



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E AMBIENTE
Núcleo de Águas Subterrâneas

Proc. 0607/11/17763

ESTUDO DA VIABILIDADE DE UTILIZAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO *CAMPUS* DO LNEC, NOMEADAMENTE PARA ABASTECIMENTO AOS MODELOS FÍSICOS DO PAVILHÃO DE HIDRÁULICA MARÍTIMA

Relatório final

Estudo elaborado no âmbito do Projeto DHA Solidário e
do PIP 2009-2012 "Obras de Engenharia e Hidrogeologia
Urbana"

Lisboa • março de 2013

I&D HIDRÁULICA E AMBIENTE

RELATÓRIO 104/2013 – DHA/NAS

ESTUDO DA VIABILIDADE DE UTILIZAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO *CAMPUS* DO LNEC, NOMEADAMENTE PARA ABASTECIMENTO AOS MODELOS FÍSICOS DO PAVILHÃO DE HIDRÁULICA MARÍTIMA

RESUMO

Este relatório apresenta os trabalhos desenvolvidos para o estudo da viabilidade e sustentabilidade, quantitativa e qualitativa, de utilização das águas subterrâneas do *campus* do LNEC para o abastecimento de água aos modelos físicos do Pavilhão da Hidráulica Marítima e para a rega dos jardins do *campus* do LNEC.

Procurou-se, igualmente, justificar os fenómenos de rebaixamento dos níveis de água nos poços do LNEC, de forma a propor técnicas e volumes de extração mais adequados às formações hidrogeológicas existentes no subsolo do LNEC.

Os resultados obtidos permitem concluir que existem águas subterrâneas em quantidade suficiente para abastecer os modelos físicos do Pavilhão da Hidráulica Marítima e para regar os jardins do *campus* do LNEC, num total de 12 m³/d + 50 m³/d, respetivamente, sem que prejudique a sustentabilidade do sistema hidrogeológico (considerando não haver alterações significativas a nível climatológico).

Não obstante, o regime de exploração não poderá ser contínuo, sob risco de exaurir os recursos na zona envolvente da captação e de danificar o equipamento instalado. Assim, a extração deverá ser controlada de forma a não ultrapassar o valor de 62 m³/d mas, simultaneamente, com valores horários compatíveis com manter os níveis hidrodinâmicos 5 m acima da bomba.

A elevada dureza deste tipo de águas constitui uma limitação ao seu uso direto nos modelos físicos do Pavilhão de Hidráulica Marítima, atendendo à possível deposição de sais nas sondas resistivas, elétrodos e outros instrumentos de medição habitualmente utilizados. Assim, e para este fim, deverá ser feita a sua mistura com água da EPAL numa proporção de 1:3 até 1:7.

**ESTUDO DA VIABILIDADE DE UTILIZAÇÃO DAS ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS DO *CAMPUS* DO LNEC, NOMEADAMENTE
PARA ABASTECIMENTO AOS MODELOS FÍSICOS DO
PAVILHÃO DE HIDRÁULICA MARÍTIMA**

Relatório Final

**ON THE POSSIBILITY OF USING LNEC *CAMPUS*'
GROUNDWATER TO SUPPLY THE PHYSICAL MODELS OF DHA**

Final Report

**ETUDE POUR EVALUER LA POSSIBILITE D'UTILIZATION DES
EAUX SOUTERRAINES DU *CAMPUS* DE LNEC, POUR LES
MODELES PHYSIQUES DU DHA**

Rapport Final

ÍNDICE DO TEXTO

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS	1
2. GEOLOGIA	2
2.1 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA	2
2.2 CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA	6
3. HIDROGEOLOGIA	13
3.1 CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA	13
3.2 CARACTERIZAÇÃO GEOFÍSICA E DAS PROPRIEDADES DOS MATERIAIS GEOLÓGICOS	16
4. NÍVEIS DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	24
4.1 PONTOS DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS INVENTARIADOS E MONITORIZADOS	24
4.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS	26
5. QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	31
5.1 OBJETIVOS E METODOLOGIA	31
5.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS	32
6. RECARGA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	36
6.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS	36
6.2 RECARGA NATURAL	38
6.3 RECARGA POR PERDAS DE ÁGUA NA REDE DE ABASTECIMENTO PÚBLICO	41
6.4 RECARGA TOTAL	42
7. CONSUMOS E NECESSIDADES DE ÁGUA NO LNEC	43
7.1 CONSUMO DE ÁGUA DA EPAL	43
7.2 CONSUMO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	44
7.3 NECESSIDADES DE ÁGUA PARA OS MODELOS FÍSICOS E PARA A REGA	45
8. MODELO NUMÉRICO DO ESCOAMENTO SUBTERRÂNEO	46
8.1 MODELO CONCEPTUAL DO ESCOAMENTO SUBTERRÂNEO	46
8.2 CRITÉRIOS PARA A DELIMITAÇÃO DA ÁREA A MODELAR	48
8.3 MODELO GEOMÉTRICO TRIDIMENSIONAL	49
8.4 DADOS DE ENTRADA E CONDIÇÕES DE FRONTEIRA	50
8.5 CALIBRAÇÃO E RESULTADOS	52
8.6 CENÁRIOS DE EXTRAÇÃO DE ÁGUA	53
8.6.1 Cenário 1: extração de 62 m ³ /d de água no poço F1(MR)	53
8.6.2 Cenário 2: extração de 62 m ³ /d de água no poço P1(CF)	54

8.6.3	Cenário 3: extração repartida entre F1(MR) e P1(CF)	55
8.6.3.1	Cenário 3A: extração de 25 m ³ /d de água no poço F1(MR) e de 37 m ³ /d no poço P1(CF)	55
8.6.3.2	Cenário 3B: extração de 25 m ³ /d de água no poço P1(CF) e de 37 m ³ /d no poço F1(MR)	56
8.6.4	Cenário 4: extração de 50 m ³ /d de água em furos no <i>campus</i> e de 12 m ³ /d no poço P1(CF)	57
8.6.5	Análise dos resultados dos cenários	59
9.	BALANÇO HÍDRICO	60
10.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	62
10.1	CONCLUSÕES	62
10.1.1	Balanço hídrico	62
10.1.2	Caudal de exploração	64
10.1.3	Qualidade da água	64
10.2	RECOMENDAÇÕES	65
BIBLIOGRAFIA		69
ANEXO 1	– PERFIL DA SONDAGEM S1	71
ANEXO 2	– ASPETOS CONSTRUTIVOS DOS PIEZÓMETROS PZ1, PZ2 E PZ3 NO INTERIOR DA SONDAGEM S3	73
ANEXO 3	– RESULTADOS DE ENSAIOS GRANULOMÉTICOS	75
ANEXO 4	– CARACTERÍSTICAS DOS PONTOS DE ÁGUA INVENTARIADOS NO INTERIOR E NAS IMEDIAÇÕES DA ÁREA DE ESTUDO	85
ANEXO 5	– REGISTO FOTOGRÁFICO DE PONTOS DE ÁGUA INVENTARIADOS DURANTE AS CAMPANHAS DE CAMPO	87
ANEXO 6	– REGISTOS DE NÍVEIS PIEZOMÉTRICOS (CAMPANHAS DE MONITORIZAÇÃO EFETUADAS ENTRE JULHO E OUTUBRO DE 2012)	95
ANEXO 7	- PROFUNDIDADE AO NÍVEL DA ÁGUA NOS PIEZÓMETROS PZ1, PZ2 E PZ3 (A TRÊS DIFERENTES NÍVEIS AQUÍFEROS, DEVIDAMENTE ISOLADOS)	97
ANEXO 8	– BOLETINS DE ANÁLISES QUÍMICAS	99
ANEXO 9	– METODOLOGIA DE CÁLCULO DA RECARGA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	101
ANEXO 10	– SÍNTESE DA INFORMAÇÃO DOS LOGS DE SONDAGENS EFETUADAS NO CAMPUS DO LNEC	113
ANEXO 11	– RESULTADOS DO ENSAIO DE BOMBAGEM NAS CAVES DO EDIFÍCIO PRINCIPAL E QUANTIFICAÇÃO DOS VOLUMES EXTRAÍDOS	115

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Localização do <i>campus</i> do LNEC (fonte: http://earth.google.com).....	1
Figura 2 – Carta geológica da área envolvente do LNEC.....	3
Figura 3 – Perfil geológico expedito W-E (cf. A-B na Figura 2).....	3
Figura 4 – Sondagens efetuadas na área das fundações do edifício Ferry Borges (em planta).....	7
Figura 5 – Pormenor do local de implantação das sondagens S1,S2 e S3 (em torno de SW5) e localização de perfis sísmicos e ensaios geotécnicos da zona N dos Pavilhões da Hidráulica Marítima, com referência às unidades geológicas presentes.....	7
Figura 6 – Localização de sondagens com logs.....	8
Figura 7 – Litologias atravessadas, sondagem no ponto S1 sito a N do Pavilhão da Hidráulica Marítima.....	10
Figura 8 – Aterro na região a N dos Pavilhões da Hidráulica Marítima.....	11
Figura 9 – Curva granulométrica da amostra remexida (vala) aos 1,45 m de profundidade.....	11
Figura 10 – Caudais específicos de furos construídos em formações do Miocénico (zona oriental de Lisboa).....	15
Figura 11 – Perfis de refração sísmica na Zona A. a) Perfil PA; b) Perfil P5L.....	17
Figura 12 – Perfil de refração sísmica a Oeste das Zonas A e B.....	18
Figura 13 – Perfil de refração sísmica na zona B.....	18
Figura 14 – Perfis de resistividade dos terrenos mais superficiais sitos a N dos pavilhões da Hidráulica.....	20
Figura 15 – Distribuição espacial do teor em água no solo.....	21
Figura 16 – Distribuição espacial da porosidade.....	21
Figura 17 – Distribuição espacial do grau de saturação.....	21
Figura 18 – Curvas granulométricas das amostras na área a N do Pavilhão da Hidráulica Marítima (aos 0,65 m de profundidade há grande heterogeneidade, pelo que se recolheram duas amostras; a amostra os 0,5 m realizou-se durante a fase de enchimento da zona de teste).....	23
Figura 19 – Localização de pontos de água inventariados na área de estudo.....	25
Figura 20 – Superfície piezométrica obtida por extrapolação das medições efetuadas em outubro de 2012.....	28
Figura 21 – Superfície piezométrica em abril de 2012.....	29
Figura 22 – Histórico das medições da cota piezométrica (em relação ao nível médio do mar) nos pontos F1(MR), P1(CF), P2(SA) e PZ1(S3).....	29
Figura 23 – Registos automáticos das cotas piezométricas nos poços P1(CF) e F1(MR) entre os dias 10 de Agosto e 12 de Setembro de 2012.....	31
Figura 24 – Diagrama de Piper das águas subterrâneas do <i>campus</i> do LNEC.....	33
Figura 25 – Concentração dos iões maiores (em mg/L) das águas subterrâneas do <i>campus</i> do LNEC.....	33
Figura 26 – Dureza total das águas subterrâneas do <i>campus</i> do LNEC.....	34
Figura 27 – Concentração em nitratos nas águas subterrâneas do <i>campus</i> do LNEC.....	35
Figura 28 – Risco de alcalinização e salinização do solo.....	35
Figura 29 – Distribuição espacial dos tipos de solos definidos em função das litologias aflorantes.....	37
Figura 30 – Ocupação do solo.....	38
Figura 31 – Distribuição espacial da recarga natural anual média na área de estudo (1981-2011).....	39
Figura 32 – Distribuição espacial da recarga total (natural média do período 1981-2011 + perdas na rede).....	42
Figura 33 – Consumo de água da EPAL <i>per capita</i> e por ano. Fonte: CIC do LNEC.....	43
Figura 34 – Localização do perfil litológico (A-A').....	47
Figura 35 – Perfil litológico A-A' (sondagens S1, SPD3 e SP1).....	48

Figura 36 – Localização da subárea do modelo e representação da topografia definida através do modelo digital de terreno	48
Figura 37 – Logs litológicos e estrutura geológica resultante dos respetivos logs (sobreelevação 5x)	49
Figura 38 – Representação da malha da área a modelar e das camadas que a compõem	50
Figura 39 – Localização dos pontos de extração.....	51
Figura 40 – Localização dos pontos utilizados na calibração dos modelos	52
Figura 41 – Resultado final da corrida do modelo calibrado	53
Figura 42 – Resultado final da corrida do modelo para o cenário 1 (a vermelho a área onde se localiza o ponto de extração).....	54
Figura 43 – Resultado final da corrida do modelo para o cenário 2 (a vermelho a área de influência do ponto de extração).....	55
Figura 44 – Resultado final da corrida do modelo para o cenário 3A	56
Figura 45 – Resultado final da corrida do modelo para o cenário 3B	57
Figura 46 – Localização dos furos pouco profundos (pontos amarelos) e do ponto P1(CF) (ponto azul).....	58
Figura 47 – Resultado final da corrida do modelo para o cenário 4.....	59
Figura 48 – Curva granulométrica de amostra indeformada (ponto S2) aos 2,5 a 2,6 m de profundidade.....	75
Figura 49 – Curva granulométrica de amostra remexida (vala) aos 1,6 m de profundidade.....	76
Figura 50 – Curva granulométrica da amostra remexida (vala) aos 2,3 m de profundidade.....	76
Figura 51 – Curva granulométrica de amostra remexida (ponto S1) aos 2,5 a 3,0 m de profundidade ..	77
Figura 52 – Areias da Quinta do Bacalhau na zona a N do Pavilhão da Hidráulica Marítima (vala na zona do pavilhão do Cuama); a) em afloramento; b) amostras remexidas.....	78
Figura 53 – Curva granulométrica de amostra remexida (ponto S1) dos 6,0 a 7,5 m de profundidade ..	79
Figura 54 – Curva granulométrica de amostra remexida (ponto S1) dos 9,0 a 12,0 m de profundidade ..	79
Figura 55 – Curva granulométrica de amostra indeformada (ponto S2); a) 17,05 a 17,2 m de profundidade; b) 17,20 a 17,30 m de profundidade; c) 17,90 a 18,05 m de profundidade	81
Figura 56 – Curva granulométrica de amostra indeformada (ponto S2); a) 27,0 a 27,30 m de profundidade; b) 37,00 a 37,15 m de profundidade	82
Figura 57 – Poço P2(SA), LNEC (nas proximidades da Sala de Atividades)	87
Figura 58 – Poço P1(CF), LNEC (junto ao campo de futebol).....	87
Figura 59 – Poço F1(MR), LNEC (junto ao edifício Manuel Rocha)	88
Figura 60 – Piezómetros PZ1, PZ2 e PZ3, LNEC (a N do PHM).....	88
Figura 61 – Poço P3(MC), Museu da Cidade (Campo Grande)	89
Figura 62 – Poço P4(HJM), Hospital Júlio de Matos	89
Figura 63 – Poço P5(Rosa), Av. Sta. Joana Princesa, n.º 39.....	90
Figura 64 – Poço P7(ESVP), Externato São Vicente de Paulo (Av. Marechal Craveiro Lopes)	90
Figura 65 – Poço P8(LBP), Liga dos Bombeiros Portugueses (Rua Eduardo de Noronha n.º 7)	91
Figura 66 – Furo F8(REP), posto de abastecimento de gasolina da Repsol (2.ª circular sentido sul-norte).....	91
Figura 67 – Poço P9(CG300), Centro de Atividades Culturais (Campo Grande n.º 300)	92
Figura 68 – Poço P10(Horto), Horto do Campo Grande	92
Figura 69 – Furo F3(INATEL), Parque de Jogos 1.º de Maio (Av. Rio de Janeiro).....	93
Figura 70 – Diagrama triangular para a classificação da textura do solo utilizando os limites da classificação portuguesa (adaptado de SROA, 1970, in Oliveira, 2004, 2006).....	104
Figura 71 – Situações consideradas durante o balanço hídrico para o caso do aumento da fração ocupada por um determinado coberto vegetal ou da espessura do solo sujeita a evapotranspiração.	106
Figura 72 – Termos representados no cálculo da infiltração profunda quando se utiliza o coeficiente cultural dual para o cálculo da evapotranspiração	109
Figura 73 – Precipitação média anual determinada para a área de estudo (adaptado a partir de Nicolau 2002)	111

