m/dia sendo que a maioria está no intervalo de 0,5 a 1,5 m/dia.

O valor que se pretende determinar, nos casos em que os sistemas têm um funcionamento que dura todo o ano, é o valor da taxa de infiltração a longo prazo. Estas taxas também consideram o tempo gasto na feita a manutenção dos sistemas de recarga. Estas são designadas na literatura inglesa como *hydraulic loading rates* e serão referidas neste trabalho como taxas de carga hidráulica. Estas taxas de carga hidráulica têm uma variação considerável, podendo ir dos 30 m/ano aos 500 m/ano dependendo das condições do meio (tipo de solo, qualidade da água de recarga e clima). Esta taxa deve ser conhecida ou pelo menos estimada de modo a ser possível determinar a quantidade

de água que anualmente pode ser infiltrada no solo, na área de recarga (Bouwer, 1999). O mesmo autor refere que, ao calcular estas taxas de carga hidráulica, as perdas por evaporação podem ser negligenciadas uma vez que variam de 2 m/ano a 0,5 m/ano em climas quentes e secos e em climas húmidos e frescos, respectivamente.

Para sistemas de infiltração superficiais em solos uniformes, sem superfícies de colmatação, Bouwer (1978) (*in* Bouwer, 1999) considera que as taxas de infiltração são iguais às condutividades hidráulicas verticais dos solos atravessados. São tidas em conta ordens de magnitude aproximadas (Bouwer, 1999):

- Solos argilosos (<0.1m/dia)
- Argilas (*Loams*) (0.2 m/dia)
- Argilas arenosas (*Sandy Loams*) (0.3 m/dia)
- Areias argilosas (*Loamy Sands*) (0.5 m/dia)
- Areia finas (1 m/dia)
- Areias médias (5 m/dia)
- Areias grosseiras (>10 m/dia)

3.10.1. Lei de Darcy – Teoria fundamental do fluxo subterrâneo

A lei de Darcy foi formulada por Henry Darcy em 1856, como resultado de estudos sobre a circulação de água através de solos não consolidados. Darcy concluiu que o caudal de escoamento é directamente proporcional à perda de carga e inversamente proporcional ao comprimento percorrido segundo a direcção do escoamento. Esta equação constitui a base científica da teoria fundamental do escoamento subterrâneo, descrevendo o movimento de um fluido através de um meio poroso. A lei de Darcy, para a água que circula nos solos e aquíferos, pode ser descrita pela seguinte equação (Equação 1):

Equação 1 - Lei de Darcy – Teoria fundamental da circulação subterrânea

$$Q = KA \frac{h_1 - h_2}{L}$$

Onde:

Q – Caudal que atravessa a secção (m³/dia)

A – Área da secção (m²)

h₁-h₂ – Diferença de potencial hidráulico entre os dois pontos (m)

L – Comprimento da secção/distância entre os dois pontos (m)

K - Condutividade hidráulica (m/dia)

A partir da equação anterior obtém-se a Equação 2, apresentada abaixo:

Equação 2 – Desenvolvimento da Lei de Darcy

$$Q = KA \frac{\Delta h}{\Delta L} \Leftrightarrow \frac{Q}{A} = K \frac{\Delta h}{\Delta L}$$

Onde:

Δh – Diferença de potencial hidráulico entre os dois pontos (m)

ΔL – Comprimento da secção/distância entre os dois pontos (m)

A Velocidade de Darcy pode ser definida como:

Equação 3 – Velocidade de Darcy

$$q = \frac{Q}{A} = K \frac{\Delta h}{\Delta L} \Leftrightarrow q = Ki$$

Onde:

i - gradiente hidráulico

q - Velocidade de Darcy (m/dia)

Para calcular a velocidade real tem de se dividir a Velocidade de Darcy pela porosidade do material, de modo a tomar em consideração que só uma parte do volume total está disponível para a circulação da água. Utilizando o valor da porosidade efectiva do material é possível obter a velocidade real a que a água circula no mesmo. Obtendo-se a Equação 4, respectiva à velocidade efectiva da circulação de água:

Equação 4 – Velocidade Efectiva de circulação

$$v_e = \frac{q}{n_e} = Ki$$

Onde:

v_e – Velocidade efectiva (m/dia)

n_e – Porosidade efectiva (%)

i - gradiente hidráulico

q - Velocidade de Darcy (m/dia)

A aplicabilidade da Lei de Darcy e, conseqüentemente, de todos os parâmetros calculados a partir dela é restrita a líquidos que circulem com fluxos laminares, mais concretamente em fluxos que tenham um número de Reynolds (Equação 5) inferior a 4 (Custódio e Llamas, 1983). A maioria das águas subterrâneas apresenta condições para que a lei de Darcy possa ser aplicada, especialmente em aquíferos porosos.

Equação 5 – Número de Reynolds

$$R_e = \frac{q d \rho}{\mu}$$

Onde:

q – Velocidade de Darcy (m/s)

d – dimensão média das partículas (m)

μ – Viscosidade dinâmica (m²/s)

ρ – Densidade do fluido (que no caso da água, em condições normais é igual a 1)

3.10.2. Cálculo das taxas de infiltração a longo prazo

No WDOE (2005) são indicados três métodos para a estimação das taxas de infiltração a longo prazo:

1. Relação com a classificação da textura do solo USDA

Neste método é dada uma correlação entre a classificação USDA do solo e a condutividade hidráulica estimada para esse tipo de solo. Para evidenciar essa correlação utiliza-se a Tabela 4:

Tabela 4 - Taxas de infiltração recomendadas baseadas na Classificação Textural de Solos (USDA) (adaptado de WDOE, 2005)

	Taxa de Infiltração a Curto Prazo (<i>Short-Term Infiltration Rate</i>) (cm/h)	Factor de correcção, FC	Taxa de Infiltração a Longo Prazo Estimada (<i>Estimated Long-Term (Design) Infiltration Rate</i>) (cm/h)
Cascalho arenoso limpo e Areia cascalhenta (<i>Clean Sandy Gravels / Gravel Sands</i>) (90% retido no crivo #10)	2	2	25,4
Areias	0,5	4	5,08
Areia argilosa (<i>Loamy Sand</i>)	0,25	4	1,27
Argila arenosa (<i>Sandy Loam</i>)	0,13	4	0,635
Argila (<i>Loam</i>)	1.27	4	0,3302

Massmann (2003) refere, para todas as camadas em profundidade, para o cálculo dos valores da condutividade hidráulica, durante a fase de caracterização do local, a correlação entre as dimensões dos grãos constituintes do solo e a condutividade hidráulica. Este tipo de estimação é mais fiável que a descrita no WDOE (2005) a qual se baseia na classificação USDA dada ao solo. Massmann (2003) refere ainda que,

apesar de existirem vários métodos que relacionam a dimensão dos grãos com uma estimativa do valor da condutividade hidráulica, o mais simples e mais utilizado é a fórmula de Hazen (Equação 6), que relaciona a circulação de água num material com as propriedades físicas do mesmo e com a diminuição da pressão causada pela fricção entre os dois materiais:

Equação 6 – Fórmula de Hazen

$$K_s = Cd_{10}^2$$

Onde:

K_s – Condutividade hidráulica (cm/dia);

C – Coeficiente de conversão;

d_{10} – Diâmetro efectivo correspondente aos 10% da curva granulométrica (10 % da amostra tem diâmetros inferiores a este valor) (cm).

O valor C é, como já foi referido, um coeficiente de conversão. Para um K_s em cm/s, a 20°C e um d_{10} em cm, Custódio e Llamas (2001) indicam valores de C entre 45.8 e 142 para areias argilosas e areias puras respectivamente. Estes autores referem ainda que o valor que é usado com maior frequência é $C=100$, sendo a margem entre os 90 e os 120. Esta fórmula apresenta limitações de aplicação para amostras que não tenham uma particular distribuição granulométrica, nomeadamente para aquelas que se desviem da classificação das areias e que tenham uma grande quantidade de elementos de dimensão mais fina.

Custódio e Llamas (2001) referem ainda que Schoeller (1962) indica a equação seguinte (Equação 7) para o cálculo de C , advertindo para o facto de que esta origina valores e C muito pequenos, para porosidades inferiores a 0,4.

Equação 7 – Fórmula para o cálculo do coeficiente de conversão

$$C = 150\left(\frac{m}{0,45}\right)^6$$

Onde:

C – Coeficiente de conversão

m – porosidade total (%)

Massmann (2003) refere autores que relacionaram os valores da condutividade hidráulica com a distribuição granulométrica da amostra, tais como Frezze e Cherry (1979), Fetter (1994), entre outros. De seguida apresentam-se nas Tabelas 5 e 6 os valores propostos por ambos:

Tabela 5 – Tipo de material *versus* K (Adaptada de Frezze e Cherry,1979)

Material	K (cm/s)
Cascalho	10^{-1} a 100
Areias limpas	10^{-4} a 1
Areias siltosas	10^{-5} a 10^{-1}
Siltes	10^{-7} a 10^{-3}
Tilito (<i>Glacial Till</i>)	10^{-10} a 10^{-4}
Argilas	10^{-10} a 10^{-6}
Calcário e Dolomito	10^{-7} a 1
Basalto fracturado	10^{-5} a 1
Arenito	10^{-8} a 10^{-3}
Rochas Ígneas e Metamórficas	10^{-11} a 10^{-2}

Tabela 6 – Tipo de material *versus* K (Adaptada de Fetter, 1994)

Material	K (cm/s)
Cascalho bem graduado	10^{-2} a 1
Areias bem graduadas, <i>Outwash</i> glacial	10^{-3} a 10^{-1}
Areias siltosas, Areias finas	10^{-5} a 10^{-3}
Siltes, Siltes arenosos	10^{-6} a 10^{-4}
Argilas	10^{-9} a 10^{-6}

Os valores de K obtidos por esta relação devem servir apenas como uma estimativa, em termos de ordem de magnitude, sendo que, sempre que houver acesso a dados concretos, obtidos quer por meio de testes de laboratório quer por ensaios *in situ*, são estes que devem ser usados na selecção dos valores de K na fase de construção dos sistemas.

Massmann (2003) recomenda testes de laboratório para determinar directamente a condutividade hidráulica quando se tratam de solos mais finos, alertando para o facto de que neste caso o método anteriormente descrito não é tão preciso e gera um valor de K com um maior erro. Recomenda também que sempre que possível estes testes devem ser efectuados. Antes da realização dos testes deve-se ter em conta que a compactação das amostras deve ser o mais semelhante possível com a das condições originais das amostras, isto é, elas devem estar indeformadas, para que os resultados sejam correctos. Massmann (2003) refere que podem ser utilizados permeâmetros de parede rígida e flexível.

2. Relação com a classificação textura do solo ASTM

Massmann e Butchart (2000) desenvolveram uma correlação entre os dados de granulometrias e a classificação dos solos, segundo a classificação ASTM (através do procedimento ASTM D422). Massmann (2003) refere que estes dados servem para estimar os valores das taxas de infiltração a longo termo, directamente a partir dos valores de d_{10} da granulometria. Refere ainda que as relações constantes na Tabela 7, foram desenvolvidas com base em granulometrias de amostras que variam entre areia a

cascalhos arenosos, alertando para o facto de esta não ser adaptada para solos mais finos que as areias.

Tabela 7 – Tabela de relação entre o valor de d_{10} e a taxa de infiltração a longo prazo (adaptado de Massmann e Butchart, 2000)

Dimensão d_{10} do teste granulométrico ASTM D422 (mm)	Taxa Estimada de Infiltração a Longo Prazo (<i>Estimated Long-Term (Design) Infiltration Rate</i>) (cm/h)
≥ 0.4	22.86
0.3	16.51
0.2	8.9
0.1	5.08
0.05	2.03

3. Medição da infiltração *in situ*

Os testes de campo são geralmente realizados recorrendo a infiltrómetros, quer de anel simples quer de anel duplo, assim como recorrendo a testes de infiltração piloto (PIT).

Massmann (2003) refere que no caso de solos não uniformes, o cálculo deve ser feito individualmente para cada camada, através da fórmula de Hazen e depois deve aplicar-se a fórmula seguinte (Equação 8), que permite obter um valor único que pode ser usado na projecção do sistema de recarga:

Equação 8 – Cálculo da Condutividade hidráulica equivalente para a coluna de solo

$$K_{equiv} = \frac{d}{\sum \frac{d_i}{K_i}}$$

Onde:

K_{equiv} – Condutividade hidráulica equivalente para a coluna de solo (m/dia)

d – Profundidade total da coluna de solo (m)

d_i – Espessura da camada “i” (m)

K_i – Condutividade hidráulica da camada “i” (m/dia)

Segundo Massmann (2003), para zonas com níveis piezométricos muito profundos, superiores a 30 m, é raro ocorrer uma elevação localizada do nível piezométrico, na zona imediatamente abaixo da base da bacia de infiltração ou outro tipo de sistema de recarga artificial, a espessura total da coluna de solo da equação anterior deverá estar limitada a aproximadamente 20 vezes a espessura da bacia. Esta condição é importante pelo facto de, deste modo, as camadas mais importantes no funcionamento do sistema estarem incluídas na coluna de solo analisada. O cálculo de K_i pode ser feito através dos

vários métodos referidos anteriormente, tendo o cuidado de aplicar o método adaptado às características da camada.

Bouwer (2002) refere que em solos com cascalho, a condutividade hidráulica do conjunto pode ser estimado empiricamente através da fórmula (Equação 9):

Equação 9 – Cálculo da condutividade hidráulica do conjunto (Solo + Rocha)

$$k_b = k_s \frac{e_b}{e_s}$$

Onde:

k_b – Condutividade hidráulica do conjunto (m/dia)

e_b – Índice de vazios (solo + rocha)

k_s – Condutividade hidráulica do solo (m/dia)

e_s – Índice de vazios (solo)

Em relação a uma bacia de infiltração, Massmann (2003) descreve o Gradiente Hidráulico (i) como a força motora que causa o fluxo da água a partir da bacia de infiltração, referindo como forças primárias a capilaridade e a gravidade. A importância de cada uma depende, segundo o autor, de vários factores, tais como a duração do evento de infiltração, a geologia regional e local assim como da profundidade a que se encontra o nível freático.

Massmann (2003) refere que a fórmula seguinte (Equação 10) pode ser utilizada no cálculo de i , em condições de regime estacionário numa bacia de dimensões médias.

Equação 10 - Cálculo do Gradiente Hidráulico (i), em condições de regime estacionário

$$i \approx \frac{D_{wt} + D_{pond}}{138,62(K^{0,1})} FC_{size}$$

Onde:

D_{wt} – Profundidade do nível da água (pés)

D_{pond} – Profundidade da base da bacia de infiltração (pés)

FC_{size} – Factor de correcção

K – Condutividade hidráulica da formação (pés/dia)

O valor do factor de correcção (FC_{size}) pode ser calculado a partir da fórmula seguinte (Equação 11):

Equação 11 – Cálculo do factor de correcção (FC_{size})

$$FC_{size} = 0,73(A_{pond})^{-0,76}$$

Onde:

FC_{size} – É o factor de correcção

A_{pond} – É a área da base da bacia (hectares)

A aplicação da equação 11 é limitada pela dimensão das bacias de infiltração, pode ser aplicada quando as bacias têm áreas de base entre os 0.6 e os 6 hectares (entre aproximadamente 2,4 km² e os 24.8 km²). Para bacias de menor dimensão, o factor de correcção é igual a 1. Para bacias de dimensões superiores ao intervalo apresentado, o factor de correcção a utilizar é igual a 2.

Massmann (2003) apresenta uma variação da Equação 11 para ser aplicada em valas de infiltração, onde o comprimento é muito maior que a largura. Em condições iguais às aplicáveis para a utilização da equação anterior para o cálculo de i pode ser aplicada a equação seguinte (Equação 12):

Equação 12 – Cálculo de i , numa vala de infiltração

$$i \approx \frac{D_{wt} + D_{trench}}{78(K^{0,05})}$$

Onde:

D_{wt} – Distância entre a base da vala de infiltração e a camada permeável ou nível freático (pés)

D_{trench} – Altura da coluna de água na vala de infiltração (pés)

K – Condutividade hidráulica (pés/dia)

Tendo obtido o valor da condutividade hidráulica a partir dos métodos indicados anteriormente, é possível então o cálculo da taxa de infiltração a partir da equação do escoamento, ou Lei de Darcy (Equação 1).

Bouwer (2002) refere a possibilidade da aplicação da equação de Green e Ampt (1911) (equação 13) para o cálculo da taxa de infiltração de um solo que foi inundado, isto é, para um solo que ainda não está saturado.

Equação 13 - Equação de Green e Ampt (1911)

$$V_i = k \frac{H_w + L_f - h_{we}}{L_f}$$

Onde:

V_i – Taxa de infiltração/velocidade de infiltração (m/dia)

k – Condutividade hidráulica da zona humedecida (m/dia)

H_w – Espessura da lâmina de água sobre o solo (m)

L_f – Profundidade da frente de saturação (m)

h_{we} – Sucção devida á capilaridade (capillarity suction) (N/m)

Massmann (2003) refere que a Equação 13 (utilizando-se um valor de gradiente igual a 1) deve ser usada para sistemas de recarga com profundidades superiores a 30 m.

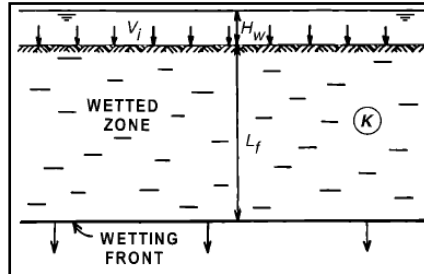


Figura 21 – Efeito causado pela inundação do solo (Retirado de Bouwer, 2002)

Quando se inicia a inundação do solo (Figura 21), o L_f é pequeno e V_i é elevado. À medida que a frente de saturação se torna mais profunda, L_f aumenta, o segundo elemento da equação torna-se próximo de 1, o que faz com que a taxa de infiltração se torne igual à condutividade hidráulica.

Bouwer (2002) apresenta valores típicos de h_{we} para diferentes tipos de solo, tal como se observa na Tabela 8:

Tabela 8 - Valores típicos de h_{we} (Adaptado de Bouwer, 2002)

Tipo de solo	h_{we} (cm)
Areia grosseira	-5
Areia média	-10
Areia fina	-15
Argila arenosa-Areia argilosa (<i>Loamy sands-sandy loams</i>)	-25
Argilas (<i>Loams</i>)	-35
Argila estruturada	-35
Argila dispersa	-100

4. Dados e Tratamento de dados

Neste capítulo são apresentados os dados que serviram de base à realização desta dissertação: 1) Dados relativos às águas; 2) Dados relativos aos solos e 3) Dados de enquadramento climático, sendo que, para cada um é feita uma apresentação dos dados usados e uma descrição do tratamento dos mesmos.

4.1. Águas

4.1.1. Dados base

4.1.1.1. Câmara Municipal de Loures(CML)

Os dados de base fornecidos pela Câmara Municipal de Loures são o resultado de campanhas de campo entre 2005 e 2010, que serviram de base para o novo Plano Diretor Municipal (PDM). Os dados fornecidos incluíam 938 pontos de água, entre os quais furos de captação, poços, chafariz, fontanários, charcas, conduta de saneamento, depósito de água elevado, Depósito DFCI (Defesa da Floresta Contra Incêndios), lagoas, lavadouros, marco de incêndio, mina, piscina, represa, tanque e vala/canal de rega.

4.1.1.2. Agência Portuguesa do Ambiente (APA)

De modo a completar os dados fornecidos pela CML, foram recolhidos novos dados na APA, referentes a furos e poços existentes na área de estudo. Foi dada particular atenção aos que possuíam relatórios de sondagem referentes aos furos, os quais se encontram representados na Figura 22, e que se localizavam na área de estudo, perto da Várzea de Loures, de modo a que pudessem ser usados para a elaboração do modelo geológico, como auxiliar para o modelo conceptual do aquífero aluvionar de Loures.

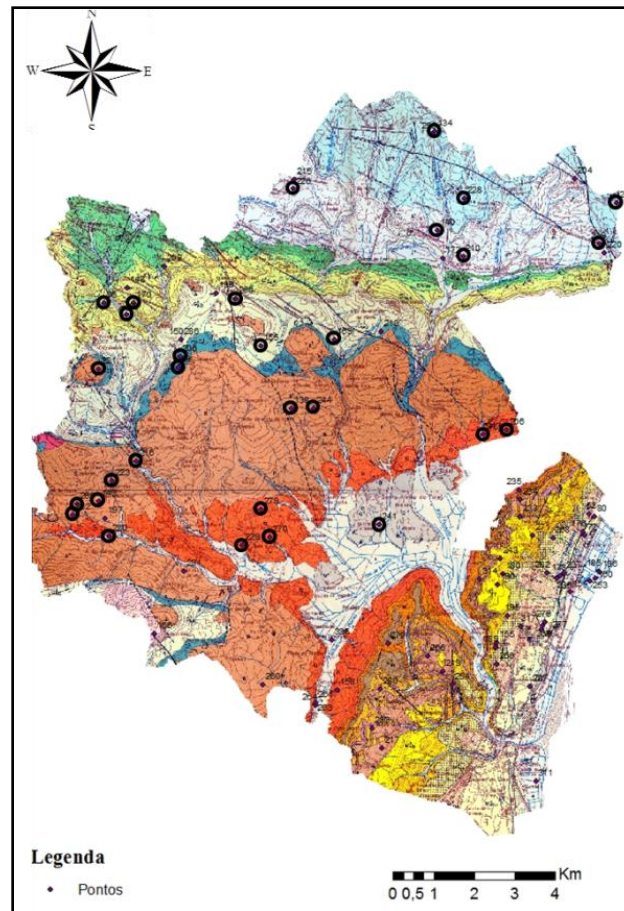


Figura 22 – Dados de sondagens recolhidos na APA

4.1.1.3. *Dados adaptados de Silva (2003)*

Numa fase posterior do trabalho constatou-se que os dados disponíveis eram insuficientes, uma vez que não disponibilizavam as profundidades dos ralos dos respectivos furos e, por conseguinte, não seria possível determinar qual a formação da qual a água estava a ser extraída. Assim sendo, foram seleccionados alguns dados do trabalho de Silva (2003), referentes aos poços existentes na zona da Várzea de Loures, sendo que estes foram recolhidos em três saídas: Março/Abril de 1995, Outubro de 1996 e Junho de 1996. Foram seleccionados como dados base as amostras L1 (Março/Abril 1995) e L2 (Outubro de 1996), visto que estes correspondiam a um ano hidrológico completo. Estes dados estão representados nas Figuras 23 e 24 respectivamente e são apresentados nas Tabelas 25 e 26 do Anexo 11.3.1.

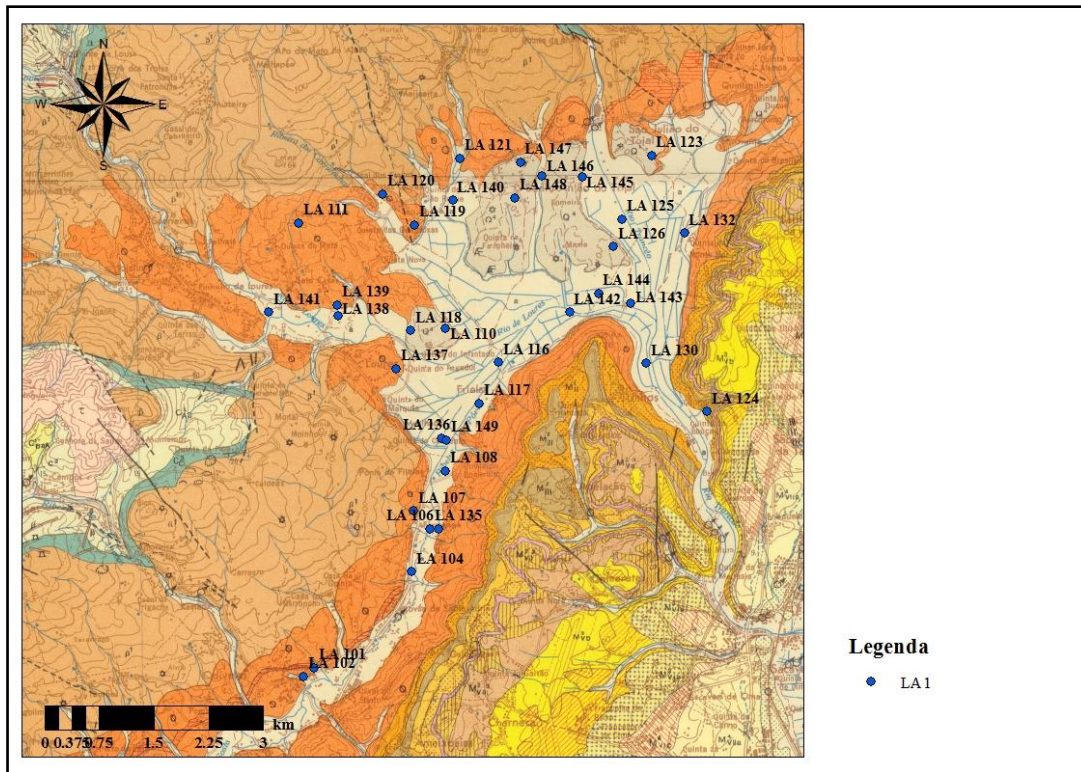


Figura 23 – Distribuição dos pontos de água L1 (Março/Abril 1995), Silva (2003)

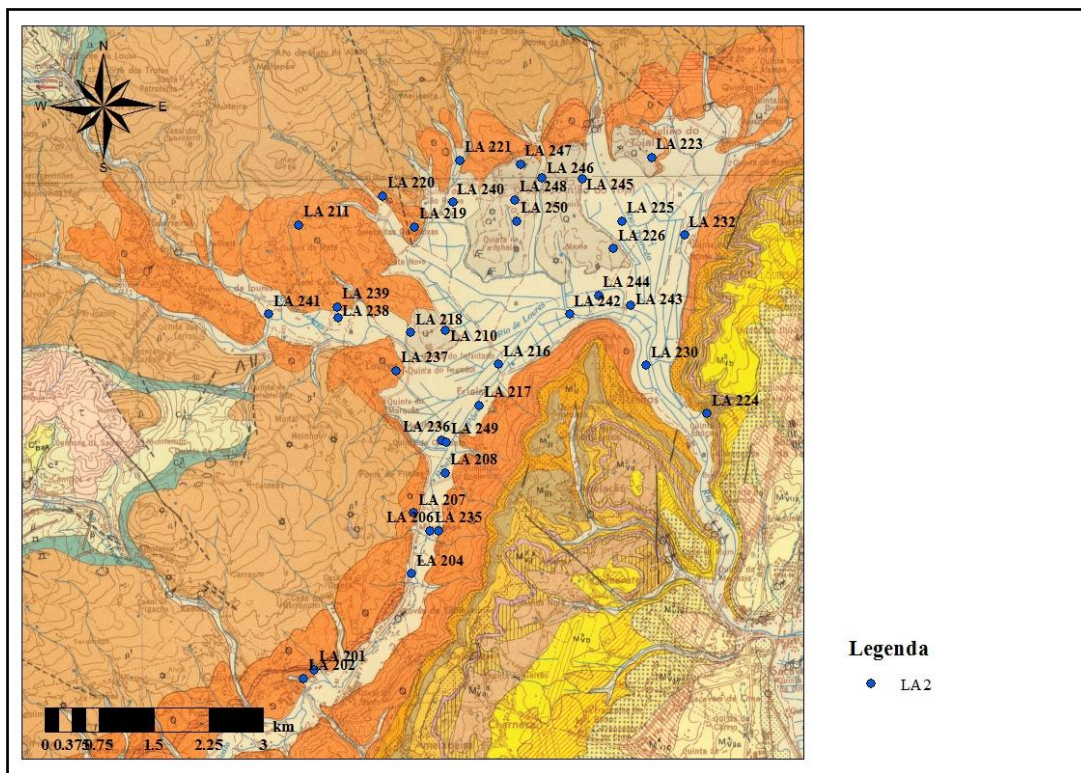


Figura 24 – Distribuição dos pontos de água L2 (Outubro de 1996), Silva (2003)

4.1.2. Tratamento dos dados

4.1.2.1. Mapa Piezométrico

O mapa piezométrico foi realizado recorrendo ao programa de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) ArcGis[®] 10.1 (Ersi[®] ArcMap[™] 10.1).

4.1.2.1.1. Câmara Municipal de Loures

Foi feita a determinação das cotas da boca dos furos, visto que estas não constavam na tabela dos dados originais, para isso usou-se o Mapa Digital de Terreno de Portugal (MDTP) com resolução de 30 m, existente na base de dados *online* do programa (*ArcGIS Online*). Calculou-se a cota piezométrica ou nível hidrostático (NHE) de cada furo, realizando-se a sua projecção, através do método de *krigagem ordinária, sem efeito de pepita*, da superfície piezométrica aproximada (Figura 25).

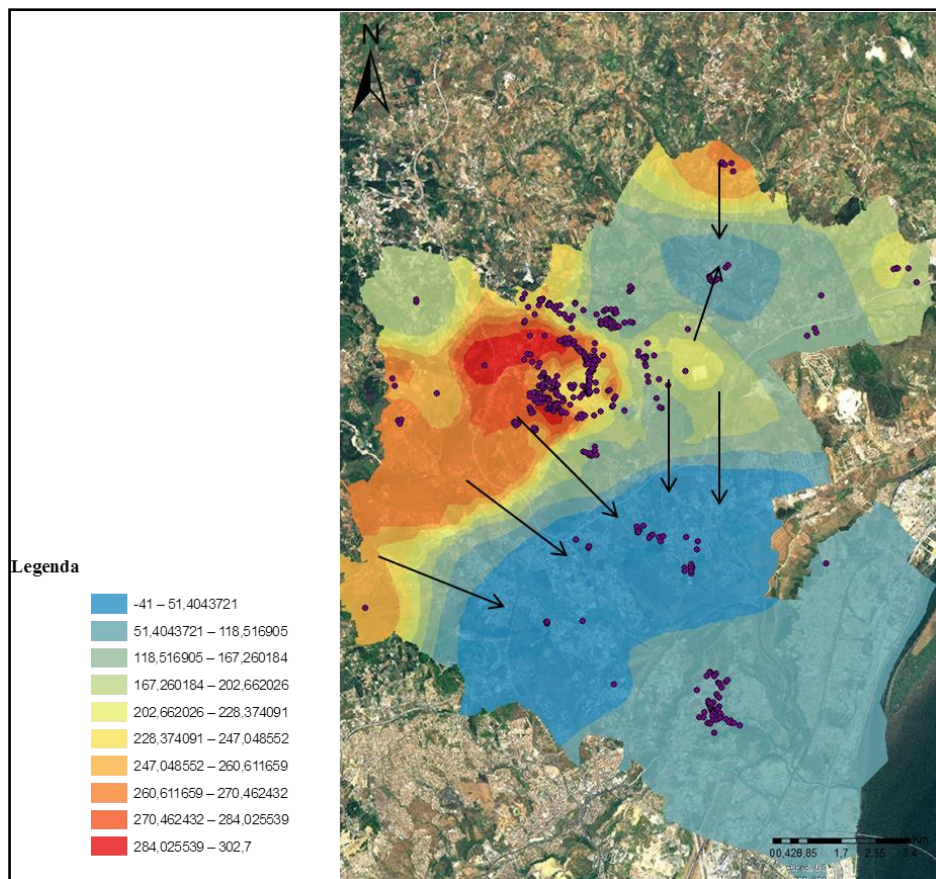


Figura 25 – Mapa Piezométrico obtido, para as amostras da CML, através do método de *Krigagem Ordinária, sem efeito de pepita*

4.1.2.1.2. Dados de Silva (2003)

Aos dados base iniciais foram retirados os pontos em que não tinha sido medida a profundidade do nível da água no poço. Foram apenas utilizados os furos que captavam nas formações aluvionares. O procedimento para a construção do mapa piezométrico foi idêntico ao utilizado nos dados referidos anteriormente. A determinação das cotas dos furos foi realizada através do MDTP, com resolução de 30 m, existente no ArcGIS Online. O cálculo do NHE (Figura 26) foi feito para cada furo, através dos valores da cota do poço e nível de água medido, os dados resultantes são apresentados nas Tabelas 28 e 29 do Anexo 11.3.2.

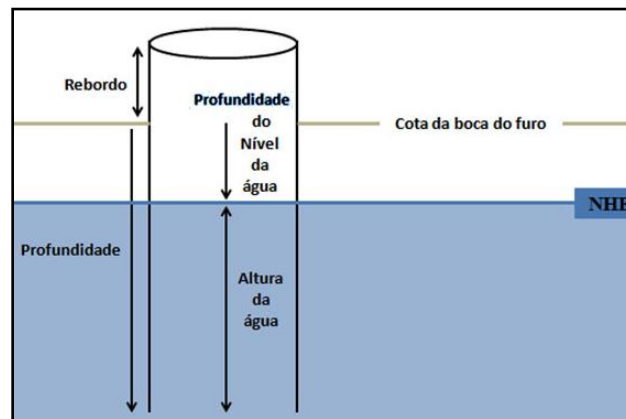


Figura 26 - Cálculo do NHE

Os dados foram então introduzidos no programa ArcGis[®] 10.1 e procedeu-se à sua análise estatística e espacial, através do método de *Krigagem Ordinária, sem efeito de pepita*, projectando a superfície piezométrica. Os mapas piezométricos das amostras L1 e L2 são apresentados de seguida nas Figuras 27 e 28, respectivamente. Os dados tratados, utilizados para a realização dos mapas piezométricos, são apresentados nas Tabelas 30 e 31 do Anexo 11.3.3.

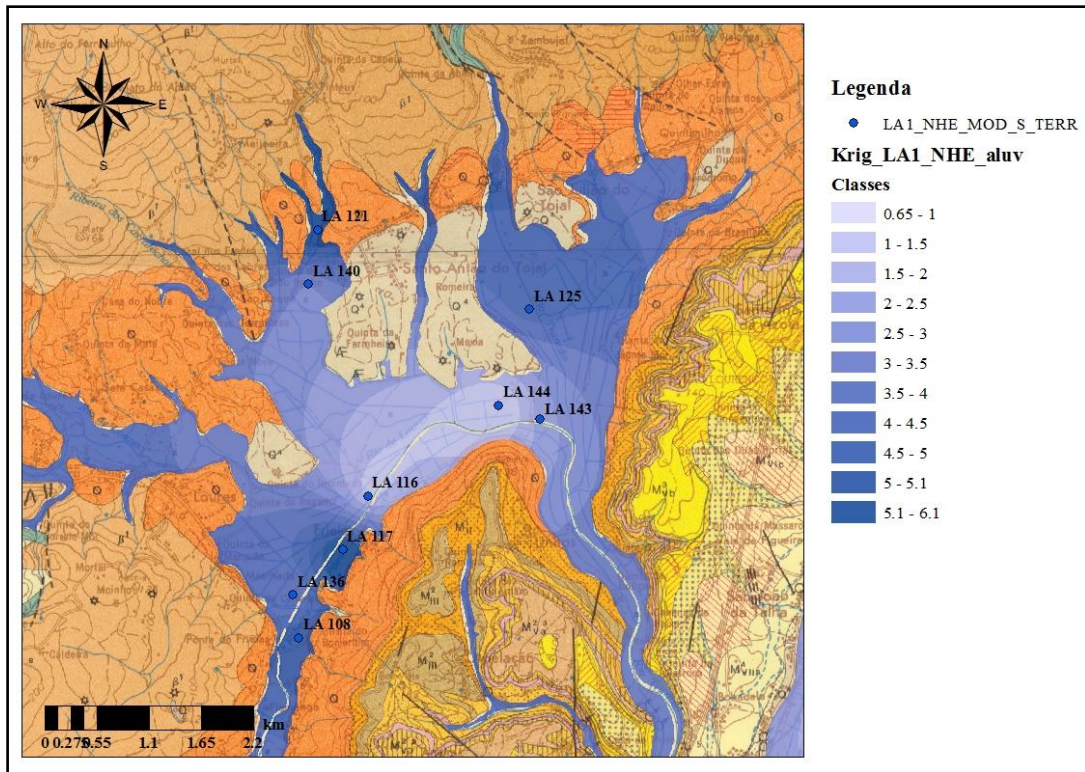


Figura 27 - Mapa piezométrico obtido, para as amostras L1, através do método de *Krigagem Ordinária*, sem efeito de pepita

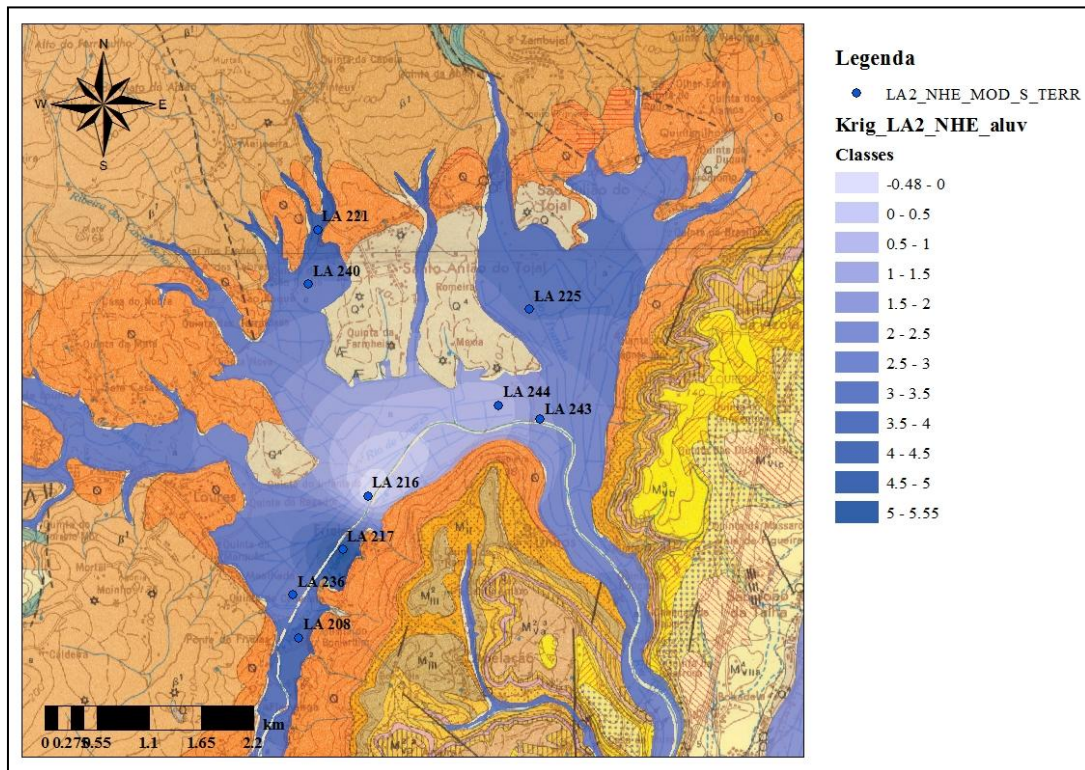


Figura 28 - Mapa piezométrico obtido, para as amostras L2, através do método de *Krigagem Ordinária*, sem efeito de pepita

4.1.2.2. Mapa da distribuição espacial da concentração de nitratos

O mapa da distribuição espacial da concentração de nitratos foi realizado recorrendo ao programa de GIS, ArcGis[®] 10.1 (Ersi[®] ArcMap[™] 10.1).

4.1.2.2.1. Câmara Municipal de Loures

Para a realização do mapa apenas foram utilizados os pontos de água que dispunham de valores referentes à condutividade eléctrica, pH e concentração de nitrato.

Os dados foram então introduzidos no programa e foi feita a sua análise estatística e espacial, pelo método de *Krigagem Ordinária sem efeito de pepita*, de modo a que o erro do modelo fosse menor. O mapa obtido é apresentado na Figura 29.

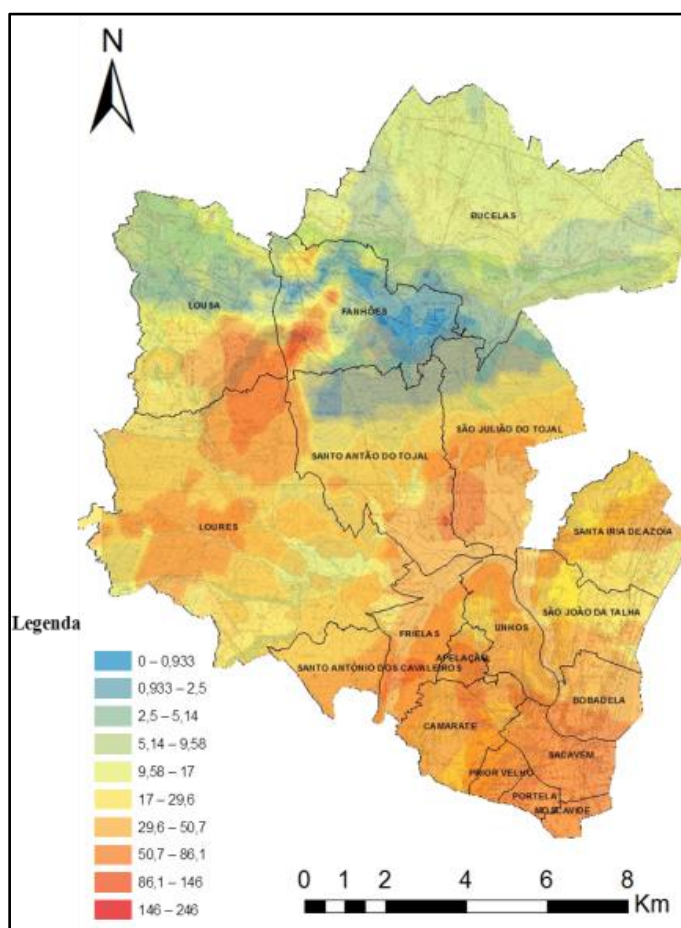


Figura 29 - Mapa da distribuição espacial da concentração de nitratos dos dados da CML, realizado através do método de *Krigagem Ordinária, sem efeito de pepita*

4.1.2.3. Dados de Silva (2003)

Antes da sua introdução no programa, foram retirados os pontos em que os nitratos não tinham sido medidos. Foram apenas utilizados os furos que captavam nas formações aluvionares. Foram introduzidos no programa os novos dados base, sendo analisados estatisticamente de forma semelhante aos anteriores. Os mapas da distribuição espacial para os dados L1 e L2 são apresentados nas Figuras 30 e 31, respectivamente. Os dados tratados, utilizados para a realização do mapa da distribuição espacial da concentração de nitratos, são apresentados nas Tabelas 32 e 33 do Anexo 11.3.4.