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Granulometria, limite de liquidez, índice de plasticidade, densidade das partículas, peso volúmico total, teor em água, valor do azul-de-metileno e classificação para as amostras da sondagem S1 (remexidas) e S2 (indeformadas).....	12
Quadro 2 – Granulometria, limite de liquidez, índice de plasticidade, densidade das partículas, peso volúmico total, teor em água, valor do azul-de-metileno e classificação para as amostras na vala (sita a cerca de 190 m a SE das sondagens S1, S2 e S3).....	12
Quadro 3 – Formações aquíferas dominantes na região de Lisboa e classificação quanto ao tipo de aquífero e meio de escoamento (Oliveira <i>et al.</i> , 1999, Almeida <i>et al.</i> , 2000, SNIRH).....	13
Quadro 4 – Transmissividades, caudais de ensaio e rebaixamentos das formações miocénicas na zona oriental da cidade de Lisboa.....	14
Quadro 5 – Caudais de exploração de pontos de água inventariados na envolvente da área de estudo.....	16
Quadro 6 – Profundidades ao topo das camadas detetadas pela refração sísmica.....	17
Quadro 7 – Propriedades dos solos determinadas <i>in situ</i> e em laboratório.....	22
Quadro 8 – Coeficientes de permeabilidade vertical das unidades ocorrentes na zona do edifício Ferry Borges.....	23
Quadro 9 – Profundidades e cotas piezométricas nos pontos de água do <i>campus</i> LNEC.....	26
Quadro 10 – Síntese da informação disponível sobre a qualidade das águas subterrâneas no <i>campus</i> do LNEC.....	32
Quadro 11 – Associação geologia/solo.....	37
Quadro 12 – Valores de saída do modelo de balanço hídrico sequencial diário (1981-2011).....	40
Quadro 13 – Valores de saída do modelo de balanço hídrico sequencial diário (ano hidrológico 2010/2011).....	40
Quadro 14 – Análise de consumos e perdas na rede por freguesia.....	41
Quadro 15 – Valores totais para a área de estudo.....	43
Quadro 16 – Consumos de água (litros) para a rega de áreas ajardinadas no <i>campus</i> do LNEC.....	45
Quadro 17 – Pontos de calibração.....	52
Quadro 18 – Valores da condutividade por camada após a calibração do modelo.....	53
Quadro 19 – Volume anual por cenário de extração.....	61
Quadro 20 – Balanço hídrico (recarga – necessidades) e taxa de extração (necessidades/recarga) por cenário.....	61
Quadro 21 – Balanço hídrico (recarga – necessidades) e taxa de extração (necessidades/recarga) por cenário para a área do <i>campus</i> do LNEC.....	62
Quadro 22 – Relação entre I_s e P para os casos em que $P > P_{lim}$, em função da textura do solo e do teor de humidade inicial.....	103
Quadro 23 – Análise das séries de precipitação por posto udométrico (valores de precipitação em mm/ano).....	111
Quadro 24 – Parâmetros característicos do solo.....	112
Quadro 25 – Parâmetros de ocupação do solo.....	112
Quadro 26 – Registos efetuados durante o ensaio de bombagem.....	115
Quadro 27 – Registo do número de horas de funcionamento da bomba desde Abril a Novembro de 2012.....	116
Quadro 28 – Caudais aproximados extraídos durante o período de registo temporal (abril a novembro de 2012).....	117

AGRADECIMENTOS

Agradece-se ao Eng.º Rogério Mota por toda a informação disponibilizada no que se refere aos estudos de prospeção geofísica efetuados na zona a norte dos pavilhões do Departamento de Hidráulica.

Agradece-se, igualmente, à Eng.ª Maria João Coelho por toda a informação disponibilizada relativa:

- aos trabalhos de caracterização geotécnica, geológica e ensaios efetuados no Departamento de Geotecnia;
- aos estudos geofísicos da área a norte do pavilhão da Hidráulica Marítima;
- às medições dos níveis de água nos piezómetros a norte do pavilhão da Hidráulica Marítima.

Agradece-se aos Assistentes Técnicos Daniel da Silva e José António Ribeiro, do CIC/CSE, pelo apoio prestado em todas as campanhas de recolha de amostras de água e de medição de níveis piezométricos nos pontos de águas subterrâneas do *campus* do LNEC. Ao Sr. Daniel da Silva agradece-se, ainda, a montagem do caudalímetro nas caves do Edifício Arantes e Oliveira e o apoio na realização do ensaio.

Agradece-se aos técnicos Amílcar Gonçalves e Mário Mestre as medições dos níveis piezométricos nos pontos a norte dos Pavilhões da Hidráulica Marítima.

Os laboratórios químicos do LNEC, Labes do NES/DHA e o laboratório do NB/DM, foram os responsáveis pela realização das análises químicas das águas subterrâneas que se apresentam, pelo que se agradece a sua pronta disponibilidade em colaborar nesta análise bem como o trabalho e os recursos despendidos para a sua realização.

ESTUDO DA VIABILIDADE DE UTILIZAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO *CAMPUS* DO LNEC, NOMEADAMENTE PARA ABASTECIMENTO AOS MODELOS FÍSICOS DO PAVILHÃO DE HIDRÁULICA MARÍTIMA

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

O estudo das disponibilidades de águas subterrâneas no *campus* do LNEC foi realizado através de uma extensa análise de toda a informação disponível, não apenas dentro do próprio *campus*, mas também de toda a área envolvente que tem influência no comportamento hidrogeológico local.

O *campus* do LNEC situa-se na parte norte de Lisboa, na freguesia de Alvalade, ocupando uma área aproximada de 22 hectares entre a Av. do Brasil, a sul, e a 2.^a Circular, a norte (Figura 1).



Legenda:

- | | |
|--|--|
| A - Edifício Arantes e Oliveira (Edifício Principal) | I - Departamento de Madeiras |
| B - Edifício Calouste Gulbenkian (Departamento de Geotecnia) | J - Ensaios de Componentes |
| C - Edifício Manuel Rocha | L - Departamento de Estruturas (túnel aerodinâmico) |
| D - Edifício Fernando Abecassis (Departamento de Hidráulica e Ambiente) | M - Laboratórios de Ensaios (LERF/LCAM/LERC/LEPC) |
| E - Edifício Ferry Borges (Departamento de Estruturas) | N - Sala de Atividades |
| F - Departamento de Transportes | O - Infantário |
| G - Instrumentação Científica | P - Edifício de Apoio Social |
| H - Hidráulica Sanitária | PHM - Pavilhão da Hidráulica Marítima (PHM) |
| | PPL - Pavilhão do Porto de Lisboa |

Figura 1 – Localização do *campus* do LNEC (fonte: <http://earth.google.com>)

O objetivo central deste estudo foi analisar a viabilidade de utilizar as águas subterrâneas do *campus* do LNEC para abastecimento dos modelos físicos do pavilhão de Hidráulica Marítima, permitindo reduzir custos financeiros e ambientais associados à atual utilização de elevados volumes de água tratada da EPAL.

Procurou-se, igualmente, verificar a sustentabilidade de utilização das águas subterrâneas do *campus*, incluindo a rega dos jardins, e justificar os fenómenos de rebaixamento dos níveis de água nos poços do LNEC, de forma a propor técnicas e volumes de extração mais adequados às formações hidrogeológicas existentes no subsolo do LNEC.

Esta análise implicou, por um lado, caracterizar os recursos hídricos subterrâneos disponíveis e, por outro, conhecer os consumos e as efetivas necessidades, que presentemente se resumem à rega dos jardins, de modo a fazer um balanço hídrico das necessidades/disponibilidades. A informação disponível foi integrada num modelo matemático que permitiu analisar os melhores cenários de exploração visando o consumo sustentável das águas subterrâneas. Por fim foi analisada a qualidade das águas subterrâneas, já que há exigências mínimas para garantir o bom funcionamento do equipamento utilizado nos modelos.

O desenvolvimento do relatório incorpora uma síntese de toda a informação disponível, também histórica, sobre a caracterização do *campus* do LNEC e integra as seguintes componentes:

- Caracterização geológica, geotécnica, hidrogeológica e geofísica da área do *campus* do LNEC.
- Recolha de informação atualizada sobre: os níveis piezométricos e a qualidade das águas subterrâneas.
- Cálculo da recarga natural, e por perdas de água na rede de abastecimento público, dos aquíferos existentes na área do *campus* do LNEC.
- Avaliação dos consumos e das necessidades de água para a rega dos jardins e para o abastecimento dos modelos físicos do pavilhão de Hidráulica Marítima.
- Modelação numérica do funcionamento do meio hídrico subterrâneo com análise de cenários de diferentes caudais de exploração visando a gestão sustentável dos recursos hídricos por forma a evitar o seu esgotamento, ou a ocorrência de rebaixamentos que possam causar a avaria dos equipamentos de bombagem.
- Conclusões e recomendações para a viabilidade da utilização de águas subterrâneas.

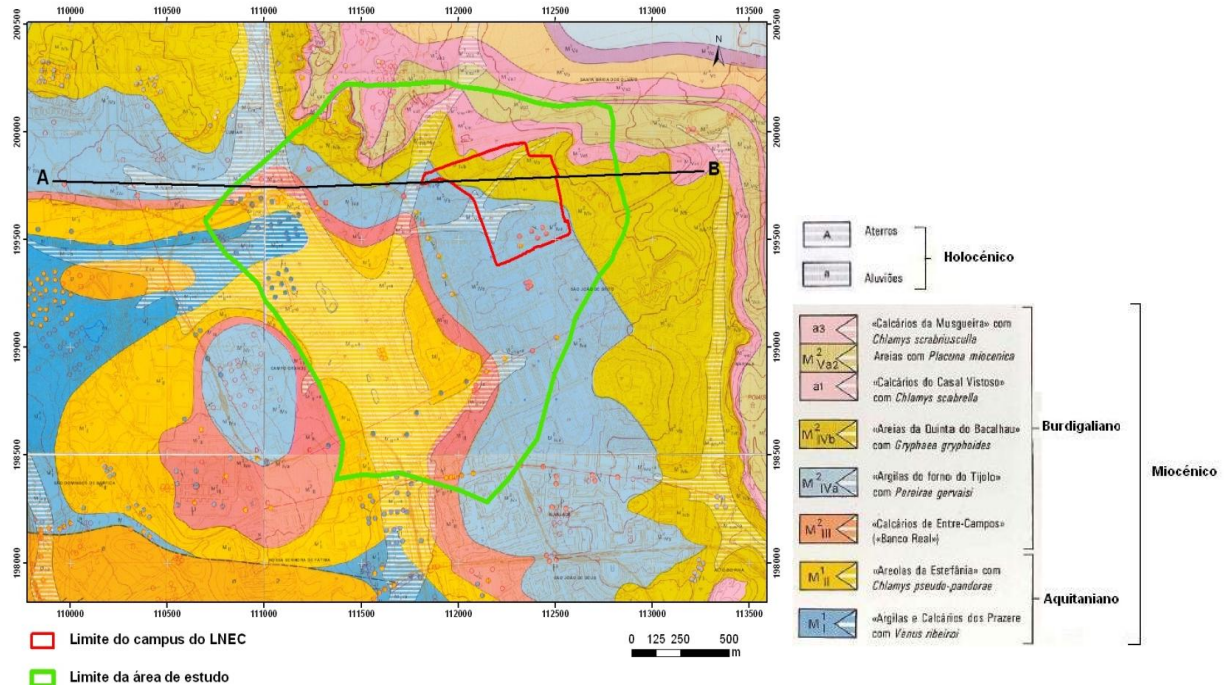
2. GEOLOGIA

2.1 Caracterização geológica

Para a análise das disponibilidades de água no *campus* do LNEC começou por se efetuar uma caracterização do tipo de formações geológicas aí presentes e, também, as envolventes ao *campus* (Figura 2, a traço verde). Na Figura 3 apresenta-se um perfil geológico expedito (direção W-E) representado na Figura 2 por A-B.

O enquadramento litoestratigráfico da área de estudo (Figura 2) inclui afloramentos da

série miocénica de Lisboa-Almada pertencentes ao Aquitaniano e ao Burdigaliano e depósitos de cobertura de natureza aluvionar associados aos vales das linhas de água, e que recobrem as formações aflorantes.