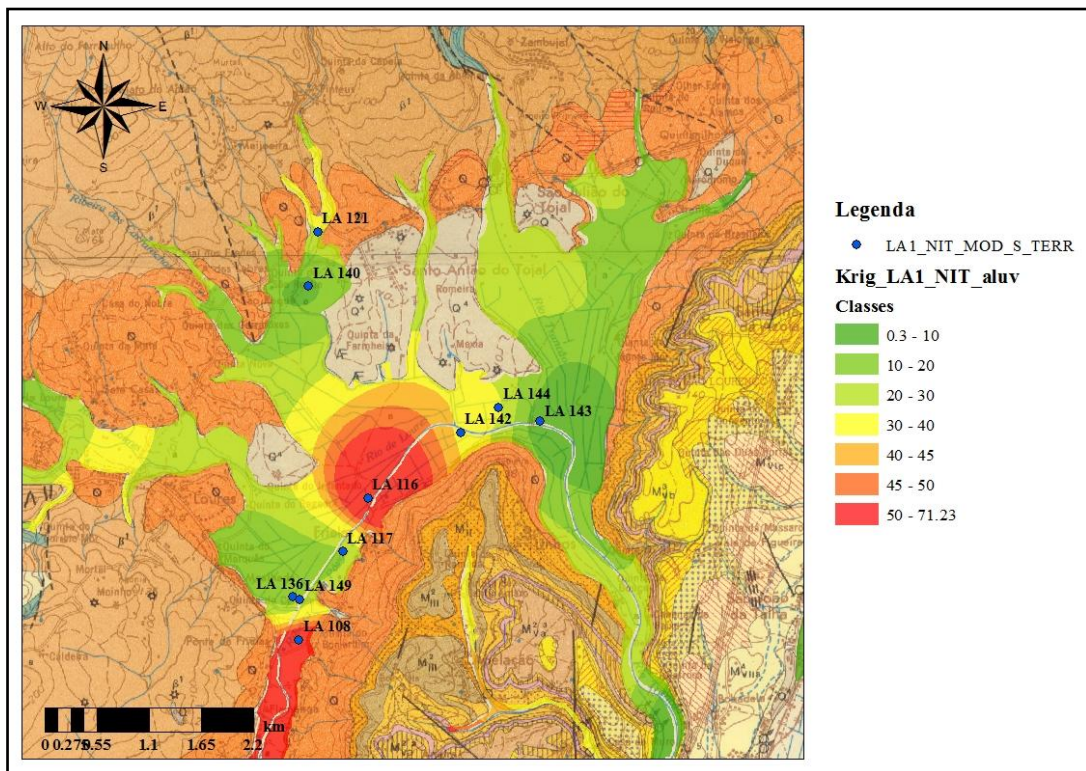


Figura 30 - Mapa da distribuição espacial da concentração de nitratos dos dados L1, realizado através do método de Krigagem Ordinária, sem efeito de pepita

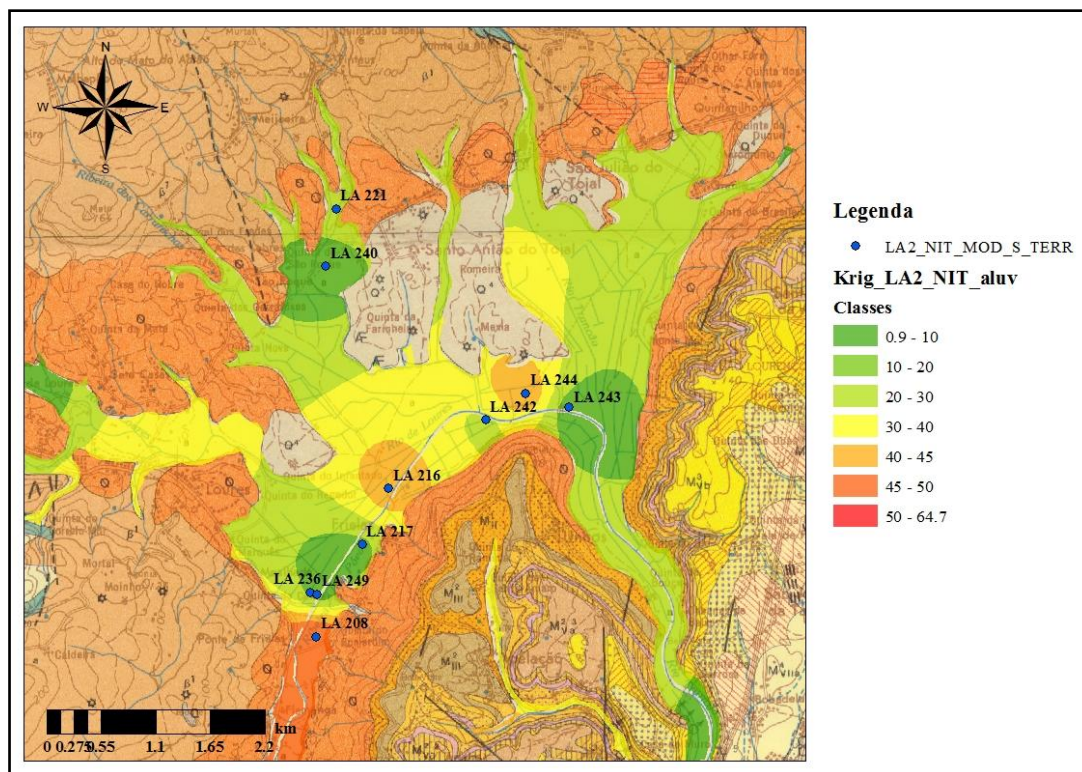


Figura 31 - Mapa da distribuição espacial da concentração de nitratos dos dados L2, realizado através do método de *Krigagem Ordinária, sem efeito de pepita*

4.2. Solos

4.2.1. Dados base

Dada a necessidade da realização de ensaios laboratoriais, nomeadamente a granulometria das amostras, de modo a determinar os parâmetros físicos necessários para a realização da modelação do transporte de contaminantes de forma fiel à realidade, foram seleccionadas 10 amostras de solos da Várzea de Loures, colhidas por Silva. Estas amostras provieram da litoteca do Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. Os locais de colheita estão apresentados na Figura 32.

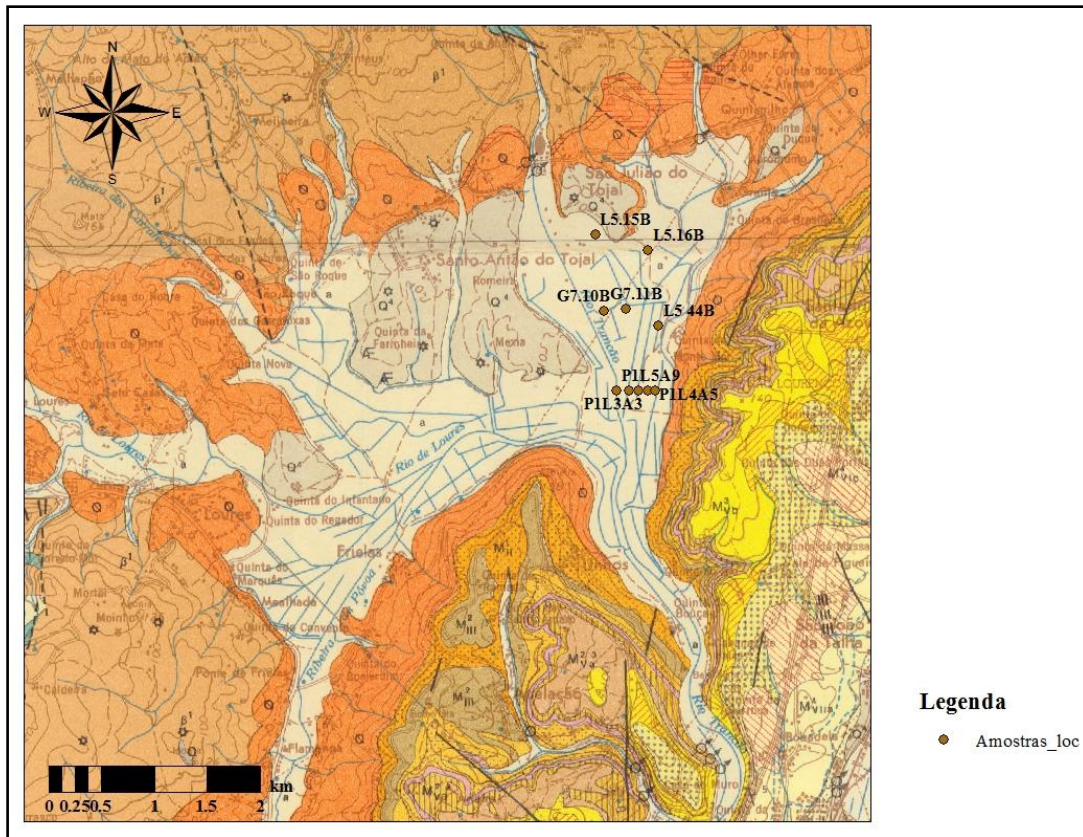


Figura 32 - Pontos de recolha das amostras de solo (Adaptado dos dados de Silva, 2003)

Na Tabela 9 são apresentadas as amostras, assim como a profundidade e data de recolha.

Tabela 9 - Amostras de solos: profundidade e data de recolha (Adaptado de Silva, 2003)

Amostra	M	P	Profundidade (cm)	Nível freático (cm)	Data da Recolha/Colheita
G7 10 B	489606	4299750	40	-	-
G7 11 B	489813	4299775	40	-	-
L5 15 B	489525	4300475	40	-	-
L5 16 B	490025	4300325	40	-	-
L5 44 B	490125	4299613	40	-	-
P1 L1 A7	489850	4299000	130	130	11/04/1995
P1 L2 A3	489938	4299000	70	70	11/04/1995
P1 L3 A3	490025	4299000	78	78	11/04/1995
P1 L4 A5	490088	4299000	87	78	18/04/1995
P1 L5 A9	489725	4299000	188	188	18/04/1995

4.2.2. Tratamento dos dados

Não foi efectuado nenhum tipo de alteração aos dados iniciais.

4.3. Enquadramento Climático

4.3.1. Dados base

Os dados de precipitação e temperatura foram obtidos, como já foi referido, no *site* do SNIRH, sendo estes referentes ao intervalo temporal entre os anos de 2003 e 2013 para o caso da temperatura e 2003 a 2012 para o caso da precipitação. Os dados originais podem ser consultados no Anexo 11.1. Estes dados foram trabalhados de modo a ser possível comparar a sua informação com os dados do intervalo temporal anterior, 1961 a 1999.

4.3.2. Tratamento dos dados

No caso dos dados da temperatura, foi calculada a média do valor médio de cada mês, através das equações 14 e 15, dentro do intervalo temporal de obtenção dos dados que era de 10 anos, assim como o valor médio máximo nesse intervalo. Foi deste modo obtido o valor da temperatura média para cada mês, assim como o valor médio máximo.

Equação 14 – Temperatura média (exemplo do calculo para o mês de Janeiro)

$$T^{\circ}_{Média (Jan)} = \frac{\sum \text{Valores médios obtidos no mês de Janeiro}}{\text{Número de anos do intervalo temporal}}$$

Equação 15 -Temperatura máxima (exemplo do calculo para o mês de Janeiro)

$$T^{\circ}_{Máx (Jan)} = \text{Valor máximo do intervalo de valores do mês de Janeiro}$$

Para os dados da precipitação, foi realizado o mesmo procedimento mas, como neste caso os dados de base eram referentes aos totais mensais observados, os dados obtidos foram a média observada e o máximo observado em cada mês, no intervalo temporal de obtenção dos dados que, neste caso era de 9 anos.

Equação 16 - Precipitação média (exemplo do calculo para o mês de janeiro)

$$Pp_{Média (Jan)} = \frac{\sum \text{Valores totais observados no mês de Janeiro}}{\text{Número de anos do intervalo temporal}}$$

Equação 17 -Precipitação máxima (exemplo do calculo para o mês de janeiro)

$$Pp_{Máx (Jan)} = \text{Valor máximo dos totais observados no mês de Janeiro}$$

5. Granulometria

Neste capítulo são descritos sucintamente os procedimentos laboratoriais efectuados e o tratamento dos dados obtidos. É feita a classificação textural das amostras de solo e são apresentados os resultados da condutividade hidráulica determinada através dos diferentes métodos usados.

A Condutividade hidráulica, pode ser determinada através de vários métodos, quer no campo quer em laboratório. Alguns desses métodos são:

- A utilização de permeâmetros no campo ou em laboratório, com amostra inalterada, estes com menor exactidão de resultados;
- A utilização de piezómetros no campo,
- Estudos de relação directa com características intrínsecas dos materiais, determinadas em laboratório, como por exemplo distribuição granulométrica do material. De notar que este método apenas é aplicável a material arenoso, em que não há uma grande percentagem de finos (Costa, 2004).

Recorreu-se ao terceiro método para o cálculo da condutividade hidráulica (K). Nas descrições das formações na zona da Várzea de Loures são referidos dois níveis distintos: um mais superficial de lodos e um mais profundo de cascalheiras; utilizaremos este método para determinar o valor de k correspondente às formações mais superficiais. O único valor que encontramos disponível na bibliografia, referente a aluviões, foi o valor determinado para as aluviões do Tejo, 139 m/dia (Manuppella, 2011). Zbyszewski (2008) refere similaridades entre as aluviões do Tejo e as da zona de Loures; tendo como princípio básico este conceito, durante todo o trabalho se assume que este é o valor máximo para a condutividade hidráulica nas formações mais profundas.

Para determinar o valor da condutividade hidráulica (K), de modo empírico, foram seleccionadas 10 amostras de solos da Várzea de Loures, já referidas no capítulo anterior, para que pudesse ser realizada a sua granulometria de finos e grosseiros. As amostras seleccionadas inicialmente foram aquelas que coincidem com as formações aluvionares e estão apresentadas na Tabela 10.

Tabela 10 - Amostras de solos seleccionadas inicialmente: profundidade e data de recolha (Amostras de Silva, 2003)

Amostra	M	P	Profundidade (cm)	Nível freático (cm)	Data da Recolha/Colheita
G7 10 B	489606	4299750	40		
G7 11 B	489813	4299775	40		
L5 15 B	489525	4300475	40		
L5 16 B	490025	4300325	40		
L5 44 B	490125	4299613	40		
P1 L1 A7	489850	4299000	130	130	11/04/1995

Amostra	M	P	Profundidade (cm)	Nível freático (cm)	Data da Recolha/Colheita
P1 L2 A3	489938	4299000	70	70	11/04/1995
P1 L3 A3	490025	4299000	78	78	11/04/1995
P1 L4 A5	490088	4299000	87	78	18/04/1995
P1 L5 A9	489725	4299000	188	188	18/04/1995

Continuação da tabela 10

Posteriormente as amostras **P1 L1 A3** e **P1 L4 A5** não foram utilizadas por não se encontrarem dentro da área de estudo.

5.1. Procedimentos laboratoriais

Após o quartearamento de cada uma das amostras, foi realizada a separação da fracção superior e inferior a 4ϕ ($63 \mu\text{m}$) por via húmida. Posteriormente, quando existia amostra grosseira suficiente, esta foi sujeita a uma granulometria de grosseiros, por meio de crivos graduados, de $-2,5$ a 4ϕ (32 a $0,004 \text{ mm}$). A fracção da amostra com dimensões inferiores ao crivo mais pequeno, o de 4ϕ , foi sujeita a uma granulometria de finos por difracção de raios laser, que neste caso foi o *Malvern Particle Size Analyzer MS2000*.

Assim, 3 das 8 amostras foram analisadas tanto por granulometria de grosseiros como por granulometria de finos, as amostras **L5 15 B**, **L5 16 B** e **G7 10 B**, enquanto as restantes, por terem uma grande quantidade de finos (maior que $63 \mu\text{m}$) (Tabela 11), foram analisadas apenas por granulometria de finos.

Tabela 11 – % Grosseiros e % Finos

Amostra	% Grosseiros	% Finos
G7 10 B	78,7	21,3
G7 11 B	35,1	64,9
LS 15 B	7,9	92,1
LS 16 B	28,3	71,7
LS 44 B	6,1	93,9
P1 L1 A7	0,1	99,9
P1 L2 A3	1,1%	98,9
P1 L5 A9	3,6	96,4

Os procedimentos de cada uma das fases do tratamento das amostras estão descritos no Anexo 11.4.2.

5.2. Tratamento dos dados obtidos

Os dados obtidos a partir das granulometrias foram tratados, de modo a poderem ser projectados na mesma curva granulométrica, para que fosse então possível determinar os valores dos diversos diâmetros (d_{10} (diâmetro efectivo), d_{30} , d_{50} e d_{60}), apresentados na Tabela 12, de cada uma das amostras, necessários para o cálculo da condutividade hidráulica, através dos vários métodos referidos anteriormente, assim como, através da Fórmula de Burmister (Equação 18), que se apresenta no sub-capítulo 5.4.

Tabela 12 – Valores de d_{10} , d_{30} , d_{50} e d_{60} , para cada uma das amostras e respectivos coeficientes de uniformidade (Cu) e curvatura (Cc) calculados

Amostra	Em cm				Cu	Cc
	d_{10}	d_{30}	d_{50}	d_{60}		
L515B	7,00E-05	4,20E-03	2,50E-04	9,00E-03	128,57	28,00
L516B	2,30E-05	7,00E-05	1,30E-04	1,80E-04	7,83	1,18
L544B	1,50E-05	4,00E-05	1,20E-04	1,40E-04	9,33	0,76
G710B	1,80E-05	5,50E-05	8,20E-05	1,80E-04	10,00	0,93
G711B	1,70E-05	4,90E-05	9,00E-05	1,40E-04	8,24	1,01
P1L1A7	1,50E-05	3,60E-05	7,00E-05	9,50E-05	6,33	0,91
P1L2A3	1,20E-05	3,30E-05	6,00E-05	8,00E-05	6,67	1,13
P1L5A9	1,70E-05	5,20E-05	1,00E-04	1,40E-03	82,35	0,11

Os gráficos das curvas granulométricas são apresentados no anexo 11.4.3, nos gráficos 1 a 8.

5.3. Classificação das amostras de solo

Foi feita a classificação textural (Tabela 13) das amostras através da percentagem das fracções de areia, siltes e argila, recorrendo ao triângulo textural de Gomes. e Silva, (1962) *in* Ramos *et al* 2011 (Figura 33).

Tabela 13 - Tabela de percentagens das fracções de argila, silte e areia das amostras e respectiva classificação (diâmetro (mm))

Amostra	Argila	Siltes	Areias	Classificação
	< 0.002(mm)	0.002 a 0.02(mm)	> 0.02(mm)	
L515B	2%	10%	87%	Arenoso-franco
L516B	8%	30%	62%	Franco-limoso
G710B	8%	38%	54%	Franco-limoso
L544B	69%	23%	8%	Argiloso
G711B	72%	22%	6%	Argiloso
P1L1A7	85%	15%	0%	Argiloso
P1L2A3	87%	12%	1%	Argiloso
P1L5A9	72%	24%	4%	Argiloso

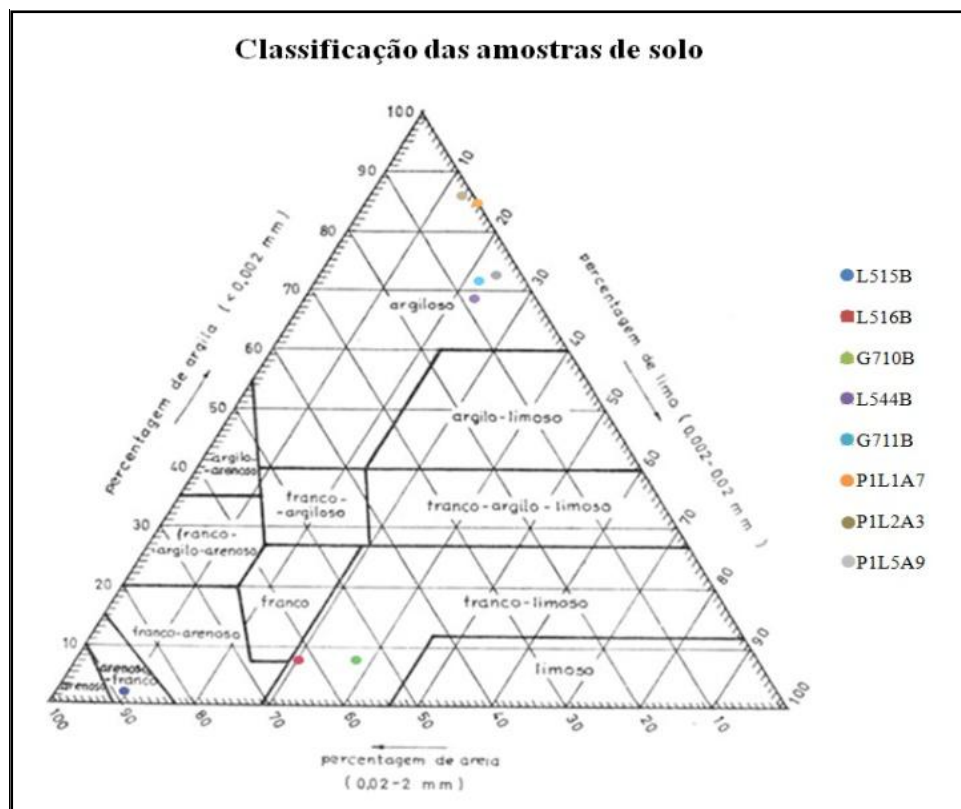


Figura 33 - Classificação das amostras num diagrama triangular para a classificação básica da textura do solo (Adaptado de: Gomes e Silva (1962; *in* Ramos *et al* 2011), imagem retirada de [10])

5.4. Determinação da condutividade hidráulica

5.4.1. Fórmula de Hazen

Para o cálculo de K, foi utilizada a fórmula de Hazen (Equação 6), a qual é preferencialmente utilizada para amostras arenosas. A fórmula de Hazen foi utilizada, apesar de as amostras não serem arenosas, uma vez que não tínhamos à nossa disposição outro método alternativo.

O valor do quociente C, necessário para a aplicação da fórmula de Hazen, foi determinado através da Equação 7, utilizando os valores máximos e mínimos de porosidade total típica deste tipo de formações.

Tabela 14 - Valores dos quocientes C necessários para a aplicação da fórmula de Hazen

Coefficiente C	Porosidade total (%)
150	45
74	40
4,4	25
1,2	20

5.4.2. Fórmula de Burmister

Para o cálculo da Porosidade de Burmister (K_b), Burmister (1954), utiliza o valor de d_{50} em vez de d_{10} (Equação 18). Para as amostras em estudo, esta metodologia permite determinar o valor da condutividade hidráulica da parte mais superficial das formações aluvionares, com um menor erro, visto que a maior parte das amostras contém uma grande percentagem de finos. Nesta fórmula o valor de C é constante, igual a 51,3 (Diamantino, 2009).

Equação 18 – Fórmula de Burmister (Porosidade de Burmister)

$$K_b = C \times d_{50}^2$$

Onde:

K_b – Porosidade de Burmister (cm/s)

C – Quociente C, de valor igual a 51,3

d_{50} – Diâmetro 50 (cm) (50% da amostra tem dimensão inferior a este valor)

Os valores dos diâmetros determinados a partir das curvas granulométricas de cada uma das amostras estão apresentados na Tabela 15, assim como os valores da porosidade calculados.

Tabela 15 – Valores de K_b calculados

Amostra	d_{50} (mm)	d_{50} (cm)	K_b (cm/s)	K_b (m/dia)
L515B	0,025	2,5E-04	3,21E-06	2,77E-03
L516B	0,013	1,3E-04	8,67E-07	7,49E-04
L544B	0,012	1,2E-04	7,39E-07	6,38E-04
G710B	0,0082	8,2E-05	3,45E-07	2,98E-04
G711B	0,009	9,0E-05	4,16E-07	3,59E-04
PIL1A7	0,007	7,0E-05	2,51E-07	2,17E-04
PIL2A3	0,0061	6,0E-05	1,85E-07	1,60E-04
PIL5A9	0,01	1,0E-04	5,13E-07	4,43E-04

5.4.3. Relação D_{10} com K_s

De acordo com a Tabela 7, apresentada no capítulo 3, a amostras podem ser consideradas como tendo um $K_s < 2,03$ cm/h.

5.5. Comentário final

Os valores de K determinados são bastante inferiores aos referidos na bibliografia para as aluviões do Tejo, de 139 m/dia. As amostras analisadas correspondem à parte mais superficial da formação aluvionar e, de acordo com a descrição feita da mesma por Zbyszewski (1964) e Zêzere (1988), pode inferir-se que estas corresponderão à zona dos lodos, que de facto, sendo descritos como camada hidrogeológica de tipo semi-confinante ou aquitardo, será expectável que apresentem valores da ordem de 10^{-4} e 10^{-3} , tal como se obteve no presente trabalho.

Esta ordem de valores inclui-se na descrita por Custodio e Llamas (2001) como correspondendo a um material pouco permeável, sendo que, através desta classificação a parte superficial, em termos de formação aquífera, é do tipo aquitardo (Tabela 16).

Tabela 16 – Classificação de acordo com a permeabilidade do materiais (Adaptado de Custodio e Llamas, 2001)

Permeabilidade (m/dia)	$< 10^{-6}$ a 10^{-4}	10^{-4} a 10^{-2}	10^{-2} a 1	1 a $10^{2,5}$	$10^{2,5}$ a $> 10^4$
Classificação	Impermeável	Pouco Permeável	Algo Permeável	Permeável	Muito Permeável
Classificação do aquífero	Aquícludo	Aquitardo	Aquífero Pobre	Aquífero Normal a Bom	Aquífero Excelente

Permeabilidade (m/dia)	$< 10^{-6}$ a 10^{-4}	10^{-4} a 10^{-2}	10^{-2} a 1	1 a $10^{2,5}$	$10^{2,5}$ a 10^4
Tipo de materiais	Argila compacta Xisto (Pizarro) Granito	Lodo arenoso/Silte arenoso Lodo/silte Argila lodosa/Argila siltosa	Areia fina Areia limosa/Areia Siltosa Calcário fracturado (<i>caliza</i>)	Areia limpa Cascalho e areia Areia fina	Cascalho limpo

Continuação da tabela 16

Como já foi referido anteriormente neste capítulo, o valor a utilizar para o nível mais profundo é de 139 m/dia, o correspondente às Aluviões do Tejo.

6. Escolha do Método de Recarga a aplicar

Neste capítulo é feita uma síntese das características da formação a recarregar e são dadas as hipóteses de fonte de água a usar na recarga e do método de recarga a aplicar.

6.1. Formação a recarregar

A formação aquífera que se pretende recarregar são as Aluviões da bacia do rio Trancão, já que nas suas águas foram encontradas concentrações de nitrato superiores a 50 mg/l (Silva, 2003), valor paramétrico (Decreto-Lei n.º 306/2007 de 27 de Agosto). O objectivo da recarga será a remediação, por diluição, de modo a que haja um melhoramento do estado químico destas águas.

As aluviões da bacia do rio Trancão, apresentam uma grande variabilidade em termos de espessura, sendo o seu valor máximo da ordem dos 60 m. Zbyszewski (1964) descreve esta formação, da base para o topo:

- Lodos cinzentos;
- Areias com alguns níveis de calhaus rolados, principalmente na base.

Para os primeiros 1-2 m da planície aluvial de Loures Zêzere (1988) confirma as características descritas por Zbyszewski (1964). Quanto ao potencial aquífero, este estará circunscrito às areias e cascalheiras da base. Rebelo (1991) descreve a formação aquífera como funcionando geralmente como aquífero livre. Silva (2006) corrobora este autor ao referir que este é um aquífero livre e contínuo, de natureza detrítica e menciona que este apresenta conexão hidráulica com as águas superficiais, que nalguns casos sofrem influência marinha, o que motiva que a composição química da água subterrânea sofra grande influência da água superficial.

Silva (2006) refere que a fácies hidroquímica destas águas subterrâneas é influenciada pelo regime de precipitação, motivando a que: 1) em época seca, a fácies predominante é a cloretada-sódica, no centro da bacia, onde a influência marinha é maior e 2) em época húmida, as fácies predominantes são a bicarbonatada calcio-magnésiana e sódica, como resultado da interacção água-rocha, especialmente com as rochas do Complexo Vulcânico de Lisboa.

6.2. Origem da água de recarga

No início do trabalho foi considerado que a origem mais favorável para a água de recarga da formação aquífera seria uma das diversas ribeiras que existem na bacia hidrográfica do rio Trancão, nas proximidades da zona de estudo. Com o decorrer do trabalho constatou-se que tal não seria possível, uma vez que esta água não apresenta a qualidade adequada (PGRHT, 2011), tornando-se necessário encontrar uma alternativa

para a fonte de água de recarga. Nas sub-bacias hidrográficas mais próximas, nomeadamente, nas do Rio Grande da Pipa e da Grande Lisboa, as águas superficiais são de melhor qualidade sem, no entanto, apresentarem um bom nível, essencial para a aplicação dos métodos de recarga artificial e também para que esta recarga possa ser efectuada por um longo período de tempo sem que ocorra a colmatação dos sistemas.

Como hipótese alternativa sugere-se a captação de água subterrânea de níveis mais profundos, onde esta não se encontrará contaminada, sendo que neste caso, poderia: 1) ser implantado um furo de captação para este efeito; 2) ser utilizado um furo pré-existente.

6.3. Método a aplicar

A formação que se pretende recarregar tem o NHE relativamente superficial, da ordem dos 0,2 a 14 m, de acordo com os dados referentes às amostras utilizadas, pelo que o método de recarga mais usual deveria ser do tipo superficial, nomeadamente, bacias de infiltração, mas neste caso, não será esta a metodologia aconselhada, devido à existência da camada superficial de lodos. O desconhecimento de valores relativos à espessura dos lodos também contribui para que neste tipo de métodos não sejam escolhidos. Se a espessura dos lodos fosse de alguns centímetros a poucos metros, eventualmente, seria possível a construção de bacias de infiltração, desde que a sua profundidade fosse tal que superasse a espessura de lodos e assim fosse atingida a zona a recarregar.

Na impossibilidade da utilização de bacias de infiltração terão de ser utilizados métodos que:

- Ultrapassassem a dificuldade da existência de uma camada superficial semi-confinante, o que restringe a métodos em profundidade;
- Sejam aplicáveis às características do NHE referidas anteriormente (o que inviabiliza a aplicação de métodos de furos de zona vadosa)

Os métodos que preenchem os requisitos atrás enunciados são os métodos de profundidade, nomeadamente furos de injeção.

7. Modelação Matemática

Este capítulo são apresentados os dados utilizados no modelo conceptual do aquífero, essencial para a construção o modelo matemático do mesmo. São descritos os valores escolhidos para aplicação modelo de transporte do aquífero aluvionar, assim como os passos dados na construção do mesmo, de acordo com os dados disponíveis e calculados.

7.1. Modelo Conceptual do Aquífero

Para a construção do modelo conceptual foi feita a recolha de dados referentes a furos de captação de água existentes na APA. Não foram incluídos os poços, já que estes não possuíam informação da litologia em profundidade. Posteriormente foi feita a selecção daqueles que seriam utilizados, aqueles que possuíam relatórios detalhados dos furos de sondagem. Os dados recolhidos foram introduzidos num ficheiro Excel, com tabelas criadas (Figura 34) para que a consulta dos dados fosse mais fácil. Destas tabelas fazem parte, relativamente à formação onde se encontra o topo do furo: a designação dada na carta, a descrição litológica geral e a idade da formação. Quanto a cada furo está descrito: qual o número do furo, qual a carta geográfica em que se encontra e qual a cota do topo do furo. Quanto á descrição em profundidade: os limites e as bases dos diferentes níveis estão descritos quer em cotas, quer em profundidades, foi calculada a espessura de cada nível, sendo então referidas as litologias, cor da camada e observações relevantes para a relação entre os diferentes níveis referidos nos relatórios dos furos.

A	B	C	D	E	F	G	H	I
CBaA	C_{00aA}	"Camadas de Almagem" (arenitas com zonas heterozonas calcárias)		Barremiano sup.-Aptiano				
Designação	"Camadas de Almagem"							
Desc. Litológica	formações arenito-argilosas							
Idade	(Barremiano superior – Aptiano)							
Furo	85		cota	180				
Carta	403							
	profundidade		cotas					
	topo	base	topo	base	espessura	litologia	cor	obs.
	0	80	180	100	80	Grés		Argiloso
	80	95	100	85	15	Grés		Médio
Furo	170		cota	185				
Carta	403							
	profundidade		cotas					
	topo	base	topo	base	espessura	litologia	cor	obs.
	0	10	185	175	10	Argila		
	10	60	175	125	50	Argila		Arenosa
	60	70	125	115	10	Calcário		Fracturado
	70	80	115	105	10	Argila		

Figura 34 - Tabela tipo

Inicialmente o objectivo era, a partir dos dados recolhidos, construir um modelo conceptual das formações aquíferas, mas isto não foi possível devido ao facto de as

descrições serem muito díspares assim como ao facto da existência de intercalações argilosas que impediam a construção de um modelo minimamente fiel à realidade. Assim optou-se por, fazer um modelo da geologia a partir de cortes expeditos realizados na folha da carta geológica 34-B (Loures), nomeadamente na zona da Várzea de Loures, onde estão localizadas as formações aluvionares. Na Figura 35 estão marcados os cortes na carta, assim como o corte G-H, que atravessa dois pontos de espessura conhecida ((1) e (2)) e demonstra a geometria da formação. Os restantes cortes, assim como uma Figura mais detalhada dos perfis marcados na carta são apresentados nas figuras 1 a 11, do Anexo 11.5.

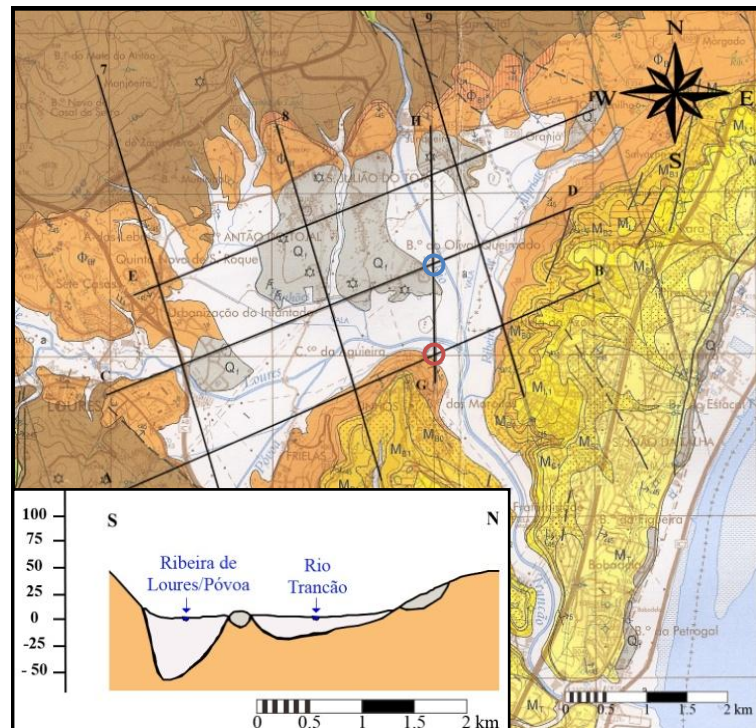


Figura 35 - Cortes realizados na carta e Corte G-H

Para obter uma espessura dos aluviões mais fiel á real, recorreu-se a sondagens realizadas previamente no local. Mais uma vez é de reforçar que esta área não está muito estudada e por essa razão existem poucos dados de sondagens, nomeadamente na zona dos aluviões que é a que interessa no caso deste estudo. Através de informação oral dos Professores Dr. Albino Medeiros e Dr. Gabriel de Almeida inteirámo-nos que as aluviões do Trancão têm uma espessura de, pelo menos, 60 m na zona (1) e de, pelo menos, 20 m na zona (2), com uma espessura média que ronda os 10 m.

7.2. Modelo de Transporte do Aquífero

O modelo de transporte do aquífero foi feito com recurso ao programa de modelação matemática *PROCESSING MODFLOW*© versão 5.3 da *Simcore Software*.

Foi inicialmente criado um modelo de fluxo da água subterrânea (MODFLOW) nas condições iniciais. Este foi construído utilizando os dados base disponíveis, assim como cálculos e determinações feitas através dos mesmos: resultantes da granulometria das amostras de solo. Também foram utilizados dados resultantes de pesquisa bibliográfica referente aos aspectos climatológicos e ambientais necessários para a construção do modelo. Posteriormente foi aplicado um modelo de transporte de contaminantes (MT3D), tendo como objectivo a sua activação por duas ocasiões, antes e depois da aplicação dos métodos de recarga artificial.

A modelação foi feita tendo como base vários trabalhos realizados anteriormente dentro do âmbito da modelação de sistemas aquíferos, tais como Duque, J.; Almeida, C. (1998), Orlando, M. (2001), Marques da Costa, A.T. *et al.* (2006) e particularmente, no caso da modelação do transporte de contaminantes, Shamrukh, M., Corapcioglu, M.; Hassona, F., (2001) e Almasri M.N.; Kaluarachchi J. J. (2007).

7.2.1. Determinação dos valores a utilizar no modelo

Como já foi referido no capítulo dos enquadramentos, esta área não está muito estudada em termos de características hidrológicas, assim sendo foi necessária determinação do valor da condutividade hidráulica (K) através da granulometria das amostras de solo, assim como pesquisa bibliográfica. Pretendeu-se desta forma a obtenção de valores mais próximos da realidade, visto se tratar de um valor que resulta de amostras locais e não de assunções de que estes teriam valores próximos dos Aluviões do Tejo que são os únicos, como também já foi referidos em capítulos anteriores, que tinham dados concretos disponíveis. De notar que as amostras eram da parte mais superficial dos aluviões referida na bibliografia como Lodos, e não da parte mais profunda que terá valores quer de porosidade quer de condutividade hidráulica francamente superiores aos determinados, para estas foi assumido o valor de Condutividade hidráulica igual a 139 m/dia que é o que está descrito para a formação dos Aluviões do Tejo. Tendo a hipótese de calcular valores mais adequados, para a parte superficial através das amostras de solo, foi feita essa determinação e os valores obtidos são apresentados nos subcapítulos seguintes. Inicialmente, foi feita pesquisa na bibliografia disponível sobre o tema, para determinar valores típicos para este tipo de formações, para que a selecção dos dados a utilizar fosse mais crítica, de modo a ser possível identificar os valores mais adequados a serem aplicados no modelo. Posteriormente foram escolhidos os dados a utilizar no modelo de transporte do aquífero aluvionar.

7.2.1.1. Valores disponíveis

Os valores, referentes às formações aquíferas que foram tidas em conta no modelo de transporte, que estão disponíveis na notícia explicativa da carta geológica são apresentados de seguida (Tabela 17).

Tabela 17 - Valores das formações disponíveis na carta geológica 34-B (Loures)

Formação	K (m/dia)	T (m ² /dia)	Coefficiente de Armazenamento	Q (L/s)	Q _e (L/s.m)
Miocénico	-	-	-	9,30	0,66
Terraços (Tejo)	140	1992	1,31×10 ⁻²	-	5,80
Aluviões (Tejo)	139	1587	5,62×10 ⁻³	-	7,40
Aluviões (Trancão)	-	-	-	5,1* e 0,7**	5* e 0,15**

* Furo com cerca de 20 m em Póvoa de Santo Adrião

** Furo com cerca de 20 m em S. Julião do Tojal

7.2.1.2. Valores a determinar

7.2.1.2.1. Porosidade (n)

Como já foi referido anteriormente, o valor da porosidade total é utilizado por alguns autores para o cálculo do Coeficiente (C) da Fórmula de Hazen (Equação 6), que é posteriormente utilizada, para a determinação do valor da condutividade hidráulica da formação).