Extrato da Carta Geológica do Concelho de Lisboa na escala 1:10 000

Figura 2 – Carta geológica da área envolvente do LNEC

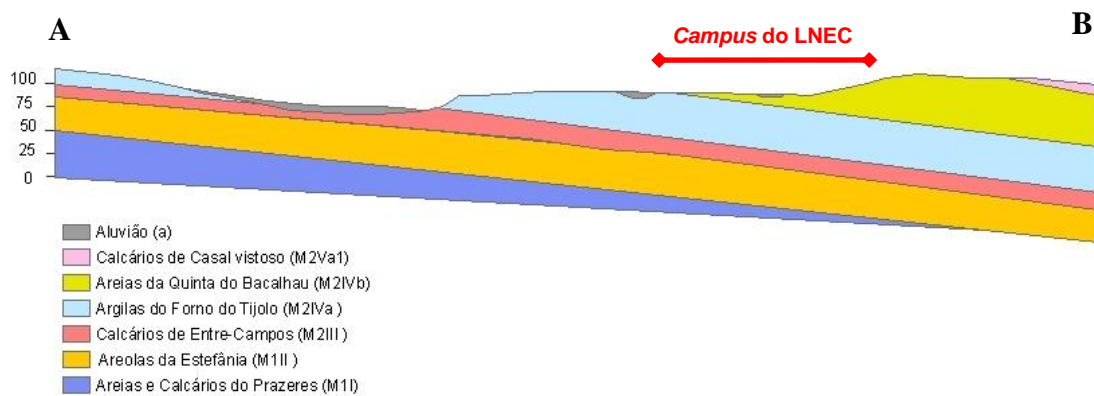


Figura 3 – Perfil geológico expedito W-E (cf. A-B na Figura 2)

Localmente, no *campus* do LNEC, afloram cinco formações geológicas distintas: aterros, aluviões, Calcários de Casal Vistoso, Areias da Quinta do Bacalhau e Argilas do Forno do Tijolo.

As formações geológicas dispõem-se em monoclinl ligeiramente inclinado para leste, definindo uma estrutura muito regular (Pinto *et al.*, 2006). Pinto *et al.* (1991), no âmbito dos

trabalhos para a construção do edifício Ferry Borges, indica que as unidades miocénicas têm uma inclinação de 10° para SE. Relativamente à ocorrência de falhas, estas são de pequena dimensão e de direção aproximada N-S (Lopes, 2001) verificando-se que, na envolvente do *campus* do LNEC, a NW, ocorre uma falha com orientação aproximadamente N-S, de curta extensão, que atravessa a 2.^a Circular.

Descrevem-se as litologias dominantes das formações geológicas ocorrentes na área alargada de estudo, das mais recentes para as mais antigas (Moitinho de Almeida, 1986; INETI, 2005; Pais *et al.*, 2006):

- **Aterro (A)** – são materiais areno-siltosos com calhaus; ocorrem no topo das formações ao longo da maior parte da área do *campus* do LNEC que têm tipicamente espessuras da ordem dos 2,7 m nas fundações da área do edifício Ferry Borges, embora tenha espessuras inferiores na zona a N do Pavilhão da Hidráulica Marítima do DHA.

- **Aluviões (a)** – são de natureza areno-silto-argilosa, com algum domínio das frações mais arenosas e siltosas grosseiras, podendo apresentar por vezes teores significativos de matéria orgânica. Ocorrem numa mancha irregular, que ocupa parte significativa da bordadura SW do *campus* e se estende ao longo de dois antigos paleovales, um deles aproximadamente E-W, de menor extensão de depósitos e que se localiza na zona central do *campus*; o outro braço aluvionar tem direção NE-SW e constitui uma área alongada, de diminuta extensão lateral, que atravessa as áreas A e B da área experimental de estudos geotécnicos e de prospeção geofísica (Figura 2) e estende-se para NE para fora da área do *campus* do LNEC.

- **Calcários da Musgueira (M²Va3)** – afloram na área do aeroporto de Lisboa. Esta unidade é constituída por calcários brancos compactos e por grés calcários com *Chlamys scabriuscula* (Zbyszewski, 1947, in Lopes, 2001). É representada por biocalcarenito branco, às vezes amarelado, arenoso, frequentemente grosseiro, muito rico em fósseis de moluscos. Têm, geralmente, 5 a 6 m de espessura (Pais *et al.*, 2006).

- **Areias com *Placuna miocénica* (M²Va2)** – constituídas por areias amarelas fluviais, com seixos rolados e argilas arenosas com vegetais e ostras, areias eólicas associadas a finos leitos de argila, podendo corresponder a dunas litorais e a ambientes deltaicos (Pais *et al.*, 2006).

- **Calcários de Casal Vistoso (M²Va1)** – afloram no topo norte do *campus* do LNEC (Figura 2). São constituídos por calcários gresosos, calcários coníferos, calcários compactos e arenitos, com espessuras compreendidas entre 3 e 12 m, e um valor médio aproximado de 7 m (Pais *et al.*, 2006; Almeida, 1991).

- **Areias da Quinta do Bacalhau (M²Vb)** – cobrem a quase totalidade da metade NE do *campus* do LNEC (Figura 2) sendo areias arcólicas fluviais, por vezes ferruginosas, esbranquiçadas a avermelhadas mas com predominância das cores amareladas, compactas a muito compactas, a que se associam alguns calcarenitos fossilíferos e intercalações lenticulares de argilas siltosas (Almeida, 1991) e argilitos que corresponderão a antigos canais e depósitos de planície de inundação (Pais *et al.*, 2006). Na zona do antigo areeiro situado no interior do *campus* do LNEC – zona de depressão topográfica, Nascimento (1954) refere a presença de areias finas micáceas, areias grossas e saibros, de fácies argilo-ferruginosa. Esta formação tem entre 30 a 35 m de espessura (Nascimento, 1954; Pais *et al.*, 2006).

- **Argilas do Forno do Tijolo (M²Va)** – afloram na metade SW do *campus* do LNEC. São materiais silto-argilosos muito homogéneos a areias finas argilosas, piritosas, cinzento-

azuladas (Pais *et al.*, 2006; Nascimento, 1954). Almeida (1991) descreve estes materiais como muito homogéneos, constituídos por cerca de 85% por argilas, cerca de mais de 10% de areias e arenitos e, raramente, margas; refere ainda que as argilas são rijas, a duras ou muito duras. A espessura desta formação é algo variável, oscilando entre 15 a 40 m na região de Lisboa (Almeida, 1991), sendo esta variabilidade espelhada pela variação de espessuras dentro do *campus* do LNEC. Assim, em conformidade com as sondagens efetuadas na área do edifício principal (Edifício Arantes e Oliveira) do LNEC na década de 40 do século XX, a espessura é aí inferior a 25 m, dado que as sondagens com menos de 25 m de profundidade alcançaram a formação subjacente (os Calcários de Entrecampos); contudo, as sondagens realizadas aquando da construção do Edifício Ferry Borges e que atingiram entre 20 a 25 m de profundidade nunca abandonaram esta formação, sugerindo assim que no local deste edifício a espessura terá valores superiores a 20-25 m (Pinto *et al.*, 1991), sugerindo deste modo que na área do *campus* do LNEC a espessura se possa cifrar em valores médios da ordem dos apresentados por Nascimento (1954) ou seja, cerca de 30 m. Podem definir-se quatro tipos distintos de litologias, que por vezes parecem repetir-se ao longo desta formação:

- siltitos arenosos;
- siltitos argilosos;
- siltitos argilosos com calcarenitos fossilíferos (“cascões”);
- argilas.

Subjacentemente ocorrem formações mais antigas, tendo sido intercetadas por sondagens realizadas no *campus* do LNEC, na área do edifício Arantes e Oliveira. A única informação conhecida destas sondagens é a que está incluída na Carta Geológica do Concelho de Lisboa à escala 1:10000, Folha 2 (Moitinho de Almeida, 1986), na qual é indicado que as formações intercetadas, subjacentes às Argilas de Forno do Tijolo; são os Calcários de Entrecampos e as Areolas da Estefânia.

• **Calcários de Entrecampos (M²_{III})** – também designados por Calcários do Banco Real, ocorrem a menos de 25 m de profundidade na área do edifício Arantes e Oliveira. São constituídos na generalidade da região de Lisboa por dois níveis, da base para o topo (Cotter, 1956, in Lopes, 2001): (1) molassos calcários medianamente rijos, muito fossilíferos, com elementos detríticos calco-margosos ou calco-siliciosos, unidos por cimento calcário, apresentando também um carácter ferruginoso e mais ou menos micáceo; (2) grés com areias siliciosas e intercalações de molassos calcários mais brandos. Este autor refere contudo que existem variações laterais de fácies, onde o calcário se torna menos fossilífero e mais homogéneo, gradando para grés finos margosos ou para grés siliciosos finos, micáceos e com muito pouco calcário. Zbyszewski (1963) assinala que ocorrem camadas de areia intercaladas entre o calcário mais compacto, que constitui o “Banco Real”, e as bancadas de calcário menos compacto. Refere também este autor a possibilidade de ocorrência de calhaus rolados na base deste complexo. Esta formação tem espessura entre 12 e 17 m (Cotter, 1956).

• **Areolas da Estefânia (M¹_{II})** – na sua generalidade, são areolas micáceas, finas, roladas como é típico de areias de praia, misturadas com fósseis marinhos mais ou menos rolados, vertebrados e vegetais terrestres. Encontram-se divididas em 3 níveis (Zbyszewski, 1947; Cotter, 1956; Antunes, 1971, in Lopes, 2001): (1.º) Areias e grés argiloso com fósseis de ostreídeos, restos de vegetais e fósseis de vertebrados marinhos; (2.º) Areolas micáceas, de

cores vivas, com fósseis de bivalves; (3.º) Grés calcário com fósseis e quartzitos rolados. Tem espessura algo irregular, variando entre os 25 m e os 36 m (Cotter, 1956). De acordo com Moitinho de Almeida (1986), na área do LNEC esta unidade será essencialmente constituída por areias e grés por vezes argilosos, ocasionalmente com níveis de cascões calcários e ocorrem entre os 25 e os 50 m de profundidade na área do edifício Arantes e Oliveira.

• **Argilas e Calcários dos Prazeres (M¹)** – são subjacentes às Areolas da Estefânia e afloram a NW do limite da área do modelo (Figura 2). Esta formação encontra-se repartida em cinco zonas principais da base para o topo (Cotter, 1956, in Lopes, 2001): (1.ª) de margas e grés com fósseis de artrópodes (2.ª) Zona de calcário margoso com fósseis de bivalves); (3.ª) argilas e margas anegradadas, esverdeadas e amareladas com fósseis de ostreídeos (4.ª) margas e calcários (5.ª) argilas e margas com fósseis de ostreídeos e restos de vertebrados. A espessura da formação é variável entre os 30 e os 35 m (Choffat, 1950 e Cotter, 1956, in Lopes, 2001). Regionalmente pode descrever-se a formação como sendo dominada por argilas com intercalações de margas, grés muitas vezes calcários, calcários argilosos, calcários margosos, calcários gresosos, calcários rijos, areias e argilitos siltosos e margosos, calcários lumachélicos (Oliveira *et al.*, 2000).

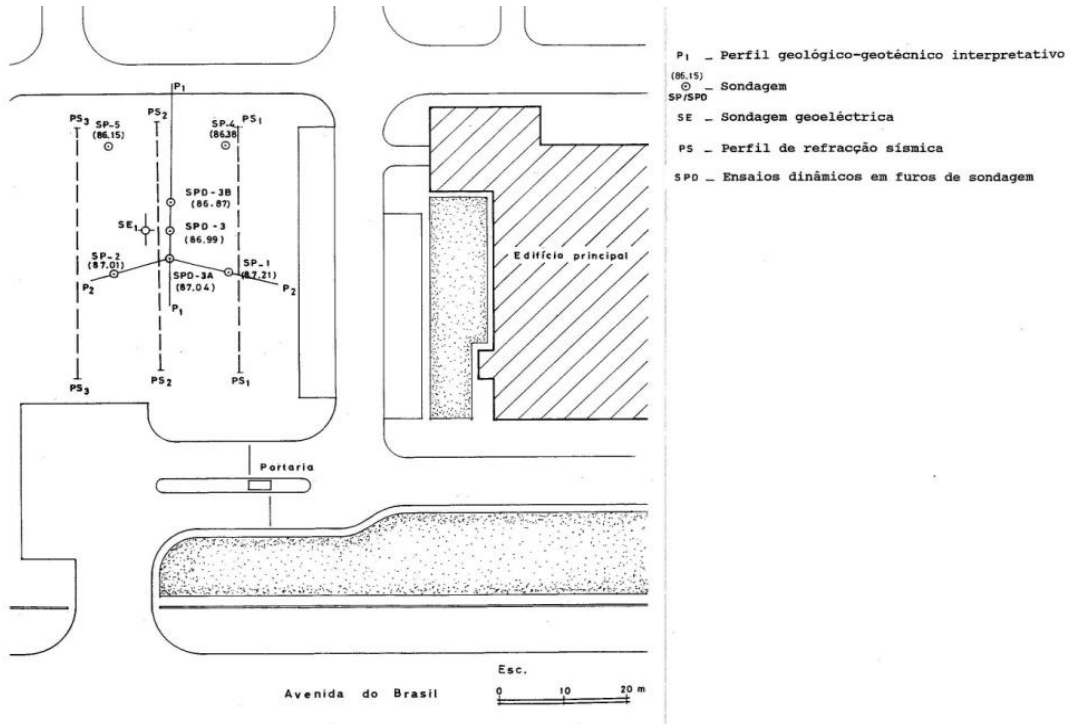
Como foi referido anteriormente, à parte as aluviões, de idade recente, todas as restantes formações são de idade miocénica e correspondem a um conjunto de sequências deposicionais que alternam entre unidades marinhas, salobras e continentais (Pais *et al.*, 2006).

2.2 Caracterização geotécnica

As características litológicas e geotécnicas das formações ocorrentes no *campus* do LNEC foram mais detalhadamente definidas por um conjunto de sete sondagens efetuadas na zona da atual implantação do edifício Ferry Borges (Pinto *et al.*, 1991, Figura 4) e pela sondagem S1 localizada na zona a norte do Pavilhão da Hidráulica Marítima (PHM) (Figura 5). Nesta última zona foram realizadas três sondagens em torno do local SW5: a sondagem S1 foi realizada com caracterização litológica e recolha de testemunhos de sondagem tendo sido efetuados ensaios SPT; a sondagem S2 teve recolha de algumas amostras indeformadas e realização de ensaios pressiométricos “Menard”; a sondagem S3 não teve recolha de amostras, tendo nela sido instalado três piezómetros que possibilitam a monitorização de potenciais níveis piezométricos a profundidades distintas.