Os dados resultantes da pesquisa bibliográfica são apresentados nas tabelas 36, 37, 38 e 39, do Anexo 11.6.1 e a tabela com os valores finais, para o tipo de amostra em estudo, é apresentada em baixo (Tabela 18):

Tabela 18 - Valores de porosidade, para aluviões

ORIGEM	Porosidade total (n) (%)			Porosidade eficaz (n _e) (%)		
	MÁX.	MED.	MIN.	MÁX.	MED.	MIN.
Custódio & Llamas (2001)	40	25	20	35	15	5
Sanders (1998)	60	40	20	29	16	3
Domenico & Schwartz (1997)	61	43.5	26			

No âmbito desta dissertação foram utilizadas as duas porosidades, o valor da porosidade total (n), para o cálculo do coeficiente (C) da Fórmula de Hazen (Equação 6), e o valor da porosidade efectiva (n_e), que foi introduzido no modelo de transporte. Os valores seleccionados, para as formações superficiais e em profundidade, são apresentados na Tabela seguinte (Tabela 19):

Tabela 19 - Valores de porosidade a utilizar no modelo

Unidade / Formação aquífera	Porosidade total (n) (%)	Porosidade efectiva (n _e) (%)
Aluviões do Trancão (sup.)	20	10
Aluviões do Trancão (prof.)	40	35

7.2.1.2.2. Condutividade Hidráulica (K)

O valor da condutividade hidráulica mede-se directamente no campo, através de ensaios de caudal, ou em laboratório, através de permeâmetros. Indirectamente pode ser determinada a partir de fórmulas empíricas, como a de Hazen, Burmister, variações da fórmula de Hazen, entre outras. Os dados resultantes da pesquisa bibliográfica são apresentados na Tabela 40 do Anexo 11.6.2.

A condutividade hidráulica foi calculada de entre outras formas, pela fórmula de Hazen, este valor foi calculado utilizando:

- O valor de C igual a 1,2, calculado através da Equação 7, utilizando como porosidade total o valor de 20%, que foi o determinado para a parte superficial das aluviões do Trancão;
- Valores de C iguais a 40 e 150 nomeadamente o mínimo e máximo utilizados na maior parte dos casos para este valor segundo os autores consultados;
- O valor de C igual a 100, usualmente usado segundo Custódio e Llamas (2001).

Como já foi referido, também foi usada a relação d_{10} -K e a fórmula de Burmister (Equação 18) para calcular o valor em falta.

As Tabelas 41, 42, 43 e 44, do Anexo 11.6.2 mostram em detalhe os valores calculados para cada amostra, através da fórmula de Hazen, com os diferentes valores de C referidos. No mesmo anexo, a Tabela 43 mostra em detalhe os valores calculados para cada amostra através da fórmula de Burmister.

Os valores que mais se assemelham aos existentes na bibliografia consultada, são os valores máximos, na ordem de 10^{-4} . Estes valores, são apresentados de seguida na Tabela 20.

Tabela 20 – Valores máximos obtidos, para o valor de K

Método	Valor Obtido	Unidades
Relação d_{10} - K	$< 8,46 \times 10^{-4}$	m/dia
Fórmula de Hazen com C igual a 40	$1,69 \times 10^{-04}$	m/dia
Fórmula de Hazen com C igual a 150	$6,35 \times 10^{-04}$	m/dia
Fórmula de Hazen com C (igual a 100)	$4,23 \times 10^{-04}$	m/dia

Método	Valor Obtido	Unidades
Fórmula de Hazen com C igual a 1,2, calculado através da equação 7	$5,08 \times 10^{-06}$	m/dia
Fórmula de Burmister	$2,77 \times 10^{-03}$	m/dia

Continuação da tabela 20

Na Tabela 46 do Anexo 11.6.2, são apresentados os valores de K, mínimos, máximos e médios, determinados empiricamente, a partir dos dados resultantes da granulometria das amostras de solo.

Dentro destes valores, o mais alto foi o calculado através da fórmula de Burmister esta, como já foi referido em capítulos anteriores, ao contrário da fórmula de Hazen, que apresenta incompatibilidades com o tipo de amostras que estavam disponíveis para análise, não apresenta limitações de aplicação. Tendo estes factores em conta assume-se que o valor determinado desta forma será o mais correcto para os níveis superficiais dos aluviões, que são descritos na bibliografia como sendo constituídos por lodos. Para a parte mais profunda, a zona das cascalheiras, visto existir valor disponível na bibliografia, será esse o valor utilizado, os 139 m/dia.

7.2.1.2.3. Evapotranspiração, Recarga e Precipitação

A evapotranspiração e a recarga, são dois dados essenciais para a modelação do fluxo de água no sistema aquífero, assim sendo estes tiveram de ser determinados a partir dos dados existentes no Relatório dos Planos de Gestão de Região Hidrográfica (PGRH) e dos dados disponíveis em formato *shapefile*, para utilização com o programa *ArcGis* da *ERISI*, no *website* do Atlas do Ambiente [11], referentes a estudos anteriores. Estes são apresentados no nas tabelas 45 e 46 do Anexo 11.6.2.1.

A precipitação foi determinada, tanto através dos dados bibliográficos anteriormente mencionados, como através de polígonos de Thiessen, tendo como dados base, os dados de estações pluviométricas existentes no *website* do SNIRH [8]. Estes são apresentados no nas tabelas 49 e 50 do Anexo 11.6.2.1.

- *Precipitação calculada através do método dos Polígonos de Thiessen*

Este método consiste na definição de áreas em torno de estações pluviométricas conhecidas próximo da área de estudo. Assume-se que no interior de cada polígono a precipitação é igual à da estação que este inclui. Assim, e utilizando a função *Voronoi Map* do *ArcGis* foi possível utilizar este método (Figura 36). A descrição do processo para o cálculo da precipitação é feita no Anexo 11.6.2.2.

Os dados incluídos, dados de precipitação acumulada anual, foram retirados do *website* do SNIRH [8]. Os dados, correspondentes ao intervalo entre os anos hidrológicos 1993/1994 e 1995/1996 são apresentados na Tabela 21.

Tabela 21 - Dados, correspondentes ao intervalo entre os anos hidrológicos 1993/1994 e 1995/1996

Estação	Código	m	p	Bacia	93/94	94/95	95/96
S. Julião do Tojal	20c/01c	114090	208796	Tejo	714.1	383.1	1999.9
Pragança	19c/01g	119573	248286	Rib. do Oeste	889.9	418.8	1366.2
B. Magos	20e/01c	151270	224830	Tejo	932.4	393.6	1011.9
Moinhola	20f/03c	157884	179748	Sado	687.9	409.1	1326.6

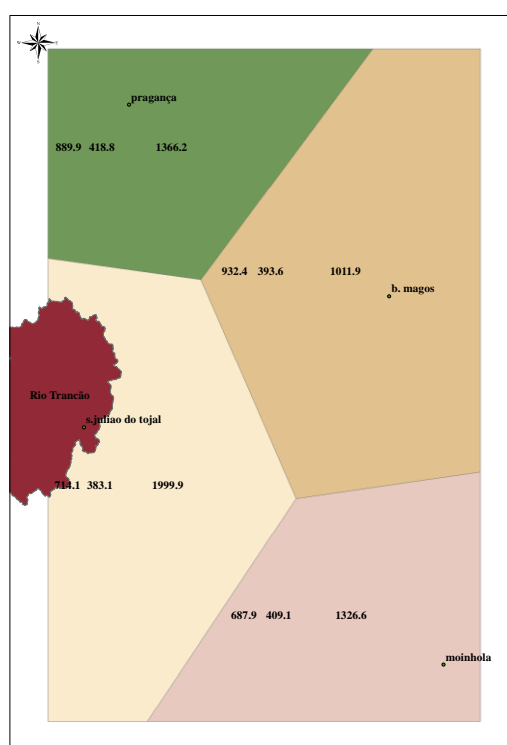


Figura 36 - Polígonos de Thiessen para as estações pluviométricas de S. Julião do Tojal, B. Magos, Pragança e Moinhola e respectivas áreas de influência, para os anos de 1993/1994, 1994/1995 e 1995/1996

O valor de precipitação determinada (Figura 36) é o valor da precipitação anual na estação de São João do Tojal, no ano 95/96 que é o ano de recolha das amostras, igual a 1999,9 \cong 2000 mm /ano.

- *Evapotranspiração e recarga*

A recarga foi calculada, quer através da Equação 3 apresentada no Anexo 11.6.2.1.1, como através da percentagem conhecida da precipitação que corresponde á recarga para a área em estudo, cerca de 9% (PGRH, 2012).

Foram seleccionados os valores calculados a partir dos dados do Atlas do Ambiente [6], apresentados na Tabela 22.

Tabela 22 - Valores para a área em estudo, retirados do site do Atlas do Ambiente [6], referentes às médias dos valores apresentados (médias anuais) e recarga calculada a partir dos mesmos

Tipo	Valor dos dados do Atlas do Ambiente (médias anuais), médias dos valores	Unidades
Precipitação	800	mm
Escoamento	225	mm
Evapotranspiração	550	mm
Recarga (Calculada através da fórmula)	25	mm
Recarga (Calculada através da percentagem correspondente de precipitação, 9%)	75	mm

A recarga foi também calculada, para o ano hidrológico de 95/96, a partir do valor da precipitação, assumindo que esta corresponde a 9% da mesma, o que equivale a 180 mm/ano. Este foi o valor de precipitação aplicado no modelo.

7.3. Construção do Modelo de Escoamento e Transporte de Contaminantes

Neste sub-capítulo são descritos os fundamentos teóricos do programa utilizado na modelação do escoamento, assim como a descrição da realização do modelo, desde o dimensionamento da grelha até á obtenção dos *outputs*, que são os objectivos da realização da modelação.

7.3.1. Modelo de escoamento (MODFLOW)

Após tentativas da construção do modelo com as duas camadas, representando a parte mais superficial e a parte mais profunda, que deram em erros no programa e que não permitiam avançar na modelação, devido ao facto de a condutividade hidráulica calculada ser muito baixa, optou-se por um modelo de uma apenas camada, com o nível mais profundo. Os pacotes utilizados na execução do modelo foram: Evapotranspiração e Recarga, no subcapítulo correspondente, são apresentadas sucintamente as equações dos respectivos pacotes.

Neste subcapítulo, as unidades das equações são dadas nas unidades tipo do programa: (L) Comprimento (*Lenght*), (M) Massa (*Mass*) e (T) Tempo (*Time*). Estas são constantes ao longo da modelação, sendo que a unidade de comprimento usada foi o metro (m), a de massa foi o miligrama (mg) e a unidade de tempo foi o dia (d).

7.3.1.1. Introdução teórica e fundamentação numérica da modelação matemática do escoamento subterrâneo

O modelo de fluxo de água subterrânea foi feito com utilização do programa PROCESSING MODFLOW 5.2, através do modelo MODFLOW que utiliza o método das diferenças finitas para determinar o escoamento tridimensional de um fluido. Também é possível no mesmo programa determinar, entre outros, o transporte de contaminantes e partículas, através dos modelos MT3D e PMPATH, respectivamente (McDonald e Harbaugh, 1988; Zheng, 1990; Chiang e Kinzelbach, 1998; Zheng e Wang 1999).

O fluxo da água é descrito pela equação de Darcy ou Lei de Darcy (Equação 1). Derivações a esta equação principal são utilizadas na descrição do movimento da água subterrânea, estas variam se se considerar um meio saturado ou um meio onde, para além da fase líquida, se considera a existência de uma fase gasosa.

Para o caso em estudo considerou-se um meio saturado e, inicialmente a modelação foi feita em estado de Equilíbrio (*Steady-state Saturated Flow*), onde a magnitude e direcção do escoamento são constantes com o tempo. Tencionava-se posteriormente alterar esta condição para estado Transiente (*Transient Saturated Flow*), onde a magnitude e direcção do escoamento podem variar ao longo do tempo ou as condições potenciométricas podem ser alteradas á medida que a água entra ou sai da formação considerada, visto que o primeiro modo é mais estável e indicado para as primeiras fases do modelo, inclusivamente para a realização da calibração do mesmo, sendo este procedimento sugerido por vários autores e por trabalhos anteriormente realizados no âmbito da modelação de sistemas aquíferos (Anderson e Woessner, 1992; Wang e Anderson, 1995 ; Spitz e Moreno, 1996; Bear e Cheng, 2010).

As equações do fluxo subterrâneo são, para um escoamento tridimensional de um fluido de densidade constante, em meio poroso (Wang e Anderson, 1995; Hiscock, 2005):

- Para circulação em estado estacionário ou de equilíbrio:

Equação 19 – Equação para estado de equilíbrio (Wang e Anderson, 1995; Hiscock, 2005)

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(-K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(-K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(-K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) = 0$$

Onde:

x, y, z – Coordenadas cartesianas alinhadas aos principais eixos de anisotropia (L);

K_x, K_y, K_z – Componentes principais do tensor de condutividade hidráulica (LT^{-1});

h – Altura piezométrica/nível piezométrico (L)

- Para circulação em estado transitório:

Equação 20 – Equação para estado de transitório (Wang e Anderson, 1995; Hiscock, 2005)

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) = S_e \frac{\partial h}{\partial t} \pm Q_i \left[\frac{1}{T} \right]$$

Onde:

x, y, z – Coordenadas cartesianas alinhadas aos principais eixos de anisotropia (L);
 K_x, K_y, K_z – Componentes principais do tensor de condutividade hidráulica (LT⁻¹);
 h – Altura piezométrica/nível piezométrico (L);
 Q_i – Caudal por unidade de volume (sumidouros e fontes de água) (T⁻¹);
 S_e – Armazenamento específico do material atravessado (L⁻¹);
 t – Tempo (T).

Zheng (1990) e mais recentemente Zheng e Wang (1999) referem, para o programa utilizado, a seguinte fórmula (Equação 21) para a determinação pontual da altura piezométrica, num modelo tridimensional:

Equação 21 – Equação para a determinação pontual da altura piezométrica, num modelo tridimensional (Zheng (1990) e Zheng e Wang (1999))

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left(K_i \frac{\partial h}{\partial x_i} \right) + q_s = S_s \frac{\partial h}{\partial t}$$

Onde:

x_i – Coordenadas cartesianas alinhadas aos principais eixos de anisotropia (L);
 K_i – Componentes principais do tensor de condutividade hidráulica (LT⁻¹);
 h – Altura piezométrica/nível piezométrico (L);
 q_s – Caudal por unidade de volume, pode ser negativo (sumidouros) ou positivo (fontes de água) (T⁻¹);
 S_s – Armazenamento específico do material atravessado (L⁻¹);
 t – Tempo (T)

Os valores são calculados célula a célula, sendo que a resolução de qualquer das equações descritas anteriormente devolve dados que permitem ao programa descrever o escoamento através de um mapa de contornos equipotenciais, através do qual é possível determinar o comportamento da água na formação aquífera.

7.3.1.2. Dimensionamento e posicionamento da grelha

Foi utilizado um mapa geológico de base, digitalizado da carta geológica de Loures 34-B (1:50 000) e georreferenciado, com as dimensões de 8 por 10 km. O modelo de transporte foi feito com uma malha, sobreposta ao mapa referido anteriormente, de 120

por 120 células, com 50 m de lado cada uma, o que perfaz uma área de 6 km². A grelha foi posicionada no canto superior esquerdo do mapa de base (Figura 37).

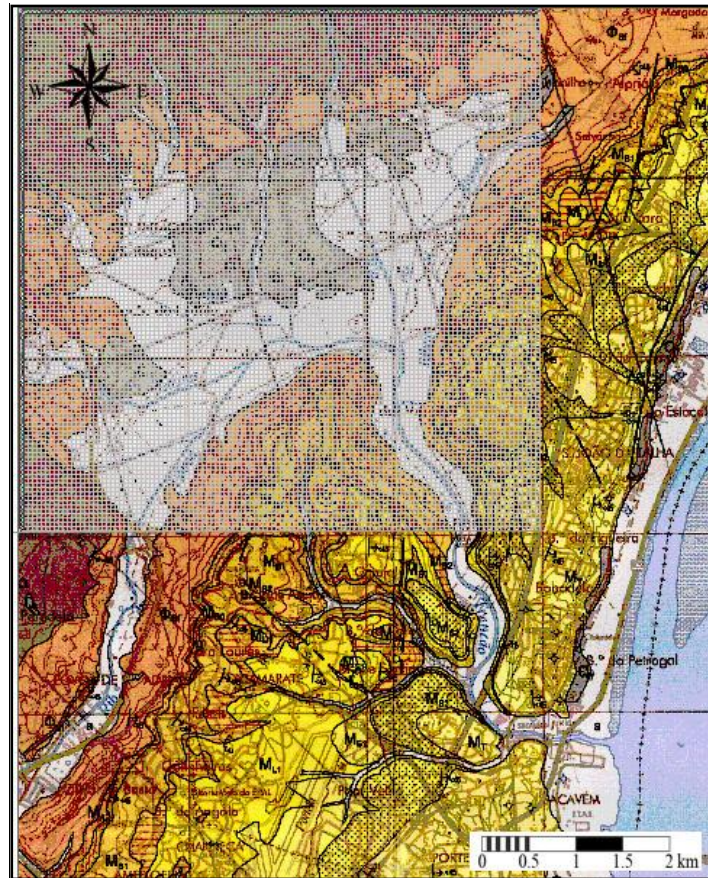


Figura 37 – Mapa de base e posição da grelha

De seguida, e para facilitar a modelação, foi feita a construção de zonas na parte do miocénico, da formação de Benfica e na zona do CVL.

7.3.1.3. Tipo de camada (layer type)

As camadas podem ser definidas, tendo em conta as suas características como:

- (0) – Confinada;
- (1) – Não confinada;
- (2) – Confinada/não confinada (com a transmissividade constante);
- (3) – Confinada/não confinada (com transmissividade variável).

Em todas as opções é possível que os valores da transmissividade, condutância (*leakance*) e coeficiente de armazenamento sejam calculados pelo programa ou definidos pelo utilizador.

Nota: Quando se seleccionam as hipóteses 1 e 3, ocorre um erro no programa que não deixa que a modelação seja feita (Figura 38).

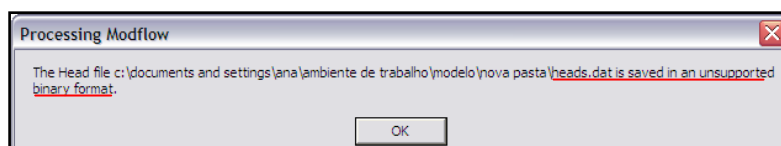


Figura 38 - Janela de erro do programa (*saved in an unsupported binary format*)

A camada deve ser definida como não confinada, de tipo 1. Visto que a selecção das opções 1 e 3 provocam erros que inviabilizam a aplicação do programa, o tipo seleccionado foi o 2.

7.3.1.4. Condições de fronteira (IBOUND)

As condições de fronteira são o resultado da solução de equações diferenciais e, num modelo de transporte, podem ser de três tipos:

- **Condição de Dirichlet** – é usada nas situações em que a carga hidráulica é especificada, como no caso do aquífero ter conectividade hidráulica com um rio ou lago.
- **Condição de Neumann** – o fluxo é especificado, pode ter valor de zero, no caso de contornos impermeáveis ou perpendiculares á linha de fluxo. Quando através do gradiente hidráulico é possível determinar o fluxo que atravessa o material este valor é não nulo.
- **Condição de Cauchy** – é uma fronteira mista, que pode apresentar ou características da de Dirichlet ou da de Neumann, é utilizada para camadas semi-permeáveis.

Na Tabela 23, são apresentadas: as características da formação aquífera (permeabilidade), o tipo de fronteira utilizada e o valor, representativo do mesmo, introduzido no programa.

Tabela 23 - Valores de tipo de fronteiras introduzidas no programa

Formação aquífera	Características	Tipo de fronteira	Valor introduzido no programa
CVL	Impermeável	Inactiva	0
Cx. Lis.	Impermeável	Inactiva	0
Miocénico	Permeável	Inactiva*	0
Terraços	Permeável	Inactiva*	0
Aluviões	Permeável	Activa	1

* Esta formação foi considerada como inactiva de modo a simplificar o modelo de transporte.

Nota: As células onde se colocaram as alturas piezométricas iniciais conhecidas foram definidas como activas de potencial constante, no programa marcadas com o valor – 1.

7.3.1.5. Dimensionamento do aquífero (definição da base e do topo)

Para o dimensionamento foi tomada como cota de topo os 8 m e, a partir deste valor foram subtraídos os valores das espessuras determinadas através dos cortes, obtendo então os valores das cotas de base do aquífero. A gama de valores introduzidos é apresentada na Tabela 24. Na Figura 39, observa-se a distribuição das espessuras assumidas para a determinação das cotas da base.

Tabela 24 - Valores introduzidos no programa

Unidade aquífera/Formação aquífera	Topo (m)	Base (m)
CVL	-	-
Cx. Lis.	-	-
Miocénico	-	-
Terraços	-	-
Aluviões	8	60 (máx), a 5 m de espessura -52 a 3 m de cota

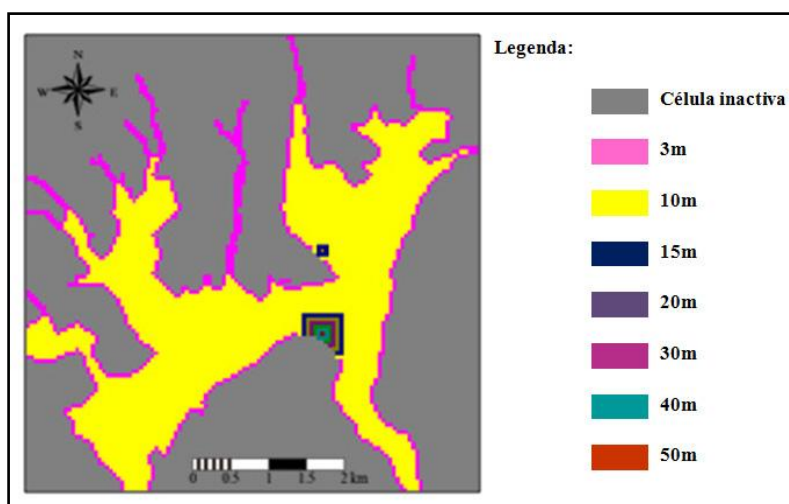


Figura 39 – Distribuição das espessuras do modelo e respectiva legenda

7.3.1.6. Introdução dos valores característicos intrínsecos das diferentes unidades

Nas Tabelas 25 são apresentados os valores introduzidos no programa, para cada uma das formações.

Tabela 25 - Valores introduzidos no programa

Unidade aquífera/Formação aquífera	Tipo de fronteira	Topo da camada (m)	Base da camada (m)	Condutividade hidráulica (K) (m/dia)	Transmissividade (T) (m ² /dia)	Porosidade efectiva (n _e) (%)
CVL	Inac	-	-	-	Calculado pelo programa	-
Cx. Lis.	Inac	-	-	-		-
Miocénico	Inac	-	-	-		-
Terraços	Inact	10	0	140		22
Aluviões	Act	8	60 (máx), a 5 m de espessura -52 a 3 m de cota	139		20

Na tabela 26 são apresentados os valores introduzidos no programa, para a evapotranspiração e recarga.

Tabela 26 – Valores de fontes e sumidouros introduzidos no programa

Tipo	Valor	Unidades
Evapotranspiração	$1,068 \times 10^{-3*}$	m/dia
Recarga	$4,931 \times 10^{-4**}$	m/dia

*Atlas do Ambiente
**Ano hidrológico 95/96

7.3.2. Modelo de transporte de contaminantes (MT3D)

O modelo do transporte de contaminantes foi feito com utilização do modelo MT3D do programa PROCESSING MODFLOW 5.2, que, através do método das diferenças finitas determina o transporte de contaminantes (McDonald. e Harbaugh,1988; Chiang e Kinzelbach,1998).

Neste subcapítulo, as unidades das equações são dadas nas unidades tipo do programa: (L) Comprimento (*Lenght*), (M) Massa (*Mass*) e (T) Tempo (*Time*). Estas são constantes ao longo da modelação, sendo que a unidade de comprimento usada foi o metro (m), a de massa foi o miligrama (mg) e a unidade de tempo foi o dia (d).

7.3.2.1. Introdução teórica da modelação matemática do transporte de contaminantes

No transporte de contaminantes, as equações utilizadas são diferentes das do escoamento porque o transporte de solutos pode ocorrer de vários modos e, em certos casos de vários modos em simultâneo. Estes meios pelos quais este tipo de solutos é

transportado podem ser: advecção, dispersão e reacção química através de reacções de sorção. A equação que governa o transporte de contaminantes é a equação de advecção-dispersão (Equação 22).

Equação 22 - Equação de advecção-dispersão (Javandel, *et al.*, in 1984 Zheng, 1990)

$$\frac{\partial}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial x_i} \left(D_{ij} \frac{\partial}{\partial x_j} \right) - \frac{\partial}{\partial x_i} (v_j C) + \frac{q_s}{\theta} C_s + \sum_{k=1}^N R_k$$

Onde:

C – Concentração dos contaminantes dissolvidos (ML⁻³);

t – Tempo (T);

x_i – Distância ao longo da coordenada cartesiana x (L);

D_{ij} – Coeficiente de dispersão hidrodinâmico (L²T⁻¹);

v_j – Velocidade linear da água, LT⁻¹;

q_s – Fluxo de água, por unidade de volume do aquífero, pode ser positivo (fontes) ou negativo (sumidouros) (T⁻¹);

θ – Porosidade do meio atravessado;

C_s – Concentração nas fontes ou sumidouros (ML⁻³);

∑_{k=1}^N R_k – Termo da Reacção Química (ML⁻³T⁻¹)

É necessário, antes de correr o modelo de transporte, a criação de furos de observação onde o programa irá posteriormente realizar a análise da variação da concentração, através de curvas de Concentração relativa *versus* o tempo (na literatura inglesa designadas por *Breakthrough Curves*).

Equação 23 - Equação da Concentração relativa

$$C_r = \frac{C}{C_0}$$

Onde:

C_r – é a concentração relativa;

C – é a concentração num ponto do domínio;

C₀ – é a concentração na fonte.

Estes furos de observação, foram criados para os dados L1 e L2.

7.3.2.2. Condições de fronteira (ICBUND)

As condições de fronteira, nos modelos de transporte de solutos, podem ser de três tipos: concentração variável com o tempo, concentração fixa, célula inactiva. Estas são

representadas no programa da mesma maneira que se referiu no modelo de escoamento subterrâneo, 1, -1 e 0, respectivamente. Quando a concentração de soluto é mínima, junto de uma célula definida como activa (de valor 1), esta é automaticamente tratada como se fosse inactiva. Ao contrário do modelo de escoamento subterrâneo, neste caso, é necessário a definição da concentração inicial em todas as células activas, no caso de células de concentração constante este valor é mantido durante a simulação de transporte. Para as condições de fronteira do modelo de transporte de solutos foram utilizados os mesmos valores que para o modelo de transporte visto que apenas se pretendia analisar o transporte na formação aluvionar, assim os valores são os que já foram apresentados na Tabela 23, tendo todas as formações que não a de interesse sido deixadas como inactivas.

7.3.2.3. Concentração inicial

No caso da modelação do transporte de solutos, a definição da concentração inicial tem de ser dada para todas as células activas, por esta razão, foi utilizada a distribuição espacial determinado através dos dados iniciais através da estimação por *krigagem*.

7.3.2.4. Advecção

7.3.2.4.1. Esquema de solução (Solution scheme)

Numa primeira abordagem, seguindo o que referem Chiang e Kinzelbach (1998), foi aplicado o método das diferenças finitas (*upstream finite difference*) de modo a obter aproximações iniciais. Este não é indicado quando o número de Peclet (P_e) é superior a 2.

Equação 24 - Número de Peclet (Chiang e Kinzelbach, 1998)

$$P_e = \frac{\Delta x}{\alpha_L}$$

Onde:

P_e – Número de Peclet;

Δx – Distância percorrida na direcção x (L);

α_L – Dispersividade longitudinal

Posteriormente e tendo em conta as condições de aplicação de cada um dos métodos possíveis de seleccionar (Chiang e Kinzelbach, 1998; Zheng, 1990), determinou-se que o que melhor se aplicaria aos dados em causa era o método das características (MOC).

O esquema que se escolheu foi o método das características (MOC), neste é necessário definir vários pontos, foram utilizados os valores típicos do programa:

- Numero máximo de partículas: 12500

- Número de Courant: 0,75 (é o valor que marca o limite superior do intervalo de tempo utilizado pelo algoritmo)
- Factor de concentração: 0,5
- Gradiente de concentração relativo negligenciável: 0,00001
- Padrão de distribuição inicial das partículas: 1
- Número de partículas por célula (DCELL ≤ DCEPS): 0
- Número de partículas por célula (DCELL > DCEPS): 16
- Número mínimo de partículas por célula (DCELL > DCEPS): 0
- Número máximo de partículas por célula (DCELL > DCEPS): 30
- Multiplicador do número de partículas nas células fonte: 1

7.3.2.4.2. Algoritmo de rastreio de partículas (*Particle tracking algorithm*)

Existem três opções para o algoritmo de rastreio de partículas: algoritmo de Euler de primeira ordem, o algoritmo de Runge-Gutta de quarta ordem e, uma combinação dos dois. O primeiro é melhor para modelos com menores passos de transporte. O algoritmo de Runge-Gutta já permite passos de seguimento maiores. A terceira opção faz com que, perto de poços ou fontes de contaminação no modelo seja usado o de Runge-Gutta e resto dos locais seja utilizada o algoritmo de Euler. Esta última também tem a vantagem de poder suportar uma grande gama de valores do número de Peclet (P_e) (Chiang e Kinzelbach, 1998). Dentro destes optou-se pelo algoritmo misto, pelas vantagens anteriormente referidas.

7.3.2.5. Dispersão

7.3.2.5.1. Dispersividade

Para a determinação da dispersividade da formação assim como a sua variação Longitudinal (α_L) e Transversal (α_T) utilizaram-se, mais uma vez, valores descritos em diversa bibliografia. Segundo Gelhar *et al.*, 1992 (*in* Almasri e Kaluarachchi, 2007) a relação entre as duas dispersividades pode ser descrita pela Equação 25, apresentada de seguida:

Equação 25 – α_T Versus α_L

$$\alpha_T = 0,1 \times \alpha_L$$

Onde:

α_L – Dispersividade Longitudinal (L);

α_T – Dispersividade Transversal (L).

Para estimar a Dispersividade Longitudinal (α_L) utilizou-se a fórmula desenvolvida por Xu e Eckstein, 1995 (Equação 26), que estima o este valor a partir da Escala de Campo, definida por Gelhar *et al.* (1992) como “*distância atravessada (pela água*

subterrânea) desde a fonte da contaminação ou, no caso de fluxo subterrâneo induzido, distância entre os furos de injeção e os de observação”.

Equação 26 – Fórmula desenvolvida por Xu e Eckstein (1995) que relaciona a Dispersividade Longitudinal (α_L) com a Escala de Campo

$$\alpha_L = 0,83 \times [\log L]^{2,414}$$

Onde:

α_L – Dispersividade Longitudinal (L);

L – Escala de Campo (L).

Neste caso tomou-se como valor da Escala de Campo (L), o comprimento da grelha, normal ao principal sentido de fluxo da água subterrânea, 8000 m. Desta, após aplicar a Equação 26, obteve-se um valor de dispersividade longitudinal (α_L) igual a 22,22 m. Aplicando a equação 25 determina-se um valor de 2,22 m para a dispersividade transversal (α_T). Deste modo é possível calcular os valores de TRPT e TRPV, necessários para introdução no programa, sendo:

Equação 27 – Cálculo da TRPT

$$\text{TRPT} = \frac{\text{Dispersividade Transversal Horizontal}}{\text{Dispersividade Longitudinal}}$$

Equação 28 – Cálculo da TRPV

$$\text{TRPV} = \frac{\text{Dispersividade Transversal Vertical}}{\text{Dispersividade Longitudinal}}$$

De acordo com a bibliografia consultada (Almasri e Kaluarachchi, 2007; Shamruk, *et al.*, 2001) o valor da dispersividade transversal horizontal é, consideravelmente maior que a dispersividade transversal vertical. Usaram-se ambas iguais à dispersividade transversal (α_T). Assim, resolvendo as equações 27 e 28 obteve-se um valor de TRPT e TRPV igual a 0,1.

O valor calculado da dispersividade longitudinal 22,22 m foi aplicado a todas as células activas do modelo que, como já foi referido, correspondem às formações aluvionares.

7.3.2.5.2. Coeficiente de Difusão Molecular Efectivo

Frind, *et al.*, 1990 (*in* ; Shamruk *et al.* 2001; Almasri e Kaluarachchi, 2007), referem um coeficiente de difusão, para o ião nitrato, de $5 \times 10^{-5} m^2/dia$. Foi este o valor usado na modelação.

7.3.2.6. Reacção química (sorção)

A expressão que na equação 22 corresponde á reacção química, pode ser simplificada (Equação 29) para considerar apenas dois tipos de reacções, sorção

(reacção química água-sólido) e reacções de primeira ordem, deste modo esta passa a (Zheng e Wang, 1999):

Equação 29 – Equação que corresponde á reacção química, simplificada, considerando apenas sorção (reacção química água-sólido) e reacções de primeira ordem (Zheng e Wang 1999)

$$\sum_{k=1}^N R_k = -\rho_b \frac{\partial \bar{C}^k}{\partial t} - \lambda_1 \theta C^k - \lambda_2 \rho_b \bar{C}^k$$

Onde:

ρ_b – Densidade do meio (ML^{-1});

C^k – Concentração de espécies k que sofreram sorção no meio (MM^{-1});

λ_1 – Coeficiente de primeira ordem para a fase dissolvida (T^{-1});

λ_2 – Coeficiente de primeira ordem para a fase sorvida (*sorbed fase*) (T^{-1}).

θ – Porosidade do meio.

Zheng e Wang (1999) referem que, quando a reacção é o decaimento radioactivo, λ_1 e λ_2 são iguais e que, para certos tipos de biodegradação estes valores podem diferir.

O único processo químico que afecta a movimentação e, conseqüentemente a concentração, do ião nitrato, na zona saturada e em condições anaeróbias, é a desnitrificação microbiológica (Shamrukh *et al.*, 2001). A sua concentração nas está directamente relacionada com a carga de azoto aplicada à superfície dos solos e conseqüente lixiviação para o meio subterrâneo. A principal fonte do azoto e conseqüentemente do nitrato são os fertilizantes utilizados nas actividades agrícolas existentes na área, assim como os restantes focos de contaminação referidos anteriormente. Os passos de transformação dos fertilizantes na sub-superfície são apresentados no esquema seguinte (Figura 40).

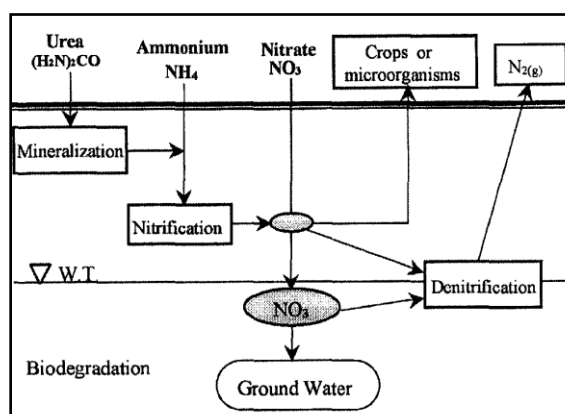


Figura 40 - Processos de transformação dos fertilizantes azotados na sub-superfície (Retirado de Shamrukh *et al.*, 2001)

Para o nitrato, a equação do coeficiente de decaimento de primeira ordem é descrita pela fórmula seguinte (Equação 30):

Equação 30 – Equação do coeficiente de decaimento de primeira ordem, para o nitrato (Shamrukh *et al.*, 2001)

$$\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}}$$

Onde:

λ - Coeficiente de decaimento de 1ª ordem;

$t_{1/2}$ – Tempo de semi-vida do nitrato (NO₃⁻).

O tempo de semi-vida do nitrato ($t_{1/2}$) está estimado ente o 1 e os 2,3 anos, no entanto este valor depende do tipo de formação aquífera e, por esta razão não pode ser generalizado (Frind, E. *et al.*, 1990 in ; Almasri, N.N. e Kaluarachchi, J.J , 2007), no entanto Korom (1992 in Shamrukh *et al.* , 2001), refere um tempo de meia vida de 2,5 anos, tanto para bactéria autotróficas como heterotróficas. De modo a obter um valor para este coeficiente, necessário para a modelação do transporte de solutos, e tendo em conta as limitações anteriormente referidas optou-se por usar o valor descrito por Korom (1992) deste modo o coeficiente de decaimento de primeira ordem, para o Nitrato (λ) é igual a, aproximadamente, 0,277. O nitrato, sendo uma espécie bastante móvel, praticamente não sofre sorção o que faz com que esta possa ser negligenciada (Shamrukh *et al.*, 2001). No MT3D existe a possibilidade de se realizar a modelação apenas da degradação biológica ou decaimento radioactivo, representativo da desnitrificação. Para isso é apenas necessário introduzir o valor do coeficiente de primeira ordem, calculado anteriormente e do coeficiente de primeira ordem para a fase sólida que foi assumido como igual ao da fase dissolvida.

7.3.3. Aplicação dos Métodos de Recarga

Como já foi referido em capítulos anteriores o método de recargar artificial mais adequado para as condições da área em estudo são os métodos em profundidade. Para este efeito foi utilizado o pacote de poço (*Well*) do modelo MODFLOW.

7.3.4. Pacote de Poço

Foram criados poços coincidentes com os existentes, de modo a simular a recarga sem necessidade de construção de poços, e foi corrido o modelo de transporte de contaminantes (MT3D).

8. Resultados e Discussão

8.1. Resultados

8.1.1. Mapa piezométrico

Os valores correspondentes ao NHE foram interpolados através de *Krigagem* (Figura 41).

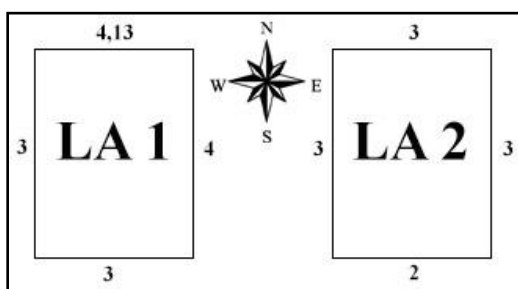


Figura 41 - Limites de NHE, em metros, interpolados através da análise geoestatística (*Krigagem*)

No limite Sudeste, onde se encontra a foz do Rio Trancão, em todas as hipóteses consideradas, o NHE foi considerado constante e igual a zero, uma vez que este rio desagua quase na foz do Tejo (cota zero).

Inicialmente foram consideradas duas hipóteses, para a definição das células de potencial constante nas condições de fronteira e dos valores correspondentes de NHE.

- 1) As células correspondentes aos troços iniciais e finais dos cursos de água mais significativos, isto é, de maior caudal: a Norte (Rio Trancão), a Sul (Rio Trancão e Ribeira da Póvoa), a Oeste (Ribeira de Loures);
- 2) As células correspondentes aos troços iniciais e finais de todos os cursos de água, coincidentes com a área a modelar (incluída nas células activas);

Depois de correr o modelo verificou-se que estas hipóteses não descreviam convenientemente o escoamento subterrâneo. Estas condições de fronteira constante após a inclusão das entradas e saídas do sistema, geravam inversões de fluxo que na realidade não existem. Esta inadaptação do modelo à realidade sucedeu porque não se entrou em linha de conta com o funcionamento do aquífero. A condutividade hidráulica do aquífero tem um valor muito baixo, o que impedia o funcionamento do modelo. De forma a corrigir a situação anterior foram consideradas mais duas hipóteses para a definição das células de potencial constante nas condições de fronteira e dos correspondentes valores de NHE:

- 3) As células correspondentes ao troço inicial e final do traçado do rio Trancão.
- 4) As células correspondentes ao troço final do rio Trancão.

De todas as hipóteses de trabalho, a única que gerou um mapa piezométrico sem inversões de fluxo e minimamente fiel ao escoamento subterrâneo expectável, foi a 4ª e última hipótese, daí que tenha sido esta a escolhida para a modelação. Na figura 42 apresenta-se o mapa de escoamento subterrâneo gerado pela hipótese seleccionada, a hipótese 4.

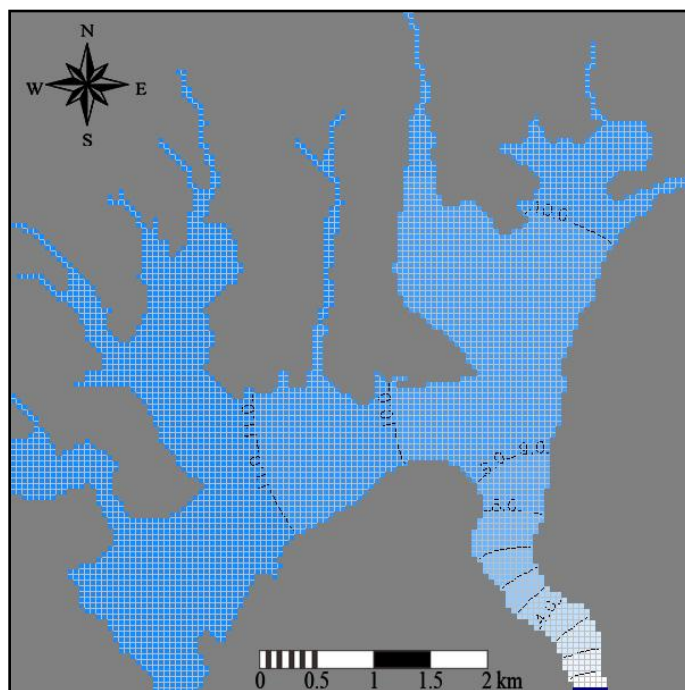


Figura 42 - Estado Inicial, do modelo de escoamento subterrâneo, com entradas e saídas do sistema, da hipótese 4

8.1.2. Mapa de concentração de nitratos

Nas Figura 43 e 44, são apresentados os mapas com a concentração de nitratos, considerando as concentrações deste ião nas duas amostragens, LA1 e LA2, respectivamente.