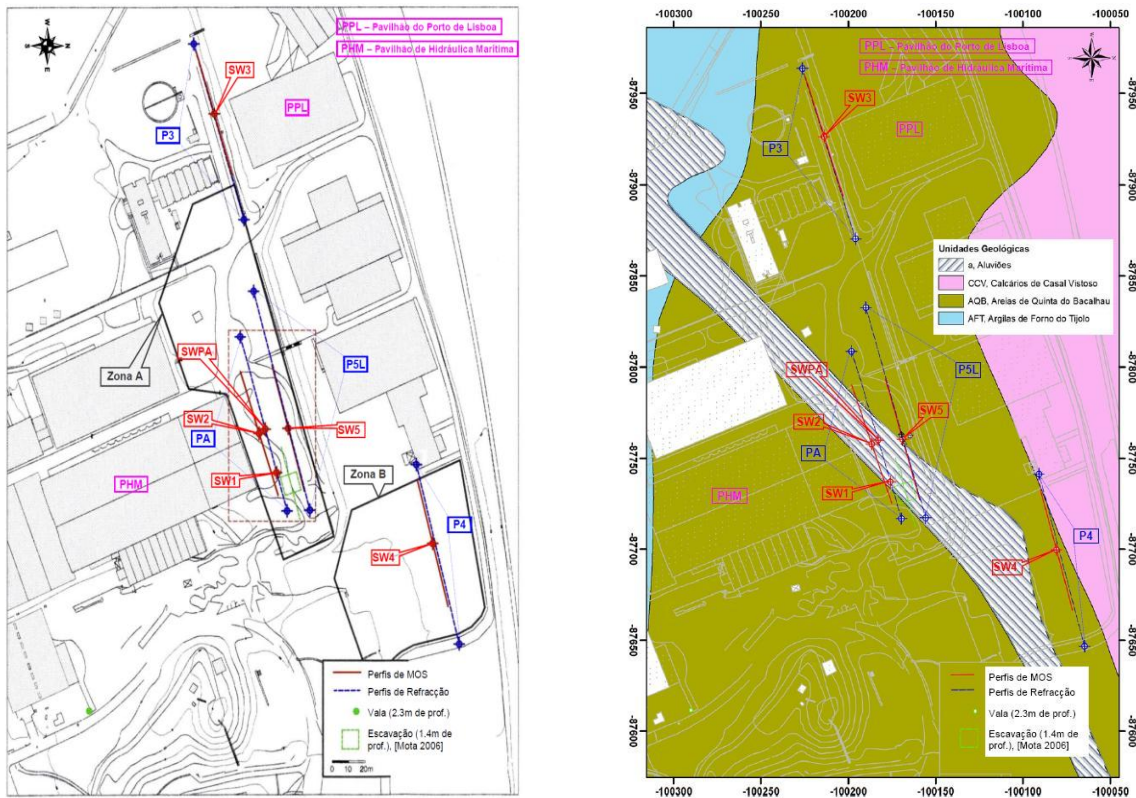
A Figura 5 apresenta a localização das sondagens, dos perfis geofísicos e de outras estruturas efetuadas para a prospeção geotécnica da área no âmbito dos trabalhos apresentados por Coelho (2011) e Mota (2010). No Anexo 1 apresenta-se o perfil da sondagem S1 (Coelho, 2011) e no Anexo 2 os aspetos construtivos dos piezómetros PZ1, PZ2 e PZ3 no interior da sondagem S3.

A Figura 6 resume a localização das sondagens coligidas com caracterização de amostras das camadas atravessadas (*logs*).



Fonte: (Pinto *et al.*, 1991)

Figura 4 – Sondagens efetuadas na área das fundações do edifício Ferry Borges (em planta)



Fonte: Coelho (2011)

Figura 5 – Pormenor do local de implantação das sondagens S1, S2 e S3 (em torno de SW5) e localização de perfis sísmicos e ensaios geotécnicos da zona N dos Pavilhões da Hidráulica Marítima, com referência às unidades geológicas presentes

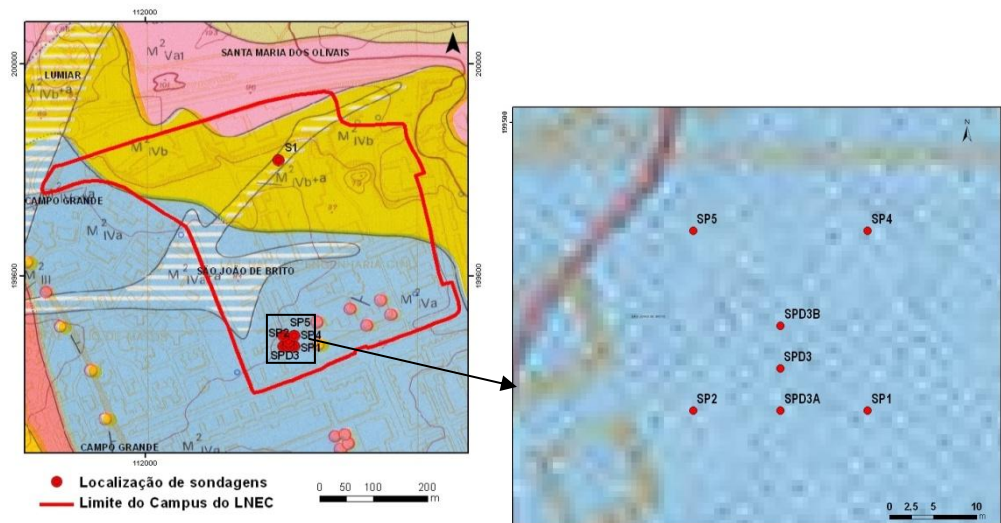


Figura 6 – Localização de sondagens com logs

As sete sondagens no 1.º local caracterizaram os aterros e a formação das Argilas de Forno do Tijolo (Pinto *et al.*, 1991). Esta caracterização, quando cruzada com a informação das sondagens do 2.º local, permite avaliar as variações locais das unidades aquíferas do *campus* do LNEC e respetivas unidades de base. As sondagens no 2.º local caracterizaram todo o conjunto de formações desde os aterros e depósitos holocénicos até às Argilas de Forno do Tijolo (Figura 7), embora apenas numa zona muito restrita do *campus*, dado estas 3 sondagens terem sido dispostas em triângulo com cerca de 5 m de lado (cf. Coelho, 2011, Figura 5). Apesar de apenas a sondagem S1 ter tido recolha e caracterização do testemunho, Coelho (2011) refere que as características das formações atravessadas pelas sondagens S2 e S3 são similares, o que sugere uma homogeneidade lateral das unidades litológicas na zona a norte do pavilhão da Hidráulica Marítima. Contudo, quando se compara a informação de Pinto *et al.* (1991), verifica-se haver uma variação lateral das litologias entre a zona deste pavilhão e a área do edifício Ferry Borges a cerca de 300 m.

A informação obtida nas sondagens permite retirar as conclusões que a seguir se apresentam.

Os **aterros** são constituídos por materiais areno-siltosos com calhaus, na zona do Edifício Ferry Borges, e por materiais muito mais grosseiros e heterogéneos na zona a N do Pavilhão da Hidráulica Marítima (areias muito grosseiras e materiais pedregosos, com predomínio de clastos de dimensões superiores a areias grosseiras; (cf. Coelho, 2001 e Figura 8 e Figura 9), indicando deste modo capacidades de infiltração distintas destas formações de cobertura. Ocorrem desde a superfície até cerca de 1,5 m de profundidade na zona a N do pavilhão da Hidráulica Marítima, apresentando-se mais espessos na área do Edifício Ferry Borges, onde atingem 2,7 m de profundidade.

Amostras entre a superfície e 18.5m de profundidade:



Amostras entre 18.5 e 24.5m de profundidade:



Amostras entre 24.5 e 30.0m de profundidade:



Amostras entre 30.0 e \approx 35.5m de profundidade:



Amostras entre \approx 35.5 e 39.0m de profundidade:



Amostras entre 39.0m e 41.1m de profundidade:



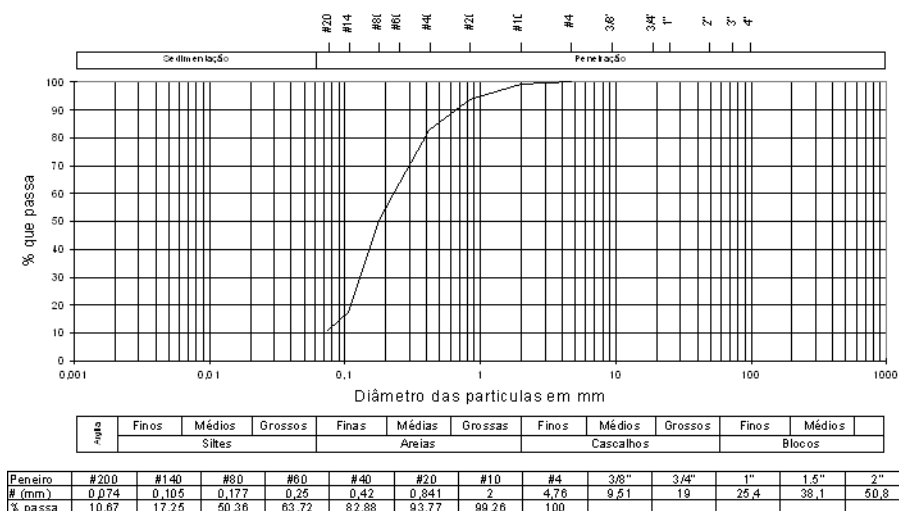
Fonte: Coelho (2011)

Figura 7 – Litologias atravessadas, sondagem no ponto S1 sito a N do Pavilhão da Hidráulica Marítima



Fonte: Mota (2009)

Figura 8 – Aterro na região a N dos Pavilhões da Hidráulica Marítima



Fonte: Coelho (2011)

Figura 9 – Curva granulométrica da amostra remexida (vala) aos 1,45 m de profundidade

As **aluviões** são apenas intercetadas pela sondagem a N do pavilhão da Hidráulica Marítima, constituindo-se numa unidade de cobertura de reduzida extensão lateral e que funciona essencialmente como camada drenante constituindo, em conjunto com os Aterros e as Areias da Quinta do Bacalhau, a zona não saturada nesta área. São constituídas por areias médias a finas, silto-argilosas, soltas, ocorrendo neste local entre 1,5 e 3 m de profundidade.

As **Areias da Quinta do Bacalhau** ocorrem apenas nas sondagens da zona a N dos Pavilhões da Hidráulica Marítima, entre os cerca de 3 e 17 m de profundidade. Nesta região são definidas duas unidades (cf. Anexo 1).

As **Argilas do Forno do Tijolo** ocorrem em toda a extensão do *campus* do LNEC (aflorando somente na sua metade sul), sendo atravessadas por todas as sondagens de que se possui informação. Na zona do edifício Ferry Borges esta formação é aflorante, estendendo-se até pelo menos 25 m de profundidade. Na zona a N do Pavilhão da Hidráulica

Marítima esta unidade inicia-se aos 17 m de profundidade e estende-se até profundidades superiores a 41 m. É nesta formação, em unidades de siltes em posição estratigraficamente média, que ocorrem vários níveis piezométricos. Na zona do edifício Ferry Borges, sendo estas unidades sub-aflorantes, o nível de água ocorre muito à superfície (aos 3,5 m de profundidade); no pavilhão a N da Hidráulica Marítima, dada a profundidade a que tais unidades se localizam, os níveis de água são muito mais profundos (16,55 m, 22,68 e 31,97 m de profundidade, no ponto S3; cf. Anexo 2).

Um resumo das propriedades dos materiais atravessados nas sondagens S1, S2 e vala, sitas a N do Pavilhão da Hidráulica Marítima é fornecido por Coelho (2011) nos Quadro 1 e Quadro 2.

Quadro 1 – Granulometria, limite de liquidez, índice de plasticidade, densidade das partículas, peso volúmico total, teor em água, valor do azul-de-metileno e classificação para as amostras da sondagem S1 (remexidas) e S2 (indeformadas)

Amostra/ Furo	Prof. (m) e formação	Granulometria (%)			LL (%)	IP (%)	G _s	γ (kN/m ³)	w (%)	AM VBS (%)	Classificação [ASTM D2487-06ε1]
		Finos	Areia	Cascalho							
1b-CR / S2	2.50-2.60 aluvião	32	68	–	14.8	NP	2.67	21.01	12.71	0.79	SM – Areia siltosa
13* / S1	2.50-3.00 aluvião	39.5	59.6	0.9	16.3	NP	2.67	–	–	0.79	SM – Areia siltosa
11* / S1	6.00-7.50 AQB	8.3	87	4.7	NP	NP	2.64	–	–	–	SP-SM Areia mal graduada com silte
12* / S1	9.00-12.00 AQB	14.5	78.9	6.6	NP	NP	2.65	–	–	–	SM – Areia siltosa
5b / S2	17.05-17.20 AFT	79.3	20.7	–	34.7	12.5	2.75	21.07	20.70	2.83	CL – Argila magra com areia
5c-CR / S2	17.20-17.30 AFT	75.9	24.1	–	32.1	7.7	2.72	20.38	26.19	2.34	CL – Argila magra com areia
6b / S2	17.90-18.05 AFT	72.2	27.8	–	30.6	NP	2.73	20.68	22.90	1.91	ML – Silte com areia
8a-CR / S2	27.00-27.30 AFT	100	–	–	44.8	22.8	2.78	21.06	24.00	4.43	CL – Argila magra
10a / S2	37.00-37.15 AFT	93.1	6.9	–	39.1	17.1	2.76	21.27	20.10	3.21	CL – Argila magra

LL = limite de liquidez, IP = índice de plasticidade, G_s = densidade das partículas, γ = peso volúmico total, w = teor em água, AM e VBS = valor do azul-de-metileno

Fonte: Coelho (2011)

Quadro 2 – Granulometria, limite de liquidez, índice de plasticidade, densidade das partículas, peso volúmico total, teor em água, valor do azul-de-metileno e classificação para as amostras na vala (sita a cerca de 190 m a SE das sondagens S1, S2 e S3)

Amostra da vala	Prof. (m) e formação	Granulometria (%)			LL (%)	IP (%)	G _s	γ (kN/m ³)	w (%)	AM VBS (%)	Classificação [ASTM D2487-06ε1]
		Finos	Areia	Cascalho							
4452/ 4455	1.45 AQB	10.67	88.59	0.74	NP	NP	2.65	15.57	3.4	0.48	SP-SM Areia mal graduada com silte
4453/ 4456	1.60 AQB	11.66	87.59	0.75	NP	NP	2.65	16.47	2.1	0.48	SP-SM Areia mal graduada com silte
4454/ 4457	2.30 AQB	7.35	92.40	0.25	NP	NP	2.64	15.33	4.4	0.34	SP-SM Areia mal graduada com silte

LL = limite de liquidez, IP = índice de plasticidade, G_s = densidade das partículas, γ = peso volúmico total, w = teor em água, AM e VBS = valor do azul-de-metileno

Fonte: Coelho (2011)

No Anexo 3 apresentam-se pormenores dos resultados de ensaios granulométricos efetuados no *campus* do LNEC.

3. HIDROGEOLOGIA

3.1 Caracterização hidrogeológica

Do ponto de vista hidrogeológico, a área em estudo insere-se na unidade da Orla Mesocenozóica Ocidental. No Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Tejo (PGRH do Tejo), as formações miocénicas de Lisboa foram incluídas na massa de águas subterrâneas designada por Orla Ocidental Indiferenciado da Bacia do Tejo (O01RH5). O Quadro 3 sintetiza a informação existente relativamente às formações aquíferas dominantes, ao tipo de aquífero e às porosidades das formações do miocénico da região de Lisboa.