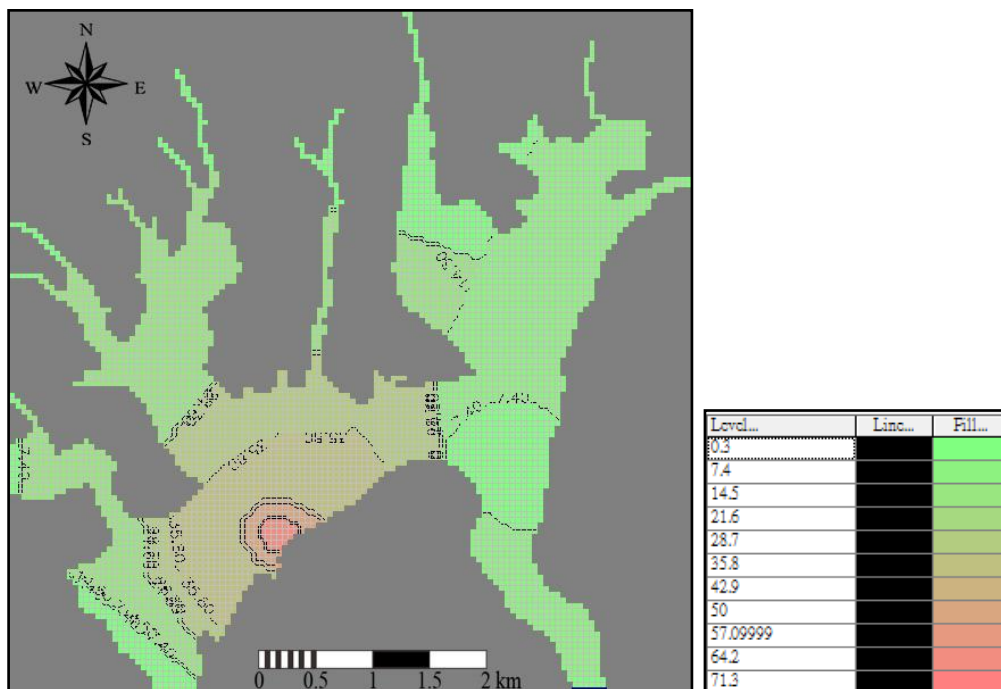


Figura 43 – Concentração de nitratos considerando a amostragem LA1 e respectiva legenda (valores em mg/l)

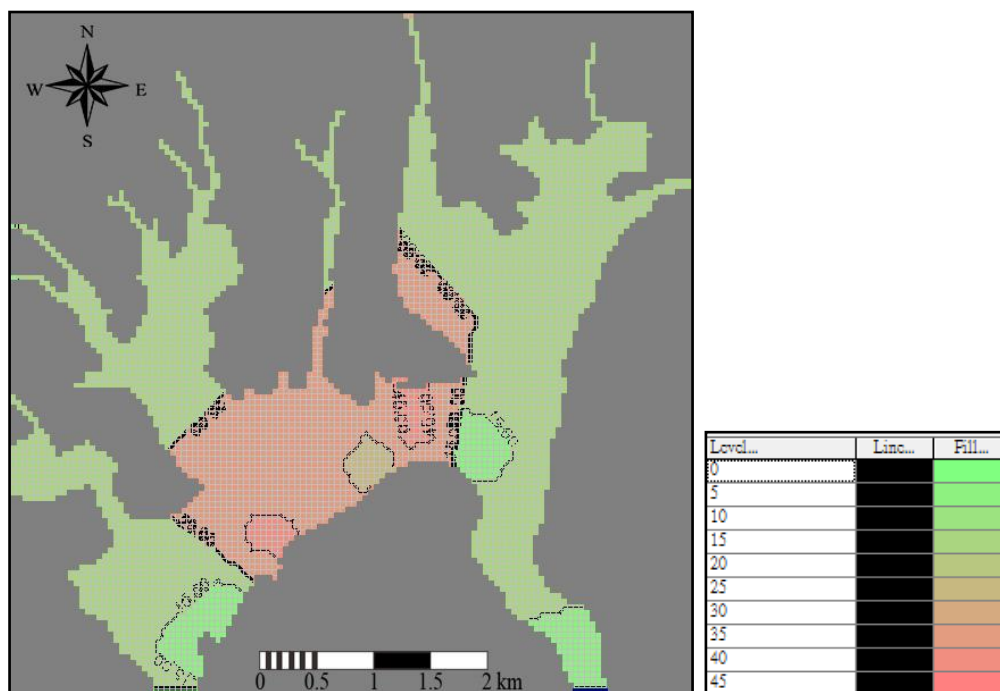


Figura 44 - Concentração de nitratos considerando a amostragem LA2 e respectiva legenda (valores em mg/l)

8.1.3. Aplicação dos Sistemas de Recarga Artificial

Tendo em conta os resultados na modelação optou-se pela construção de furos de injeção propositadamente para este efeito. Esta opção, apesar de mais onerosa, apresenta vantagens porque, este tipo de furos tem de ter manutenção, que consiste na extracção de água o que faria com que estes pudessem ter função dupla, aumentando-se o tempo de vida dos furos.

A escolha da localização dos furos de injeção foi feita tendo em conta: 1) o escoamento subterrâneo da formação aquífera, e 2) o comportamento do contaminante em condições naturais, sem utilização de métodos de recarga artificial, de modo a maximizar a rentabilidade do sistema de recarga artificial. O comportamento do contaminante em condições naturais foi determinado tanto com base nos valores da concentração das amostras LA1 e LA2, que indicam uma diminuição da concentração do contaminante ao longo do tempo, como através da simulação de escoamento efectuada com o modelo *MODFLOW*, considerando os valores intrínsecos característicos da formação, visto que, por erros que são descritos no sub-capítulo seguinte, não foi possível utilizar a função MT3D. Os locais seleccionados para a implantação dos furos de injeção localizam-se nas zonas onde se verificavam os focos de contaminação.

A localização dos furos de injeção pode ser observada nas Figuras 45 e 46, referentes às amostras LA1 e LA2, respectivamente.

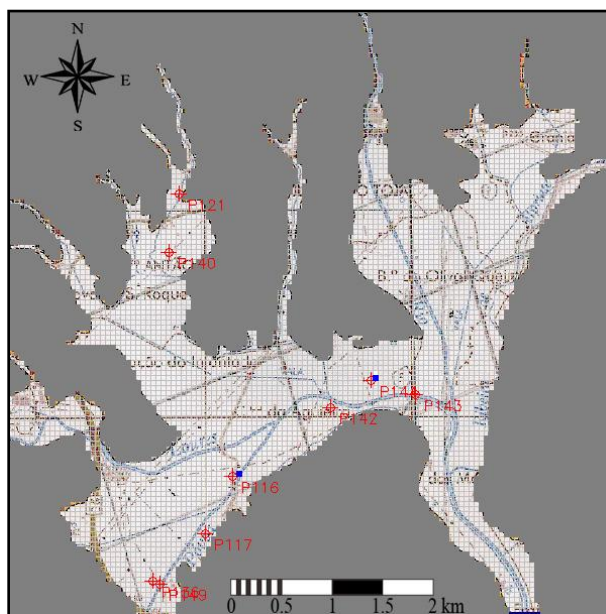


Figura 45 - Localização dos furos de injeção, símbolo a azul, considerando a amostragem LA1

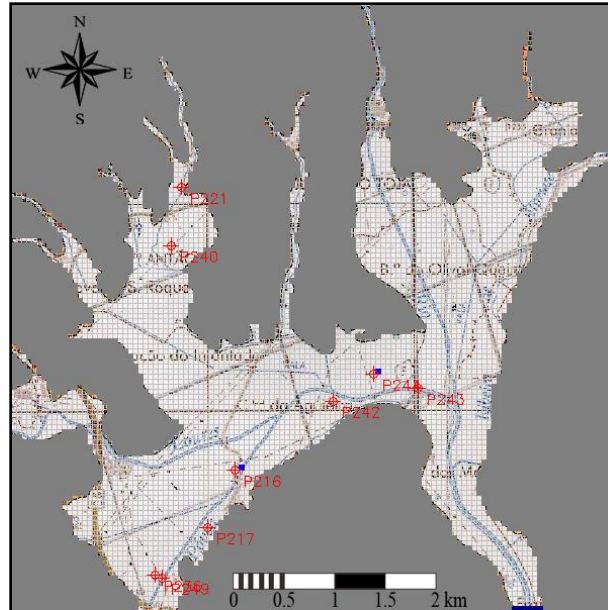


Figura 46 - Localização dos furos de injeção, símbolo a azul, considerando a amostragem LA2

8.2. Discussão

Em situação natural, sem utilização de recarga artificial, a concentração de nitrato na amostragem LA1 é mais elevada do que na amostragem LA2, verificando-se uma ligeira melhoria na qualidade da água armazenada na formação aluvionar. Estas variações são claramente visíveis nos mapas piezométricos apresentados no Capítulo 4 e nos do presente capítulo.

O desenvolvimento do modelo de transporte foi um processo bastante moroso. Tanto a fase de pesquisa bibliográfica dos parâmetros característicos das formações aquíferas das aluviões do Trancão a aplicar no modelo, como a tentativa de os determinar empiricamente com dados granulométricos do solo mais superficial, com o objectivo de construir um modelo com dados que melhor representassem a realidade.

Posteriormente, o próprio funcionamento do modelo, que desde cedo apresentou dificuldades de funcionamento, sob a forma de erros apresentados pelo programa que não permitiam o avanço da construção das restantes partes do modelo. Ao longo do avanço do trabalho, o modelo foi refeito por várias vezes, com valores diferentes de vários *inputs* (condutividade hidráulica, porosidade, entre outros). Também foram variados os caudais considerados para as entradas e saídas do sistema, a evapotranspiração e a recarga a aplicar no modelo. Apesar das diferentes tentativas os erros persistiram.

O primeiro erro com que nos deparámos surgiu quando, após a introdução de todos os dados necessários à corrida do modelo de fluxo, este não executava os cálculos para a determinação dos níveis piezométricos e, conseqüentemente, não gerava o ficheiro necessário para a criação do mapa de isopiezas. Ainda associado a esta fase de trabalho,

o programa gravava o ficheiro num formato que ele próprio não conseguia ler (Figura 47). Este erro conseguiu ser solucionado, permitindo o funcionamento do modelo, sendo possível obter os mapas já apresentados. O erro foi solucionado, através da alteração do tipo de camada atribuído á formação aquífera que, como já foi referido no Capítulo 7, foi alterado para livre/confinado com transmissividade constante.

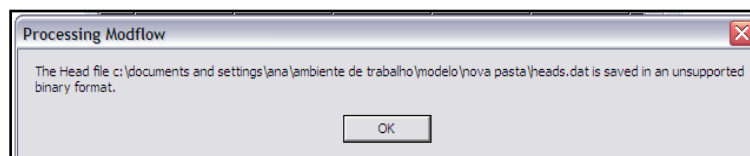


Figura 47 - Mensagem de erro ocorrido, após a introdução de todos os dados necessários ao modelo de fluxo

A presente dissertação demorou um pouco mais a ser finalizada do que estava previsto inicialmente, sempre na esperança de se conseguir solucionar o problema e alcançar resultados fiáveis. Devido ao muito tempo gasto a tentar solucionar os erros surgidos no modelo e a necessidade de cumprir os prazos impostos para a realização da dissertação, não foi possível despende o tempo necessário para uma correcta calibração do modelo por tentativa e erro, pelo que se tentou fazer essa calibração através de modo automático, através da função PEST. Outro factor que contribuiu para a demora deveu-se ao facto de não estarmos familiarizados com esta função o que fez com que necessitámos de mais tempo para entender o modo de funcionamento do mesmo. Ao tentar a sua aplicação, gerou-se um segundo erro (Figura 48) que, devido a questões de cumprimento de prazos, inviabilizou a utilização da ferramenta PEST (calibração automática).

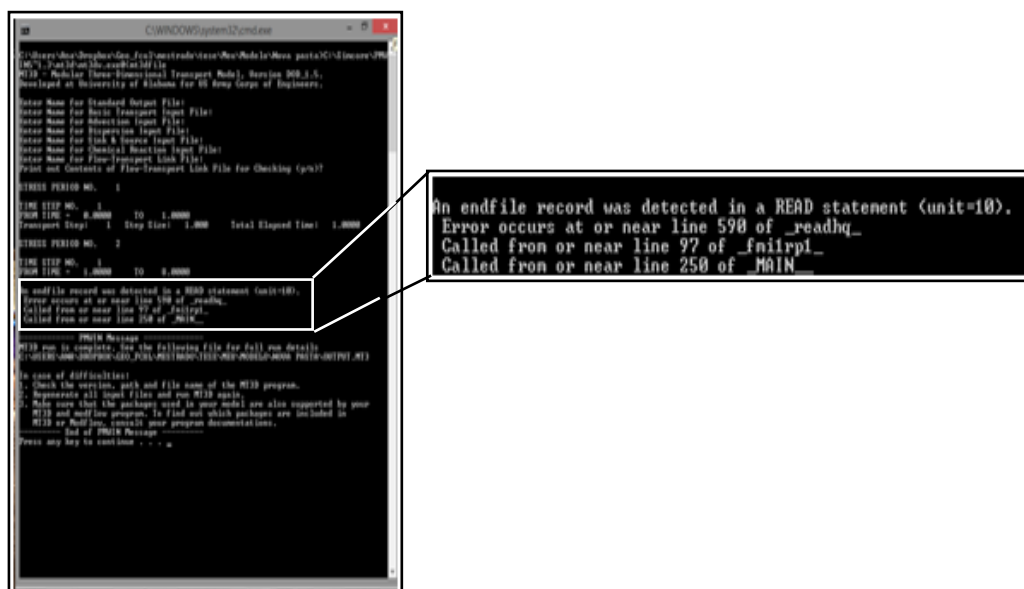


Figura 48 – Mensagem de erro ocorrido na tentativa de correr a função de calibração automática PEST

O terceiro erro (Figura 49) surgiu quando, na fase de análise da situação ao longo do tempo, o programa não gerava os ficheiros necessários para os intervalos de tempo que se pretendiam avaliar. Mais uma vez, a utilização do valor da recarga natural

afectou a modelação e pensa-se que tenha sido o causador deste erro. A aplicação da evapotranspiração não provocou erros no modelo, nem as inversões de fluxo referidas anteriormente.

Um modelo sem as correspondentes entradas e saídas do sistema, respectivamente, a recarga natural e a evapotranspiração, não seria possível, pois não representa uma situação real, o que fez com que se tenha tornado impossível avançar com o trabalho.

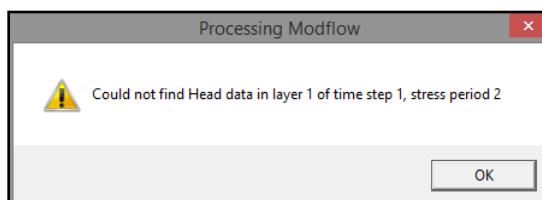


Figura 49 - Mensagem do erro ocorrido na tentativa de análise da situação ao longo do tempo “*Could not find head data in layer 1 of step time 1 stress period 2*”

Para tentar resolver os problemas encontrados ao longo da modelação, o modelo foi refeito inúmeras vezes, nomeadamente, alterando individualmente os parâmetros que se consideraram estar na origem do erro. De modo a perceber qual o procedimento geral para a realização deste tipo de modelos e tentar perceber onde estaria o *input*/opção que estaria a provocar o erro gerado, foi consultada inúmera bibliografia relevante para o tema, de onde se destaca: McDonald e Harbaugh (1988), Wang e Anderson (1995), Spitz e Moreno (1996), Zheng (1990), Zheng e Wang (1999), Chiang e Kinzelbach (2006), Anderson e Woessner (1992), Bear et al. (2010), assim como artigos científicos que referem a utilização do mesmo programa: Sharmukh et al. (2001) e Almasri e Kaluarachchi (2007). Com o mesmo objectivo em mente também se participou em Fóruns internacionais de discussão do tema, específicos de modelação de água subterrânea, onde foi exposta a situação e se obtiveram algumas sugestões que, desafortunadamente, também não permitiram chegar à resolução do problema. Estas sugestões consistiram na leitura de ficheiros criados pelo programa que avaliam a consistência do mesmo (*list* e *nam*) que, no caso do presente modelo se apresentavam normais, sem aviso de erro e sem indicação do que poderia estar a provocar o referido erro.

9. Considerações Finais

De acordo com o já referido no capítulo introdutório, o objectivo principal deste trabalho prende-se com a problemática das elevadas concentrações de nitratos existentes na Várzea de Loures e sua evolução temporal em duas situações distintas: 1) a evolução natural do sistema e 2) a evolução do sistema como resultado da diluição causada pela utilização de sistemas de recarga artificial. Em qualquer uma das situações, deve referir-se, mais uma vez, que a qualidade dos dados disponíveis não é a ideal, uma vez que não nos foi possível proceder a nova recolha e análise de amostras de água subterrânea, apenas nos pudemos recorrer de dados de Silva (2003).

Na modelação destas duas situações distintas, evolução natural do sistema aquífero e recarga artificial, considerou-se que não haveria aumento da concentração de azoto por adição de fertilizantes nitrogenados.

A escassez de dados referentes aos parâmetros hidráulicos da formação aquífera, dificultaram e arrastaram no tempo a realização deste trabalho. Idealmente, estes deveriam ter sido estimados através da realização de ensaios de caudal em vários locais mas, como já foi referido em capítulos anteriores, por razões de logística estes não foram realizados. A metodologia utilizada para ultrapassar esta dificuldade foi a seguinte: 1) uso de relações empíricas para a determinação do valor da condutividade hidráulica da formação aquífera, utilizando os valores obtidos na granulometria de amostras de solo e 2) utilização de um valor teórico, idêntico em todo o modelo, resultante de consulta bibliográfica.

Constatamos que a primeira hipótese não seria a melhor, pois não permite a modelação do escoamento subterrâneo. A segunda hipótese origina um modelo irreal, não compatível com o conhecimento que existe da geologia/hidrogeologia da área, devido à generalização que confere ao modelo, não permitindo a variação do valor de condutividade hidráulica, tanto lateralmente como em profundidade, tal como seria necessário para descrever o aquífero em estudo.

Como não foi possível executar a modelação, o objectivo do trabalho não foi atingido na sua totalidade. Se este problema tivesse sido ultrapassado, o modelo teria corrido para os intervalos de tempo pretendidos e assim seria possível, através dos resultados, ajustar as características dos furos destinados à recarga artificial, tal como o seu número, a sua localização e o seu caudal de injeção. Também seria possível proceder à optimização destes sistemas de recarga com o menor valor de perdas possível.

Obteve-se um modelo de fluxo funcional apesar de, devido às limitações impostas, ter sido necessária a simplificação do mesmo, no que se refere aos valores dos parâmetros hidrodinâmicos que foram considerados constantes em todo o modelo, e das várias alterações que tiveram de ser feitas para que o modelo funcionasse, o que poderá estar a origem dos erros obtidos posteriormente (Anderson, 1983).

Após a implementação dos sistemas de recarga seria previsível uma melhoria na qualidade da água, com a diminuição da concentração do nitrato, por dissolução com a água injectada.

Como proposta de trabalho futuro, de modo a ser possível atingir o objectivo proposto, deveriam ser realizados ensaios de caudal em vários locais, de modo a ter uma boa distribuição espacial dos dados. Através destes seria possível estimar os valores dos parâmetros hidrodinâmicos intrínsecos ao aquífero na área envolvente ao furo, tais como: condutividade hidráulica, transmissividade e coeficiente de armazenamento. Os outros dados a introduzir, tais como a porosidade, também deveriam ser determinados *in situ*. Isto permitiria que a incerteza associada aos valores utilizados no modelo diminuísse grandemente. O uso de dados mais recentes, relativos à composição química das águas subterrâneas, nomeadamente a concentração de nitratos, também seria benéfico, já que conduziria a resultados mais compatíveis com a realidade da Várzea de Loures.

10. Referências Bibliográficas

ALMEIDA, C.; MENDONÇA, J.L.; BARBOSA, C.; GOMES, A.J. (2000) – “*Sistemas Aquíferos de Portugal Continental*”. INAG/CGUL, Lisboa, 661 pp.

ALMASRI M.N.; KALUARACHCHI J.J. (2007) – “*Modeling nitrate contamination of groundwater in agricultural watersheds*”. Journal of Hydrology vol. 343, no. 3, pp. 211-229.

ANDERSON, M.P.; WOESSNER, W.W.; (1992) – “*Applied groundwater modeling – Simulation of flow and advective transport*”. Academic Press, Inc., San Diego, California, 381 pp.

ANDERSON, M. P. (1983) – “*Ground-Water Modeling — The Emperor Has No Clothes*”. Groundwater, 21: pp. 666–669.

ASCE (2001) – “*Standard Guidelines for Artificial Recharge of Ground Water (34-01)*”. American Society of Civil Engineers, pp. 7-18.

BEAR, J.; CHENG, A.H.-D. (2010) – “*Modeling Groundwater Flow and Contaminant Transport*”. Springer, Series: *Theory and Applications of Transport in Porous Media*, Vol. 23 , 834 pp.

BOUWER, H. (1988) – “*Design and management of infiltration basin for artificial recharge of groundwater*”. In: Proceedings of the 32nd annual New Mexico conference on groundwater management, Albuquerque, New Mexico, November 5-6, 1987, pp. 111-123.

BOUWER, H. (1999) – “*Artificial Recharge of Groundwater: systems, design, and management*”. In: MAYS, L. W. (1999) – “*Hydraulic Design Handbook*” - *Artificial Recharge Of Groundwater: Systems, Design, And Management*” – Cap. 24. McGraw-Hill Education, pp. 24.1 – 24.44.

BOUWER, H. (2002) – “*Artificial Recharge of Groundwater: Hydrogeology and Engineering*”. Hydrogeology Journal. N.10, pp. 121–142.

BROWN, R.F.; SIGNOR, D.C. (1974) – “*Artificial Recharge – State of the Art*”. Ground Water, 12: pp. 152–160.

CGWBMWR (2000) – “*Guide On Artificial Recharge To Ground Water*”. Central Ground Water Board Ministry Of Water Resources, New Delhi, May 2000, 59 pp.

CGWBMWR (2007) – “*Manual on Artificial Recharge of Ground Water*”. Central Ground Water Board Ministry Of Water Resources, New Delhi, 198 pp.

CHIANG W.; KINZELBACH W. (1998) – “*Processing Modflow - A Simulation System for Modeling Groundwater Flow and Pollution*”. 334 pp.

COSTA, A. (2013) – “*Dos ensaios de aquífero aos modelos de simulação de fluxo, algumas considerações e exemplos*” (Palestra). 9º Seminário Sobre Águas Subterrâneas, Lisboa 7 e 8 de Março.

COSTA J.V.B. (2004) – “*Caracterização e constituição do solo*”, 7ª Edição, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 528 pp. (Com revisão e aditamentos de Alírio L. Azevedo e R. Pinto Ricardo)

CUSTÓDIO, E.; LLAMAS M.R. (2001) – “*Hidrogeologia Subterrânea*”, tomo I, 2ª edição, Ediciones Omega, Barcelona, 1157p.

DIAMANTINO, C. (2005) – “*Metodologias de Recarga Artificial de Aquíferos*”. 7º Simpósio de hidráulica e recursos hídricos dos países de língua oficial Portuguesa, Évora, 30 de Maio a 2 de Junho de 2005, 15 pp.

DIAMANTINO, C. (2009) – “*Recarga artificial de aquíferos: Aplicação ao Sistema Aquífero da Campina de Faro*”, 326 pp.. Dissertação de Doutoramento apresentada à Universidade de Lisboa para obtenção do Grau de Doutor em Geologia, na Especialidade de Hidrogeologia.

DÍAZ, J.M.M.; GÓMEZ, J.A.O.; ARMAYOR, J.L.; CASTANO, S.C. (2000) – “*Recarga Artificial de Aquíferos. Síntesis Metodológica. Estudio. Actuaciones Realizadas en La Provincia de Alicante*”. Edições López Geta, J.A. Hernández, L.R., 157 pp.

DOMENICO, P.A.; SCHWARTZ, F.W. (1997) – “*Physical and chemical hydrogeology*”, 2nd ed., John Wiley & Sons, Inc., 506 pp.

DPPDM (2003) – “*Revisão do Plano Director Municipal de Loures - Relatório de Enquadramento e Avaliação - Volume II*” Direcção de Projecto do Plano Director Municipal, Loures, Julho de 2003, 248 pp.

DUQUE, J.; ALMEIDA, C. (1998) – “*Modelação Matemática do Sistema Aquífero dos Gabros de Beja*”. Actas do 4º Congresso da Água – “A Água como Recurso Estruturante do Desenvolvimento” (CD-Rom), 23 a 27 de Março, 12 pp.

FETTER, C. W. (2001) – “*Applied Hydrogeology*”, 4th edition. Prentice Hall, p. 598.

FREITAS C.; ANDRADE C.; SILVA, T. (2011) – “*Recorrência de tsunamis no Estuário do Tejo*”, Conferência Lx_Risk, 13 de Setembro.

GALE, I.; DILLON, P. (2005) – “*Strategies for managed aquifer recharge in semi-arid areas*”, Editado por Ian Gale. Compilado por International Association of Hydrogeologists – Commission on Management of Aquifer Recharge IAH – MAR, with the support of UNESCO International Hydrological Programme (IHP), Project on Artificial Recharge and Management of Water Resources in Arid and Water Scarce

Zones (UNESCO G–WADI) and the British Department for International Development (DFID) , 30 pp.

GALE, I. NEUMANN, I.; CALOW, R.; MOENCH, M. (2002) – “*The effectiveness of artificial recharge of groundwater: a review*”. AGRAR Project – Augmented Groundwater Resources by Artificial Recharge. Groundwater Systems and Water Quality Programme. Phase 1, Final Report CR/02/108N. British Geological Survey. Keyworth, Nottingham. 51 pp.

GOMES, M.P.; SILVA, A.A. (1962) – “*Um novo diagrama triangular para a classificação básica da textura do solo*”. Garcia da Orta ,10: 171-179.

HISCOCK, K. (2005) – “*Hydrogeology. Principles and Practice*”. Blackwell Publishing, Malden, Oxford, Carlton, 389 pp.

KUMAR, N.N.; AIYAGARI, N. (1997) – “*Artificial Recharge of Groundwater*” in “*Groundwater Pollution Primer*”. CE 4594: Soil and Groundwater Pollution. Edited by Daniel Gallagher. Civil Engineering Department. Virgínia Tech Blacksburg

KAVURI M.; BODDU M.; ANNAMDAS V. G. M. (2011) – “*New Methods of Artificial Recharge of Aquifers: A Review*” IPWE 2011, Proceedings of 4th International Perspective on Water Resources & the Environment, January 4–6, 2011, National University of Singapore (NUS), Singapore. Poster on: Artificial Recharge of Aquifer, No: 1j , 9 pp.

MANUPPELLA, G. ; FERREIRA, A.B. ; DINIS, J. ; CALLAPEZ, P. ; RIBEIRO, M. L. ; PAIS, J. ; REBÊLO, L. P. ; CABRAL, J. ; MONIZ, C. ; BAPTISTA, R. ; HENRIQUES, P. ; FALÉ, P. ; LOURENÇO, C. ; SAMPAIO, J. E. ; MIDÕES, C. ; ZBYSZEWSKI, G. (2011) – “*Carta Geológica de Portugal na escala 1/50.000 Folha 34B – Loures*”. Unidade de Geologia e Cartografia Geológica, Laboratório Nacional de Energia e Geologia. Portugal, Lisboa, 57 pp.

MARQUES da COSTA, A.T.; FRANCÉS, A.; LUBCZYNSKI, M.; RIBEIRO L.F.T (2006) – “*Modelo Numérico de Fluxo em Regime Transitório: O Caso do Aquífero Moura-Ficahó*”. 8º Congresso da Água – “Água, Sede de Sustentabilidade” (CD-Rom), 15 pp.

MARTIN, R. (2013) – “*Clogging issues associated with managed aquifer recharge methods*”. IAH Commission on Managing Aquifer Recharge, Australia, 213 pp.

MASSMANN, J. (2003) – “*A Design Manual for Sizing Infiltration Ponds*”. WA-RD 578.2, October, 39 pp.

MASSMAN, J.W.; BUTCHART, C.D. (2000) – “*Stormwater Facilities - Infiltration Characteristics, Performance Design*”. WA-RD 483.1, 35 pp.

MASSMAN, J.W.; BUTCHART C.D.; STELAR, S. (2002) – “ *Infiltration characteristics, performance and design of stormwater facilities*”. WA-RD 533.1, 191 pp. (versão de rascunho (Draft))

MATOS FERNANDES, M. (2006) – “*Mecânica dos Solos. Conceitos e Princípios Fundamentais – Volume I*”, FEUP Edições, 3ª edição, 463 pp.

MAYS, L. W. (1999) – “*Hydraulic Design Handbook*” - *Artificial Recharge Of Groundwater: Systems, Design, And Management*” – Cap. 24. McGraw-Hill Education, pp. 24.1 – 24.44.

MCDONALD, M. G.; HARBAUGH A. W. (1988) – “ *MODFLOW, A modular three-dimensional finite difference ground-water flow model*”, U. S. Geological Survey, Open-file report 83-875, Chapter A1.

NHDES (2012) – “*Guidelines for Developing an Artificial Recharge Project In an Unconfined Stratified Drift Aquifer near Drinking Water Supply Wells*”. New Hampshire Department of Environmental Services, Prepared by NHDES on October 5, 2004, Revised September 19, 2007, January 30, 2009 & January 24, 2012, 4 pp..

NNC (2002) – “*Management of aquifer recharge and subsurface storage. Making better use of our largest reservoir*”. Editors Albert Tuinhof e Jan Piet Heederik. Seminar Wageningen 18 – 19 Dezembro 2002. Organizado por Netherlands National Committee (NNC) para a International Association of Hydrogeologists (IAH), 106 pp.

ORLANDO, M. (2001) – “ *Modelação Numérica do Escoamento no Sistema Aquífero Querença – Silves (M5)*”. INAG, Instituto da Água. Direcção de Serviços de Recursos Hídricos. Divisão de Recursos Subterrâneos. Relatório Técnico. Lisboa. 17 pp.

PROWATERMAN – PTDC/AAC-AMB/105061/2008 – “*Água, ecossistemas aquáticos e actividade humana. Uma abordagem integrada e participativa na definição de estratégias inovadoras e prospectivas de gestão integrada de recursos hídricos no sul de Portugal – Segundo relatório temático – Recarga artificial de aquíferos e vulnerabilidade das águas subterrâneas as alterações climáticas*”, 100 p.

RAMOS, T.; GONÇALVES, M.C.; MARTINS, J.C.; PIRES, F. E PEREIRA, L.S. (2011) – “*Propriedades hidráulicas do solo para as diferentes classes texturais*”. Edições Sociedade de Ciências Agrárias de Portugal (SCAP), "Revista de Ciências Agrárias". ISSN 0871-018x. 34 (2) pp. 252-264

REBELO, L. (1991) – “*Estudo hidrogeológico da bacia hidrográfica do Trancão*” – Projecto Tejo 3 IV Série, Direcção Geral dos Recursos Naturais, Lisboa, 28 pp.

RIBEIRO, O.; LAUTENSACH, H.; DAVEAU, S. (1987) — “*Geografia de Portugal, vol. I - A posição geográfica e o território*”, Edições João Sá da Costa, Lisboa, 334 pp.

SANDERS, L. (1998) — “*A manual of field hydrogeology*”. Prentice Hall, 381 pp.

SEWRPC (2006) — “*State-of-the-Art of Water Supply Practices*”. Southeastern Wisconsin Regional Planning Commission (SEWRPC). Technical Report N.º 43, Chapter VI – Artificial Groundwater Recharge and Management

SILVA, M.C.R. (2003) — “*Impacto Ambiental da Actividade Agrícola e Industrial na Várzea de Loures: Hidrosfera e Pedosfera.*”. Lisboa, 2003, 338 pp. Dissertação apresentada à Universidade de Lisboa para obtenção do grau de Doutor em Geologia, na especialidade de Geoquímica.

SILVA, M.C.R. (2006) — “*O Aquífero Aluvionar da Várzea de Loures*”. Actas do VII Congresso Nacional de Geologia, 5 a 7 de Julho de 2006, Pólo de Estremoz da Universidade de Évora, 4 pp.

SPITZ, K., MORENO J. (1996) — “*A Practical Guide to Groundwater and Solute Transport Modeling*”. John Wiley & Sons, Inc., 480 pp.

SHAMRUKH, M.; CORAPCIOGLU, M.; HASSONA, F.; (2001) — “*Modeling the effect of chemical fertilizers on ground water quality in the Nile Valley Aquifer, Egypt*”. Ground Water 39 (1), pp. 59–67.

THANGARAJAN, M. (2007) — “*Groundwater. Resources evaluation, augmentation, contamination, restoration, modeling and management*”. Springer, 362 pp.

TOOD, D.K. , MAYS, L.W. (2005) — “*Groundwater Hydrogeology*”, 3rd Edition, 656 pp.

XU, M.; ECKSTEIN, Y. (1995) — “*Use of weighted least-squares method in evaluation of the relationship between dispersivity and field scale*”. Ground Water 33 (6), pp. 905–908.

WANG, H.F.; ANDERSON, M.P. (1995) — “*Introduction to Groundwater Modeling-Finite Difference and Finite Element Methods*”. Academic Press, 237 pp.

ZBYSZEWSKI, G. (1964) — “*Notícia explicativa da Folha 2 – Loures, carta Geológica dos Arredores de Lisboa na escala 1/50 000*”, Serviços Geológicos, Portugal, Lisboa, pp. 86.

ZBYSZEWSKI, G.; MANUPPELLA, G.; FERREIRA, O.V.; RODRIGUES, L.; RODRIGUES, A. (2008) — “*Carta Geológica de Portugal na escala 1/50.000 Folha 34-B – Loures*”. Serviços Geológicos, Portugal, Lisboa, 57pp.

ZHENG, C. (1990) – “*MT3D, A Modular Three-Dimensional Multispecies Transport Model for Simulation of Advection, Dispersion, and Chemical Reactions of Contaminants in Groundwater Systems*”. S.S. Papadopoulos & Associates, Inc., Rockville, Maryland 20852, Prepared for The United States Environmental Protection Agency, Robert S. Kerr Environmental Research Laboratory, Ada, Oklahoma 74820, 169 pp.

ZHENG, C. (1990) – “*MT3D, A modular three-dimensional transport model for simulation of advection, dispersion and chemical reactions of contaminants in groundwater systems*”. Report to the U.S. Environmental Protection Agency, 170 pp.

ZHENG, C.; WANG, P.P. (1999) – “*MT3DMS, A Modular Three-Dimensional Multispecies Transport Model for Simulation of Advection, Dispersion, and Chemical Reactions of Contaminants in Groundwater Systems*”. Contract Report SERDP-99-1, US Army Corps of Engineers, Engineer Research and Development Center, Strategic Environmental Research and Development Program, University of Alabama, 164 pp.

10.1. Planos de ordenamento e gestão

CMDFCIL (2007) – “*Plano Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios - Caderno II*”. Comissão Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios de Loures, Câmara Municipal de Loures, Departamento do Ambiente, Gabinete Técnico e Florestal Novembro de 2007, 79 pp.

PBHT (2001) — “*Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Tejo*”, Ministério do Ambiente.

PDM LOURES (1987) — “*Plano Director Municipal. Estudos Prévios — Vol. II*”. Direcção do Projecto do PDM da Câmara Municipal de Loures, pp. 131.

PGRHT (2011) — “*Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Tejo*”, Ministério de Agricultura do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território, Agência Portuguesa do Ambiente, Administração da Região Hidrográfica do Tejo.

PGRHT (2011) — “*Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Tejo - Fichas de Diagnóstico - Síntese para Consulta Pública (Versão Extensa)*”. Ministério de Agricultura do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território, Agência Portuguesa do Ambiente, Administração da Região Hidrográfica do Tejo, Julho 2011, 96 pp.

PGRHT (2012) — “*Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Tejo*”, Ministério de Agricultura do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território, Agência Portuguesa do Ambiente, Administração da Região Hidrográfica do Tejo.

PGRHT (2012) — “*Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Tejo - Fichas de Diagnóstico - Síntese para Consulta Pública (Versão Extensa)*”. Ministério de

Agricultura do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território, Agência Portuguesa do Ambiente, Administração da Região Hidrográfica do Tejo, Agosto 2012, 94 pp.

10.2. SITES

- [1] <http://snr-1349.unl.edu/navigation/waterdistribution.aspx>
- [2] <http://www.igeoe.pt/index.php?id=186&p=1&escala=1&distrito=11>
- [3] <http://www.cm-loures.pt/Ligacao.aspx?DisplayId=111#topo>
- [4] http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/21/Portuguese_Districts_Map_With_Names.svg
- [5] http://www.eps-gaspar-correia.rcts.pt/images/plantas/loures_portugal.gif
- [6] http://lxrisk.cm-lisboa.pt/images/caracterizacao_geoambiental/fig_8.jpg
- [7] <http://sniamb.apambiente.pt/Home/Default.htm>
- [8] <http://snirh.pt/>
- [9] <http://ggmn.e-id.nl/ggmn/GGMN.html>
- [10] http://nowlin.css.msu.edu/software/triangle_form_pt.html
- [11] <http://sniamb.apambiente.pt/Home/Default.htm>
- [12] http://hidrologia.usal.es/Complementos/Valores_perm_porosidad.pdf

10.3. Legislação:

10.3.1. Directivas:

Directiva n.º 2000/60/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Outubro

10.3.2. Leis:

Lei n.º 58/2005, de 29 de Dezembro

Lei n.º 11-A/2013 de 28 de Janeiro (Reorganização administrativa do território das freguesias)

10.3.3. Decretos-Lei:

Decreto-Lei n.º 46/94, de 22 de Fevereiro

Decreto-Lei n.º 235/97, de 3 de Setembro

Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto
Decreto-Lei n.º 506/99, de 20 de Novembro
Decreto-Lei n.º 77/2006, de 30 de Março
Decreto-Lei n.º 178/2006, de 05 de Setembro
Decreto-Lei n.º 226-A/2007 de 31 de Maio (Regime de Utilizações dos Recursos Hídricos)
Decreto-Lei n.º 226-A/2007, de 31 de Maio
Decreto-Lei n.º 306/2007, de 27 de Agosto
Decreto-Lei n.º 173/2008, de 26 de Agosto
Decreto-Lei n.º 208/2008, de 28 de Outubro
Decreto-Lei n.º 107/2009, de 15 de Maio
Decreto-Lei n.º 183/2009, de 10 de Agosto
Decreto-Lei n.º 82/2010, de 02 de Julho
Decreto-Lei n.º 73/2011, de 17 de Junho
Decreto-Lei n.º 130/2012, de 22 de Junho
Decreto-Lei n.º 130/2012, de 22 de Junho

10.3.4. Portarias:

Portaria n.º 1450/2007, de 12 de Novembro
Portaria n.º 259/2012, de 28 de Agosto

10.4. Normas:

ASTM D422-63 (1998) – “*Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils*”. ASTM International, West Conshohocken, PA.

11. Anexos

11.1. Enquadramento climático

Tabela 1 - Temperaturas mensais para o ano de 2003/04

2003/04	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Anual
Temperatura Média Mensal	16.9	14.1	10.6	11.9	10.9	11.9	14.3	16.8	22.3	22.7	22.5	20.8	16.6
Temperatura Média Mensal Histórica	18	13	11	10	11	13	15	17	20	22	23	21	16.2
Temperatura Mensal Mínima	12.9	10.8	6.4	7.5	6.9	10.6	11.3	14.5	16.3	17.3	18.1	17.9	6.4
Temperatura Mensal Máxima	20.2	16	14.1	15.8	13.1	15.6	19.8	19.2	22.8	25	25.7	23.7	25.7

Tabela 2 - Temperaturas mensais para o ano de 2004/05

2004/05	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	ANUAL
Temperatura Média Mensal	17	12	10.4	8.5	8.9	12.7	15	17.9	21.7	22.3	23.9	20.9	15.9
Temperatura Média Mensal Histórica	18	13	11	10	11	13	15	17	20	22	23	21	16.2
Temperatura Mensal Mínima	12.9	10.8	6.4	7.5	6.9	10.6	11.3	14.5	16.3	17.3	18.1	17.9	6.4
Temperatura Mensal Máxima	20.2	16	14.1	15.8	13.1	15.6	19.8	19.2	22.8	25	25.7	23.7	25.7

Tabela 3 - Temperaturas mensais para o ano de 2005/06

2005/06	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	ANUAL
Temperatura Média Mensal	18.3	12.6	10.7	8.4	9.5	12.8	15.4	18.5	20.7	21.9	22.7	20.7	15.6
Temperatura Média Mensal Histórica	18	13	11	10	11	13	15	17	20	22	23	21	16.2
Temperatura Mensal Mínima	12.9	10.8	6.4	7.5	6.9	10.6	11.3	14.5	16.3	17.3	18.1	17.9	6.4
Temperatura Mensal Máxima	20.2	16	14.1	15.8	13.1	15.6	19.8	19.2	22.8	25	25.7	23.7	25.7

Tabela 4 - Temperaturas mensais para o ano de 2006/07

2006/07	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	ANUAL
Temperatura Média Mensal	19.1	15.6	9.7	9.6	11.9	12.9	15.1	16.6	19	21.7	21.8	21.3	16.2
Temperatura Média Mensal Histórica	18	13	11	10	11	13	15	17	20	22	23	21	16.2
Temperatura Mensal Mínima	12.9	10.8	6.4	7.5	6.9	10.6	11.3	14.5	16.3	17.3	18.1	17.9	6.4
Temperatura Mensal Máxima	20.2	16	14.1	15.8	13.1	15.6	19.8	19.2	22.8	25	25.7	23.7	25.7

Tabela 5 - Temperaturas mensais para o ano de 2007/08

2007/08	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	ANUAL
Temperatura Média Mensal	18.2	12.7	9.7	11.3	12.5	12.8	15.4	15.8	20.7	21.5	21.4	20.1	16
Temperatura Média Mensal Histórica	18	13	11	10	11	13	15	17	20	22	23	21	16.2
Temperatura Mensal Mínima	12.9	10.8	6.4	7.5	6.9	10.6	11.3	14.5	16.3	17.3	18.1	17.9	6.4
Temperatura Mensal Máxima	20.2	16	14.1	15.8	13.1	15.6	19.8	19.2	22.8	25	25.7	23.7	25.7

Tabela 6 - Temperaturas mensais para o ano de 2008/09

2008/09	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	ANUAL
Temperatura Média Mensal	17.3	11.8	10.2	10	11	14.7	13.3	17.9	21.3	21.4	22.9	21.2	16.1
Temperatura Média Mensal Histórica	18	13	11	10	11	13	15	17	20	22	23	21	16.2
Temperatura Mensal Mínima	12.9	10.8	6.4	7.5	6.9	10.6	11.3	14.5	16.3	17.3	18.1	17.9	6.4
Temperatura Mensal Máxima	20.2	16	14.1	15.8	13.1	15.6	19.8	19.2	22.8	25	25.7	23.7	25.7

Tabela 7 - Temperaturas mensais para o ano de 2009/10

2009/10	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	ANUAL
Temperatura Média Mensal	19.6	14.8	11.6	11.1	10.5	12.4	15.9	17.1	19.7	23.5	24.2	21.2	16.8
Temperatura Média Mensal Histórica	18	13	11	10	11	13	15	17	20	22	23	21	16.2
Temperatura Mensal Mínima	12.9	10.8	6.4	7.5	6.9	10.6	11.3	14.5	16.3	17.3	18.1	17.9	6.4
Temperatura Mensal Máxima	20.2	16	14.1	15.8	13.1	15.6	19.8	19.2	22.8	25	25.7	23.7	25.7

Tabela 8 - Temperaturas mensais para o ano de 2010/11

2010/11	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	ANUAL
Temperatura Média Mensal	16.8	12.9	11.1	10.6	11.3	12.5	17.7	19.3	20.4	20.8	21.9	21.1	16.4
Temperatura Média Mensal Histórica	18	13	11	10	11	13	15	17	20	22	23	21	16.2
Temperatura Mensal Mínima	12.9	10.8	6.4	7.5	6.9	10.6	11.3	14.5	16.3	17.3	18.1	17.9	6.4
Temperatura Mensal Máxima	20.2	16	14.1	15.8	13.1	15.6	19.8	19.2	22.8	25	25.7	23.7	25.7

Tabela 9 - Temperaturas mensais para o ano de 2011/12

2011/12	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	ANUAL
Temperatura Média Mensal	19.7	13.4	10.7	9.3	9.4	13.9	12.9	17.6	20.4	21.3	22.1	22.1	16.1
Temperatura Média Mensal Histórica	18	13	11	10	11	13	15	17	20	22	23	21	16.2
Temperatura Mensal Mínima	12.9	10.8	6.4	7.5	6.9	10.6	11.3	14.5	16.3	17.3	18.1	17.9	6.4
Temperatura Mensal Máxima	20.2	16	14.1	15.8	13.1	15.6	19.8	19.2	22.8	25	25.7	23.7	25.7

Tabela 10 - Temperaturas mensais para o ano de 2012/13

2012/13	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	ANUAL
Temperatura Média Mensal	17.1	12.2	11	11.3	10.5	12.5	14.5	16.85	19.55	21.15	21.9	20.8	16.05
Temperatura Média Mensal Histórica	18	13	11	10	11	13	15	17	20	22	23	21	16.2
Temperatura Mensal Mínima	12.9	10.8	6.4	7.5	6.9	10.6	11.3	14.5	16.3	17.3	18.1	17.9	6.4
Temperatura Mensal Máxima	20.2	16	14.1	15.8	13.1	15.6	19.8	19.2	22.8	25	25.7	23.7	25.7

Os valores a sombreado, foram calculados pela fórmula:

$$\frac{\text{Temperatura mínima} + \text{Temperatura máxima}}{2}$$

Tabela 11 - Precipitações mensais para o ano de 2003/04

2003/04	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	Anual
Mensal	167.6	145.4	90.5	77.7	39.3	28.9	40.7	14.2	1.5	0.8	18	12	53.1
Média Mensal	75	106	105	103	93	77	56	45	16	3	5	29	59.4
Mensal Acumulada	167.6	313	403.5	481.2	520.5	549.4	590.1	604.3	605.8	606.6	624.6	636.6	508.6
Média Mensal Acumulada	75	181	285	388	481	559	615	660	676	679	684	713	499.7

Tabela 12 - Precipitações mensais para o ano de 2004/05

2004/05	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	Anual
Mensal	127.8	25	30.4	2.7	5.6	37.2	24.1	27.2	3	8.7	6.2	8.8	25.6
Média Mensal	75	106	105	103	93	77	56	45	16	3	5	29	59.4
Mensal Acumulada	127.8	152.8	183.2	185.9	191.5	228.7	252.8	280	283	291.7	297.9	306.7	231.8
Média Mensal Acumulada	75	181	285	388	481	559	615	660	676	679	684	713	499.7

Tabela 13 - Precipitações mensais para o ano de 2005/06

2005/06	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	Anual
Mensal	120.5	155.6	62	68.3	102.6	266.9	52.4	2	41.9	3	13.5	55.9	78.7
Média Mensal	75	106	105	103	93	77	56	45	16	3	5	29	59.4
Mensal Acumulada	120.5	276.1	338.1	406.4	509	775.9	828.3	830.3	872.2	875.2	888.7	944.6	638.8
Média Mensal Acumulada	75	181	285	388	481	559	615	660	676	679	684	713	499.7

Tabela 14 - Precipitações mensais para o ano de 2006/07

2006/07	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	Anual
Mensal	240.4	230.1	56.6	35.7	77.2	12.3	35.2	36.3	43.9	5.1	2.7	68.1	70.3
Média Mensal	75	106	105	103	93	77	56	45	16	3	5	29	59.4
Mensal Acumulada	240.4	470.5	527.1	562.8	640	652.3	687.5	723.8	767.7	772.8	775.5	843.6	638.7
Média Mensal Acumulada	75	181	285	388	481	559	615	660	676	679	684	713	499.7

Tabela 15 - Precipitações mensais para o ano de 2007/08

2007/08	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	Anual
Mensal	7.7	60.2	44.3	79.2	202.8	51	93.3	102.8	1	1	1.7	25.7	55.9
Média Mensal	75	106	105	103	93	77	56	45	16	3	5	29	59.4
Mensal Acumulada	7.7	67.9	112.2	191.4	394.2	445.2	538.5	641.3	642.3	643.3	645	670.7	416.6
Média Mensal Acumulada	75	181	285	388	481	559	615	660	676	679	684	713	499.7

Tabela 16 - Precipitações mensais para o ano de 2008/09

2008/09	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	Anual
Mensal	40.4	34.2	98.4	139.9	82.3	14.9	48.9	48.1	53.3	1	0.5	12	47.8
Média Mensal	75	106	105	103	93	77	56	45	16	3	5	29	59.4
Mensal Acumulada	40.4	74.6	173	312.9	395.2	410.1	459	507.1	560.4	561.4	561.9	573.9	385.8
Média Mensal Acumulada	75	181	285	388	481	559	615	660	676	679	684	713	499.7

Tabela 17 - Precipitações mensais para o ano de 2009/10

2009/10	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	Anual
Mensal	94.3	89.7	228.6	153.9	165.4	149.9	161.4	83.6	50.6	0.9	0.5	16.4	99.6
Média Mensal	75	106	105	103	93	77	56	45	16	3	5	29	59.4
Mensal Acumulada	94.3	184	412.6	566.5	731.9	881.8	1043.2	1126.8	1177.4	1178.3	1178.8	1195.2	814.2
Média Mensal Acumulada	75	181	285	388	481	559	615	660	676	679	684	713	499.7

Tabela 18 - Precipitações mensais para o ano de 2010/11

2010/11	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	Anual
Mensal	251.7	114.7	251.1	100.5	123.6	86.9	103.8	65.9	3.9	0.9	7	47	96.4
Média Mensal	75	106	105	103	93	77	56	45	16	3	5	29	59.4
Mensal Acumulada	251.7	366.4	617.5	718	841.6	928.5	1032.3	1098.2	1102.1	1103	1110	1157	860.5
Média Mensal Acumulada	75	181	285	388	481	559	615	660	676	679	684	713	499.7

Tabela 19 - Precipitações mensais para o ano de 2011/12

2011/12	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	Anual
Mensal	127.63	247.63	43.1	22.55	5.81	29.4	60.1	108.4	5.8	1.4	12.6	41.8	58.9
Média Mensal	75	106	105	103	93	77	56	45	16	3	5	29	59.4
Mensal Acumulada	127.63	375.26	418.36	440.91	446.72	476.12	536.22	644.62	650.42	651.82	664.42	706.22	511.6
Média Mensal Acumulada	75	181	285	388	481	559	615	660	676	679	684	713	499.7

Os valores a sombreado, foram calculados pela fórmula:

$$\frac{\sum \text{Precipitações mensais}}{12}$$

Esta fórmula foi utilizada para todos os dados: precipitação mensal, média da precipitação mensal, precipitação mensal acumulada, média da precipitação mensal acumulada.

Tabela 20 - Tabela de cálculo dos máximos, médios e mínimos mensais da temperatura, do intervalo 2003/2013

Ano	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	MÉDIAS MENSAS (°C)
03/04	16.9	14.1	10.6	11.9	10.9	11.9	14.3	16.8	22.3	22.7	22.5	20.8	
04/05	17.0	12.0	10.4	8.5	8.9	12.7	15.0	17.9	21.7	22.3	23.9	20.9	
05/06	18.3	12.6	10.7	8.4	9.5	12.8	15.4	18.5	20.7	21.9	22.7	20.7	
06/07	19.1	15.6	9.7	9.6	11.9	12.9	15.1	16.6	19.0	21.7	21.8	21.3	
07/08	18.2	12.7	9.7	11.3	12.5	12.8	15.4	15.8	20.7	21.5	21.4	20.1	
08/09	17.3	11.8	10.2	10.0	11.0	14.7	13.3	17.9	21.3	21.4	22.9	21.2	
09/10	19.6	14.8	11.6	11.1	10.5	12.4	15.9	17.1	19.7	23.5	24.2	21.2	
10/11	16.8	12.9	11.1	10.6	11.3	12.5	17.7	19.3	20.4	20.8	21.9	21.1	
11/12	19.7	13.4	10.7	9.3	9.4	13.9	12.9	17.6	20.4	21.3	22.1	22.1	
12/13	17.1	12.2	11.0	11.3	10.5	12.5	14.5	16.9	19.6	21.2	21.9	20.8	
Média	18.0	13.2	10.6	10.2	10.6	12.9	15.0	17.4	20.6	21.8	22.5	21.0	
Máximo	19.7	15.6	11.6	11.9	12.5	14.7	17.7	19.3	22.3	23.5	24.2	22.1	
Mínimo	16.8	11.8	9.7	8.4	8.9	11.9	12.9	15.8	19.0	20.8	21.4	20.1	
Mediana	17.8	12.8	10.7	10.3	10.7	12.8	15.1	17.4	20.6	21.6	22.3	21.0	
Desvio-padrão	1.1	1.3	0.6	1.2	1.1	0.8	1.4	1.0	1.0	0.8	0.9	0.5	

Tabela 21 - Tabela de cálculo dos máximos, médios e mínimos mensais da precipitação, do intervalo 2003/2012

Ano	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	TOTALS MENSALS OBS. (mm)	
03/04	167.6	145.4	90.5	77.7	39.3	28.9	40.7	14.2	1.5	0.8	18.0	12.0		
04/05	127.8	25.0	30.4	2.7	5.6	37.2	24.1	27.2	3.0	8.7	6.2	8.8		
05/06	120.5	155.6	62.0	68.3	102.6	266.9	52.4	2.0	41.9	3.0	13.5	55.9		
06/07	240.4	230.1	56.6	35.7	77.2	12.3	35.2	36.3	43.9	5.1	2.7	68.1		
07/08	7.7	60.2	44.3	79.2	202.8	51.0	93.3	102.8	1.0	1.0	1.7	25.7		
08/09	40.4	34.2	98.4	139.9	82.3	14.9	48.9	48.1	53.3	1.0	0.5	12.0		
09/10	94.3	89.7	228.6	153.9	165.4	149.9	161.4	83.6	50.6	0.9	0.5	16.4		
10/11	251.7	114.7	251.1	100.5	123.6	86.9	103.8	65.9	3.9	0.9	7.0	47.0		
11/12	127.6	247.6	43.1	22.6	5.8	29.4	60.1	108.4	5.8	1.4	12.6	41.8		
Média	130.9	122.5	100.6	75.6	89.4	75.3	68.9	54.3	22.8	2.5	7.0	32.0		
Máximo	251.7	247.6	251.1	153.9	202.8	266.9	161.4	108.4	53.3	8.7	18.0	68.1		
Mínimo	7.7	25.0	30.4	2.7	5.6	12.3	24.1	2.0	1.0	0.8	0.5	8.8		
Mediana	127.6	114.7	62.0	77.7	82.3	37.2	52.4	48.1	5.8	1.0	6.2	25.7		
Desvio-padrão	81.2	80.0	82.1	50.8	67.7	83.9	43.4	38.3	23.7	2.7	6.4	21.8		

11.2. Enquadramento Legal

11.2.1. Recarga Artificial

Em Portugal, esta metodologia de recuperação da água subterrânea não é muito aplicada e por isso, na legislação portuguesa é mencionada em poucos decretos-lei, sendo que muitas vezes, quando o é, a referência é apenas pontual. Um dos poucos decretos em que isto não acontece é no **Decreto-Lei n.º 226-A/2007, de 31 de Maio**, que estabelece o Regime de Utilizações dos Recursos Hídricos, onde esta é descrita com maior pormenor, sendo que, no capítulo II, toda a Secção IV, artigos 58º e 59º, deste decreto, “Recarga e injeção artificial em águas subterrâneas”, é dedicada á recarga artificial.

A **Directiva n.º 2000/60/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Outubro**, conhecida por Directiva Quadro da Água (DQA), estabelece um quadro de acção comunitária no domínio da política da água descrevendo medidas a tomar para a protecção das águas de superfície interiores, das águas de transição, das águas costeiras e das águas subterrâneas. Esta directiva cria novos conceitos tais como o de massa de água subterrânea e massa de água superficial.

A **Lei n.º 58/2005, de 29 de Dezembro** aprova a Lei da Água e assegura a transposição da DQA, que estabelece um quadro de acção comunitária no domínio da política da água, transpondo a DQA para a ordem jurídica nacional. Esta Lei estabelece as bases a gestão sustentável das águas, incluindo águas superficiais, designadamente as águas interiores, de transição e costeiras, e das águas subterrâneas, estabelecendo também o quadro institucional para o respectivo sector, assente no princípio da região hidrográfica como unidade principal de planeamento e gestão, tal como imposto pela mencionada directiva.

Revoga os seguintes actos legislativos:

- Decreto-Lei n.º 70/90, de 2 de Março;
- Decreto-Lei n.º 45/94, de 22 de Fevereiro;
- Decreto-Lei n.º 46/94, de 22 de Fevereiro;
- Decreto-Lei n.º 47/94, de 22 de Fevereiro;
- Capítulos III e IV do Decreto-Lei n.º 468/71, de 5 de Novembro;
- Decreto-Lei n.º 254/ 99, de 7 de Julho.

Tabela 22 – Exigências legais para a realização de actividades de recarga artificial, segundo a Lei n.º 58/2005, de 29 de Dezembro

Recarga artificial em águas subterrâneas	Licença	N.º 1 do artigo 60.º da Lei n.º 58/2005, de 29 de Dezembro
Injecção artificial em águas subterrâneas	Licença	N.º 1 do artigo 60.º da Lei n.º 58/2005, de 29 de Dezembro

O **Decreto-Lei n.º 77/2006, de 30 de Março**, complementa a transposição da DQA, que estabelece um quadro de acção comunitária no domínio da política da água, em desenvolvimento do regime fixado na Lei da Água.

O **Decreto-Lei n.º 226-A/2007, de 31 de Maio**, que estabelece o novo regime da utilização dos recursos hídricos, nos termos da Lei da Água, revogando o **Decreto-Lei n.º 46/94, de 22 de Fevereiro**.

Revoga os seguintes actos legislativos:

- A Portaria n.º 295/2002, de 19 de Março;
- O Despacho Conjunto n.º 141/95, do Ministro do Ambiente e Recursos Naturais e do Ministro do Mar, de 21 de Junho, com a entrada em vigor da portaria a que se refere a alínea a) do n.º 3 do artigo 14.º do presente decreto-lei;
- Os artigos 6.º, 7.º e 53.º do Decreto-Lei n.º 183/95, de 27 de Julho.

A **Portaria n.º 1450/2007, de 12 de Novembro**, fixa as regras em falta, para a instrução dos pedidos de utilização dos recursos hídricos, regulamentando e complementando /possibilitando assim a aplicabilidade do Decreto-Lei n.º 226-A/2007.

Estes dois, o **Decreto-Lei n.º 226-A/2007** e a **Portaria n.º 1450/2007**, regulam o Licenciamento de recarga artificial e de injecção artificial em águas subterrâneas, sendo que ambos necessitam de uma licença para a sua realização.

O **Decreto-Lei n.º 208/2008, de 28 de Outubro**, estabelece o regime de protecção das águas subterrâneas contra a poluição e deterioração, transpondo para a ordem jurídica interna a Directiva 2006/118/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 12 de Dezembro, dando também cumprimento ao disposto no artigo 47.º e no n.º 3 do artigo 102.º da Lei da Água, no respeitante à avaliação do estado químico da água subterrânea.

O **Decreto-Lei n.º 130/2012, de 22 de Junho**, procede à segunda alteração à Lei da Água, transpondo a DQA, e estabelecendo as bases e o quadro institucional para a gestão sustentável das águas. A Lei da Água foi alterada anteriormente, pelo Decreto-

Lei n.º 245/2009, de 22 de Setembro, adaptando o quadro institucional e de competências de gestão dos recursos hídricos, face à Lei Orgânica do Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território, aprovada pelo Decreto-Lei n.º 7/2012, de 17 de Janeiro, e à orgânica da Agência Portuguesa do Ambiente, I. P., aprovada pelo Decreto-Lei n.º 56/2012, de 12 de Março.

11.2.2. Qualidade das Águas

O **Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto**, 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. Este decreto define também os requisitos a observar na utilização das águas diferentes fins, assim como as normas de descarga das águas residuais na água e no solo, visando a promoção da qualidade do meio aquático e a protecção da saúde pública e dos solos. Este revoga o Decreto-Lei n.º 74/90 de 7 de Março. Posteriormente é feita uma rectificação ao decreto pela Declaração de Rectificação n.º 22-C/98.

O **Decreto-Lei n.º 506/99, de 20 de Novembro**, fixa os objectivos de qualidade para determinadas substâncias perigosas, incluídas nas famílias ou grupos de substâncias da lista II do anexo XIX ao Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto, que foram consideradas prioritárias em função da respectiva toxicidade, persistência e bioacumulação, de modo a reduzir a poluição dos meios aquáticos, provocada pelas descargas pontuais e difusas de águas residuais.

O **Decreto-Lei n.º 261/2003, de 21 de Outubro**, adita ao Decreto-Lei n.º 506/99, de 20 de Novembro, que fixa os objectivos de qualidade para determinadas substâncias perigosas incluídas nas famílias ou grupos de substâncias da lista II do anexo XIX ao Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto, o quadro em anexo (Tabela 23).

Tabela 23 – Quadro aditado ao Decreto-Lei n.º 506/99, de 20 de Novembro

Designação	Objectivos de qualidade (por microgramas por litro)	
	Águas interiores, estuárias e de transição	Águas do litoral e territoriais
1 — cloronaftaleno	1	1
Clorotoluidinas (*)	10	10
1,2 — dibromoetano	2	2
1,1 — dicloroetano	7	7
Ometoato	0,22	0,22
Propanil	0,1	0,1
1,2,4,5 — tetraclorobenzeno	0,2	0,2
1,1,2,2 — tetracloroetano	10	10
Fosfato de tributilo	10	10
Cloreto de vinilo	2	2
Bentazona	100	100
Antimónio	0,4	0,4
Prata	0,05	0,5
Metolaclo	0,14	0,14
Molinato	2	2

(*) Excepto o 2-cloro-p-toluidina.

A **Lei n.º 58/2005, de 29 de Dezembro**, que já foi referida na secção dos decretos referentes á recarga artificial.

O **Decreto-Lei n.º 178/2006, de 05 de Setembro**, que aprova o regime geral da gestão de resíduos, transpondo para a ordem jurídica interna a Directiva n.º 2006/12/CE,

do Parlamento Europeu e do Conselho, de 5 de Abril, e a Directiva n.º 91/689/CEE, do Conselho, de 12 de Dezembro.

Revoga os seguintes actos legislativos:

- O Decreto-Lei n.º 239/97, de 9 de Setembro;
- O artigo 16.º do Decreto-Lei n.º 366-A/97, de 20 de Dezembro, na redacção que lhe foi dada pelo Decreto-Lei n.º 92/2006, de 25 de Maio;
- O Decreto-Lei n.º 268/98, de 28 de Agosto;
- O artigo 13.º do Decreto-Lei n.º 111/2001, de 6 de Abril;
- O artigo 49.º do Decreto-Lei n.º 152/2002, de 23 de Maio;
- O n.º 3 do artigo 15.º, o n.º 1 do artigo 16.º, o artigo 20.º, o n.º 4 do artigo 22.º, a alínea g) do n.º 1 do artigo 25.º e o artigo 29.º do Decreto-Lei n.º 153/2003, de 11 de Julho;
- O n.º 1 do artigo 18.º e o artigo 28.º do Decreto-Lei n.º 196/2003, de 23 de Agosto;
- O artigo 95.º do Decreto-Lei n.º 3/2004, de 3 de Janeiro;
- Os n.º s 5 e 6 do artigo 20.º do Decreto-Lei n.º 230/2004, de 10 de Dezembro;
- O artigo 38.º do Decreto-Lei n.º 85/2005, de 28 de Abril;
- A Portaria n.º 961/98, de 10 de Novembro;
- A Portaria n.º 611/2005, de 27 de Julho;
- A Portaria n.º 612/2005, de 27 de Julho;
- A Portaria n.º 613/2005, de 27 de Julho;
- O despacho n.º 24571/2002 (2.ª série), de 18 de Novembro.

O **Decreto-Lei n.º 183/2009, de 10 de Agosto**, estabelece o regime jurídico da deposição de resíduos em aterro, as características técnicas e os requisitos a observar na concepção, licenciamento, construção, exploração, encerramento e pós-encerramento de aterros, transpondo para a ordem jurídica interna a Directiva n.º 1999/31/CE, do Conselho, de 26 de Abril, relativa à deposição de resíduos em aterros, alterada pelo Regulamento (CE) n.º 1882/2003, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 29 de Setembro, aplica a Decisão n.º 2003/33/CE, de 19 de Dezembro de 2002, e revoga o Decreto-Lei n.º 152/2002, de 23 de Maio.

O **Decreto-Lei n.º 73/2011, de 17 de Junho**, procede à alteração de diversos regimes jurídicos na área dos resíduos altera o regime geral da gestão de resíduos e transpõe a Directiva n.º 2008/98/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de Novembro, relativa aos resíduos.

Este Decreto-Lei procede à terceira alteração ao Decreto-Lei n.º 178/2006, de 5 de Setembro, e transpõe a Directiva n.º 2008/98/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de Novembro, relativa aos resíduos. Procede, ainda, à alteração dos seguintes diplomas:

- Decreto-Lei n.º 366-A/97, de 20 de Dezembro;
- Decreto-Lei n.º 111/2001, de 6 de Abril;
- Decreto-Lei n.º 153/2003, de 11 de Julho;
- Decreto-Lei n.º 196/2003, de 23 de Agosto;
- Decreto-Lei n.º 3/2004, de 3 de Janeiro;
- Decreto-Lei n.º 190/2004, de 17 de Agosto;
- Decreto-Lei n.º 46/2008, de 12 de Março;
- Decreto-Lei n.º 210/2009, de 3 de Setembro.

O **Decreto-Lei n.º 226-A/2007, de 31 de Maio**, que já foi referido na secção dos decretos referentes á recarga artificial.

O **Decreto-Lei n.º 82/2010, de 02 de Julho**, que prorroga o prazo para a regularização dos títulos de utilização de recursos hídricos e dispensa os utilizadores desses recursos da prestação da caução para recuperação ambiental quando constituam garantia financeira, procedendo à quinta alteração ao Decreto-Lei n.º 226-A/2007, de 31 de Maio. Este Decreto-Lei visa dois objectivos: por um lado, garantir que o maior número possível de utilizadores de recursos hídricos pode regularizar a sua situação perante as administrações de região hidrográficas competentes e, por outro lado, diminuir custos nas situações em que os utilizadores de recursos hídricos necessitam de prestar garantias.

O **Decreto-Lei n.º 306/2007, de 27 de Agosto**, estabelece o regime da qualidade da água destinada ao consumo humano, procedendo à revisão do Decreto-Lei n.º 243/2001, de 5 de Setembro, que transpõe para o ordenamento jurídico interno a Directiva n.º 98/83/CE, do Conselho, de 3 de Novembro, tendo por objectivo proteger a saúde humana dos efeitos nocivos resultantes da eventual contaminação dessa água e assegurar a disponibilização tendencialmente universal de água salubre, limpa e desejavelmente equilibrada na sua composição. Estabelece ainda os critérios de repartição da responsabilidade pela gestão de um sistema de abastecimento público de água para consumo humano, quando a mesma seja partilhada por duas ou mais entidades gestoras.

Revoga os seguintes actos legislativos:

- O Decreto -Lei n.º 243/2001, de 5 de Setembro;
- A Portaria n.º 1216/2003, de 16 de Outubro.

11.2.3. Nitratos

O **Decreto-Lei n.º 235/97, de 3 de Setembro**, transpõe para a ordem jurídica interna a Directiva n.º 91/676/CEE, do Conselho, de 12 de Dezembro de 1991, relativa à protecção das águas contra a poluição causada por nitratos de origem agrícola. Tem como objectivos: a redução da poluição das águas causada ou induzida por nitratos de

origem agrícola, assim como impedir a propagação desta poluição. São definidas no artigo 4.º, anexo I os critérios de definição das zonas vulneráveis. Segundo o anexo I, as águas poluídas e as águas em risco de serem poluídas por nitratos de origem agrícola devem ser identificadas mediante a aplicação, entre outros, dos seguintes critérios:

- Águas doces superficiais utilizadas ou destinadas à produção de água para consumo humano que contenham ou apresentem risco de vir a conter uma concentração de nitratos superior a 50 mg/l, se não forem tomadas as medidas previstas no artigo 7.º;
- Águas subterrâneas que contenham ou apresentem risco de conter uma concentração de nitratos superior a 50 mg/l, se não forem tomadas as medidas previstas no artigo 7.º;
- Lagoas, outras massas de água doce, estuários e águas costeiras que se revelem eutróficos ou se possam tornar eutróficos a curto prazo, se não forem tomadas as medidas previstas no artigo 7.º .

O **Decreto-Lei n.º 173/2008, de 26 de Agosto**, estabelece o regime de prevenção e controlo integrados da poluição proveniente de certas actividades e o estabelecimento de medidas destinadas a evitar ou, quando tal não for possível, a reduzir as emissões dessas actividades para o ar, a água ou 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, transpondo para a ordem jurídica interna a Directiva n.º2008/1/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 15 de Janeiro.

Revoga os seguintes actos legislativos:

- O Decreto-Lei n.º 194/2000, de 21 de Agosto, com as alterações introduzidas
- Pelos Decretos-Leis n.º s 152/2002, de 23 de Maio, 69/2003, de 10 de Abril, 233/2004, de 14 De Dezembro, 130/2005, de 16 de Agosto, 178/2006, de 5 de Setembro, e 183/2007, de 9 de Maio;
- O artigo 41.º do Decreto-Lei n.º 178/2006, de 5 de Setembro.
- O n.º 1 do artigo 3.º e o artigo 4.º do Decreto-Lei n.º 288/2007, de 17 de Agosto.

A **Portaria n.º 259/2012, de 28 de Agosto**, estabelece o programa de acção para as zonas vulneráveis de Portugal continental, que tem como objectivos reduzir a poluição das águas causada ou induzida por nitratos de origem agrícola e impedir a propagação desta poluição nas zonas vulneráveis. Zonas estas que são identificadas pela Portaria n.º 164/2010, de 16 de Março, e caracterizadas no anexo I desta portaria. Esta portaria não se aplica às culturas sem solo.

O Decreto-Lei n.º 107/2009, de 15 de Maio, aprova o regime de protecção das albufeiras de águas públicas de serviço público e das lagoas ou lagos de águas públicas.

A Lei n.º 58/2005, de 29 de Dezembro, que já foi referida na secção dos decretos referentes á recarga artificial.

O Decreto-Lei nº130/2012, de 22 de Junho, que já foi referido na secção dos decretos referentes á recarga artificial.

11.2.4. Águas de Rega

Este tipo de água é descrito no Decreto-Lei 236/98, de 1 de Agosto, como uma “ água superficial ou subterrânea ou água residual, que vise satisfazer ou complementar as necessidades hídricas das culturas agrícolas ou florestais ”. No anexo XVI deste decreto são indicados os valores máximos recomendados (VMR) e os valores máximos admitidos (VMA) para vários parâmetros considerados importantes para a avaliação da qualidade destas águas (Tabela 24).

Tabela 24 – Valores de VMR e VMA para o parâmetro Nitrato, de acordo com o Decreto-Lei 236/98, de 1 de Agosto

ANEXO XVI				
Qualidade das águas destinadas à rega				
Parâmetro S	Expressão dos resultados	VMR	VMA	Observações
Manganés (Mn)	mg/l	0,20	10	Tóxico para um certo número de culturas desde algumas décimas até poucos mg/l, mas normalmente só em solos ácidos.
Molibdénio (Mo)	mg/l	0,005	0,05	Não é tóxico em concentrações normais. Em solos ricos em molibdénio livre as forragens podem no entanto ocasionar toxicidade nos animais.
Níquel (Ni)	mg/l	0,5	2,0	Tóxico para um certo número de culturas entre 0,5 mg/l e 1 mg/l; reduzida toxicidade para pH neutro ou alcalino.
Nitratos (NO ₃)	mg/l	50		Concentrações elevadas podem afectar a produção e qualidade das culturas sensíveis. No plano de fertilização da parcela convirá contabilizar o azoto veiculado pela água de rega.
Salinidade:				
CE	dS/m	1		Depende muito da resistência das culturas à salinidade, bem como do clima, do método de rega e da textura do solo.
SDT	mg/l	640		
SAR (¹)		8		Depende da salinidade da água, características do solo e do tipo de cultura a ser irrigada.

11.3. Dados e Tratamento de Dados

11.3.1. Dados Base

Tabela 25 - Dados de Silva (2003) LA1

Ref.	M	P	Temp.	cond.	pH	pH (lab)	CO2	Dureza	HCO3	SO4	Cl (crom.)	NO3	NO2	F	Br	SiO2	Na	K	Ca	Mg
			(°C)	Sm			(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
LA 101	485125	4293650	14.7	1359	6.4	7.11	138.4	588	603.9	140.5	118.7	26.9	_	1.21	0.45	45.9	114.3	6.7	132.2	49.5
LA 102	484975	4293525	15.3	1287	6.8	7.27	74	476	595.4	109.4	112.1	25.2	vest.	1.56	0.45	36.5	103.2	2.5	1.08	56.6
LA 104	486463	4294963	15.4	1539	6.82	7.3	48.2	462	579.5	159.4	145.6	121.7	_	1.36	0.54	34.6	132.4	6.4	85.6	50.3
LA 106	486825	4295550	16.6	1532	6.75	7.06	83.6	496	502.6	109.81	258	11.7	_	1.59	0.71	43.5	84	1.4	116	52.68
LA 107	486488	4295800	17.6	990	7.16	7.38	38.6	222	436.8	116	55.28	7.5	_	1.1	0.26	54.4	128.9	3.4	61.6	10.45
LA 108	486925	4296350	16.9	1523	6.8	7	93.2	564	634.4	87.7	114.5	64.75	vest.	1.62	0.64	6.3	86.4	9.3	196	30.32
LA 110	486925	4298300	14.3	2900	7	7.46	41.2	598	536.8	2361	824.9	_	_	3.01	5.4	14.6	404.5	11.3	28	87
LA 111	484913	4299750	17	1361	6.83	7.07	82.4	300	607.6	106.3	142.3	4.99	vest.	0.99	0.43	36	128.9	7.3	36	29.6
LA 116	487650	4297838	15.9	1338	6.91	7.22	68.2	386	546.6	78.86	108.3	71.23	3.91	1.33	0.26	0.09	121.9	67.4	108	23.8
LA 117	487388	4297275	16.5	1398	6.97	7.28	66.2	510	627	151.1	114.8	16.99	4.96	1.89	0.68	18.2	130.8	0.4	101.6	58.3
LA 118	486450	4298275	14.9	4290	6.9	7.14	101.8	1000	1071	26.85	1105.9	15.4	_	4.49	7.1	0.06	754	35	142.4	106.4
LA 119	486500	4299725	14.1	1868	6.66	7.24	24.1	414	338.6	36.08	489.3	_	_	2.02	1.91	37	263.5	8	21.6	35.36
LA 120	486063	4300150	14.4	1076	6.83	7.26	26.9	416	443.5	76.75	113.79	30.13	2.29	1.09	0.35	29.3	111.6	17.1	96.8	27.68
LA 121	487125	4300638	15.8	823	6.7	7.4	20.6	400	361.7	72.65	46.25	30.13	3.79	0.5	_	24.5	45.8	2.9	95.2	24.38
LA 123	489750	4300675	16.2	2420	7.27	7.72	9.6	544	309.9	91.36	642.6	16.31	_	2.93	1.99	8.3	387.5	2.8	98.4	46.64
LA 124	490513	4297163	13.8	1436	6.62	7.09	71.3	496	630.1	71.93	168.5	0.18	_	1.67	0.37	21	172.9	5.6	138.4	13.65
LA 125	489350	4299800	16.1	3900	8.18	8.51		396	472	62.79	827.3	_	_	4.34	5.31	5.5	985	53.4	52	49.98
LA 126	489225	4299425	16.7	1002	7.28	7.59	12.1	274	313.5	88.9	118.1	18.4	3.59	1.22	0.21	26.5	124	14.5	55.2	13.16
LA 130	489675	4297825	15.4	1149	6.82	7.28	32	380	486.8	60.44	120.93	_	_	1.11	0.4	0.11	120.8	44.3	97.6	20.58
LA 131	489325	4298750	15.6	1393	7.13	7.53	25.9	582	558.8	72.91	144.07	94.74	3.65	1.56	0.25	4.4	132.3	2.4	64	79.6
LA 132	490200	4299613	14.9	3800	7.4	7.73	32.4	452	724.7	310.2	874.9	0.75	_	5.1	6.28	24.3	767.5	46.6	67.2	63.5
LA 135	486713	4295550	18.5	1680	6.69	7.12	91.2	752	581.33	143.8	247.5	37.5	_	1.83	1.24	20.4	95.8	3.8	191.2	62.78
LA 136	486863	4296800	18.6	2620	7.14	7.5	51.4	400	982.1	123.8	406.9	8.1	_	3.07	3.32	36.5	492.4	31.8	80	55.94
LA 137	486250	4297750	18.9	2270	6.8	7.51	92.6	722	1006.5	324.6	185.7	2.4	vest	2.64	1.93	21.7	281.8	15.6	150.4	79.66
LA 138	485450	4298475	19.5	1677	6.81	7.12	78.4	582	595.36	145.9	213.1	50.9		2.04	0.82	17.3	171.2	9.3	30.4	57.72
LA 139	485438	4298625	18.5	1860	6.73	7.15	89.6	762	702.11	153.2	151.5	159.9	vest.	2.13	1.19	22.6	155.4	3.6	9.6	68.92
LA 140	487025	4300063	20.5	1310	6.68	7.07	71.8	470	624.64	63.2	131.5	6.13	_	1.29	0.72	25.9	119.6	6.7	73.6	38.04
LA 141	484500	4298525	19.8	996	6.68	7.27	32.6	440	383.69	84.4	87.3	36.4	_	0.55	0.24	23.4	56.6	6.4	60	28.02
LA 142	488625	4298525	20.8	1142	6.81	7.26	42.8	408	469.7	106.6	96.6	38	_	1.77	0.34	24.1	119.5	7.6	58.4	41.36
LA 143	489463	4298650	18.9	960	6.99	7.23	41.2	458	469.7	53.3	84.7	0.3	_	1.36	0.4	21.7	54.3	1.6	66.4	48.7
LA 144	489025	4298788	19.2	703	6.86	7.14	25.6	298	261.08	63.6	54.9	33.2	_	1.07	0.17	15.2	35.5	0.95	64.8	23.4
LA 145	488800	4300388	21.9	992	6.8	7	46.6	364	334.28	46.8	92.3	99.6	_	0.67	_	31.5	76.4	2.3	87.2	18.46
LA 146	488250	4300400	19.9	1336	6.86	7.13	56	524	516.06	81	152.9	62.8	_	1.78	0.32	38.9	127.7	3.6	72	35.3
LA 147	487950	4300588	20	1879	6.65	7.04	6.48	570	467.26	132.2	237.8	244.3	_	2.01	0.58	7.28	174	51.7	56.8	35.76
LA 148	487875	4300100	20.8	1431	6.66	7.07	60	412	441.64	113.3	161.9	121.9	_	1.46	_	21.2	132.5	7.2	97.6	34.48
LA 149	486938	4296775	21.2	3060	7.47	7.75	33.6	416	893.04	47.7	619.5	23.8	_	3.31	4.54	30.4	752	43.1	24	65.42

Tabela 26 - Dados de Silva (2003) LA2

Ref.	M	P	Temp.	cond.	pH	CO2	Dureza	HCO3	SO4	Cl (crom.)	NO3	NO2	PO4	F	Br	SiO2	Na	K	Ca	Mg
			(°C)																	
LA 201	485125	4293650	17.9	1249	7	26.2	572	585.6	141.1	119.9	20.9	vest.	—	1.62	0.51	12.9	121.5	7.3	21	52.22
LA 202	484975	4293525	18.2	1212	6.98	21.8	572	539.85	126.2	130.9	24.5	vest.	—	1.6	0.37	0.09	96.2	2.8	106.4	62.62
LA 204	486463	4294963	18.9	1354	6.47	20.8	566	494.1	151.8	145.8	91.4	vest.	—	1.64	0.47	8.3	120	4.2	105.6	46.34
LA 206	486825	4295550	19.8	1418	6.42	29	648	453.84	129.1	277.3	22.1	—	—	1.58	0.62	8.7	106.7	1.9	152	51.36
LA 207	486488	4295800	18.7	952	6.6	14	320	347.7	146.7	68.5	7.98	vest.	—	1.56	0.21	7.2	125.4	3.4	103	9.98
LA 208	486925	4296350	19.9	1509	6.43	39.6	500	420.9	160.4	182.5	64.7	vest.	—	1.69	0.72	7.1	119.6	3.8	108	32
LA 210	486925	4298300	17.1	4360	6.69	68	936	376.98	1.95	1555.2	8.47	93.9	0.88	3.84	4.78	9.6	714	16.1	152	120.6
LA 211	484913	4299750	19.9	1169	6.4	48.8	502	384.3	62.5	133.3	0.095	—	—	1.38	0.4	5.8	128	8.6	74	28.66
LA 216	487650	4297838	18.5	1216	6.6	42.2	326	344.04	97.2	131.6	41.9	vest.	0.96	1.63	0.33	10.3	107.3	45.8	84.8	26.76
LA 217	487388	4297275	19	1142	6.63	31.6	484	347.7	158.6	100.7	5.79	vest.	—	1.68	0.49	11.1	113.2	1	68.8	58.4
LA 218	486450	4298275	21	2710	6.94	54.6	646	475.8	143.9	605.4	1.79	—	2.3	3.21	2.68	25.3	404	35.7	126	75.28
LA 219	486500	4299725	19.7	2050	6.78	25.4	325	146.4	33.2	612.9	—	55.2	27.9	2.19	1.63	68.6	297.8	10.9	80.8	38.56
LA 220	486063	4300150	18.6	1084	6.74	38.2	385	29.28	94.9	136.5	0.02	—	—	1.23	0.32	19.8	98	18.7	134.4	32.94
LA 221	487125	4300638	18.7	1027	6.85	38.6	484	269.01	86.8	103.9	19.2	—	—	1.03	0.15	11.2	52.3	4.8	132	32.28
LA 223	489750	4300675	19.6	3300	7.18	24	838	267.18	181.2	382.9	5.04	—	—	2.95	3.73	6.7	435.6	9	208	84.84
LA 224	490513	4297163	20.8	1863	6.89	53.6	424	387.96	52.4	274.9	0.07	—	—	2.02	0.8	10.6	270.9	8.3	88	27.56
LA 225	489350	4299800	18.1	5210	8.06	1.7	322	730.17	100.9	1776.6	0.03	110.2	—	4.65	4.34	0.2	1228	61.1	17.6	65.44
LA 226	489225	4299425	18.3	2210	7.3	14	396	320.25	126.1	549.9	63.7	—	—	2.28	1.88	12.6	351.8	15.8	50.4	38.24
LA 230	489675	4297825						0												
LA 231	489325	4298750	18.2	1404	7.09	24.4	552	559.98	103.9	129.8	95.4	vest.	—	2.12	0.37	52.4	135.7	4.1	55.2	83.94
LA 232	490200	4299613	19.4	7760	7.9	13.2	576	636.84	72.6	1894.2	7.22	112.1	6.57	5.38	3.66	6.3	1767	105.5	103.2	110.8
LA 235	486713	4295550	18.8	1647	6.5	55.4	862	329.4	150.9	251.9	52.1	vest.	—	1.99	0.78	32.4	127	2.2	70.4	59.52
LA 236	486863	4296800	19.9	2440	6.96	34	458	545.34	122.6	353.8	7.1	—	0.82	3.38	2.79	15.1	483.6	32.4	80	52.12
LA 237	486250	4297750	19.8	2190	6.93	52	722	501.42	329.9	191.9	7.8	1.62	—	2.78	1.26	15.3	307	17.6	140.8	77.34
LA 238	485450	4298475	18.7	1762	6.91	44.6	606	376.98	166.9	219.9	19.9	1.22	—	2.05	0.56	12.1	175.6	11.1	92	62.62
LA 239	485438	4298625	18.3	1784	6.78	76	696	442.86	145.1	135.9	92.3	1.29	—	2.12	0.97	34.7	76.4	4.3	144	62.88
LA 240	487025	4300063	19.5	1428	6.82	60.2	546	750.3	48.3	130.3	0.54	1.19	—	1.76	0.46	77.6	151.9	10.4	45.6	41.02
LA 241	484500	4298525	18.2	1149	6.86	31.2	496	237.9	94.7	118.6	45.8	0.8	—	1.25	0.29	13.8	78.4	6.6	114.4	34.6
LA 242	488625	4298525	18.9	1224	6.92	27.4	448	483.12	117.9	134.9	15.9	0.93	—	1.78	0.47	44.9	127.2	9.1	56	43.26
LA 243	489463	4298650	18.3	969	7.13	28.6	478	549	41.9	87.8	0.09	0.79	—	1.47	0.43	43.8	55.2	6.9	49.6	51.38
LA 244	489025	4298788	18.4	900	6.9	24.9	408	420.9	68.7	75.5	44.9	0.64	—	1.35	0.22	44.5	53.5	2.1	39.2	35.82
LA 245	488800	4300388	20.7	1007	6.76	34.8	400	201.3	117.9	91.7	93.1	0.73	—	0.86	0.19	15.7	148.8	3	80	19.85
LA 246	488250	4300400	19.5	1421	6.89	44.4	500	292.8	84.3	150.1	68.4	0.86	—	1.48	0.34	13.2	98.9	7.1	11.2	36.1
LA 247	487950	4300588	20	917	7.65	7.2	290	168.36	47.7	93.7	72	0.66	—	1.01	0.23	16.2	135.8	15.6	52	24.46
LA 248	487875	4300100	20.4	1375	6.71	39	508	230.58	103	143.6	122.8	0.82	—	1.36	0.23	21.3	135.8	9.7	82.4	31.72
LA 249	486938	4296775	24.7	2570	7.03	20.4	412	486.78	57.6	421.5	0.098	—	2.45	3.56	2.3	18.2	526.6	42.6	49.6	53.4
LA 250	487900	4299800	21.6	1179	7.71	9.4	312	256.2	118.4	111.1	0.57	vest.	11.87	1.82	0.25	4.5	143.2	26.4	75.2	13.66