Quadro 3 – Formações aquíferas dominantes na região de Lisboa e classificação quanto ao tipo de aquífero e meio de escoamento (Oliveira *et al.*, 1999, Almeida *et al.*, 2000, SNIRH)

Formações aquíferas dominantes	Tipo de aquífero	Tipo de porosidade
Banco Real ou Calcários de Entre-Campos, Areolas da Estefânia, Areias da Quinta do Bacalhau, Calcários da Musgueira, Areias do Vale de Chelas (Miocénico)	Livre, confinado, multicamada	Intergranular, fissurado

Dado o tipo de litologias constituintes, o conjunto destas formações apresenta permeabilidades baixas, ocasionalmente médias, funcionando como aquífero (Subtil, 2003), com potencial comportamento misto poroso-fraturado, poroso nos níveis de areias e fraturado nos níveis mais calcários. Subtil (2003) apresenta valores globais de transmissividades calculados através do método de Logan para o Miocénico na zona oriental da cidade de Lisboa (tendo por fundamento os dados de ensaios de caudal de relatórios da construção de furos licenciados na ARH do Tejo). Os valores de transmissividades (Quadro 4) variam entre 1,76 m²/d e 1084 m²/d, apresentando um valor médio de 140 m²/d. Segundo a mesma autora os valores de transmissividades diminuem de E para W.

Quadro 4 – Transmissividades, caudais de ensaio e rebaixamentos das formações miocénicas na zona oriental da cidade de Lisboa

Desig.	Código	M(m)	P(m)	Prof. (m)	NHE	NHD	s (m)	Q (m ³ /d)	T (m ² /d)	Q (l/s)	q (l/s/m)
L1	417/5	116400	200920	241,00	2,00	25,56	23,56	2592,00	134,22	30,00	1,27
L2	417/6	116520	201240	14,38	10,00	14,18	4,18	3715,20	1084,34	43,00	10,29
L4	417/21	115660	202980	300,00	9,85	52,00	42,15	1728,00	50,02	20,00	0,47
L6	417/68	113660	202700	144,00	42,50	65,00	22,50	167,62	9,09	1,94	0,09
L8	417/167	112010	201070	150,00	22,00	72,00	50,00	71,97	1,76	0,83	0,02
L14	417/231	115850	200395	180,00	2,00	50,00	48,00	69,12	1,76	0,80	0,02
L16	431/2	115460	199960	141,50	49,00	61,00	12,00	388,80	39,53	4,50	0,38
L17	431/3	111420	199070	14,00	3,20	4,90	1,70	86,40	62,00	1,00	0,59
L18	431/4	115980	198800	250,00	20,05	21,45	1,40	864,00	752,91	10,00	7,14
L20	431/6	115920	198880	231,00	17,30	58,40	41,10	2160,00	64,12	25,00	0,61
L22	431/9	115900	199500	220,00	21,80	38,00	16,20	328,32	24,73	3,80	0,23
L23	431/10	116160	199420	230,60	2,80	34,00	31,20	362,88	14,19	4,20	0,13
L24	431/11	116500	199700	25,00	0,90	7,50	6,60	864,00	159,71	10,00	1,52
L29	431/17	105800	194400	202,00	75,50	123,0	47,50	259,20	6,66	3,00	0,06
L36	431/25	115020	199200	150,00	57,00	83,00	26,00	216,00	10,14	2,50	0,10
L37	431/26	115000	197840	150,00	54,00	75,00	21,00	285,12	16,56	3,30	0,16
L41	431/37	113450	199920	150,00	30,00	60,00	30,00	719,97	29,28	8,33	0,28
L55	431/82	114180	197820	134,00	40,50	41,70	1,20	244,77	248,85	2,83	2,36
L57	431/84	113430	199075	162,00	44,00	110,0	66,00	2445,12	45,20	28,30	0,43
L43	431/43	113300	199530	70,00	18,00	22,00	4,00	167,62	51,12	1,94	0,49

Os caudais específicos (Figura 10) variam entre 0,02 l/s/m e 10,29 l/s/m e têm um valor médio de 1,33 l/s/m. O conjunto de furos apresenta um valor mediano dos caudais específicos de 0,40 l/s/m indicando que estas formações podem constituir fontes alternativas ao fornecimento de água da rede pública de abastecimento em situações em que não são necessários grandes caudais.

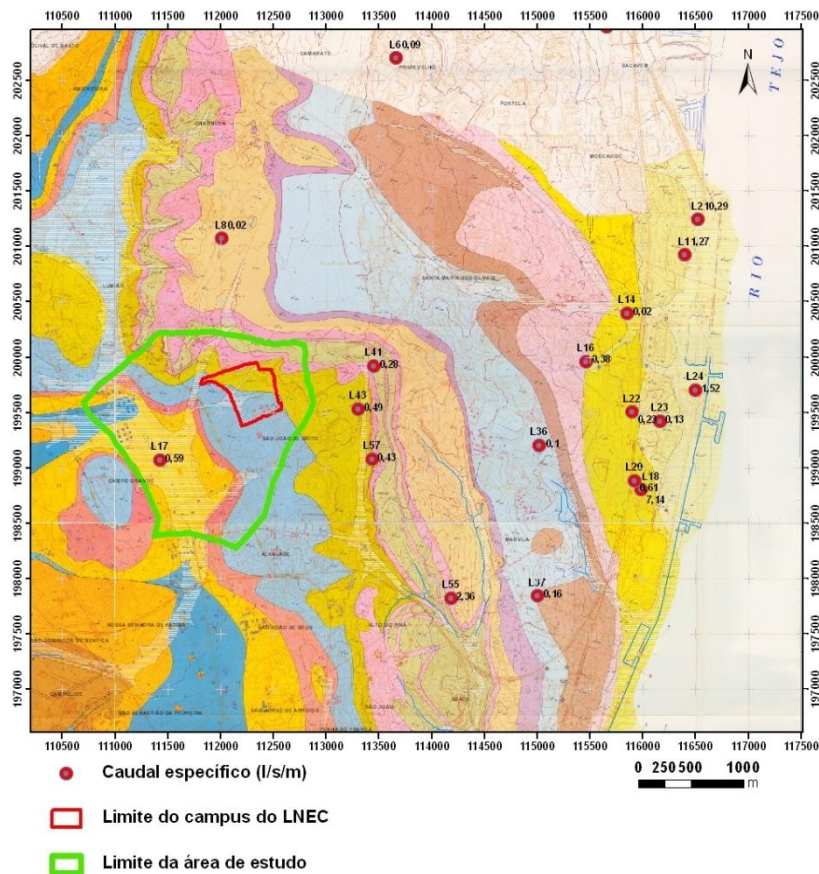


Figura 10 – Caudais específicos de furos construídos em formações do Miocénico (zona oriental de Lisboa)

Relativamente aos caudais explorados, o Quadro 5 apresenta o inventário de furos localizados nas imediações da área de estudo e respetivos caudais de exploração, como constam nos relatórios de construção e nos processos de furos licenciados pela ARH do Tejo (com exceção dos furos F5(LRC) e F8(REP)). Apresenta, ainda, as características destes mesmos furos, incluindo as zonas de ralos, sendo que alguns se encontram a captar outras formações subjacentes às Argilas do Forno do Tijolo.

Uma vez que os furos 431/3, 431/43 se encontram atualmente cimentados e que o furo F3(INATEL) não possui bomba instalada para a sua exploração, estima-se que as extrações de águas subterrâneas nas formações referidas sejam de 4,03 l/s (=348,2 m³/d). Contudo, a informação do Quadro 5 não permite obter com rigor os caudais extraídos em cada uma das formações captadas, sendo que existirão também outras captações em exploração não inventariadas.

Quadro 5 – Caudais de exploração de pontos de água inventariados na envolvente da área de estudo

<i>M(m)</i>	<i>P(m)</i>	<i>Desig.</i>	<i>Q ensaio (l/s)</i>	<i>NHE (m)</i>	<i>NHD (m)</i>	<i>Q espec. q (l/s/m)</i>	<i>Prof. base (m)</i>	<i>Topo; base dos ralos (m)</i>	<i>Litologia captadas</i>	<i>Q expl. (l/s)</i>	<i>Fonte de dados</i>	<i>Ano</i>
111420	199070	431/3	1,00	3,20	4,90	0,59	8,4	3-6,4	Argilas do forno do Tijolo	1	ARH do Tejo	08-05-1985
112880	198600	431/30	1,94	10,00	-	-	50	15-42	Argilas do forno do Tijolo, Calcários de Entre-Campos, Areolas da Estefânia	0,83	ARH do Tejo	28-05-1975
113300	199530	431/43	1,94	18,00	22,00	0,49	70	24-30; 50-59	Argilas do forno do Tijolo; Calcários de Entre-Campos e Areolas da Estefânia	1,1	ARH do Tejo	18-03-1994
111280	198920	431/71	1,7	28,00	-	-	70	30-36; 42-48; 60-66	Argilas do Forno do Tijolo; Calcários de Entre-Campos e Areolas da Estefânia	1,7	ARH do Tejo	Jul-96
112650	198630	F3 (INATEL)	1,7	24,00	75	0,032	121	42-48 54-60 78-84 96-114	Argilas do Forno do Tijolo; Calcários de Entre-Campos e Areolas da Estefânia	-	ARH do Tejo	03-07-1997
112992	199403	F5(LRC)	-	49,00 (a)	-	-	89,00 (a)	-	-	1,5 (b)	Lisboa Racket Center	-
112435	199910	F8(REP)	1,39 (c)	10 (c)	-	-	186(c)	-	-	1,11 (c)	REPSOL	-

(a) Valor medido pelo LNEC

(b) Valor cedido por técnicos da firma proprietária

(c) Relatório de sondagem da captação cedido pelo técnico da REPSOL

Na secção seguinte são apresentados os trabalhos de prospeção geofísica efetuados no interior do *campus* do LNEC cujos resultados permitem uma análise hidrogeológica mais pormenorizada do local.

3.2 Caracterização geofísica e das propriedades dos materiais geológicos

Na área do *campus* do LNEC têm sido realizados diversos estudos de caracterização geofísica, utilizando técnicas sísmicas e geolétricas, dos quais há a destacar os trabalhos de Mota (2009) na aplicação da prospeção geolétrica à caracterização destes terrenos e o trabalho de Coelho (2011), no campo da prospeção sísmica, com vista a similar caracterização. Estes trabalhos permitem definir as propriedades do meio, entre estas a porosidade (cf. Mota, 2009) e o grau de saturação das formações (cf. Coelho, 2011).

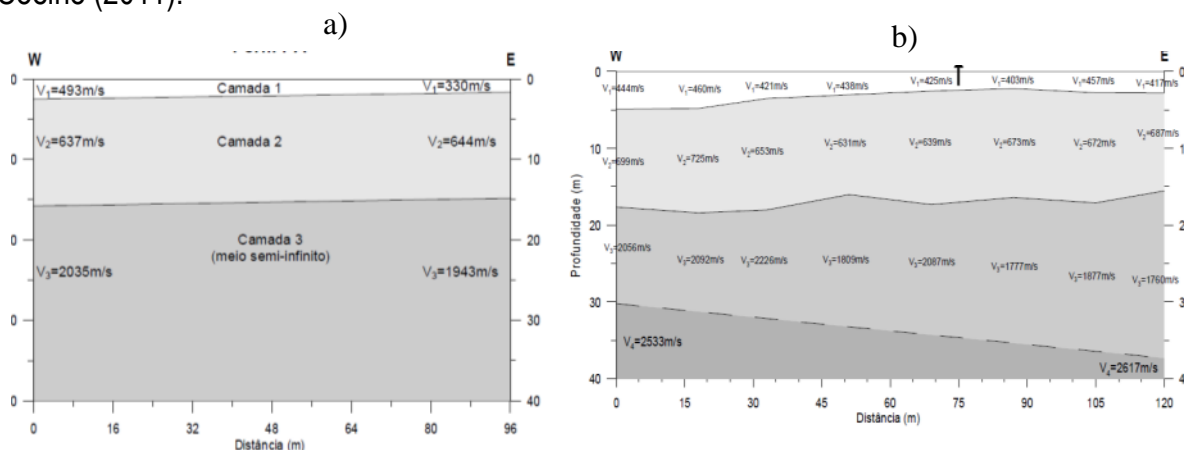
A prospeção sísmica realizada por Coelho (2011) na região a N do Pavilhão da Hidráulica Marítima demonstrou a existência de uma estrutura geológica com uma muito reduzida inclinação, praticamente sub-horizontal nas litologias mais recentes e identificou as seguintes unidades com distintas propriedades de transmissão das ondas sísmicas, as quais correspondem a diferenças de litologia e/ou de saturação em água (Figura 11):

- Uma **unidade superficial** cuja base se situa entre os 1,6 m (base dos aterros) e os 2,5 m de profundidade, que corresponde aos terrenos descomprimidos de cobertura, nos quais se incluem os aterros e boa parte dos materiais aluvionares;
- Uma **unidade intermédia** cuja base se situa entre os 14,8 e os 17 m de profundidade, o que corresponde grosseiramente ao topo do nível aquífero mais

superficial registado na região (15,5 a 16,5 m de profundidade), englobando as aluviões e a quase totalidade das Areias da Quinta do Bacalhau; a zona vadosa é assim constituída por esta unidade intermédia + unidade superficial, ou seja, pelo conjunto de aterros + aluviões + Areias da Quinta do Bacalhau;

- Uma **unidade inferior**, sita abaixo do nível freático e nas proximidades da transição para as Argilas de Forno do Tijolo (iniciadas aos 17 m), correspondendo assim a estas argilas e à base das Areias da Quinta do Bacalhau. Corresponde também ao topo da zona saturada.
- Uma **unidade basal**, cujo topo ocorre entre os 30 a 37 m de profundidade e que corresponde a uma zona mais compactada das Argilas de Forno do Tijolo, a qual engloba os 10 m finais dos siltes argilosos com areias (Unidade Intermédia 2) e os siltes com “cascões” (Unidade Inferior). Refira-se que no ponto PZ1, aos 32 m de profundidade, Coelho (informação de piezometria, 2012) refere a existência de um segundo nível de água.

No Quadro 6 estão sumarizadas as profundidades médias de cada camada, na zona A sita a N dos Pavilhões da Hidráulica Marítima (Figura 11), de acordo com a interpretação de Coelho (2011).



Fonte: (Coelho, 2011)

Figura 11 – Perfis de refração sísmica na Zona A. a) Perfil PA; b) Perfil P5L

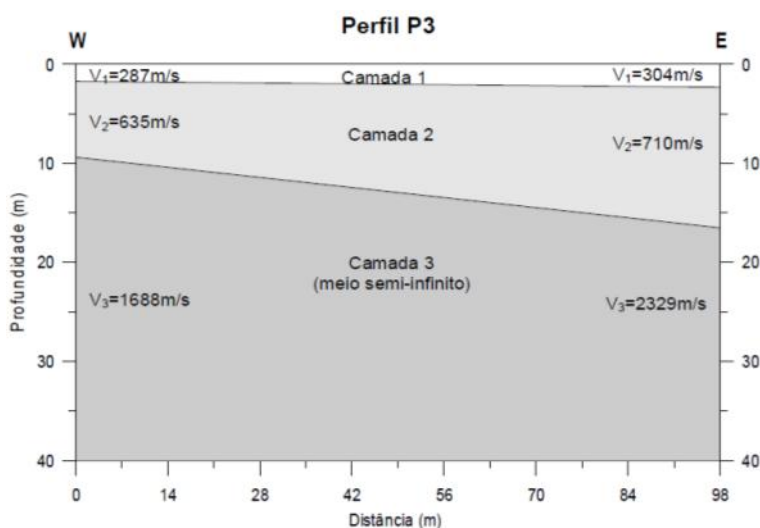
Quadro 6 – Profundidades ao topo das camadas detetadas pela refração sísmica

	Profundidade média ao topo da camada (m)	
	Modelo com 2 ativações sísmicas	Modelo com 8 ativações sísmicas
Camada 1	--	--
Camada 2	3,9	3,3
Camada 3	16,5	17,0
Camada 4	33,7	33,7

Fonte: (Coelho, 2011)

Esta estrutura geral tem variações laterais, como é de esperar neste tipo de terrenos, verificando-se que a oeste das zonas A e B (cf. Figura 12), onde não ocorrem aluviões, são detetados os terrenos de cobertura sub-horizontais (neste caso essencialmente os aterros) e a unidade de Areias da Quinta do Bacalhau (zona vadosa), que apresenta aqui uma inclinação

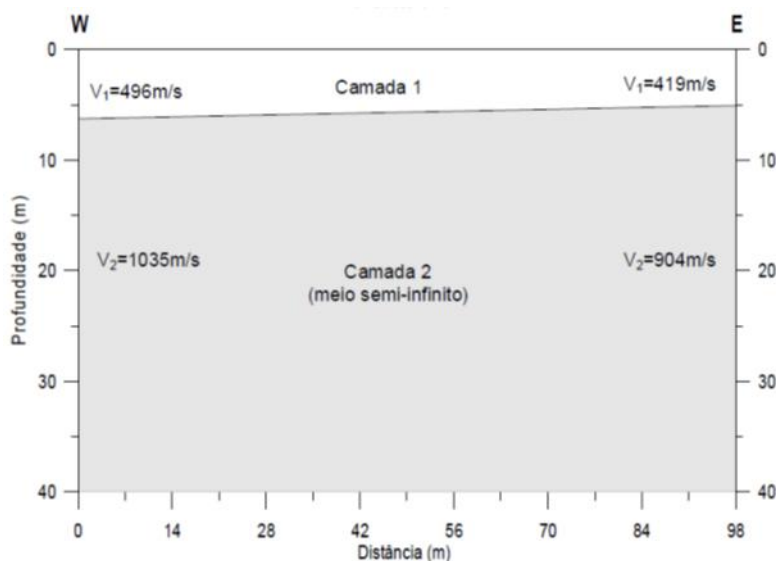
de cerca de 4° (de acordo com a refração sísmica), mergulhando para leste (onde a sua base atinge os 16,8 m de profundidade); deteta-se também a interface entre as Areias da Quinta do Bacalhau e as Argilas de Forno do Tijolo, aproximadamente correspondendo também à passagem da zona vadosa para a zona saturada (Figura 12).



Fonte: Coelho (2011)

Figura 12 – Perfil de refração sísmica a Oeste das Zonas A e B

Na Zona B (Figura 13) o perfil localizou-se a N das aluviões (não as intercetando), em zona de afloramento das Areias da Quinta do Bacalhau, na proximidade do contacto com a formação dos Calcários de Casal Vistoso. Aqui a camada inicial é mais espessa (base entre os 5,1 a 6,3 m de profundidade) que nas zonas anteriores, o que Coelho (2011) interpreta como devendo ser resultado de uma maior espessura de aterro; do mesmo modo a zona vadosa subjacente (Camada 2) é também mais espessa (Figura 13), o que se justificará pela topografia mais elevada deste local e também pela inclinação aparente da superfície freática para leste (Figura 12), acompanhando aproximadamente a inclinação da estrutura geológica.



Fonte: Coelho (2011)

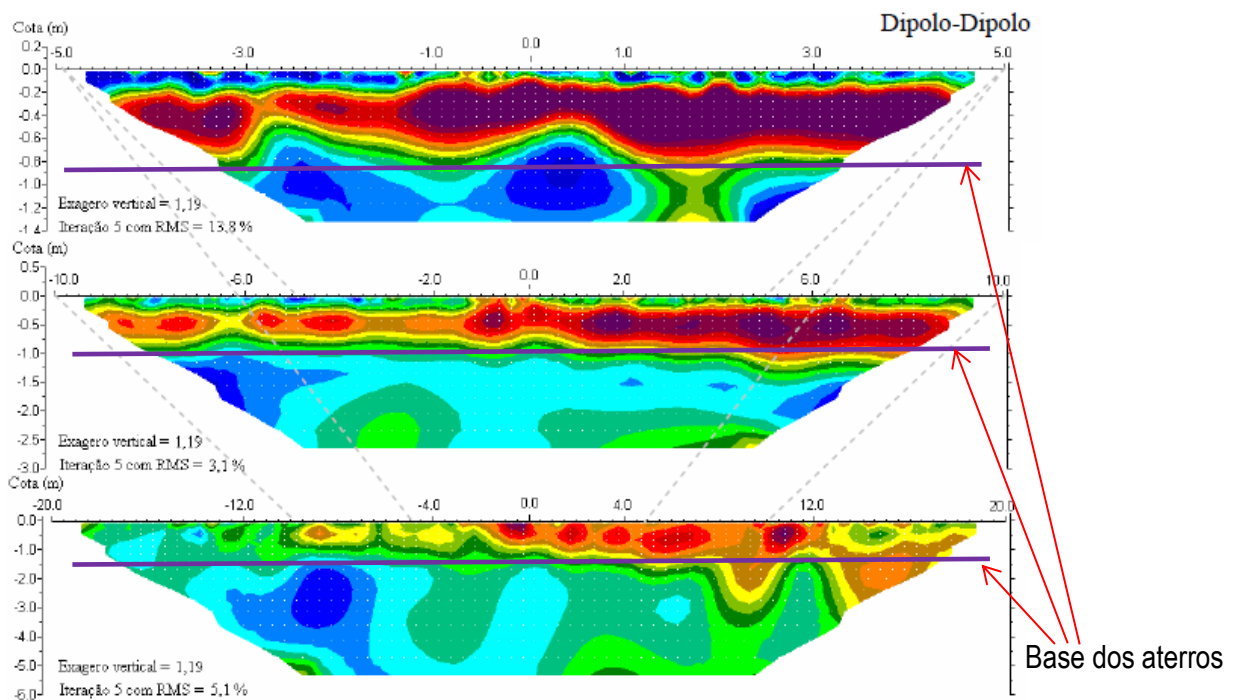
Figura 13 – Perfil de refração sísmica na zona B

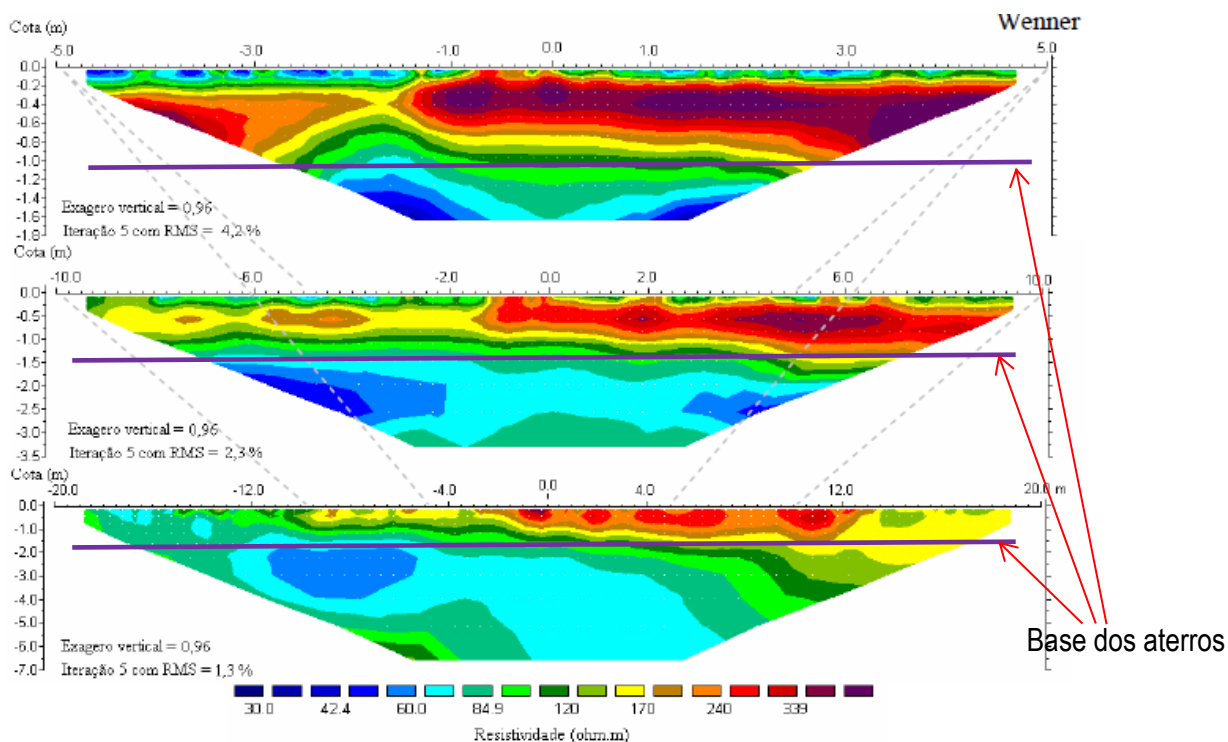
Deste modo, a prospeção sísmica aponta para a presença da interface entre a zona

saturada e não saturada entre os **15,5 e os 17 m**, o que coincide aproximadamente com os valores do primeiro nível piezométrico registados por Coelho (2011) a N dos pavilhões da Hidráulica.

Também sugere uma inclinação desta superfície para leste, o que é igualmente sugerido pelas atuais campanhas de campo. Este mesmo método geofísico indica igualmente que os níveis aquíferos se situam na formação das Argilas de Forno do Tijolo, podendo o mais superficial interseccionar a base das Areias da Quinta do Bacalhau.

No caso do trabalho de prospeção geolétrica de Mota (2009) a área estudada foi uma pequena secção na zona A (cf. Figura 14) tendo a penetração dos perfis atingido um máximo de 7 m de profundidade, ou seja interceitou a unidade de aterros, aluviões e a metade superior da unidade superior das Areias da Quinta do Bacalhau. O estudo foi realizado no final de um período de acentuadas condições de seca. A Figura 14 mostra que a zona de aterros é assinalada por uma zona de resistividade elevada, diminuindo esta para os materiais subjacentes, o que pode indiciar uma porosidade algo elevada nos aterros.





Fonte: Mota (2009)

Figura 14 – Perfis de resistividade dos terrenos mais superficiais sítos a N dos pavilhões da Hidráulica

As propriedades dos materiais (porosidade, o índice de vazios, o grau de saturação dos terrenos e o seu conteúdo em água), admitindo a existência de água não poluída no local, apontam para uma percentagem de argila da ordem dos 25% e as seguintes distribuições espaciais dos teores em água (Figura 15), porosidade (Figura 16) e grau de saturação (Figura 17).