Tabela 27 - Dados de Silva (2003) LA3

Ref.	M	P	Temp.	cond.	pH	CO2	Dureza	HCO3	SO4	Cl (crom.)	NO3	NO2	PO4	F	Br	SiO2	Na	K	Ca	Mg
			(°C)			(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
LA 301	485125	4293650	17	1170	7.16	40.4	362	610	102.6	65.6	21.7	0.93		0.16	0.51	41.4	105	6.1	108	48.02
LA 302	484975	4293525	17.9	1266	7.27	40.2	550	620.37	97.7	84.7	14.1			0.12	0.48	17.9	102	2.6	92	60.26
LA 304	486463	4294963	17.6	1490	7.28	32.4	602	583.16	159.5	107.5	119.5			0.15	0.61	32.8	126	5.8	120	54.42
LA 306	486825	4295550	18.4	1293	7.02	50.8	568	510.57	103.3	162.3	17.8	0.98		0.24	0.62	18.9	82.6	1.9	108	50.6
LA 307	486488	4295800	18.9	956	7.26	24.4	294	407.48	114.8	53.6	8.5			0.58		39.4	115.4	3.3	81.6	9.92
LA 308	486925	4296350	18.7	1402	6.84	83	684	613.66	106.5	136.6	51			0.13	0.76	34.2	78	8.6	145.6	31.5
LA 310	486925	4298300	21.2	2120	7.61	16.4	472	489.22	143.8	506.7				0.16	2.26	16.1	337	7.2	43.2	41.14
LA 311	484913	4299750	16.5	1319	7.14	39.4	490	546.56	136.4	124.7	17.8			0.14	0.52	23.9	138	6.7	92	29.56
LA 316	487650	4297838	20.4	1179	7.14	43.6	276	481.9	69.1	76.3	88.1	0.09		0.02	0.28	27.2	108	12.6	19.2	21.06
LA 317	487388	4297275	21.4	1219	8.26		486	527.04	148.1	108.1	47.8	0.19		0.22	0.54	7.4	124	0.68	46.4	61.82
LA 318	486450	4298275	18.6	1414	7.19	40.2	420	575.84	110.1	172.7	0.28	0.29		0.32	0.95	11.9	164	12.9	64.8	40.08
LA 319	486500	4299725	23.2	1310	7.65	6	330	276.94	68.7	214.8	3.11	0.25		0.19	0.84	22.7	180	10.6	70.4	35.48
LA 320	486063	4300150	21.6	668	8.65		234	196.42	72.9	74	0.33	0.13		0.12		9.6	67	10.8	17.6	22.52
LA 321	487125	4300638	18.8	660	7.3	20.2	304	303.78	50.2	42.4	11.1			0.21		23.2	33	2.9	18.4	19.22
LA 323	489750	4300675	19.7	1737	7.62	12.2	422	307.44	73.1	460.1	11.2	0.14		0.06	1.29	34.2	212	3.6	81.6	44.52
LA 324	490513	4297163	23.8	1457	7.41	31	448	579.5	133.2	146.5				0.11	0.54	10.7	175.5	5.9	92.8	16.72
LA 325	489350	4299800	26	4640	8.73		384	518.5	75.2	1505.5	0.24			1.12	5.19	9.3	1024	51	43.2	80.8
LA 326	489225	4299425	23.7	1469	7.56	13.2	296	361.12	75.2	192.9	44.9			0.09	0.82	34.2	243	8.6	40	27.72
LA 330	489675	4297825	22.7	915	7.45	21.5	296	408.7	42.4	80.8	1.49			0.05	0.26	29.9	77.5	40.6	58.4	15.38
LA 332	490200	4299613	19.1	3090	7.48	27.6	486	646.6	230.3	702.3	1.11			0.91	2.96	5.6	494	36.9	48	68
LA 335	486713	4295550	18.3	1344	7.13	38.4	538	517.28	118.5	150.3	17.9			0.14	0.46	25.9	91.5	8.8	151.2	44.3
LA 336	486863	4296800	19	2580	7.44	35	430	983.32	161.3	370.9	7.27		1.02	0.58	2.47	43.7	445	31.4	82.4	58.26
LA 337	486250	4297750	18.5	1816	7.21	49	628	829.6	241.9	198	13.3			0.19	1.06	33.6	230	12.9	125.6	68.12
LA 338	485450	4298475	18.8	1247	7.31	28.8	430	486.78	109.5	112.5	49.6			0.12	0.25	23.1	132	9.9	83.2	35.14
LA 339	485438	4298625	18.8	1748	7.09	59.8	736	751.52	140.6	138.5	160.5			0.06	1.09	21.8	163.5	5.4	132	70.04
LA 340	487025	4300063	23	1150	7.38	23.8	410	566.08	58.3	86.3	2.85			0.19	0.46	14.9	98.4	8.5	74.4	34.46
LA 341	484500	4298525	19.5	999	7.17	28.8	400	399.55	92.6	77.3	26.8			0.21		9.2	61	11.8	84.8	30.98
LA 342	488625	4298525	18.4	1045	6.86	44	414	469.7	79.7	82.9	30.2	0.09		0.17	0.37	4.7	103	7.3	81.6	40.3
LA 343	489463	4298650	19.4	912	7.11	44.6	472	461.16	51.9	63.9	21.6	0.39		0.19	0.27	29.1	50	1.1	47.2	51.02
LA 344	489025	4298788	17.8	1109	6.79	53.4	574	440.42	70.9	80.5	76.7			0.16	0.4	21.2	52	0.65	144.8	45.02
LA 345	488800	4300388	20	917	6.96	45	280	344.04	42.8	79.1	86.4			0.03	0.27	11.3	75	2.2	63.2	15.92
LA 346	488250	4300400	18.6	1247	7.11	39	450	498.37	84.3	99.5	47.9			0.14	0.34	14.9	126	3.3	107.2	35.78
LA 347	487950	4300588	18.9	934	7.52	11.8	320	337.94	62.7	75.6	71.9			0.19		9.2	86.8	20.8	70.4	32.44
LA 348	487875	4300100	21	1040	7.86	5	368	322.08	85.5	93.9	59.3			0.11		4.9	102	6.6	97.6	26.7
LA 349	486938	4296775	23.4	2630	7.74	14.4	336	828.38	41.1	442.1			1.77	0.72	2.22	31	495	30.4	44	60.86
LA 350	487900	4299800	26.3	1272	7.87	15	360	633.79	35	95	89	0.089	18.6	0.12	0.29	20.8	107	20.6	80	23.16

11.3.2. Dados tratados

Tabela 28 - Dados de Silva (2003) LA1

Ref.	M	P	Prof.	nível água medido	muro (poço)	nível água	tipo	Temp.	cond.	pH	pH (lab)	CO2	Dureza	HCO3	SO4	Cl (crom.)	NO3	NO2	PO4	F	Br	SiO2	Na	K	Ca	Mg	Cota	NHE
			(m)	(m)	(m)	(m)		(°C)	(µS)		(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(m)
LA 101	485125	4293650	8	3.1	0.65	2.45	poço	14.7	1359	6.4	7.11	138.4	588	603.9	140.5	118.7	26.9	_	_	1.21	0.45	45.9	114.3	6.7	132.2	49.5	9	6.55
LA 102	484975	4293525	7.4	3.1	0.4	2.7	poço	15.3	1287	6.8	7.27	74	476	595.4	109.4	112.1	25.2	vest.	_	1.56	0.45	36.5	103.2	2.5	1.08	56.6	11	8.3
LA 104	486463	4294963	10	2.9	0.9	2	poço	15.4	1539	6.82	7.3	48.2	462	579.5	159.4	145.6	121.7	_	_	1.36	0.54	34.6	132.4	6.4	85.6	50.3	7	5
LA 106	486825	4295550	7	2.7	1.1	1.6	poço	16.6	1532	6.75	7.06	83.6	496	502.6	109.81	258	11.7	_	_	1.59	0.71	43.5	84	1.4	116	52.68	17	15.4
LA 107	486488	4295800				0	nora	17.6	990	7.16	7.38	38.6	222	436.8	116	55.28	7.5	_	_	1.1	0.26	54.4	128.9	3.4	61.6	10.45	6	6
LA 108	486925	4296350	11.2	1.7	0.8	0.9	poço	16.9	1523	6.8	7	93.2	564	634.4	87.7	114.5	64.75	vest.	_	1.62	0.64	6.3	86.4	9.3	196	30.32	6	5.1
LA 110	486925	4298300	4.1	3.1	0.7	2.4	poço	14.3	2900	7	7.46	41.2	598	536.8	2361	824.9	_	_	_	3.01	5.4	14.6	404.5	11.3	28	87	3	0.6
LA 111	484913	4299750	4.8	0.6	0.6	0	poço	17	1361	6.83	7.07	82.4	300	607.6	106.3	142.3	4.99	vest.	_	0.99	0.43	36	128.9	7.3	36	29.6	40	40
LA 116	487650	4297838	5.8	2.75	0	2.75	poço	15.9	1338	6.91	7.22	68.2	386	546.6	78.86	108.3	71.23	3.91	_	1.33	0.26	0.09	121.9	67.4	108	23.8	4	1.25
LA 117	487388	4297275	6.1	1.6	0.7	0.9	poço	16.5	1398	6.97	7.28	66.2	510	627	151.1	114.8	16.99	4.96	_	1.89	0.68	18.2	130.8	0.4	101.6	58.3	7	6.1
LA 118	486450	4298275	7.9	3.9	0.4	3.5	poço	14.9	4290	6.9	7.14	101.8	1000	1071	26.85	1105.9	15.4	_	_	4.49	7.1	0.06	754	35	142.4	106.4	15	11.5
LA 119	486500	4299725	5.7	2.1	0.9	1.2	urbanização	14.1	1868	6.66	7.24	24.1	414	338.6	36.08	489.3	_	_	_	2.02	1.91	37	263.5	8	21.6	35.36	4	2.8
LA 120	486063	4300150	5.7	1.6	0.6	1	poço	14.4	1076	6.83	7.26	26.9	416	443.5	76.75	113.79	30.13	2.29	_	1.09	0.35	29.3	111.6	17.1	96.8	27.68	12	11
LA 121	487125	4300638	6.9	1.6	0.7	0.9	poço	15.8	823	6.7	7.4	20.6	400	361.7	72.65	46.25	30.13	3.79	1.77	0.5	_	24.5	45.8	2.9	95.2	24.38	7	6.1
LA 123	489750	4300675	7	2.7	0.5	2.2	poço	16.2	2420	7.27	7.72	9.6	544	309.9	91.36	642.6	16.31	_	_	2.93	1.99	8.3	387.5	2.8	98.4	46.64	6	3.8
LA 124	490513	4297163				0	poça	13.8	1436	6.62	7.09	71.3	496	630.1	71.93	168.5	0.18	_	_	1.67	0.37	21	172.9	5.6	138.4	13.65	73	73
LA 125	489350	4299800	4.6	2.3	0.7	1.6	poço	16.1	3900	8.18	8.51		396	472	62.79	827.3	_	_	_	4.34	5.31	5.5	985	53.4	52	49.98	6	4.4
LA 126	489225	4299425	7.4	5.05	0.9	4.15	poço	16.7	1002	7.28	7.59	12.1	274	313.5	88.9	118.1	18.4	3.59	4.37	1.22	0.21	26.5	124	14.5	55.2	13.16	5	0.85
LA 130	489675	4297825	2	1.2	0.9	0.3	poço	15.4	1149	6.82	7.28	32	380	486.8	60.44	120.93	_	_	_	1.11	0.4	0.11	120.8	44.3	97.6	20.58	7	6.7
LA 132	490200	4299613	4.12	2.04	0.61	1.43	poço	14.9	3800	7.4	7.73	32.4	452	724.7	310.2	874.9	0.75	_	_	5.1	6.28	24.3	767.5	46.6	67.2	63.5	5	3.57
LA 135	486713	4295550	8.8	3.3	1.1	2.2	poço	18.5	1680	6.69	7.12	91.2	752	581.33	143.8	247.5	37.5	_	_	1.83	1.24	20.4	95.8	3.8	191.2	62.78	9	6.8
LA 136	486863	4296800	7.9	4.8	0	4.8	poço	18.6	2620	7.14	7.5	51.4	400	982.1	123.8	406.9	8.1	_	_	3.07	3.32	36.5	492.4	31.8	80	55.94	8	3.2
LA 137	486250	4297750	5.7	3.15	0.75	2.4	poço	18.9	2270	6.8	7.51	92.6	722	1006.5	324.6	185.7	2.4	vest	_	2.64	1.93	21.7	281.8	15.6	150.4	79.66	5	2.6
LA 138	485450	4298475	10.5	5.4	0.92	4.48	poço	19.5	1677	6.81	7.12	78.4	582	595.36	145.9	213.1	50.9		_	2.04	0.82	17.3	171.2	9.3	30.4	57.72	5	0.52
LA 139	485438	4298625	8.6	3.8	0.65	3.15	poço	18.5	1860	6.73	7.15	89.6	762	702.11	153.2	151.5	159.9	vest.	_	2.13	1.19	22.6	155.4	3.6	9.6	68.92	9	5.85
LA 140	487025	4300063	3.3	1.9	0.8	1.1	poço	20.5	1310	6.68	7.07	71.8	470	624.64	63.2	131.5	6.13	_	_	1.29	0.72	25.9	119.6	6.7	73.6	38.04	4	2.9
LA 141	484500	4298525	6.1	2.5	0	2.5	poço	19.8	996	6.68	7.27	32.6	440	383.69	84.4	87.3	36.4	_	_	0.55	0.24	23.4	56.6	6.4	60	28.02	5	2.5
LA 142	488625	4298525				0	furo	20.8	1142	6.81	7.26	42.8	408	469.7	106.6	96.6	38	_	_	1.77	0.34	24.1	119.5	7.6	58.4	41.36	4	4
LA 143	489463	4298650	5.4	3.4	0.6	2.8	poço	18.9	960	6.99	7.23	41.2	458	469.7	53.3	84.7	0.3	_	_	1.36	0.4	21.7	54.3	1.6	66.4	48.7	5	2.2
LA 144	489025	4298788	5.4	4.1	0.75	3.35	poço	19.2	703	6.86	7.14	25.6	298	261.08	63.6	54.9	33.2	_	_	1.07	0.17	15.2	35.5	0.95	64.8	23.4	4	0.65
LA 145	488800	4300388	6.8	2.67	0	2.67	poço	21.9	992	6.8	7	46.6	364	334.28	46.8	92.3	99.6	_	_	0.67	_	31.5	76.4	2.3	87.2	18.46	5	2.33
LA 146	488250	4300400	9.8	2.1	0	2.1	poço	19.9	1336	6.86	7.13	56	524	516.06	81	152.9	62.8	_	_	1.78	0.32	38.9	127.7	3.6	72	35.3	11	8.9
LA 147	487950	4300588	11.6	9.45	0.85	8.6	poço	20	1879	6.65	7.04	6.48	570	467.26	132.2	237.8	244.3	_	_	2.01	0.58	7.28	174	51.7	56.8	35.76	9	0.4
LA 148	487875	4300100	6	5.5	0.85	4.65	poço	20.8	1431	6.66	7.07	60	412	441.64	113.3	161.9	121.9	_	_	1.46	_	21.2	132.5	7.2	97.6	34.48	6	1.35
LA 149	486938	4296775				0	furo	21.2	3060	7.47	7.75	33.6	416	893.04	47.7	619.5	23.8	_	_	3.31	4.54	30.4	752	43.1	24	65.42	5	5

Tabela 29 - Dados de Silva (2003) LA2

Ref.	M	P	Prof. (m)	nível água medido (m)	muro (poço) (m)	nível água (m)	tipo	Temp.	cond.	pH	CO2	Dureza	HCO3	SO4	Cl (crom.)	NO3	NO2	PO4	F	Br	SiO2	Na	K	Ca	Mg	Cota	NHE
								(°C)	(µS)		(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
LA 201	485125	4293650	8	3.74	0.81	2.93	poço	17.9	1249	7	26.2	572	585.6	141.1	119.9	20.9	vest.	_	1.62	0.51	12.9	121.5	7.3	21	52.22	9	6.07
LA 202	484975	4293525	7.4	3.46	0.38	3.08	poço	18.2	1212	6.98	21.8	572	539.85	126.2	130.9	24.5	vest.	_	1.6	0.37	0.09	96.2	2.8	106.4	62.62	11	7.92
LA 204	486463	4294963	10	3.48	0.86	2.62	poço	18.9	1354	6.47	20.8	566	494.1	151.8	145.8	91.4	vest.	_	1.64	0.47	8.3	120	4.2	105.6	46.34	7	4.38
LA 206	486825	4295550	7	4.3	1.12	3.18	poço	19.8	1418	6.42	29	648	453.84	129.1	277.3	22.1	_	_	1.58	0.62	8.7	106.7	1.9	152	51.36	17	13.82
LA 207	486488	4295800				0	nora	18.7	952	6.6	14	320	347.7	146.7	68.5	7.98	vest.	_	1.56	0.21	7.2	125.4	3.4	103	9.98	6	6
LA 208	486925	4296350	11.2	2.77	0.8	1.97	poço	19.9	1509	6.43	39.6	500	420.9	160.4	182.5	64.7	vest.	_	1.69	0.72	7.1	119.6	3.8	108	32	6	4.03
LA 210	486925	4298300	4.1	3.52	0.73	2.79	poço	17.1	4360	6.69	68	936	376.98	1.95	1555.2	8.47	93.9	0.88	3.84	4.78	9.6	714	16.1	152	120.6	3	0.21
LA 211	484913	4299750	4.8	0.6	0.6	0	poço	19.9	1169	6.4	48.8	502	384.3	62.5	133.3	0.095	_	_	1.38	0.4	5.8	128	8.6	74	28.66	40	40
LA 216	487650	4297838	5.8	5.52	1.04	4.48	poço	18.5	1216	6.6	42.2	326	344.04	97.2	131.6	41.9	vest.	0.96	1.63	0.33	10.3	107.3	45.8	84.8	26.76	4	-0.48
LA 217	487388	4297275	6.1	2.14	0.69	1.45	poço	19	1142	6.63	31.6	484	347.7	158.6	100.7	5.79	vest.	_	1.68	0.49	11.1	113.2	1	68.8	58.4	7	5.55
LA 218	486450	4298275	7.9	4.93	0	1.45	poço	21	2710	6.94	54.6	646	475.8	143.9	605.4	1.79		2.3	3.21	2.68	25.3	404	35.7	126	75.28	15	13.55
LA 219	486500	4299725	5.7	2.62	0.97	1.65	urbanização	19.7	2050	6.78	25.4	325	146.4	33.2	612.9	_	55.2	27.9	2.19	1.63	68.6	297.8	10.9	80.8	38.56	4	2.35
LA 220	486063	4300150	5.7	2.99	0.74	2.25	poço	18.6	1084	6.74	38.2	385	29.28	94.9	136.5	0.02		_	1.23	0.32	19.8	98	18.7	134.4	32.94	12	9.75
LA 221	487125	4300638	6.9	3.34	0.71	2.63	poço	18.7	1027	6.85	38.6	484	269.01	86.8	103.9	19.2		_	1.03	0.15	11.2	52.3	4.8	132	32.28	7	4.37
LA 223	489750	4300675	7	3.34	0.68	2.66	poço	19.6	3300	7.18	24	838	267.18	181.2	382.9	5.04		_	2.95	3.73	6.7	435.6	9	208	84.84	6	3.34
LA 224	490513	4297163				0	poça	20.8	1863	6.89	53.6	424	387.96	52.4	274.9	0.07		_	2.02	0.8	10.6	270.9	8.3	88	27.56	73	73
LA 225	489350	4299800	4.6	3.56	0.79	2.77	poço	18.1	5210	8.06	1.7	322	730.17	100.9	1776.6	0.03	110.2	_	4.65	4.34	0.2	1228	61.1	17.6	65.44	6	3.23
LA 226	489225	4299425	7.4			0	poço	18.3	2210	7.3	14	396	320.25	126.1	549.9	63.7		_	2.28	1.88	12.6	351.8	15.8	50.4	38.24	5	5
LA 230	489675	4297825	2			0	poço						0													7	7
LA 232	490200	4299613	4.12	2.51	0.63	1.88	poço	19.4	7760	7.9	13.2	576	636.84	72.6	1894.2	7.22	112.1	6.57	5.38	3.66	6.3	1767	105.5	103.2	110.8	5	3.12
LA 235	486713	4295550	8.8	3.73	1.07	2.66	poço	18.8	1647	6.5	55.4	862	329.4	150.9	251.9	52.1	vest.	_	1.99	0.78	32.4	127	2.2	70.4	59.52	9	6.34
LA 236	486863	4296800	7.9	5.9	0	5.9	poço	19.9	2440	6.96	34	458	545.34	122.6	353.8	7.1	_	0.82	3.38	2.79	15.1	483.6	32.4	80	52.12	8	2.1
LA 237	486250	4297750	5.7			0	poço	19.8	2190	6.93	52	722	501.42	329.9	191.9	7.8	1.62	_	2.78	1.26	15.3	307	17.6	140.8	77.34	5	5
LA 238	485450	4298475	10.5	4.93	0.92	4.01	poço	18.7	1762	6.91	44.6	606	376.98	166.9	219.9	19.9	1.22	_	2.05	0.56	12.1	175.6	11.1	92	62.62	5	0.99
LA 239	485438	4298625	8.6	4.6	0.92	3.68	poço	18.3	1784	6.78	76	696	442.86	145.1	135.9	92.3	1.29	_	2.12	0.97	34.7	76.4	4.3	144	62.88	9	5.32
LA 240	487025	4300063	3.3	1.94	0.77	1.17	poço	19.5	1428	6.82	60.2	546	750.3	48.3	130.3	0.54	1.19	_	1.76	0.46	77.6	151.9	10.4	45.6	41.02	4	2.83
LA 241	484500	4298525	6.1	3.88	0.7	3.18	poço	18.2	1149	6.86	31.2	496	237.9	94.7	118.6	45.8	0.8	_	1.25	0.29	13.8	78.4	6.6	114.4	34.6	5	1.82
LA 242	488625	4298525	43.53	3.19	0.57	2.62	furo	18.9	1224	6.92	27.4	448	483.12	117.9	134.9	15.9	0.93	_	1.78	0.47	44.9	127.2	9.1	56	43.26	4	1.38
LA 243	489463	4298650	5.4	3.8	0.65	3.15	poço	18.3	969	7.13	28.6	478	549	41.9	87.8	0.09	0.79	_	1.47	0.43	43.8	55.2	6.9	49.6	51.38	5	1.85
LA 244	489025	4298788	5.4	4.41	0.78	3.63	poço	18.4	900	6.9	24.9	408	420.9	68.7	75.5	44.9	0.64	_	1.35	0.22	44.5	53.5	2.1	39.2	35.82	4	0.37
LA 245	488800	4300388	6.8			0	poço	20.7	1007	6.76	34.8	400	201.3	117.9	91.7	93.1	0.73	_	0.86	0.19	15.7	148.8	3	80	19.85	5	5
LA 246	488250	4300400	9.8	2.2	0.2	2	poço	19.5	1421	6.89	44.4	500	292.8	84.3	150.1	68.4	0.86	_	1.48	0.34	13.2	98.9	7.1	11.2	36.1	11	9
LA 247	487950	4300588	11.6	9.96	0.58	9.38	poço	20	917	7.65	7.2	290	168.36	47.7	93.7	72	0.66	_	1.01	0.23	16.2	135.8	15.6	52	24.46	9	-0.38
LA 248	487875	4300100	6	5.1	1.08	4.02	poço	20.4	1375	6.71	39	508	230.58	103	143.6	122.8	0.82	_	1.36	0.23	21.3	135.8	9.7	82.4	31.72	6	1.98
LA 249	486938	4296775				0	furo	24.7	2570	7.03	20.4	412	486.78	57.6	421.5	0.098	_	2.45	3.56	2.3	18.2	526.6	42.6	49.6	53.4	5	5
LA 250	487900	4299800		1.2	0.42	0.78	poço	21.6	1179	7.71	9.4	312	256.2	118.4	111.1	0.57	vest.	11.87	1.82	0.25	4.5	143.2	26.4	75.2	13.66	4	3.22

11.3.3. Mapa Piezométrico

Tabela 30 - Dados tratados LA1

Ref.	M	P	Prof.	Nível água medido	Muro (poço)	Nível água	tipo	Temp.	cond.	pH	pH (lab)	CO2	Dureza	HCO3	SO4	Cl (crom.)	NO3	NO2	PO4	F	Br	SiO2	Na	K	Ca	Mg	Cota	NHE
LA 108	486925	4296350	11.2	1.7	0.8	0.9	poço	16.9	1523	6.8	7	93.2	564	634.4	87.7	114.5	64.75	vest.	–	1.62	0.64	6.3	86.4	9.3	196	30.32	6	5.1
LA 110	486925	4298300	4.1	3.1	0.7	2.4	poço	14.3	2900	7	7.46	41.2	598	536.8	2361	824.9	–	–	–	3.01	5.4	14.6	404.5	11.3	28	87	3	0.6
LA 116	487650	4297838	5.8	2.75	0	2.75	poço	15.9	1338	6.91	7.22	68.2	386	546.6	78.86	108.3	71.23	3.91	–	1.33	0.26	0.09	121.9	67.4	108	23.8	4	1.25
LA 117	487388	4297275	6.1	1.6	0.7	0.9	poço	16.5	1398	6.97	7.28	66.2	510	627	151.1	114.8	16.99	4.96	–	1.89	0.68	18.2	130.8	0.4	101.6	58.3	7	6.1
LA 118	486450	4298275	7.9	3.9	0.4	3.5	poço	14.9	4290	6.9	7.14	101.8	1000	1071	26.85	1105.9	15.4	–	–	4.49	7.1	0.06	754	35	142.4	106.4	15	11.5
LA 121	487125	4300638	6.9	1.6	0.7	0.9	poço	15.8	823	6.7	7.4	20.6	400	361.7	72.65	46.25	30.13	3.79	1.77	0.5	–	24.5	45.8	2.9	95.2	24.38	7	6.1
LA 123	489750	4300675	7	2.7	0.5	2.2	poço	16.2	2420	7.27	7.72	9.6	544	309.9	91.36	642.6	16.31	–	–	2.93	1.99	8.3	387.5	2.8	98.4	46.64	6	3.8
LA 125	489350	4299800	4.6	2.3	0.7	1.6	poço	16.1	3900	8.18	8.51	–	396	472	62.79	827.3	–	–	–	4.34	5.31	5.5	985	53.4	52	49.98	6	4.4
LA 136	486863	4296800	7.9	4.8	0	4.8	poço	18.6	2620	7.14	7.5	51.4	400	982.1	123.8	406.9	8.1	–	–	3.07	3.32	36.5	492.4	31.8	80	55.94	8	3.2
LA 141	484500	4298525	6.1	2.5	0	2.5	poço	19.8	996	6.68	7.27	32.6	440	383.69	84.4	87.3	36.4	–	–	0.55	0.24	23.4	56.6	6.4	60	28.02	5	2.5
LA 140	487025	4300063	3.3	1.9	0.8	1.1	poço	20.5	1310	6.68	7.07	71.8	470	624.64	63.2	131.5	6.13	–	–	1.29	0.72	25.9	119.6	6.7	73.6	38.04	4	2.9
LA 143	489463	4298650	5.4	3.4	0.6	2.8	poço	18.9	960	6.99	7.23	41.2	458	469.7	53.3	84.7	0.3	–	–	1.36	0.4	21.7	54.3	1.6	66.4	48.7	5	2.2
LA 144	489025	4298788	5.4	4.1	0.75	3.35	poço	19.2	703	6.86	7.14	25.6	298	261.08	63.6	54.9	33.2	–	–	1.07	0.17	15.2	35.5	0.95	64.8	23.4	4	0.65
LA 147	487950	4300588	11.6	9.45	0.85	8.6	poço	20	1879	6.65	7.04	6.48	570	467.26	132.2	237.8	244.3	–	–	2.01	0.58	7.28	174	51.7	56.8	35.76	9	0.4

Tabela 31 - Dados tratados LA2

Ref.	M	P	Prof.	Nível água medido	Muro (poço)	Nível água	tipo	Temp.	cond.	pH	CO2	Dureza	HCO3	SO4	Cl (crom.)	NO3	NO2	PO4	F	Br	SiO2	Na	K	Ca	Mg	Cota	NHE
LA 208	486925	4296350	11.2	2.77	0.8	1.97	poço	19.9	1509	6.43	39.6	500	420.9	160.4	182.5	64.7	vest.	–	1.69	0.72	7.1	119.6	3.8	108	32	6	4.03
LA 210	486925	4298300	4.1	3.52	0.73	2.79	poço	17.1	4360	6.69	68	936	376.98	1.95	1555.2	8.47	93.9	0.88	3.84	4.78	9.6	714	16.1	152	120.6	3	0.21
LA 216	487650	4297838	5.8	5.52	1.04	4.48	poço	18.5	1216	6.6	42.2	326	344.04	97.2	131.6	41.9	vest.	0.96	1.63	0.33	10.3	107.3	45.8	84.8	26.76	4	-0.48
LA 217	487388	4297275	6.1	2.14	0.69	1.45	poço	19	1142	6.63	31.6	484	347.7	158.6	100.7	5.79	vest.	–	1.68	0.49	11.1	113.2	1	68.8	58.4	7	5.55
LA 218	486450	4298275	7.9	4.93	0	1.45	poço	21	2710	6.94	54.6	646	475.8	143.9	605.4	1.79	–	2.3	3.21	2.68	25.3	404	35.7	126	75.28	15	13.55
LA 221	487125	4300638	6.9	3.34	0.71	2.63	poço	18.7	1027	6.85	38.6	484	269.01	86.8	103.9	19.2	–	–	1.03	0.15	11.2	52.3	4.8	132	32.28	7	4.37
LA 223	489750	4300675	7	3.34	0.68	2.66	poço	19.6	3300	7.18	24	838	267.18	181.2	382.9	5.04	–	–	2.95	3.73	6.7	435.6	9	208	84.84	6	3.34
LA 225	489350	4299800	4.6	3.56	0.79	2.77	poço	18.1	5210	8.06	1.7	322	730.17	100.9	1776.6	0.03	110.2	–	4.65	4.34	0.2	1228	61.1	17.6	65.44	6	3.23
LA 236	486863	4296800	7.9	5.9	0	5.9	poço	19.9	2440	6.96	34	458	545.34	122.6	353.8	7.1	–	0.82	3.38	2.79	15.1	483.6	32.4	80	52.12	8	2.1
LA 240	487025	4300063	3.3	1.94	0.77	1.17	poço	19.5	1428	6.82	60.2	546	750.3	48.3	130.3	0.54	1.19	–	1.76	0.46	77.6	151.9	10.4	45.6	41.02	4	2.83
LA 241	484500	4298525	6.1	3.88	0.7	3.18	poço	18.2	1149	6.86	31.2	496	237.9	94.7	118.6	45.8	0.8	–	1.25	0.29	13.8	78.4	6.6	114.4	34.6	5	1.82
LA 243	489463	4298650	5.4	3.8	0.65	3.15	poço	18.3	969	7.13	28.6	478	549	41.9	87.8	0.09	0.79	–	1.47	0.43	43.8	55.2	6.9	49.6	51.38	5	1.85
LA 244	489025	4298788	5.4	4.41	0.78	3.63	poço	18.4	900	6.9	24.9	408	420.9	68.7	75.5	44.9	0.64	–	1.35	0.22	44.5	53.5	2.1	39.2	35.82	4	0.37
LA 247	487950	4300588	11.6	9.96	0.58	9.38	poço	20	917	7.65	7.2	290	168.36	47.7	93.7	72	0.66	–	1.01	0.23	16.2	135.8	15.6	52	24.46	9	-0.38

11.3.4. Mapa de distribuição de Nitratos

Tabela 32- Dados tratados LA1

Ref.	M	P	Prof.	Nível água medido	Muro (poço)	Nível água	tipo	Temp.	cond.	pH	pH (lab)	CO2	Dureza	HCO3	SO4	Cl (crom.)	NO3	NO2	PO4	F	Br	SiO2	Na	K	Ca	Mg	Cota	NHE
LA 108	486925	4296350	11.2	1.7	0.8	0.9	poço	16.9	1523	6.8	7	93.2	564	634.4	87.7	114.5	64.75	vest.	_	1.62	0.64	6.3	86.4	9.3	196	30.32	6	5.1
LA 110	486925	4298300	4.1	3.1	0.7	2.4	poço	14.3	2900	7	7.46	41.2	598	536.8	2361	824.9	_	_	_	3.01	5.4	14.6	404.5	11.3	28	87	3	0.6
LA 116	487650	4297838	5.8	2.75	0	2.75	poço	15.9	1338	6.91	7.22	68.2	386	546.6	78.86	108.3	71.23	3.91	_	1.33	0.26	0.09	121.9	67.4	108	23.8	4	1.25
LA 117	487388	4297275	6.1	1.6	0.7	0.9	poço	16.5	1398	6.97	7.28	66.2	510	627	151.1	114.8	16.99	4.96	_	1.89	0.68	18.2	130.8	0.4	101.6	58.3	7	6.1
LA 118	486450	4298275	7.9	3.9	0.4	3.5	poço	14.9	4290	6.9	7.14	101.8	1000	1071	26.85	1105.9	15.4	_	_	4.49	7.1	0.06	754	35	142.4	106.4	15	11.5
LA 121	487125	4300638	6.9	1.6	0.7	0.9	poço	15.8	823	6.7	7.4	20.6	400	361.7	72.65	46.25	30.13	3.79	1.77	0.5	_	24.5	45.8	2.9	95.2	24.38	7	6.1
LA 123	489750	4300675	7	2.7	0.5	2.2	poço	16.2	2420	7.27	7.72	9.6	544	309.9	91.36	642.6	16.31	_	_	2.93	1.99	8.3	387.5	2.8	98.4	46.64	6	3.8
LA 126	489225	4299425	7.4	5.05	0.9	4.15	poço	16.7	1002	7.28	7.59	12.1	274	313.5	88.9	118.1	18.4	3.59	4.37	1.22	0.21	26.5	124	14.5	55.2	13.16	5	0.85
LA 136	486863	4296800	7.9	4.8	0	4.8	poço	18.6	2620	7.14	7.5	51.4	400	982.1	123.8	406.9	8.1	_	_	3.07	3.32	36.5	492.4	31.8	80	55.94	8	3.2
LA 140	487025	4300063	3.3	1.9	0.8	1.1	poço	20.5	1310	6.68	7.07	71.8	470	624.64	63.2	131.5	6.13	_	_	1.29	0.72	25.9	119.6	6.7	73.6	38.04	4	2.9
LA 141	484500	4298525	6.1	2.5	0	2.5	poço	19.8	996	6.68	7.27	32.6	440	383.69	84.4	87.3	36.4	_	_	0.55	0.24	23.4	56.6	6.4	60	28.02	5	2.5
LA 142	488625	4298525				0	furo	20.8	1142	6.81	7.26	42.8	408	469.7	106.6	96.6	38	_	_	1.77	0.34	24.1	119.5	7.6	58.4	41.36	4	4
LA 143	489463	4298650	5.4	3.4	0.6	2.8	poço	18.9	960	6.99	7.23	41.2	458	469.7	53.3	84.7	0.3	_	_	1.36	0.4	21.7	54.3	1.6	66.4	48.7	5	2.2
LA 144	489025	4298788	5.4	4.1	0.75	3.35	poço	19.2	703	6.86	7.14	25.6	298	261.08	63.6	54.9	33.2	_	_	1.07	0.17	15.2	35.5	0.95	64.8	23.4	4	0.65
LA 145	488800	4300388	6.8	2.67	0	2.67	poço	21.9	992	6.8	7	46.6	364	334.28	46.8	92.3	99.6	_	_	0.67	_	31.5	76.4	2.3	87.2	18.46	5	2.33
LA 147	487950	4300588	11.6	9.45	0.85	8.6	poço	20	1879	6.65	7.04	6.48	570	467.26	132.2	237.8	244.3	_	_	2.01	0.58	7.28	174	51.7	56.8	35.76	9	0.4
LA 148	487875	4300100	6	5.5	0.85	4.65	poço	20.8	1431	6.66	7.07	60	412	441.64	113.3	161.9	121.9	_	_	1.46	_	21.2	132.5	7.2	97.6	34.48	6	1.35
LA 149	486938	4296775				0	furo	21.2	3060	7.47	7.75	33.6	416	893.04	47.7	619.5	23.8	_	_	3.31	4.54	30.4	752	43.1	24	65.42	5	5

Tabela 33 - Dados tratados LA2

Ref.	M	P	Prof.	Nível água medido	Muro (poço)	Nível água	tipo	Temp.	cond.	pH	CO2	Dureza	HCO3	SO4	Cl (crom.)	NO3	NO2	PO4	F	Br	SiO2	Na	K	Ca	Mg	Cota	NHE
LA 208	486925	4296350	11.2	2.77	0.8	1.97	poço	19.9	1509	6.43	39.6	500	420.9	160.4	182.5	64.7	vest.	_	1.69	0.72	7.1	119.6	3.8	108	32	6	4.03
LA 210	486925	4298300	4.1	3.52	0.73	2.79	poço	17.1	4360	6.69	68	936	376.98	1.95	1555.2	8.47	93.9	0.88	3.84	4.78	9.6	714	16.1	152	120.6	3	0.21
LA 216	487650	4297838	5.8	5.52	1.04	4.48	poço	18.5	1216	6.6	42.2	326	344.04	97.2	131.6	41.9	vest.	0.96	1.63	0.33	10.3	107.3	45.8	84.8	26.76	4	-0.48
LA 217	487388	4297275	6.1	2.14	0.69	1.45	poço	19	1142	6.63	31.6	484	347.7	158.6	100.7	5.79	vest.	_	1.68	0.49	11.1	113.2	1	68.8	58.4	7	5.55
LA 218	486450	4298275	7.9	4.93	0	1.45	poço	21	2710	6.94	54.6	646	475.8	143.9	605.4	1.79		2.3	3.21	2.68	25.3	404	35.7	126	75.28	15	13.55
LA 221	487125	4300638	6.9	3.34	0.71	2.63	poço	18.7	1027	6.85	38.6	484	269.01	86.8	103.9	19.2		_	1.03	0.15	11.2	52.3	4.8	132	32.28	7	4.37
LA 223	489750	4300675	7	3.34	0.68	2.66	poço	19.6	3300	7.18	24	838	267.18	181.2	382.9	5.04		_	2.95	3.73	6.7	435.6	9	208	84.84	6	3.34
LA 226	489225	4299425	7.4			0	poço	18.3	2210	7.3	14	396	320.25	126.1	549.9	63.7		_	2.28	1.88	12.6	351.8	15.8	50.4	38.24	5	5
LA 236	486863	4296800	7.9	5.9	0	5.9	poço	19.9	2440	6.96	34	458	545.34	122.6	353.8	7.1	_	0.82	3.38	2.79	15.1	483.6	32.4	80	52.12	8	2.1
LA 240	487025	4300063	3.3	1.94	0.77	1.17	poço	19.5	1428	6.82	60.2	546	750.3	48.3	130.3	0.54	1.19	_	1.76	0.46	77.6	151.9	10.4	45.6	41.02	4	2.83
LA 241	484500	4298525	6.1	3.88	0.7	3.18	poço	18.2	1149	6.86	31.2	496	237.9	94.7	118.6	45.8	0.8	_	1.25	0.29	13.8	78.4	6.6	114.4	34.6	5	1.82
LA 242	488625	4298525	43.53	3.19	0.57	2.62	furo	18.9	1224	6.92	27.4	448	483.12	117.9	134.9	15.9	0.93	_	1.78	0.47	44.9	127.2	9.1	56	43.26	4	1.38
LA 243	489463	4298650	5.4	3.8	0.65	3.15	poço	18.3	969	7.13	28.6	478	549	41.9	87.8	0.09	0.79	_	1.47	0.43	43.8	55.2	6.9	49.6	51.38	5	1.85
LA 244	489025	4298788	5.4	4.41	0.78	3.63	poço	18.4	900	6.9	24.9	408	420.9	68.7	75.5	44.9	0.64	_	1.35	0.22	44.5	53.5	2.1	39.2	35.82	4	0.37
LA 245	488800	4300388	6.8			0	poço	20.7	1007	6.76	34.8	400	201.3	117.9	91.7	93.1	0.73	_	0.86	0.19	15.7	148.8	3	80	19.85	5	5
LA 247	487950	4300588	11.6	9.96	0.58	9.38	poço	20	917	7.65	7.2	290	168.36	47.7	93.7	72	0.66	_	1.01	0.23	16.2	135.8	15.6	52	24.46	9	-0.38
LA 248	487875	4300100	6	5.1	1.08	4.02	poço	20.4	1375	6.71	39	508	230.58	103	143.6	122.8	0.82	_	1.36	0.23	21.3	135.8	9.7	82.4	31.72	6	1.98
LA 249	486938	4296775				0	furo	24.7	2570	7.03	20.4	412	486.78	57.6	421.5	0.098	_	2.45	3.56	2.3	18.2	526.6	42.6	49.6	53.4	5	5

11.4. Granulometria

11.4.1. Dados

Tabela 34 – Amostras de Solo seleccionadas de Silva (2003)

Amostra	M	P	Profundidade (cm)	Nível Freático (m)	Data da colheita
G7 10 B	489606	4299750	40	-	-
G7 11 B	489813	4299775	40	-	-
L5 15 B	489525	4300475	40	-	-
L5 16 B	490025	4300325	40	-	-
L5 44 B	490125	4299613	40	-	-
P1 L1 A7	489850	4299000	130	130	11/04/1995
P1 L2 A3	489938	4299000	70	70	11/04/1995
P1 L3 A3	490025	4299000	78	78	11/04/1995
P1 L4 A5	490088	4299000	87	78	18/04/1995
P1 L5 A9	489725	4299000	188	188	18/04/1995

11.4.2. Procedimentos de Laboratório

11.4.2.1. Separação, por via húmida, da fracção superior e inferior a $63\mu\text{m}$

Material:

- Copo de vidro com capacidade para 1L;
- Vareta;
- Pincel;
- Estufa;
- Balança com precisão de pelo menos duas casas decimais;
- Esguicho com água;
- Banho de areia;
- Crivo de $63\mu\text{m}$ com o respectivo balde de lavagem.