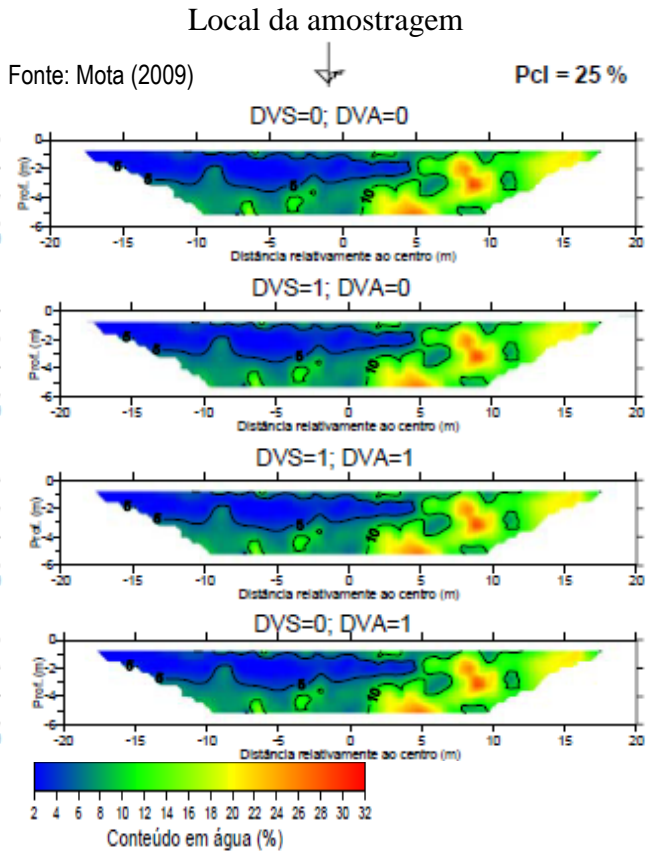


Figura 15 – Distribuição espacial do teor em água no solo

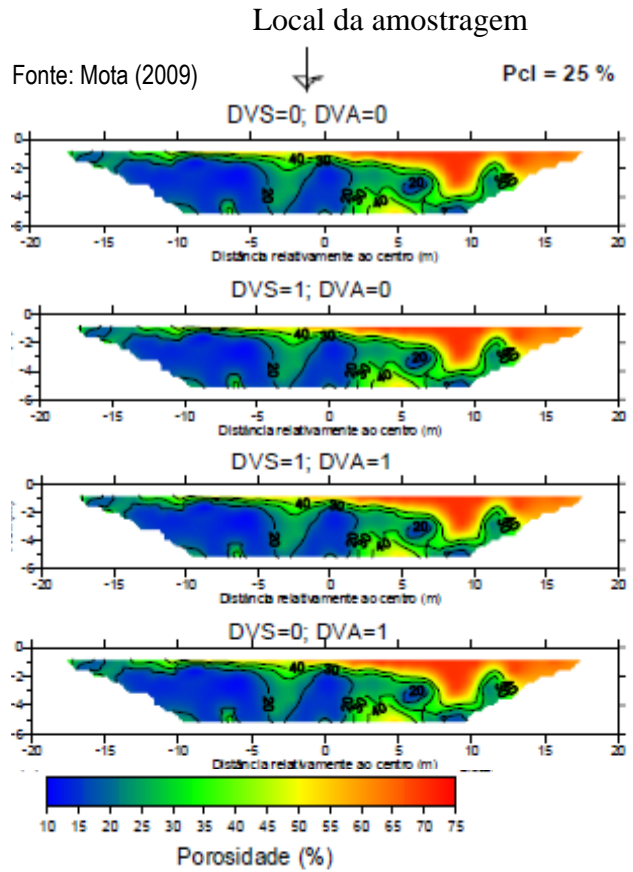


Figura 16 – Distribuição espacial da porosidade

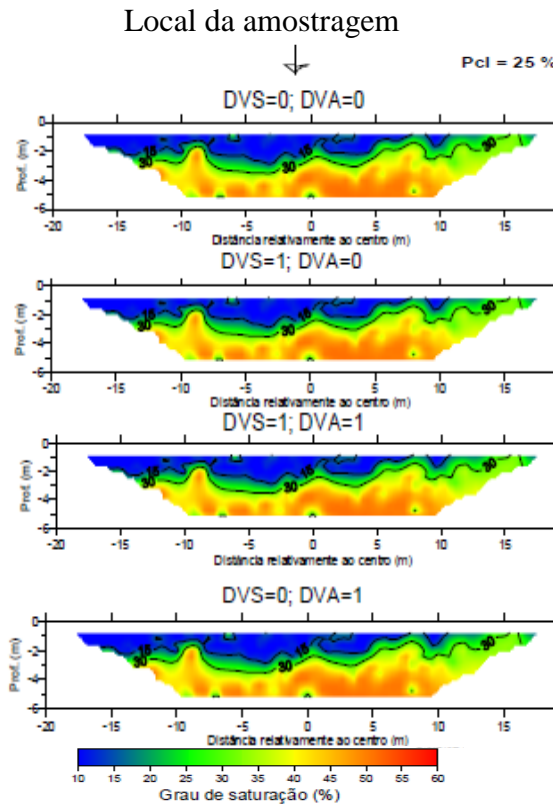


Figura 17 – Distribuição espacial do grau de saturação

Segundo Mota (2009) os resultados obtidos por este tipo de prospeção geofísica (que obtém valores apenas a partir de 1 m de profundidade, ou seja, neste caso os materiais sitos abaixo dos aterros) são bons caracterizadores do teor em água, porosidade e grau de saturação, dado terem uma boa correspondência com os resultados das análises laboratoriais e *in situ* (Quadro 7; Figura 18).

Quadro 7 – Propriedades dos solos determinadas *in situ* e em laboratório
campus do LNEC (e – índice de vazios; ϕ – porosidade, w – conteúdo em água e S_w – grau de saturação).

Prof. (m)	Granulometria			e		γ_s		ϕ		w		S_w	
	Silte	Areia	Seixo	lab	<i>in situ</i>	Lab	<i>in situ</i>	lab	<i>in situ</i>	lab	<i>in situ</i>	lab	<i>in situ</i>
	< 0,074 mm	0,074-2 mm	> 2 mm			(g/cm ³)		(%)		(%)		(%)	
0,00	32,2	61,9	5,9	0,459	0,501	1,81	1,759	31,5	33,4	4,8	5,0	15,9	15,0
0,10	-	-	-	-	0,421	-	1,858	-	29,6	-	4,6	-	15,5
0,20	-	-	-	-	0,432	-	1,843	-	30,2	-	5,0	-	16,6
0,30	-	-	-	-	0,442	-	1,831	-	30,7	-	4,7	-	15,3
0,65	17,1	35,7	47,2	0,275	0,371	2,08	1,948	21,6	27,1	6,2	7,1	32,9	26,2
0,75	-	-	-	-	0,246	-	2,142	-	19,7	-	5,9	-	29,9
0,85	-	-	-	-	0,245	-	2,145	-	19,7	-	5,8	-	29,5
0,95	-	-	-	-	0,263	-	2,114	-	20,8	-	5,9	-	28,3
1,30	26,8	68,0	5,2	0,350	0,494	1,97	1,781	25,9	33,1	8,8	7,8	30,1	23,6
1,40	-	-	-	-	0,425	-	1,867	-	29,8	-	7,6	-	25,5
1,50	-	-	-	-	0,476	-	1,802	-	32,2	-	7,8	-	24,2
1,60	-	-	-	-	0,496	-	1,778	-	33,2	-	7,9	-	23,8
1,50 (1)	-	-	-	-	0,588	---	1,675	-	37,0	-	11,6	-	31,4
1,60 (1)	-	-	-	-	0,523	-	1,746	-	34,3	-	11,2	-	32,7
0,50 (2)	19,7	56,0	24,3	0,669	0,704	1,58	1,538	40,0	41,3	4,8	4,6	12,0	11,1
0,60 (2)	-	-	-	-	0,715	-	1,528	-	41,7	-	4,9	-	11,8
0,00 (3)	-	-	-	-	0,697	---	1,544	-	41,1	-	4,3	-	10,5

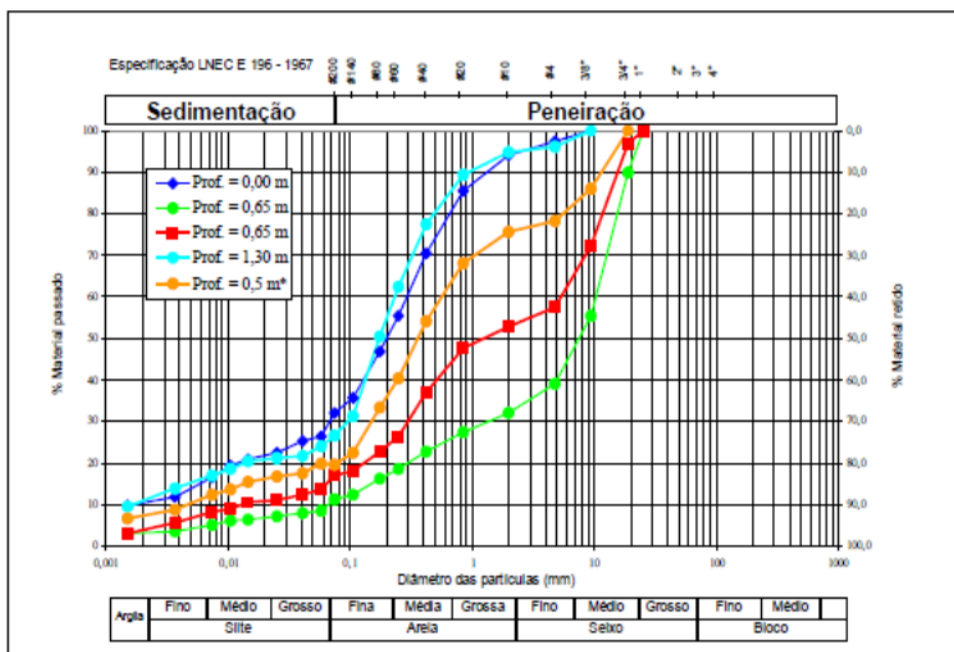
Nota - A porosidade foi calculada com base na equação $e = \phi/1 - \phi$

(1) Dados colhidos após molhar o fundo da escavação e antes de se proceder ao seu enchimento.

(2) Dados colhidos a meio do enchimento.

(3) Dados colhidos após o enchimento.

Fonte: Mota (2009)



Fonte: Mota (2009)

Figura 18 – Curvas granulométricas das amostras na área a N do Pavilhão da Hidráulica Marítima (aos 0,65 m de profundidade há grande heterogeneidade, pelo que se recolheram duas amostras; a amostra os 0,5 m realizou-se durante a fase de enchimento da zona de teste)

Relativamente à permeabilidade vertical das unidades ocorrentes, dispõe-se de valores da condutividade hidráulica K (Quadro 8) determinados com base em ensaios em laboratório em amostras recolhidas a diversas profundidades (no âmbito do estudo apresentado Pinto *et al.*, 1991) na zona da atual implantação do edifício Ferry Borges (cf. Figura 4). Os valores indicam que esta formação possui permeabilidade baixa, sendo o nível com “cascões calcários” à profundidade entre 9,0 m e 9,4 m que possui permeabilidade vertical mais elevada ($= 0,242$ cm/d).

Quadro 8 – Coeficientes de permeabilidade vertical das unidades ocorrentes na zona do edifício Ferry Borges

Amostra	Sondagem	Profundidade (m)	K (m/s)	K (m/d)	K (cm/d)	Unidade
292	S4	9-9,4	2,80E-08	0,00242	0,242	Argilas do Forno do Tijolo (siltito argiloso com cascões calcários, de cor acastanhada)
290	S4	7-7,4	1,50E-09	0,00013	0,013	Argilas do Forno do Tijolo (siltito argiloso com cascões calcários, de cor acastanhada)
289	S4	6-6,4	2,00E-09	0,00017	0,017	Argilas do Forno do Tijolo (siltito argiloso de cor acastanhada)
288	3-A	14-14,2	7,00E-09	0,00060	0,060	Argilas do Forno do Tijolo (argilas cinzentas)
287	3-A	13-13,25	1,20E-08	0,00104	0,104	Argilas do Forno do Tijolo (argilas cinzentas)
293	S4	12-12,4	2,00E-09	0,00017	0,017	Argilas do Forno do Tijolo (argilas cinzentas)

4. NÍVEIS DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

4.1 Pontos de águas subterrâneas inventariados e monitorizados

Por forma a complementar e atualizar o conhecimento da hidrogeologia da área de estudo, focalizando no perímetro do *campus* do LNEC e na zona envolvente, procedeu-se ao reconhecimento e inventariação de pontos de água para medição dos níveis piezométricos, no período entre julho e outubro de 2012. Por se tratar de uma zona intensamente urbanizada, muitos dos antigos poços utilizados para a rega de hortas em quintas outrora existentes foram desativados e cimentados. O Anexo 4 apresenta as características (coordenadas, cota do terreno, profundidade, e localização da secção de ralos ou zona crepinada) dos pontos de água inventariados. O Anexo 5 apresenta o registo fotográfico dos pontos monitorizados.

Nas imediações do *campus* do LNEC foram inventariados onze poços e nove furos (Figura 19 e Anexo 4). A profundidade dos poços varia entre 3,76 m e 39 m. Os furos atingiram profundidades que variam entre 35,75 m e 186 m sendo que alguns se encontram cimentados e sem condições para a medição dos níveis piezométricos (cf. 431/71, 431/43 e 431/37). Também não se possui informação quanto à localização dos ralos nos furos F4(HJM), F5(LRC), F6(RT), F7(LF) e F8(REP).

No interior do perímetro do *campus* do LNEC foram inventariados sete pontos de águas subterrâneas: três piezómetros PZ1, PZ2, PZ3 localizados no interior da sondagem S3 (Anexo 2) identificada no ponto designado por PZ(S3); o poço designado por P1(CF) junto ao Campo de Futebol; o poço F1(MR) localizado nas imediações do edifício Manuel Rocha; o poço P2(SA) nas proximidades da Sala de Atividades e o local das galerias de drenagem do nível freático no edifício Arantes e Oliveira designado por N1(AO).

De acordo com informação que transmitida pelo Sr. Daniel da Silva (do CIC), o poço P1(CF) e o F1(MR) têm sido utilizados para a rega de algumas áreas ajardinadas do *campus* do LNEC, embora o poço P1(CF) não se encontre em funcionamento há vários anos. Desde o início do mês de abril de 2012, a água deste poço tem vindo a ser usada para a rega da horta urbana do LNEC (projeto DHA-Sol, cf. <http://solidario.dha.lnec.pt/>), com uma área de 400 m². Em julho de 2012 deu-se início à extração de água no poço P1(CF) para a rega de algumas áreas ajardinadas. No ponto N1(AO) encontra-se instalado um sistema de drenagem das águas que afluem à cave do edifício Arantes e Oliveira, que são posteriormente bombadas e canalizadas para o furo F1(MR). O poço P2(SA) não é utilizado.

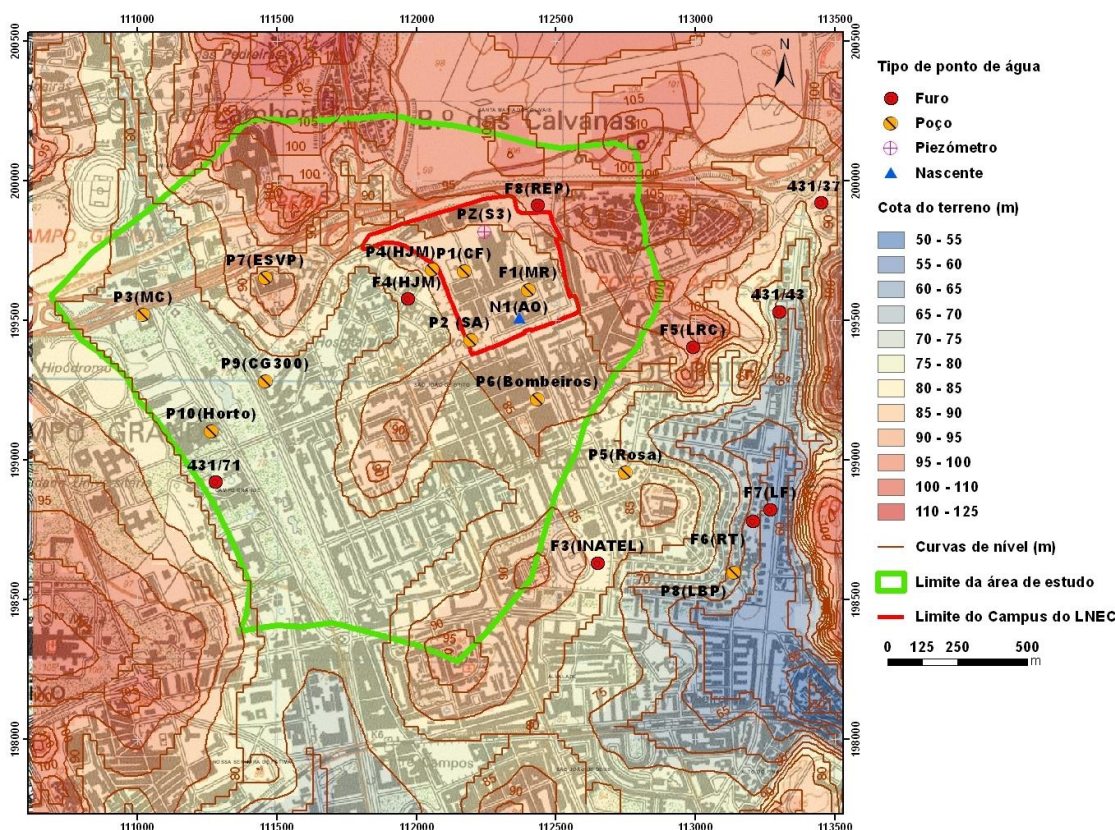


Figura 19 – Localização de pontos de água inventariados na área de estudo

Para este estudo foi efetuada a monitorização dos níveis de água em todos os pontos representados na Figura 19 (cf. Anexo 4 e Anexo 5) e foi efetuada uma recolha de amostras de água para posterior análise química em cinco pontos localizados no *campus* do LNEC: N1(AO), P1(CF), F1(MR) e P2(SA). Os pontos localizados no *campus* do LNEC, i.e. PZ1(S3), PZ2(S3), PZ3(S3), P1(CF), F1(MR) e P2(SA), foram integrados numa rede de monitorização com registos mais frequentes, com recolha de dados desde abril de 2012. Foram, ainda, efetuados registos contínuos com recurso a sondas nos pontos P1(CF) e F1(MR).