Procedimento:

1. Proceder ao quarteamento da amostra de modo a obter uma toma representativa com aproximadamente 100g.
2. Secar a amostra na estufa de 60°C (ou a 100°C , consoante os objectivos do ensaio).
3. Pesar a amostra seca numa balança de duas casas decimais e registar o valor.

4. Introduzir água no copo que contém a amostra para ajudar à lavagem promovendo a desagregação do material fino (deixar em repouso durante algumas horas ou agitar com vareta de vidro, por ex.).
5. Lavar a amostra através de um crivo de 63 µm e balde de lavagem (próprios para o efeito).
6. Deve-se, primeiramente, agitar com o auxílio de uma vareta a amostra e deitar apenas a água e o material em suspensão sobre o crivo de 63 µm, o qual está apoiado no balde de lavagem, e lavar com um “fio” de água de modo a que a quantidade de água e sedimento retidos no balde seja mínima. Para facilitar a lavagem utiliza-se um pincel para ajudar à desagregação da amostra. A amostra deve ser lavada até que a água que passa pelo crivo e pela amostra fique limpa (sem finos). Este processo é repetido as vezes necessárias até que toda a água fique límpida quando é agitada a amostra. Deve evitar-se introduzir no crivo de 63 µm o material grosseiro e fragmentos de concha pois estes têm tendência a danificar mais facilmente a malha do crivo.
7. Finda a lavagem e recorrendo à ajuda de um esguicho de água coloca-se o material grosseiro (> 63 µm) em copo de vidro que vai à estufa de 100°C até secar. Uma vez seco é pesado.
8. O material fino (< 63 µm) é colocado em copo de vidro e seco no banho de areia a 60° C.

Tratamento dos resultados:

Tabela 35 - Exemplo de tabela a usar para registo de dados

Ref ^a Amostra	Tara do copo (g)	Peso da amostra total (g)	Copo + amostra final (>63µm) (g)	Peso da amostra final (>63µm) (g)	% 63µm

A quantificação da fracção > 63µm é dada pela seguinte fórmula:

Equação 1 - Quantificação da fracção > 63µm

$$\% \text{ fracção } > 63\mu\text{m} = \frac{\text{Pf}}{\text{Pi}} \times 100$$

Onde:

Pf - Peso final da amostra após lavagem (fracção grosseira (>63µm));

Pi - Peso inicial da amostra total (antes da lavagem).

11.4.2.2. *Granulometria de grosseiros (>63 μ m)*

Material:

- Coluna de crivos (-2 ϕ , -1.5 ϕ , -1 ϕ , -0.5 ϕ , 0 ϕ , 0.5 ϕ , 1 ϕ , 1.5 ϕ , 2 ϕ , 2.5 ϕ , 3 ϕ , 3.5 ϕ , 4 ϕ);
- Agitador de crivos;
- Goblet de vidro;
- Sacos pequenos de plástico;
- Balança (com precisão de duas casas decimais);
- Escova para limpeza dos crivos;
- Pincel;
- Selador térmico de sacos;
- Folha grande de papel branco.

Procedimento:

- Quartear a areia até obter aproximadamente 100g de amostra; pesar a areia e registar o peso;
- Ordenar a série de crivos por ordem decrescente de dimensão (-2 ϕ no topo e "fundo" na base);
- Deitar a areia quarteada e previamente pesada nos crivos e colocar a tampa;
- Colocar a "coluna de crivos + areia" no agitador, ajustar bem a cobertura de modo a evitar as vibrações laterais dos crivos;
- Ligar o aparelho e controlar 15 minutos como tempo de agitação;
- Ajustar a frequência de vibração do agitador;
- Etiquetar os sacos de plástico;
- Após 15 minutos de agitação:
 - O conteúdo de cada crivo é vertido primeiro para uma grande folha de papel branco sobre a qual deve ser limpo o crivo com a ajuda de uma escova; seguidamente é colocado no goblet de vidro para poder ser pesado na balança de duas casas decimais e registado o peso em folha própria;
 - Coloca-se o conteúdo de cada goblet no saco respectivo com a ajuda de um pincel;
 - Selam-se os sacos com a ajuda do selador térmico.

11.4.2.3. *Granulometria da fracção fina (<63µm) por difracção de raio laser*

Material:

- Copo com capacidade 20 ml;
- Balança com precisão de 3-4 casas decimais;
- Desfloculante (hexametáfosfato de sódio – (NaPO)₆);
- Água destilada ou desionizada;
- Tina de ultrasons;
- Aparelho de medição por difracção de raios laser.

Preparação da amostra (2 réplicas):

- A amostra deve ser previamente separada de todos os componentes com diâmetro superior a 4φ (63µm) por crivagem seca;
- Quarteamento da amostra de silte + argila até obter aproximadamente 0,08 - 1,00g (maior quantidade de amostra para sedimentos mais siltosos e menor para sedimentos mais argilosos);
- Pesagem da amostra com precisão de 3-4 casas decimais (0.12-0.18g);
- Colocar a amostra num copo com capacidade de 20 ml;
- Adicionar 20 ml de água destilada ou desionizada;
- Dispersão do material juntando 4 gotas de hexametáfosfato de sódio diluído (*);
- Agitar a solução e deixar repousar algumas horas. Após algumas horas:
- Colocar o copo + amostra + desfloculante numa tina de ultra sons durante 3 minutos;
- Repetir a operação até não observar agregados no fundo do copo.

(*) Preparação de hexametáfosfato de sódio diluído:

- Reduzir a pó num almofariz de ágata 40 g de hexametáfosfato de sódio, pesadas com precisão de 3-4 casas decimais;
- Dissolver as 40 g de hexametáfosfato de sódio sólido num litro de água destilada ou desionizada;
- Guardar a solução num frasco de vidro.

11.4.3. Curvas Granulométricas

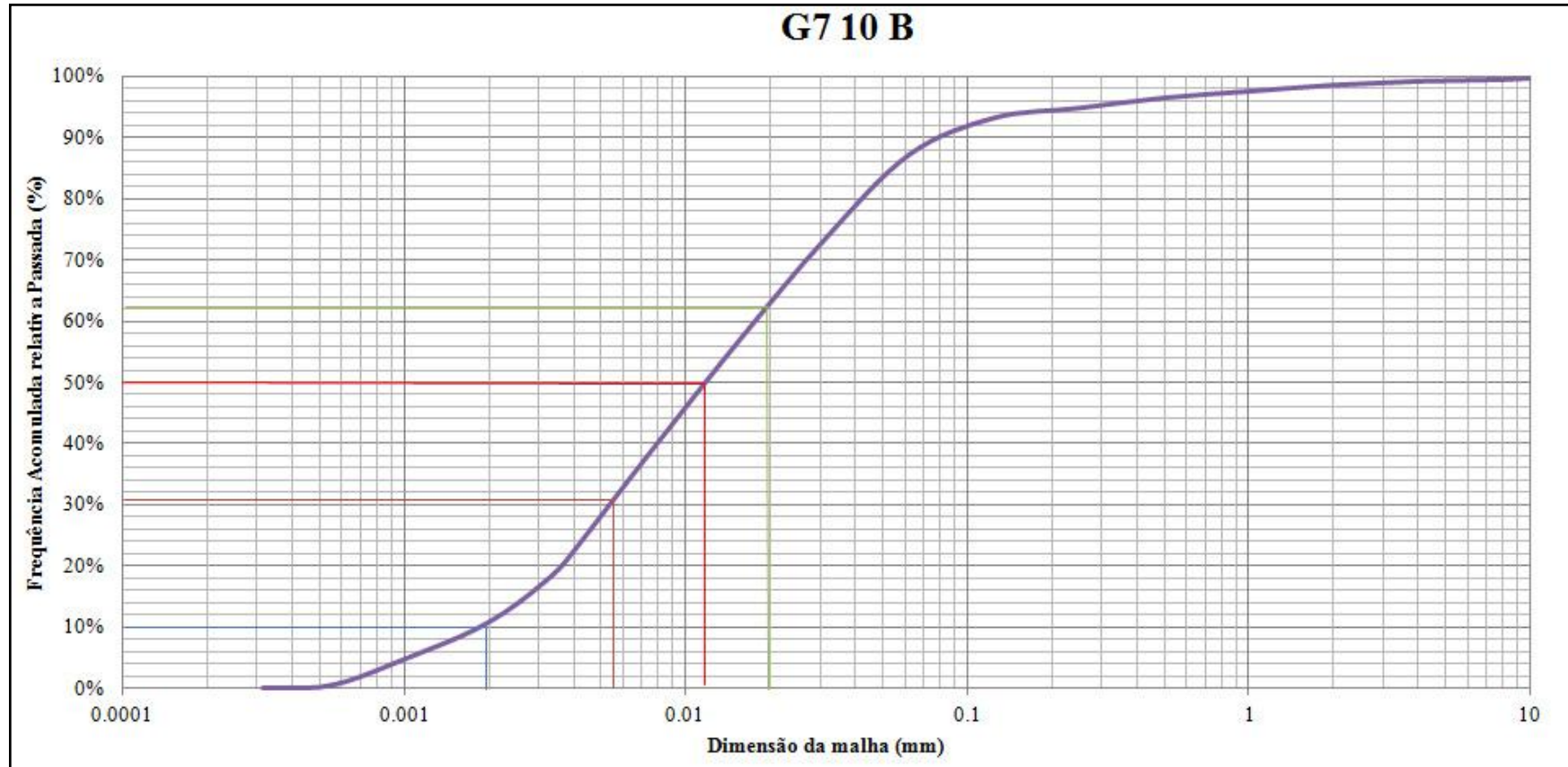


Gráfico 1 - Curva granulométrica e D_{10} , D_{30} , D_{50} e D_{60} da amostra G710B

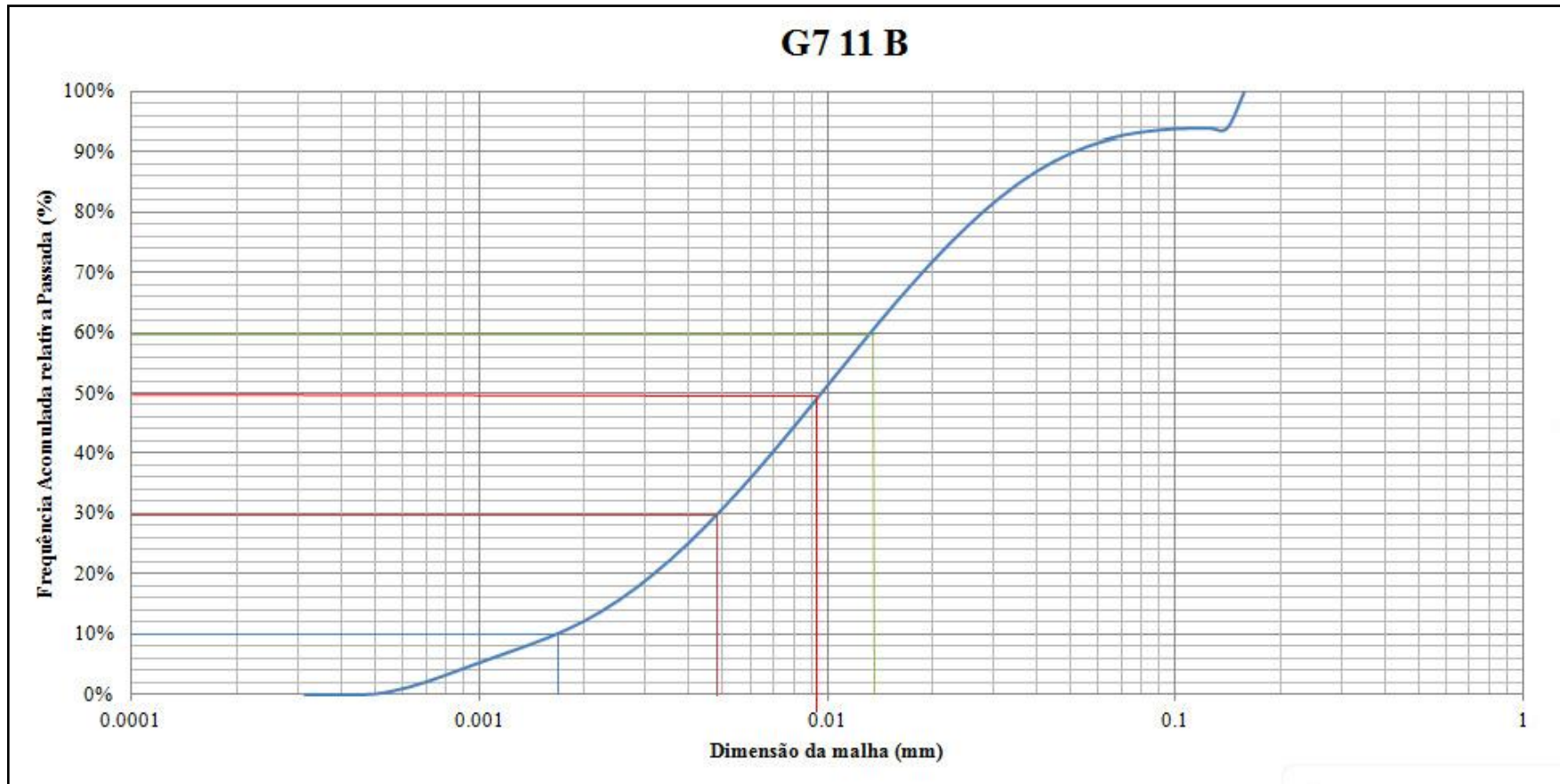


Gráfico 2 - Curva granulométrica e D_{10} , D_{30} , D_{50} e D_{60} da amostra G711B

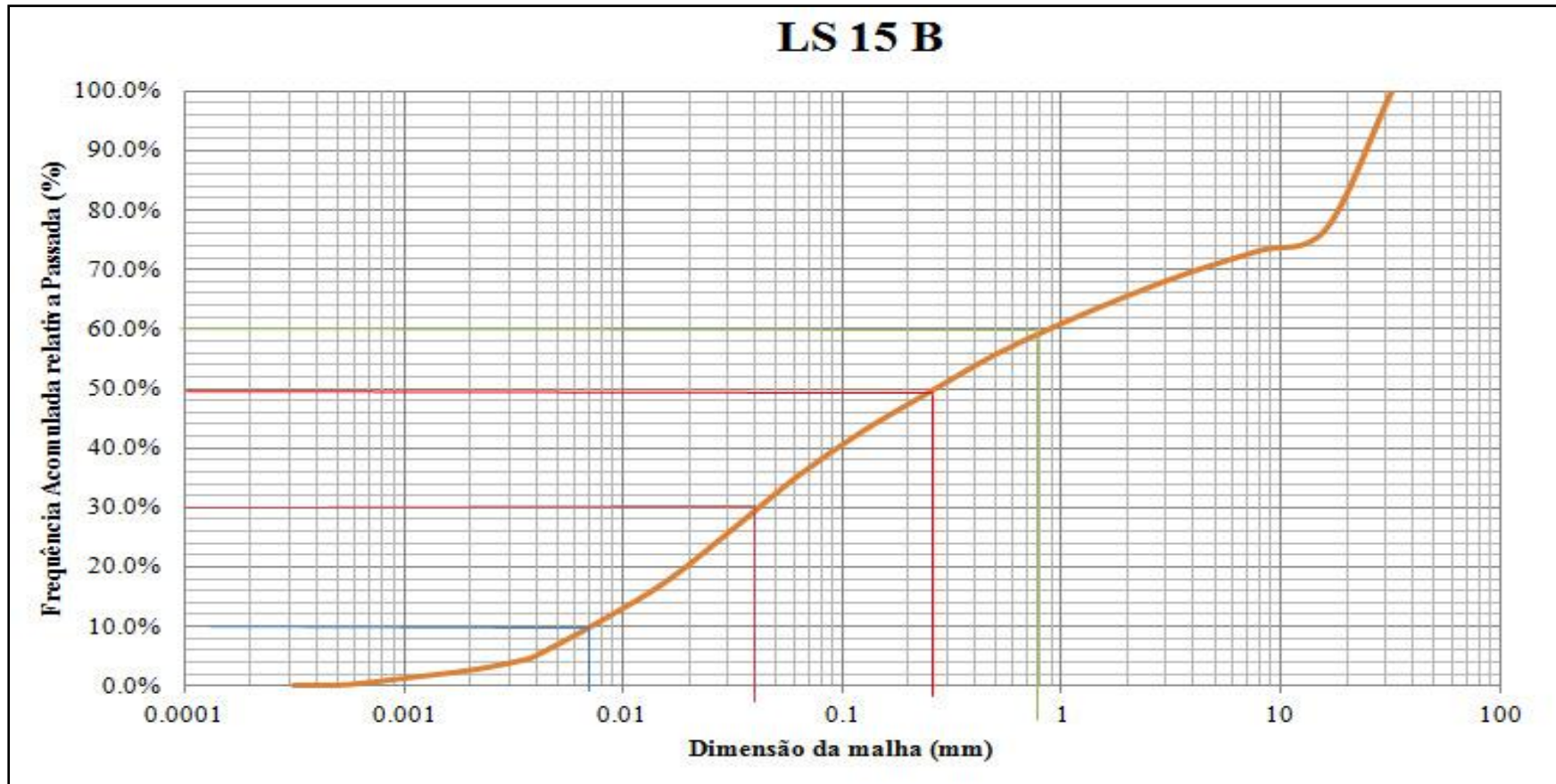


Gráfico 3 - Curva granulométrica e D_{10} , D_{30} , D_{50} e D_{60} da amostra LS15B

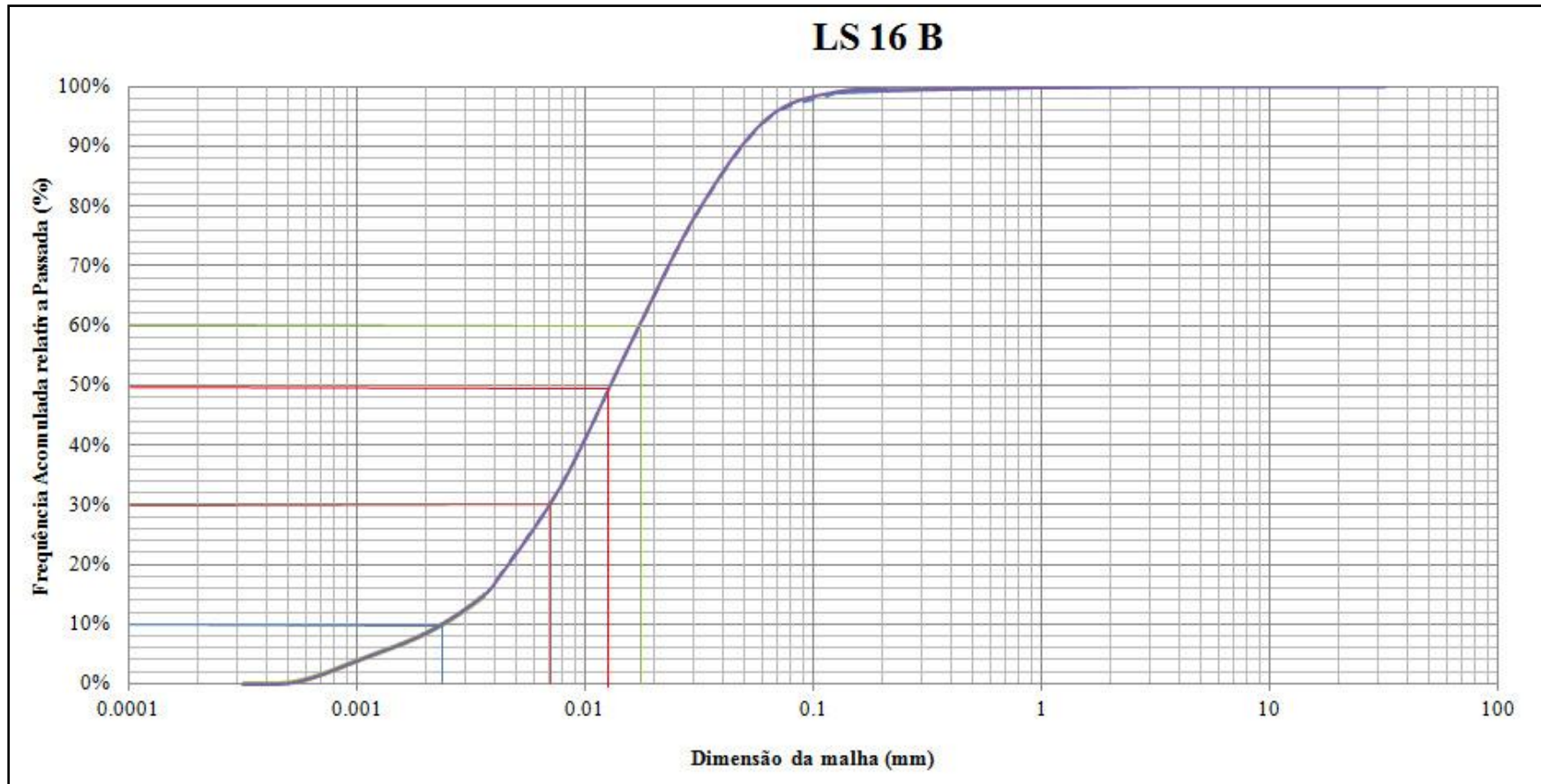


Gráfico 4 - Curva granulométrica e D_{10} , D_{30} , D_{50} e D_{60} da amostra LS16B

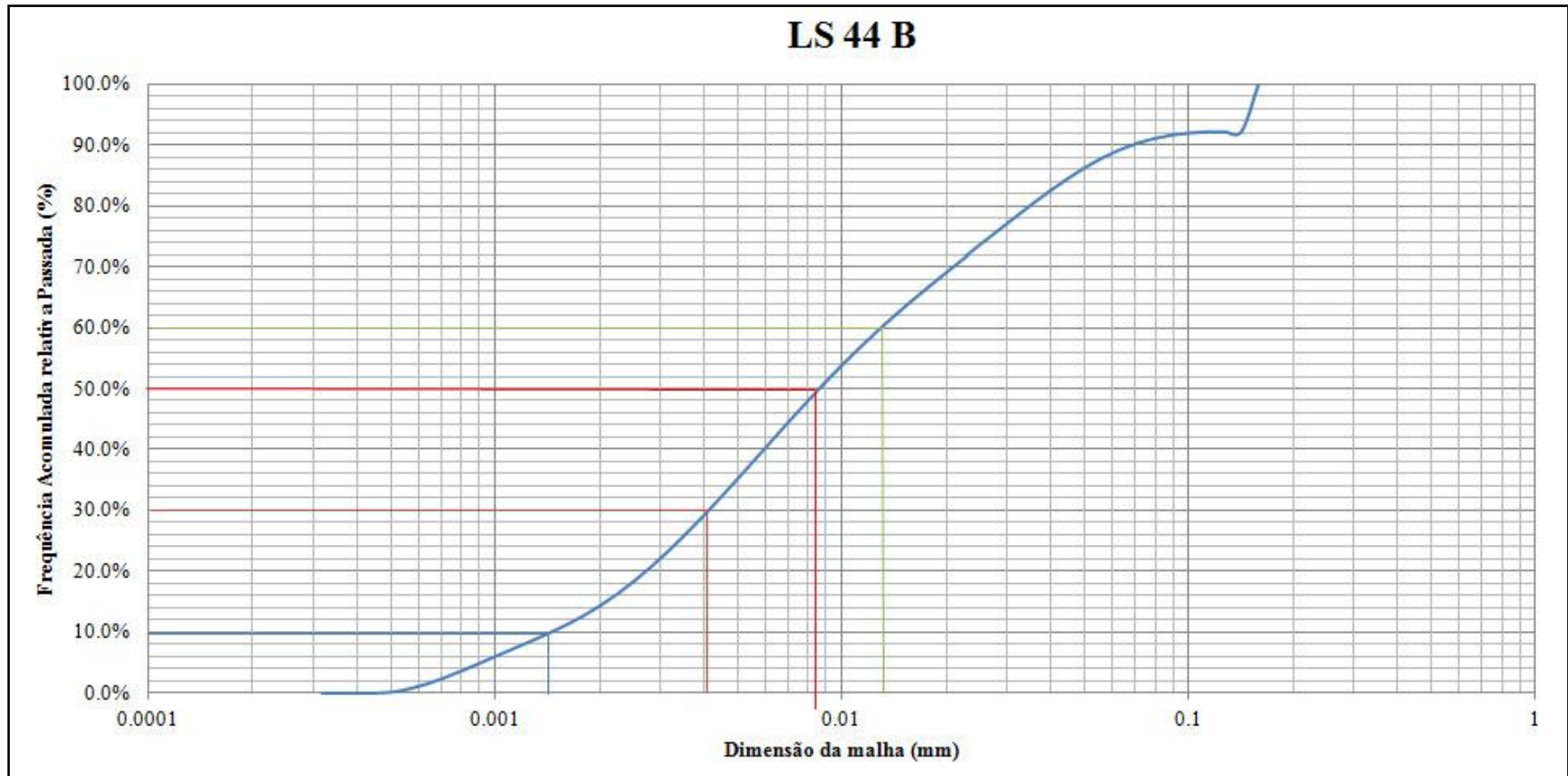


Gráfico 5 - Curva granulométrica e D_{10} , D_{30} , D_{50} e D_{60} da amostra LS44B

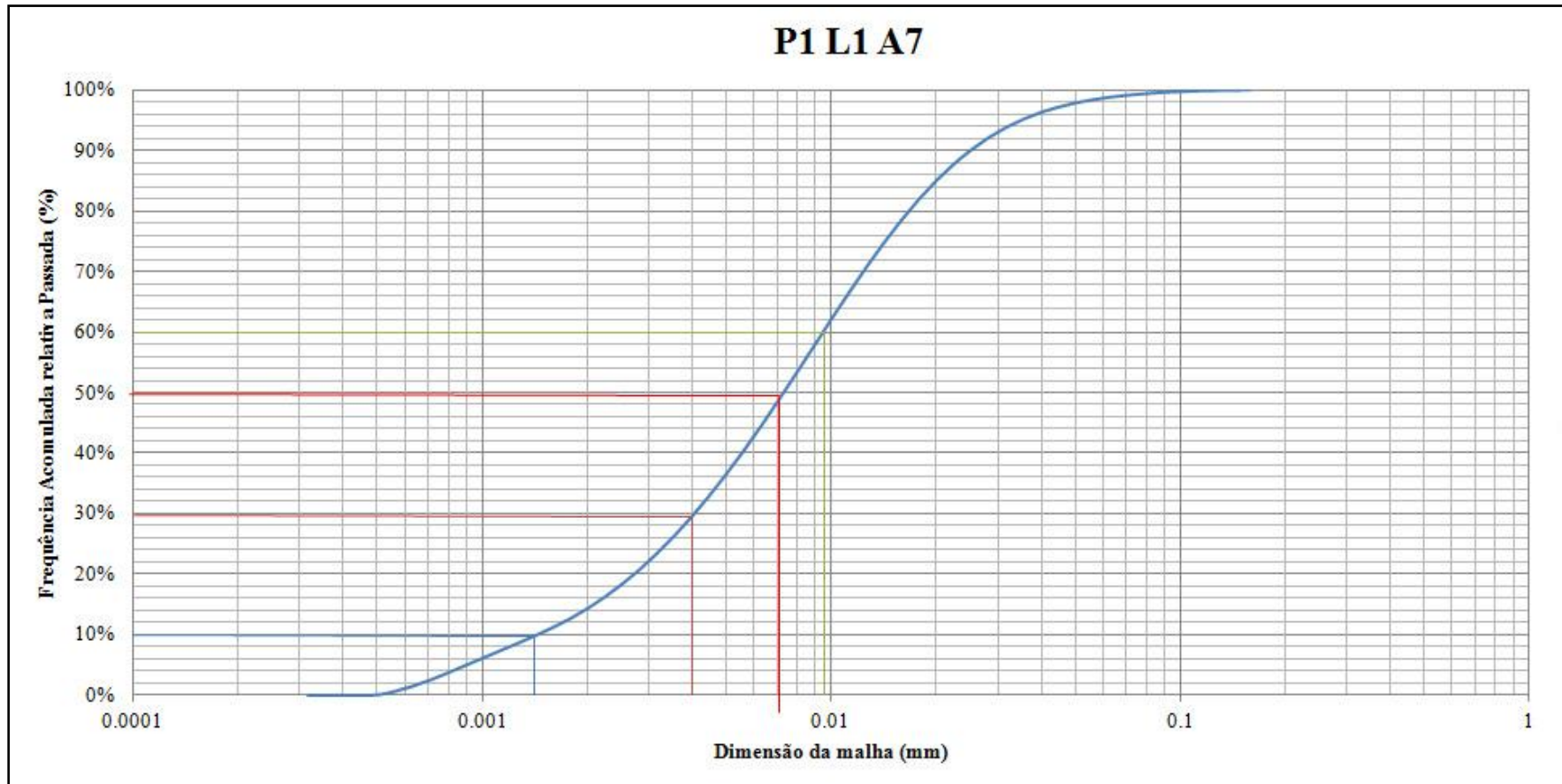


Gráfico 6 - Curva granulométrica e D_{10} , D_{30} , D_{50} e D_{60} da amostra P1L1A7

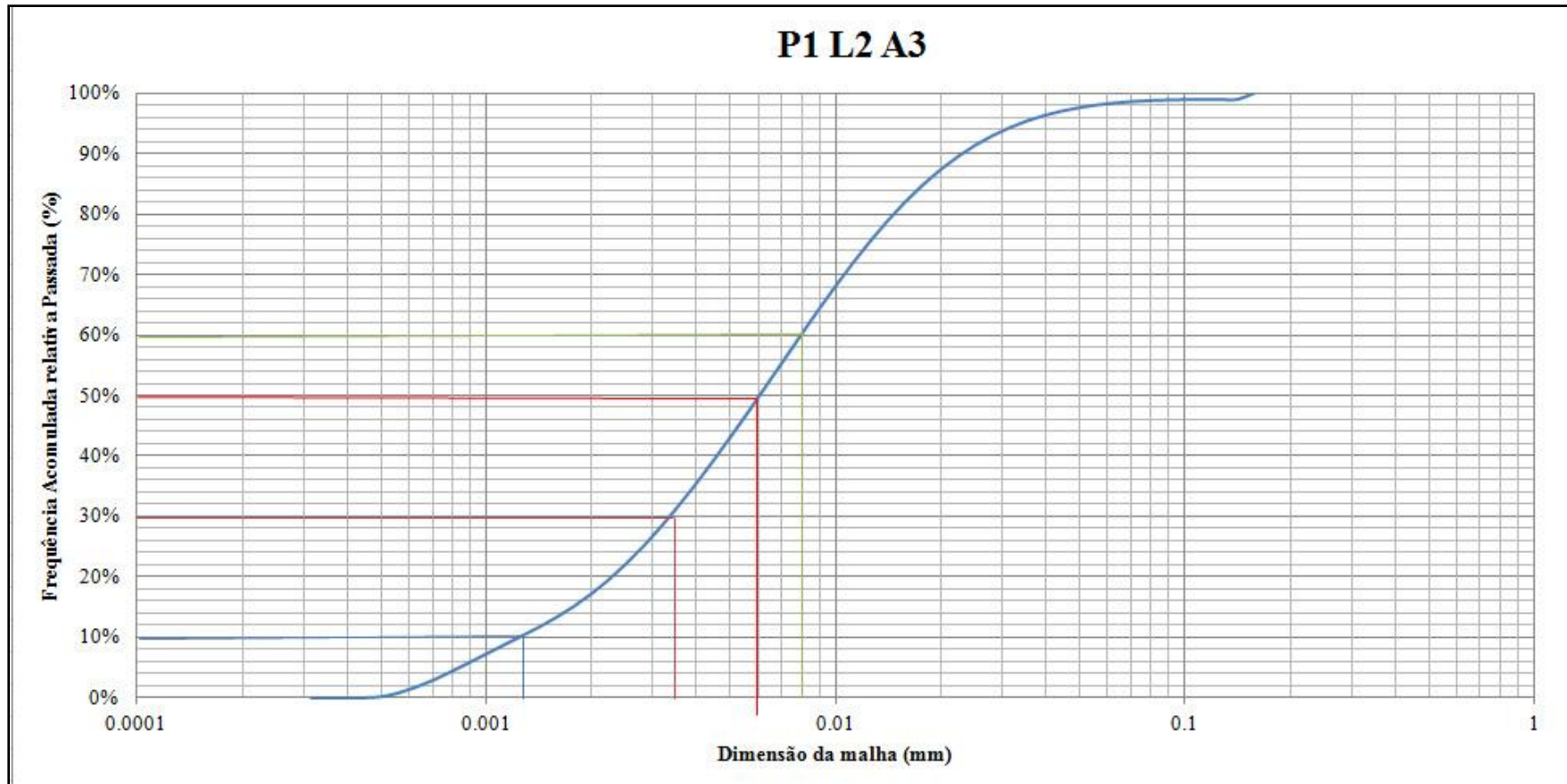


Gráfico 7 - Curva granulométrica e D_{10} , D_{30} , D_{50} e D_{60} da amostra PIL2A3

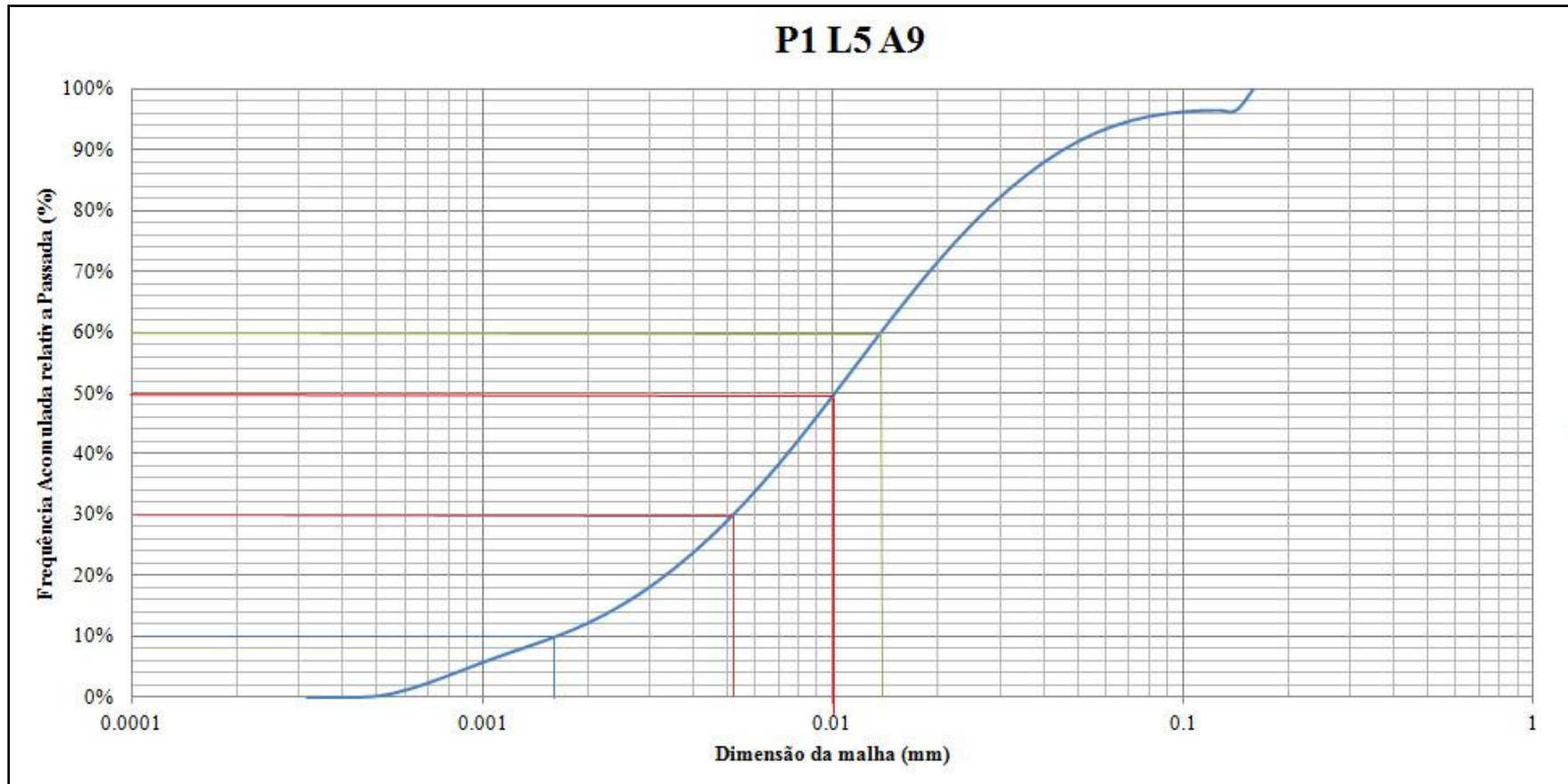


Gráfico 8 - Curva granulométrica e D_{10} , D_{30} , D_{50} e D_{60} da amostra P1L5A9

11.5. Modelo Conceptual do Aquífero

11.5.1. Cortes/perfis da carta geológica

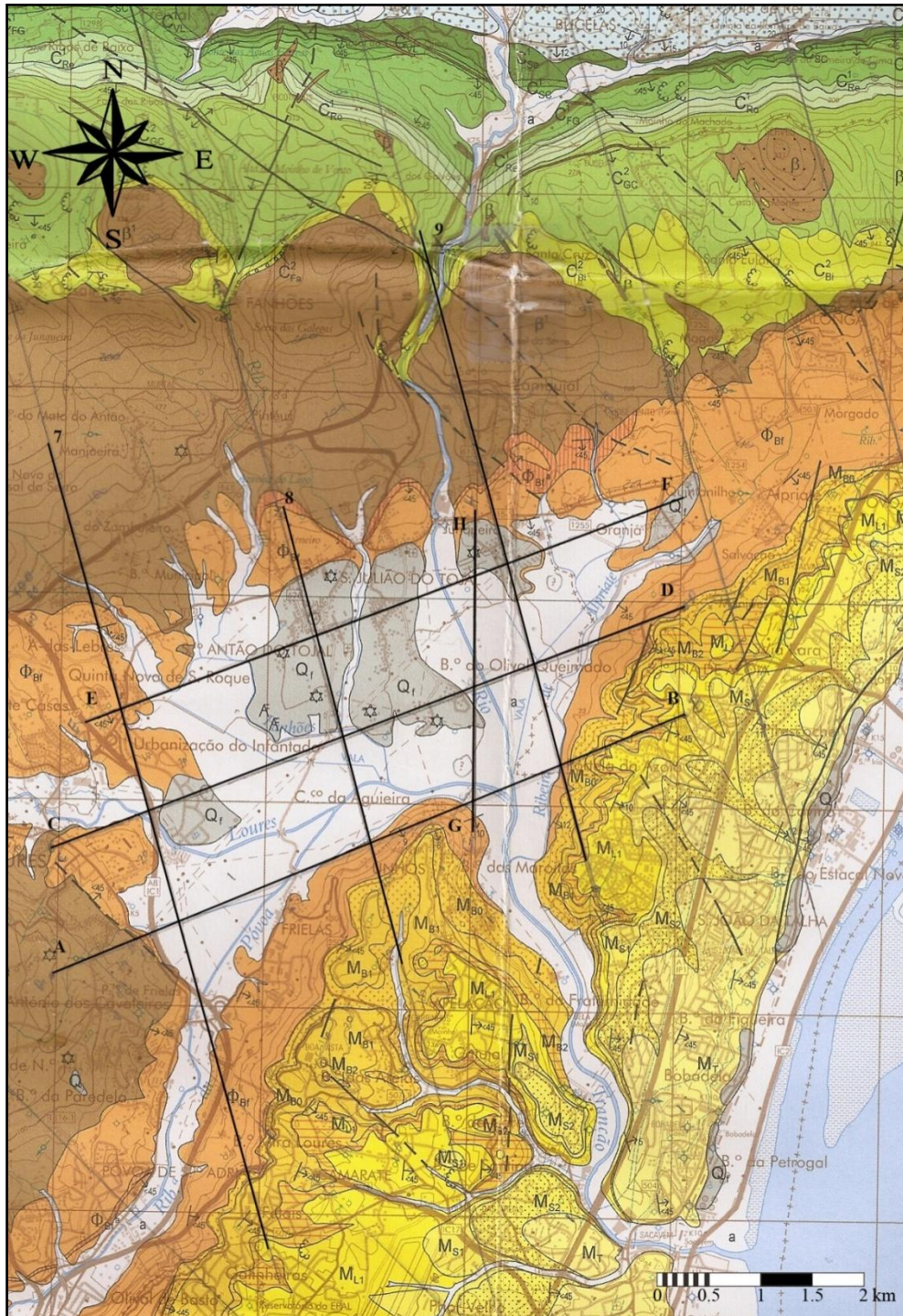


Figura 1 - Localização dos cortes iniciais (Digitalizado de Manuppella *et al.*, 2011)

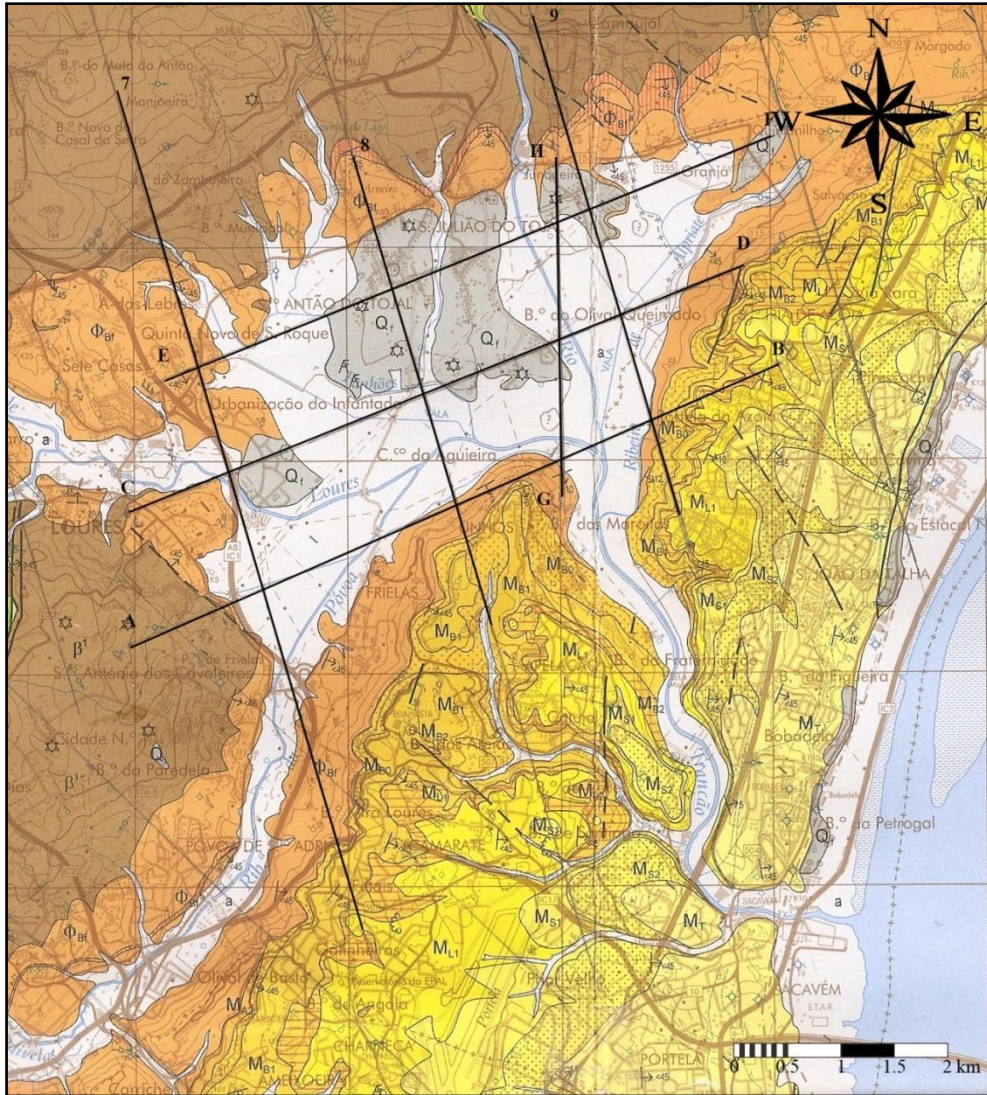


Figura 2 - Localização dos cortes ajustados á área de estudo (Digitalizado de Manuppella *et al.*, 2011)

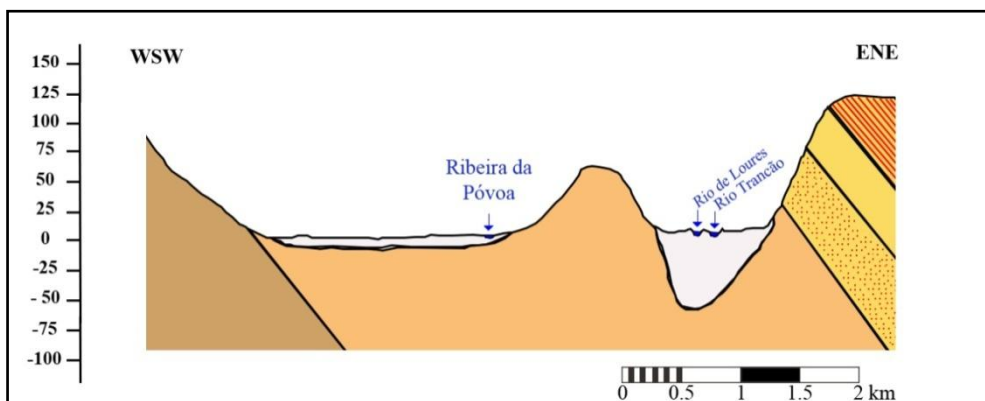


Figura 3 - Corte A-B

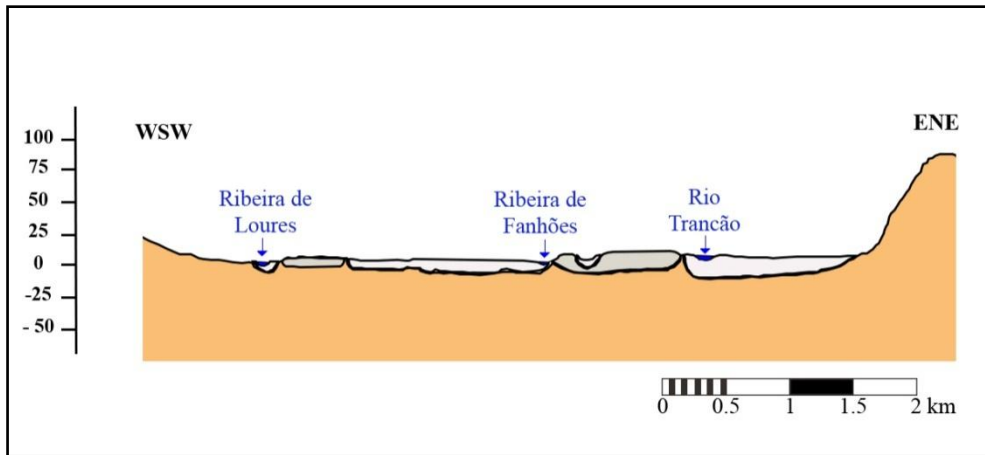


Figura 4 - Corte C-D

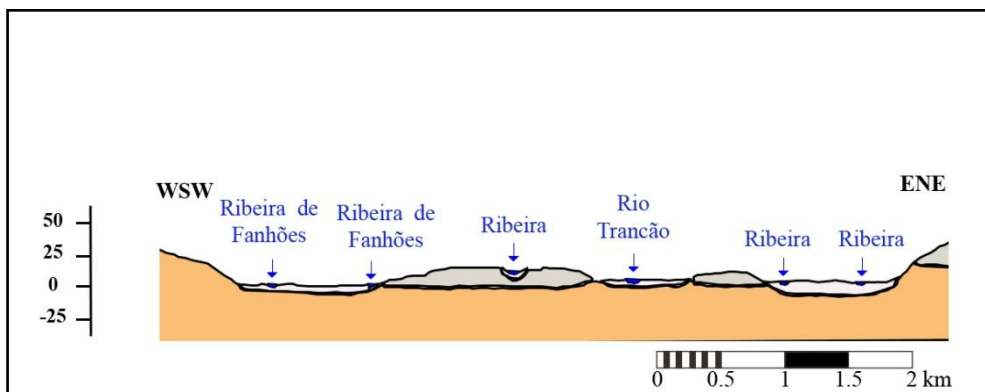


Figura 5 - Corte E-F

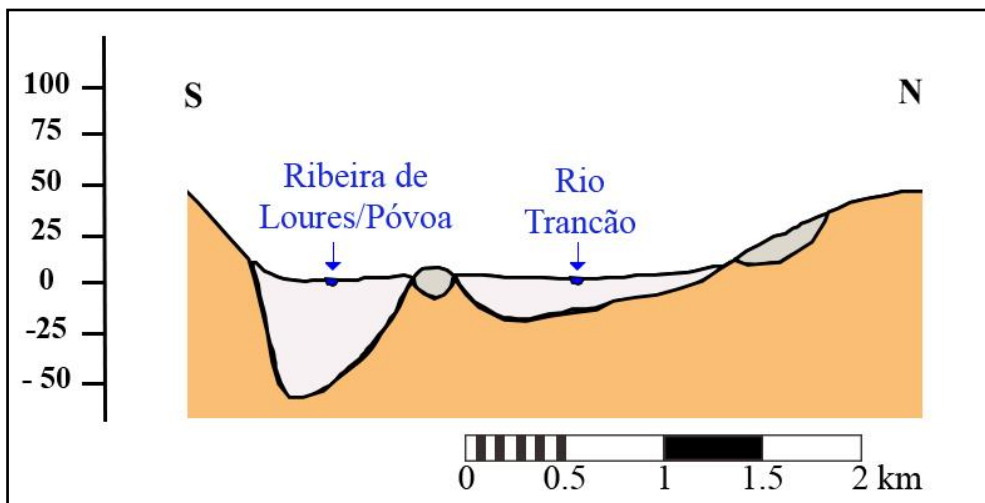


Figura 6 - Corte G-H

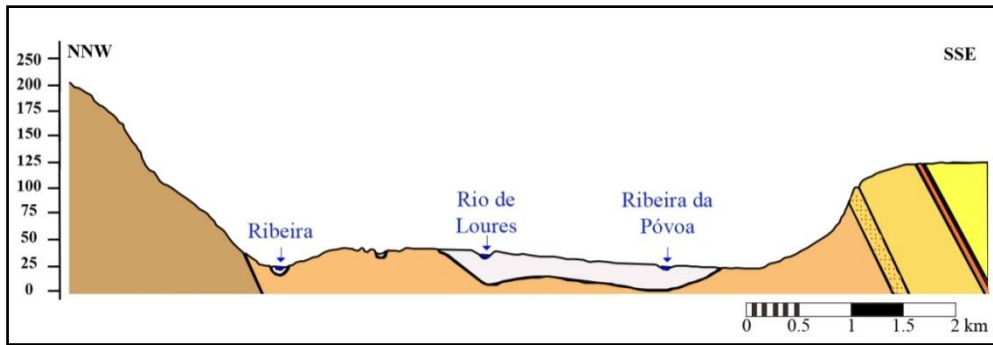


Figura 7 - Corte 7

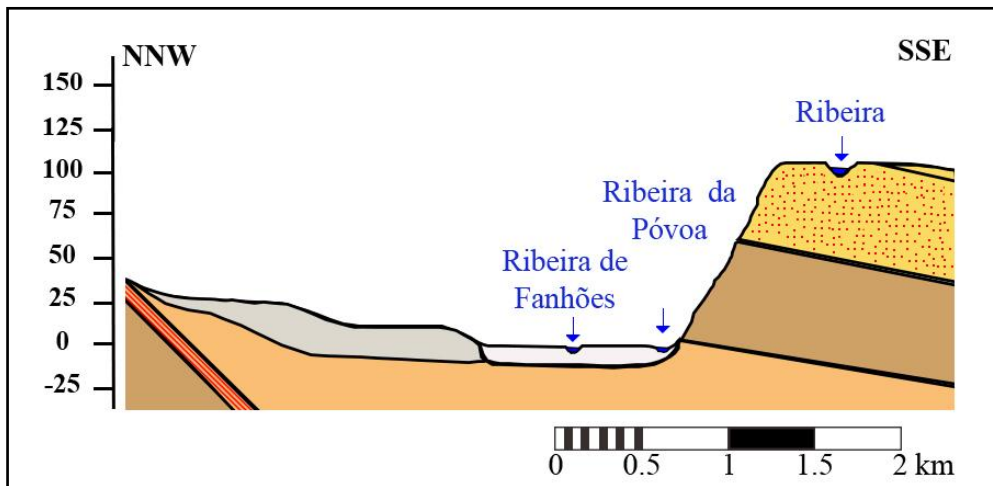


Figura 8 - Corte 8

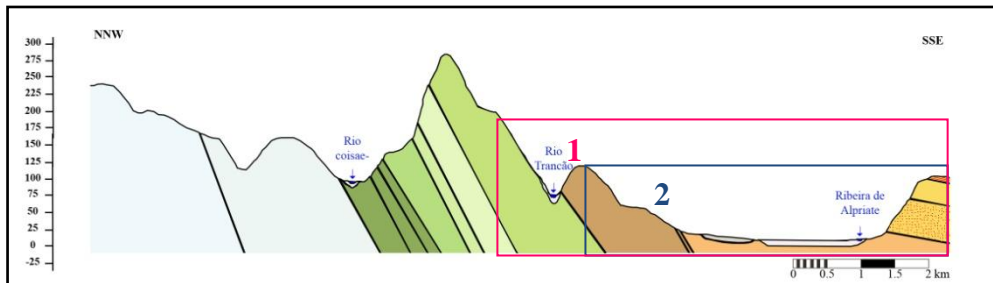


Figura 9 - Corte 9 (Inicial)

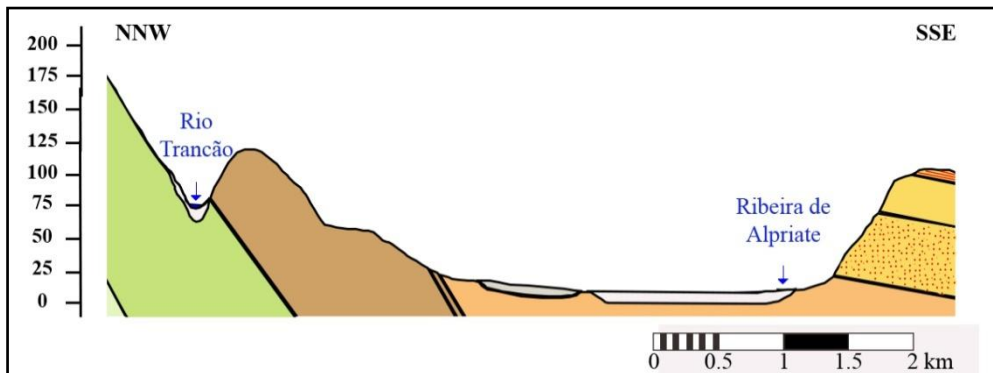


Figura 10 - Pormenor 1 do Corte 9

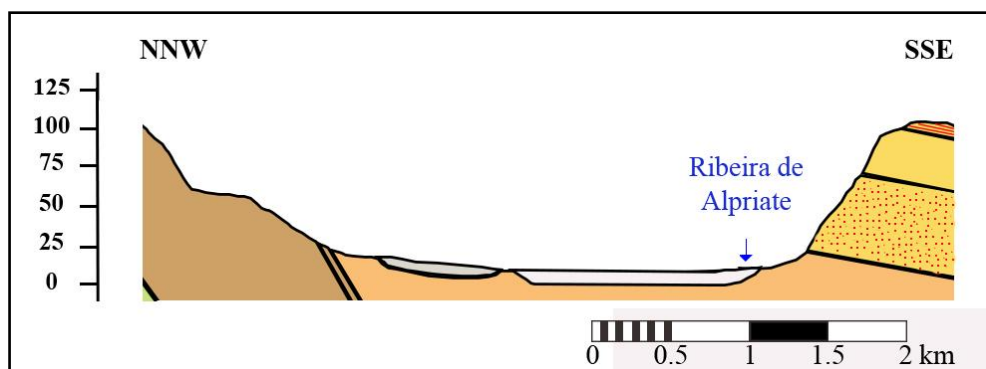


Figura 11 - Pormenor 2 do Corte 9

a	Aluviões e/ou Aterros
Q _r	Depósitos de terraços fluviais
M _{L1}	Areias de Chelas e Calcários da Musgueira
M _{B2}	Areias com Placunamiocenica e Calcários de Casal Vistoso
M _{B1}	Areias da Quinta do Bacalhau, Argilas de Forno de Tijolo e Calcários de Entrecampos ("Banco Real")
M _{B0}	Areolas da Estefânia
Φ _{Bf}	Formação de Benfica: conglomerados, arenitos, argilitos (*) intercalações carbonatadas (Calcários de Alfornelos)
β ¹	Complexo Vulcânico de Lisboa: escoadas basálticas, piroclastos e intercalações sedimentares
C _{B1} ²	Formação da Bica: calcários com rudistas (inclui nível com <i>Neoiobites vibrayanus</i>)
C _{GC} ²	Formações da Galé e Caneças indiferenciadas: calcários, margas, arenitos e dolomitos

Figura 12 - Legenda das figuras 1 a 11

Escalas dos cortes:

- Escala Horizontal - 1: 50 000
- Escala Vertical – 1: 5 000 (Sobrelevação de 0,1 vezes, em relação á escala do mapa)

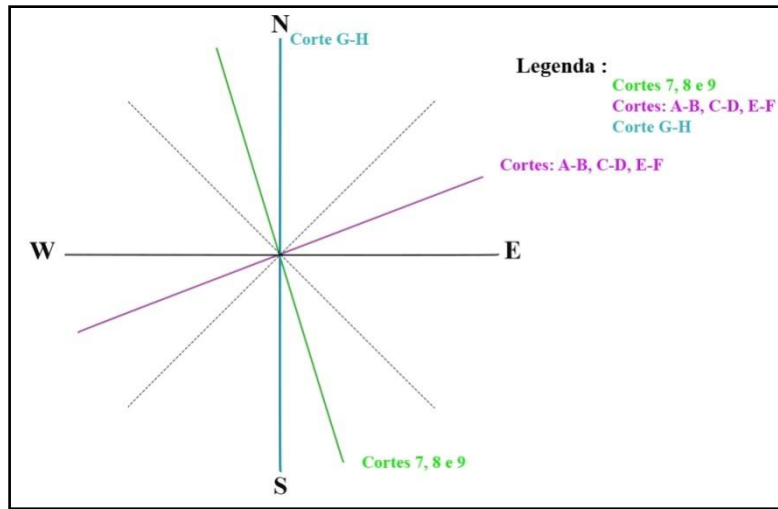


Figura 13 - Orientação dos cortes (diagrama de rosa) e respectiva Legenda

11.6. Modelo de transporte do Aquífero Aluvionar

11.6.1. Porosidade (n)

Tabela 36 - Intervalos típicos de porosidade total (%) de vários materiais, valores de Davis (1969) e Johnson e Morris (1962) (Adaptado de Domenico & Schwartz, 1997)

Material	Porosidade (%)	
SEDIMENTAR	Cascalho (<i>Gravel</i>) grosseiro	24 a 36
	Cascalho fino	25 a 38
	Areia grosseira	31 a 46
	Areia fina	26 a 53
	Silte	34 a 61
	Argila	34 a 60
ROCHAS SEDIMENTARES	Arenito	5 a 30
	Siltito	21 a 41
	Calcário, dolomito	0 a 40
	Calcário carsificado	0 a 40
	Xisto	0 a 10
ROCHAS CRISTALINAS	Rocha fracturada	0 a 10
	Rocha densa	0 a 5
	Basalto	3 a 35
	Granito alterado	34 a 57
	Gabro alterado	24 a 45

Tabela 37 - Valores de porosidade eficaz (máximo, média e mínimo) de diferentes materiais, adaptado de Custódio e Llamas (2001)

Material	Porosidade eficaz (%)		
	Máx.	Mín.	Méd.
Argila arenosa	12	3	7
Areia fina	28	10	21
Areia média	32	15	26
Areia grosseira	35	20	27
Areia com cascalho (<i>grava</i>)	35	20	25
Cascalho fino	35	21	25
Cascalho médio	26	13	23
Cascalho grosseiro	26	12	22

Tabela 38 - Tabela com intervalos de valores de porosidade, total e eficaz, segundo Sanders (1998)

Material	Porosidade (%)	
	Total	Eficaz
Argilas	40 a 60	0 a 5
Siltes (limos)	35 a 50	3 a 19

Material	Porosidade (%)	
	Total	Eficaz
Areias finas	20 a 50	10 a 28
Areia grossa bem graduada	21 a 50	22 a 35
Cascalho (grava)	25 a 40	12 a 26
Xisto intacto	1 a 10	0,5 a 5
Xisto alterado/fracturado	30 a 50	-
Arenito	5 a 35	0,5 a 10
Calcário, Dolomitos sãos	0,1 a 1	0,1 5
Calcário, Dolomitos carsificados	5 a 50	5 a 40
Rochas Ígneas e Metamórficas sãs	0,01 a 1	0,0005
Rochas Ígneas e Metamórficas fracturadas	1 a 10	0,00005 a 0,01

Continuação da tabela 36

Tabela 39 - Tabela com as Porosidades Totais e Eficazes (máximas, médias e mínimas), de diversos tipos de material, determinadas por diversos autores: Johnson (1967), Davies (1969), Schoeller (1962), Muskat (1937), Meinzer (1923 b) Ward (1967) e Custodio e Llamas (2001). Adaptado de Custodio e Llamas (2001).

Material		Porosidade (%)					
		Total (n)			Eficaz (ne)		
		Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín
Rochas maciças	Granito	4	0,3	0,2	0,5	0,2	0
	Calcário	15	8	0,2	1	0,5	0
	Calcário dolomítico	10	5	2	1	0,5	0
Rochas metamórficas		5	0,5	0,2	2	0,5	0
Rochas ígneas	Piroclastos	50	30	10	20	5	0
	Escórias	80	25	10	50	20	1
	Pedra-pomes	90	85	50	20	5	0
	Basaltos densos	5	1	0,1	2	1	0,1
	Basaltos vacuolares	30	12	5	10	5	1
Rochas sedimentares consolidadas	Xisto (<i>pizarra</i>)	15	5	2	5	2	0
	Arenitos	25	15	3	20	10	0
	Cré	50	20	10	5	1	0,2
	Calcário detrítico	30	10	1,5	20	3	0,5
Rochas sedimentares soltas	Aluviões	40	25	20	35	15	5
	Dunas	40	35	30	30	20	10
	Cascalho	40	30	25	35	25	15
	Loess	55	45	40	10	5	0,1
	Areias	45	35	20	35	25	10
	Depósitos glaciares	35	25	15	30	15	5
	Lodo	50	40	35	20	10	2
	Argilas não compactadas	60	45	40	10	2	0
	Solos superiores	60	50	30	20	10	1

11.6.2. Condutividade Hidráulica (K)

Tabela 40 - Valores de Condutividade Hidráulica (m/dia) determinados por vários autores. (Retirado de [12])

Tipo de Material		Autor				
		Domenico e Schwartz. (1998)	Smith e Weathercraft s (1993)	Freeze e Cherry (1979)	Fetter (2001)	Sander s (1998)
Sedimentos	Cascalho	25 a 2500	100 a 10 ⁵	100 a 10 ⁶	10 a 1000	
	Cascalho Com Areia					
	Areia Grosseira	0,1 a 500	0,01 a 1000	1 a 1000	1 a 100	1 a 100
	Areia Média	0,1 a 50			0,01 a 1	
	Areia Fina	0,02 a 20				0,01 a 1
	Areia Argilosa			0,01 a 100	0,001 a 0,1	0,01 a 1
	Silte, Loess	10 ⁻⁴ a 2	10 ⁻⁴ a 1	10 ⁻⁴ a 1	0,001 a 0,1	10 ⁻⁴ a 1
	Argila	10 ⁻⁴ a 4×10 ⁻⁴	10 ⁻⁷ a 10 ⁻³		10 ⁻⁶ a 10 ⁻³	10 ⁻⁶ a 10 ⁻³
	Argila marinha inalterada	10 ⁻⁷ a 2×10 ⁻⁴		10 ⁻¹¹ a 10 ⁻⁷		
Rochas Sedimentares	Calcários Carsificados	0,1 a 2000	0,05 a 0,5	0,1 a 1000		0,1 a 10 ⁷
	Calcários, Calcários Dolomíticos	10 ⁻⁴ a 0,5	0,001 a 0,5	10 ⁻⁴ a 1		10 ⁻⁴ a 1
	Arenitos	3×10 ⁻⁵ a 0,5	10 ⁻⁵ a 1	10 ⁻⁵ a 1		
	Argilitos	10 ⁻⁶ a 0,001				
	Xistos intactos	10 ⁻⁸ a 2×10 ⁻⁴	10 ⁻⁸ a 10 ⁻⁴	10 ⁻⁴ a 10 ⁻⁸		10 ⁻⁴ a 10 ⁻⁸
	Xistos fracturados/alterados		10 ⁻⁴ a 1			
Rochas Cristalinas	Basalto inalterado/não fracturado		10 ⁻⁶ a 10 ⁻³			10 ⁻⁶ a 10 ⁻³
	Basalto fracturado		10 a 1000			0,1 a 10 ⁶
	Escórias Basálticas		0,001 a 1000			
	Basalto permeável	0,03 a 2000		0,02 a 1000		
	Rochas Ígneas e Metamórficas não fracturadas	10 ⁻⁹ a 10 ⁻⁵	10 ⁻⁹ a 10 ⁻⁵	10 ⁻⁹ a 10 ⁻⁵		10 ⁻⁹ a 10 ⁻⁵
	Rochas Ígneas e Metamórficas fracturadas	0,001 a 25	10 ⁻⁵ a 1	0,0005 a 20		10 ⁻⁵ a 1
	Granito Alterado	0,3 a 5				
	Gabro Alterado	0,05 a 0,3				

Tabela 41- Valores da condutividade hidráulica determinados a partir dos diâmetros efectivos, com C=1.2

						<i>cm/s</i>	<i>m/dia</i>	<i>m/s</i>
Amostra	D10	D30	D60	Cu	Cc	K	K	K
L515B	7.00E-05	4.20E-03	9.00E-03	1.29E+02	2.80E+01	5.88E-09	5.08E-06	5.88E-11
L516B	2.30E-05	7.00E-05	1.80E-04	7.83E+00	1.18E+00	6.35E-10	5.48E-07	6.35E-12
L544B	1.50E-05	4.00E-05	1.40E-04	9.33E+00	7.62E-01	2.70E-10	2.33E-07	2.70E-12
G710B	1.80E-05	5.50E-05	1.80E-04	1.00E+01	9.34E-01	3.89E-10	3.36E-07	3.89E-12
G711B	1.70E-05	4.90E-05	1.40E-04	8.24E+00	1.01E+00	3.47E-10	3.00E-07	3.47E-12
P1L1A7	1.50E-05	3.60E-05	9.50E-05	6.33E+00	9.09E-01	2.70E-10	2.33E-07	2.70E-12
P1L2A3	1.20E-05	3.30E-05	8.00E-05	6.67E+00	1.13E+00	1.73E-10	1.49E-07	1.73E-12
P1L5A9	1.70E-05	5.20E-05	1.40E-03	8.24E+01	1.14E-01	3.47E-10	3.00E-07	3.47E-12
						C=1.2		

med	1.04E-09	8.97E-07	1.04E-11
máx	5.88E-09	5.08E-06	5.88E-11
min	1.73E-10	1.49E-07	1.73E-12

Tabela 42 - Valores da condutividade hidráulica determinados a partir dos diâmetros efectivos, com C=40

						<i>cm/s</i>	<i>m/dia</i>	<i>m/s</i>
Amostra	D10	D30	D60	Cu	Cc	K	K	K
L515B	7.00E-05	4.20E-03	9.00E-03	128.57	28.00	1.96E-07	1.69E-04	1.96E-09
L516B	2.30E-05	7.00E-05	1.80E-04	7.83	1.18	2.12E-08	1.83E-05	2.12E-10
L544B	1.50E-05	4.00E-05	1.40E-04	9.33	0.76	9.00E-09	7.78E-06	9.00E-11
G710B	1.80E-05	5.50E-05	1.80E-04	10.00	0.93	1.30E-08	1.12E-05	1.30E-10
G711B	1.70E-05	4.90E-05	1.40E-04	8.24	1.01	1.16E-08	9.99E-06	1.16E-10
P1L1A7	1.50E-05	3.60E-05	9.50E-05	6.33	0.91	9.00E-09	7.78E-06	9.00E-11
P1L2A3	1.20E-05	3.30E-05	8.00E-05	6.67	1.13	5.76E-09	4.98E-06	5.76E-11
P1L5A9	1.70E-05	5.20E-05	1.40E-03	82.35	0.11	1.16E-08	9.99E-06	1.16E-10
						C=40		

med	3.46E-08	2.99E-05	3.46E-10
máx	1.96E-07	1.69E-04	1.96E-09
min	5.76E-09	4.98E-06	5.76E-11

Tabela 43 - Valores da condutividade hidráulica determinados a partir dos diâmetros efectivos, com C=150

Amostra	D10	D30	D60	Cu	Cc	<i>cm/s</i>	<i>m/dia</i>	<i>m/s</i>
						K	K	K
L515B	7.00E-05	4.20E-03	9.00E-03	128.57	28.00	7.35E-07	6.35E-04	7.35E-09
L516B	2.30E-05	7.00E-05	1.80E-04	7.83	1.18	7.94E-08	6.86E-05	7.94E-10
L544B	1.50E-05	4.00E-05	1.40E-04	9.33	0.76	3.38E-08	2.92E-05	3.38E-10
G710B	1.80E-05	5.50E-05	1.80E-04	10.00	0.93	4.86E-08	4.20E-05	4.86E-10
G711B	1.70E-05	4.90E-05	1.40E-04	8.24	1.01	4.34E-08	3.75E-05	4.34E-10
P1L1A7	1.50E-05	3.60E-05	9.50E-05	6.33	0.91	3.38E-08	2.92E-05	3.38E-10
P1L2A3	1.20E-05	3.30E-05	8.00E-05	6.67	1.13	2.16E-08	1.87E-05	2.16E-10
P1L5A9	1.70E-05	5.20E-05	1.40E-03	82.35	0.11	4.34E-08	3.75E-05	4.34E-10
						C=150		

med	1.30E-07	1.12E-04	1.30E-09
máx	7.35E-07	6.35E-04	7.35E-09
min	2.16E-08	1.87E-05	2.16E-10

Tabela 44 - Valores da condutividade hidráulica determinados a partir dos diâmetros efectivos, com C=100

Amostra	D10	D30	D60	Cu	Cc	<i>cm/s</i>	<i>m/dia</i>	<i>m/s</i>
						K	K	K
L515B	7.00E-05	4.20E-03	9.00E-03	128.57	28.00	4.90E-07	4.23E-04	4.90E-09
L516B	2.30E-05	7.00E-05	1.80E-04	7.83	1.18	5.29E-08	4.57E-05	5.29E-10
L544B	1.50E-05	4.00E-05	1.40E-04	9.33	0.76	2.25E-08	1.94E-05	2.25E-10
G710B	1.80E-05	5.50E-05	1.80E-04	10.00	0.93	3.24E-08	2.80E-05	3.24E-10
G711B	1.70E-05	4.90E-05	1.40E-04	8.24	1.01	2.89E-08	2.50E-05	2.89E-10
P1L1A7	1.50E-05	3.60E-05	9.50E-05	6.33	0.91	2.25E-08	1.94E-05	2.25E-10
P1L2A3	1.20E-05	3.30E-05	8.00E-05	6.67	1.13	1.44E-08	1.24E-05	1.44E-10
P1L5A9	1.70E-05	5.20E-05	1.40E-03	82.35	0.11	2.89E-08	2.50E-05	2.89E-10
						C=100		

med	8.66E-08	7.48E-05	8.66E-10
máx	4.90E-07	4.23E-04	4.90E-09
min	1.44E-08	1.24E-05	1.44E-10

Tabela 45 - Valores de K (condutividade hidráulica) determinados empiricamente, a partir da Fórmula de Brumister

Amostra	Em cm				Cu	Cc	Kr (cm/s)	Kr (m/dia)
	D10	D30	D50	D60				
L515B	7.0E-05	4.2E-03	2.5E-04	9.0E-03	128.57	28.00	3.21E-06	2.77E-03
L516B	2.3E-05	7.0E-05	1.3E-04	1.8E-04	7.83	1.18	8.67E-07	7.49E-04
L544B	1.5E-05	4.0E-05	1.2E-04	1.4E-04	9.33	0.76	7.39E-07	6.38E-04
G710B	1.8E-05	5.5E-05	8.2E-05	1.8E-04	10.00	0.93	3.45E-07	2.98E-04
G711B	1.7E-05	4.9E-05	9.0E-05	1.4E-04	8.24	1.01	4.16E-07	3.59E-04
P1L1A7	1.5E-05	3.6E-05	7.0E-05	9.5E-05	6.33	0.91	2.51E-07	2.17E-04
P1L2A3	1.2E-05	3.3E-05	6.0E-05	8.0E-05	6.67	1.13	1.85E-07	1.60E-04
P1L5A9	1.7E-05	5.2E-05	1.0E-04	1.4E-03	82.35	0.11	5.13E-07	4.43E-04

med	8.15E-07	7.04E-04
máx	3.21E-06	2.77E-03
min	1.85E-07	1.60E-04

Tabela 46 - Valores de K, mínimo, máximo e médio determinados empiricamente, a partir dos dados resultantes da granulometria das amostras de solo

Método	Valor Obtido (Min)	Valor Obtido (Max)	Valor Obtido (Méd)	Unidades
Relação $d_{10} - K$	$< 2,03 \text{ cm/h} = < 8,46 \times 10^{-4}$			m/dia
Fórmula de Hazen com C igual a 40	$4,98 \times 10^{-06}$	$1,69 \times 10^{-04}$	$2,99 \times 10^{-05}$	m/dia
Fórmula de Hazen com C igual a 150	$1,87 \times 10^{-05}$	$6,35 \times 10^{-04}$	$1,12 \times 10^{-04}$	m/dia
Fórmula de Hazen com C igual a 100	$1,24 \times 10^{-05}$	$4,23 \times 10^{-04}$	$7,48 \times 10^{-05}$	m/dia
Fórmula de Hazen com C igual a 1,2, calculado através da equação 7	$1,49 \times 10^{-07}$	$5,08 \times 10^{-06}$	$8,97 \times 10^{-07}$	m/dia
Fórmula de Burmister	$1,60 \times 10^{-04}$	$2,77 \times 10^{-03}$	$7,04 \times 10^{-04}$	m/dia

11.6.2.1. Precipitação, Evapotranspiração e Recarga

Foram retirados os valores referentes à Sub-Bacia do rio Trancão, dos relatórios dos PGRH, sendo estes apresentados na tabela 47.

Tabela 47 - Valores referentes à sub-bacia do rio Trancão, retirados dos relatórios dos PGRH, versão de Agosto de 2012

Sub-Bacia do Trancão	Relatório dos Planos de Gestão de Região Hidrográfica (Agosto de 2012)	Unidades
Área (Sub-Bacia do Trancão)	279 (9 concelhos)	km ²
Precipitação anual ponderada	603, 836 e 1069 (seco, médio e húmido respectivamente)	mm
Precipitação anual média	733	mm
Escoamento	194	mm
Caudal característico (máx. 10 dias)	4,4	m ³ /s

Foram retirados os valores referentes à Orla Ocidental Indiferenciada, dos relatórios dos PGRH, sendo estes apresentados na Tabela 48.

Tabela 48 - Valores referentes à Orla Ocidental Indiferenciada, retirados dos relatórios dos PGRH, versão de Agosto de 2012

Orla Ocidental Indiferenciada do Tejo e Sado	Relatório dos Planos de Gestão de Região Hidrográfica (Agosto de 2012)	Unidades
Precipitação	744	mm/ano
Recarga	64	mm/ano
Precipitação (% da recarga correspondente)	9	%

Os valores para a área em estudo, retirados do *site* do Atlas do Ambiente, referentes às médias dos valores apresentados (médias anuais) e a recarga calculada a partir dos mesmos, através da Equação 2, são apresentados na tabela 49.

Equação 2 – Cálculo da recarga

$$\text{Recarga} = \text{Precipitação} - (\text{Evapotranspiração} + \text{Escoamento})$$

Tabela 49 - Valores para a área em estudo, retirados do site do Atlas do Ambiente, referentes às médias dos valores apresentados (médias anuais) e recarga calculada a partir dos mesmos

Tipo	Valor dos dados do Atlas do Ambiente (médias anuais), médias dos valores	Unidades
Precipitação	800	mm
Escoamento	225	mm
Evapotranspiração	550	mm
Recarga (Calculada)	25	mm

Tabela 50 - Valores para a área em estudo, retirados do site do Atlas do Ambiente, referentes aos máximos e mínimos dos valores apresentados (médias anuais) e recarga calculada a partir dos mesmos

Tipo	Valor dos dados do Atlas do Ambiente (médias anuais), valores máximo e mínimo	Unidades
Precipitação	900 a 700	mm
Escoamento	300 a 150	mm
Evapotranspiração Real	600 a 500	mm
Recarga (Calculada)	0 a 50	mm

11.6.2.1.1. Precipitação calculada através do método dos Polígonos de Thiessen

As três estações meteorológicas mais próximas da que se situa na da Sub-Bacia do Rio Trancão estão muito afastadas desta, pelo que foi assumido que o polígono correspondente se estenda por toda a Sub-Bacia. Foi utilizada a Equação 3 para calcular a precipitação média na bacia.

Equação 3 – Cálculo da precipitação média, a partir do método dos polígonos de Thiessen

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \bar{P}_i}{A}$$

Onde:

\bar{P} – Precipitação média na bacia (mm);

\bar{P}_i – Precipitação na estação i (mm);

A_i – Área do polígono, dentro da bacia (km²);

A – Área da bacia (km²).

Como a Sub-Bacia tem uma dimensão inferior á do polígono de Thiessen correspondente á estação nela incluída, assume-se que a área do polígono dentro da

bacia é, efectivamente, a área real da Sub-Bacia do rio trancão que é, como já foi referido anteriormente, de 279 km². Assim a equação fica simplificada:

Equação 4 – Simplificação da Equação 3

$$\bar{P} = \bar{P}_i$$

Assim o valor de precipitação determinado é o valor da precipitação anual na estação de São João do Tojal, no ano 95/96 que é, o ano de recolha das amostras, igual a 1999,9 \cong 2000 mm /ano. Este valor é elevado para a média dita normal, para a zona em causa, visto que os valores rondam geralmente os 800 – 900 mm/ano, este facto justifica-se porque os anos de 94/95 e 95/96 foram anos atípicos onde em 94/95 a precipitação foi bastante inferior á média e em 95/96 superior como já foi referido (Silva, 2003).