As profundidades dos pontos de água F1(MR) e P1(CF) apresentam valores de 37 m e 39 m, respetivamente. As bombas de extração da água no furo F1(MR) e no poço P1(CF) encontram-se colocadas sensivelmente aos 26 m e aos 29 m, respetivamente, i.e. na formação das Argilas do Forno do Tijolo. A profundidade do poço P2(SA) é de 6,7 m sendo neste poço que se registam valores da profundidade ao nível piezométrico mais baixas evidenciando encontrar-se num nível aquífero mais superficial com cotas piezométricas mais elevadas (Quadro 9).

Foi, igualmente, tida em consideração a informação histórica existente sobre a profundidade ao nível piezométrico efetuada no PZ1, PZ2 e PZ3, iniciada a 14 de agosto de 2009 (Anexo 7) com periodicidade semanal, passando posteriormente a ser medidas mensalmente até outubro de 2011 no âmbito do trabalho apresentado por Coelho (2011), tendo sido retomadas as medições em janeiro 2012.

4.2 Análise dos resultados

No Anexo 6 e Anexo 7 apresentam-se os dados obtidos sobre a monitorização dos níveis de água em todos os pontos representados na Figura 19.

O Quadro 9 apresenta a súmula das medições da profundidade ao nível piezométrico e das cotas piezométricas efetuadas nos pontos P1(CF), P2(SA) e F1(MR) do *campus* do LNEC, entre abril de 1995 e novembro de 2012.

Quadro 9 – Profundidades e cotas piezométricas nos pontos de água do *campus* LNEC

Ponto	Data	Prof. ao nível piezométrico (m)	Cota piezométrica (m)
F1(MR)	04-04-1995	21,60	64,79
F1(MR)	14-07-1998	28,84	57,55
F1(MR)	27-03-2012	24,71	61,68
F1(MR)	16-04-2012	20,2	66,19
F1(MR)	05-06-2012	26,43	59,96
F1(MR)	05-07-2012	26,65	59,74
F1(MR)	24-07-2012	21,3	65,09
F1(MR)	26-07-2012	20,26	66,13
F1(MR)	01-08-2012	19,9	66,49
F1(MR)	06-08-2012	19,88	66,51
F1(MR)	07-08-2012	19,98	66,41
F1(MR)	08-08-2012	20,26	66,13
F1(MR)	09-08-2012	20,77	65,62
F1(MR)	10-08-2012	21,00	65,39
F1(MR)	13-08-2012	20,165	66,225
F1(MR)	22-08-2012	19,95	66,44
F1(MR)	31-08-2012	19,78	66,61
F1(MR)	07-09-2012	19,96	66,43
F1(MR)	12-09-2012	19,78	66,61
F1(MR)	19-09-2012	18,89	67,50
F1(MR)	28-09-2012	21,30	65,09
F1(MR)	01-10-2012	21,20	65,19
F1(MR)	02-10-2012	21,31	65,08
F1(MR)	03-10-2012	21,45	64,94
F1(MR)	08-10-2012	21,52	64,87
F1(MR)	10-10-2012	21,28	65,11
F1(MR)	15-10-2012	21,34	65,055
F1(MR)	16-10-2012	21,26	65,13
F1(MR)	22-10-2012	21,38	65,01
F1(MR)	29-10-2012	21,45	64,94
F1(MR)	02-11-2012	21,13	65,26
F1(MR)	08-11-2012	21,15	65,24
P1(CF)	04-04-1995	23,43	65,21
P1(CF)	14-07-1998	18,46	70,18
P1(CF)	27-03-2012	18,68	69,96
P1(CF)	16-04-2012	16,83	71,81
P1(CF)	05-06-2012	16,85	71,79
P1(CF)	05-07-2012	15,57	73,07
P1(CF)	26-07-2012	28,82	59,82
P1(CF)	01-08-2012	27,10	61,54
P1(CF)	06-08-2012	24,52	64,12
P1(CF)	07-08-2012	24,05	64,59

P1(CF)	08-08-2012	23,70	64,94
P1(CF)	09-08-2012	23,34	65,3
P1(CF)	10-08-2012	22,8	65,84
P1(CF)	13-08-2012	22,41	66,23
P1(CF)	22-08-2012	20,77	67,87
P1(CF)	31-08-2012	19,70	68,94
P1(CF)	07-09-2012	19,08	69,56
P1(CF)	12-09-2012	18,83	69,81
P1(CF)	19-09-2012	18,60	70,05
P1(CF)	28-09-2012	18,42	70,22
P1(CF)	01-10-2012	18,38	70,26
P1(CF)	02-10-2012	18,37	70,27
P1(CF)	08-10-2012	18,3	70,34
P1(CF)	10-10-2012	18,29	70,35
P1(CF)	15-10-2012	18,24	70,4
P1(CF)	22-10-2012	18,18	70,46
P1(CF)	29-10-2012	18,12	70,52
P1(CF)	02-11-2012	18,06	70,58
P1(CF)	08-11-2012	17,98	70,66
P2(SA)	27-03-2012	3,55	82,52
P2(SA)	16-04-2012	3,58	82,49
P2(SA)	05-06-2012	3,63	82,44
P2(SA)	05-07-2012	3,79	82,28
P2(SA)	01-08-2012	4,08	81,99
P2(SA)	06-08-2012	4,08	81,99
P2(SA)	07-09-2012	4,47	81,6
P2(SA)	12-09-2012	4,47	81,6
P2(SA)	15-10-2012	4,75	81,32
P2(SA)	08-11-2012	4,88	81,19

Em termos gerais observa-se que o escoamento de águas subterrâneas se processa a partir do LNEC (na zona do campo de futebol) para leste, em direção à Av. Gago Coutinho onde as cotas piezométricas atingem valores mais baixos, e para oeste, em direção ao Campo Grande. A Figura 20 apresenta a superfície piezométrica obtida por extrapolação dos valores da cota piezométrica (em relação ao nível do mar) resultantes das medições dos níveis efetuadas em outubro de 2012 (Anexo 6) que corresponde ao maior número de registos simultâneos coligidos.

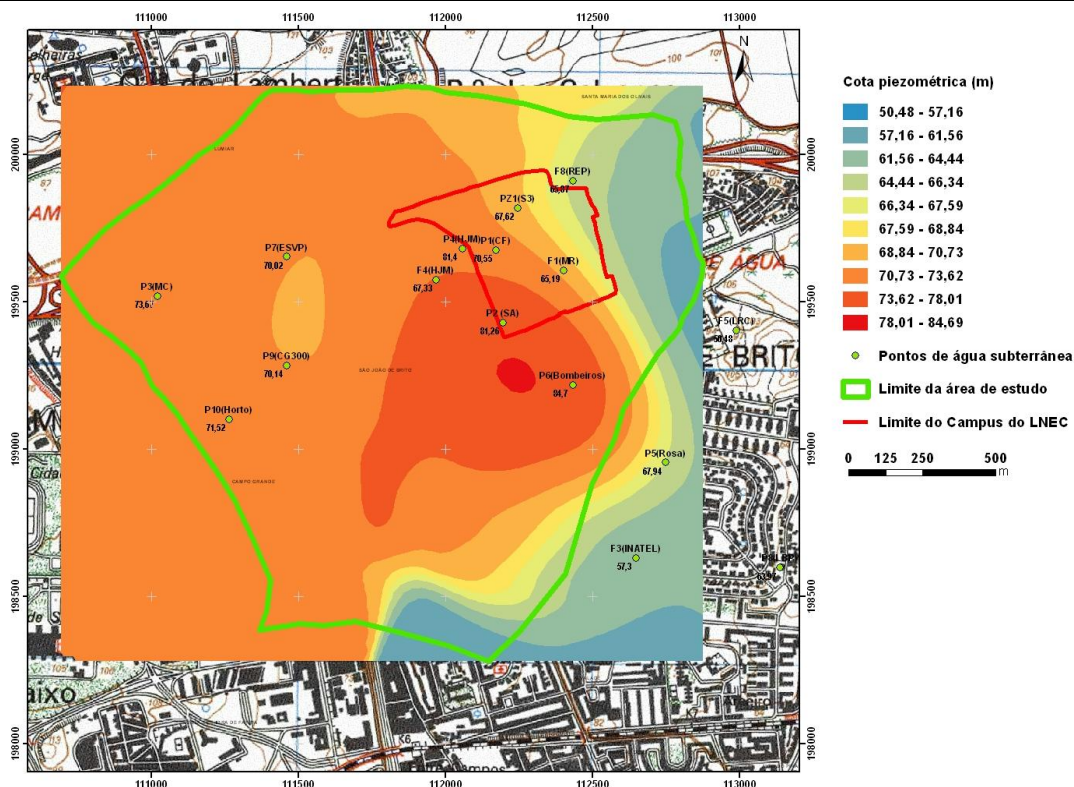
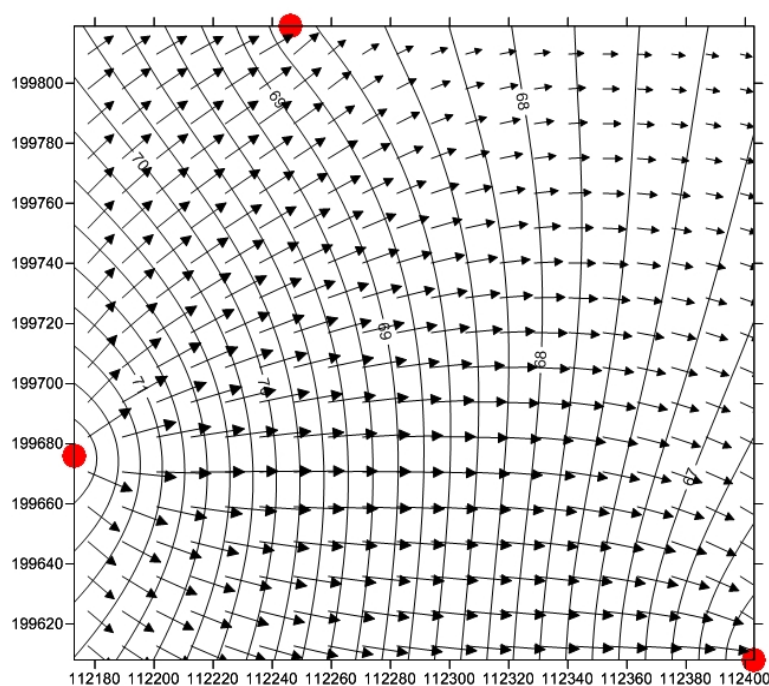


Figura 20 – Superfície piezométrica obtida por extrapolação das medições efetuadas em outubro de 2012

A Figura 21 representa a superfície piezométrica do *campus* do LNEC obtida por extrapolação das cotas piezométricas nos pontos P1(CF), F1(MR) e no piezómetro PZ1(S3) em abril de 2012 (após inverno). O fluxo subterrâneo faz-se para leste com cotas mais elevadas no poço P1(CF) e no PZ1 (S3) e mais baixas no F1(MR).



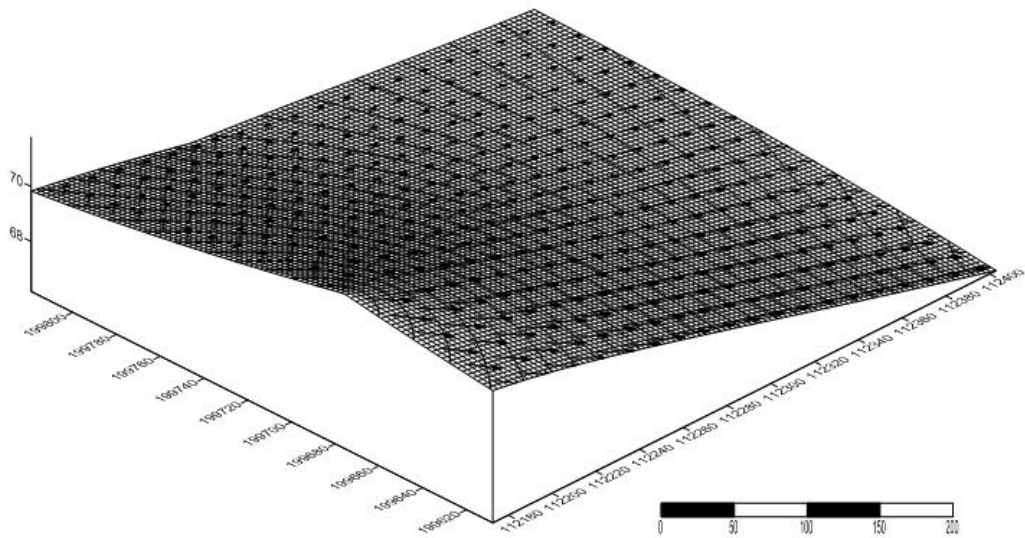


Figura 21 – Superfície piezométrica em abril de 2012

Uma análise mais detalhada do Quadro 9 permite observar oscilações assinaláveis na evolução dos níveis piezométricos. A Figura 22 apresenta o histórico dos registos das profundidades ao nível piezométrico nos pontos de água inventariados no *campus* do LNEC, entre março e novembro de 2012.

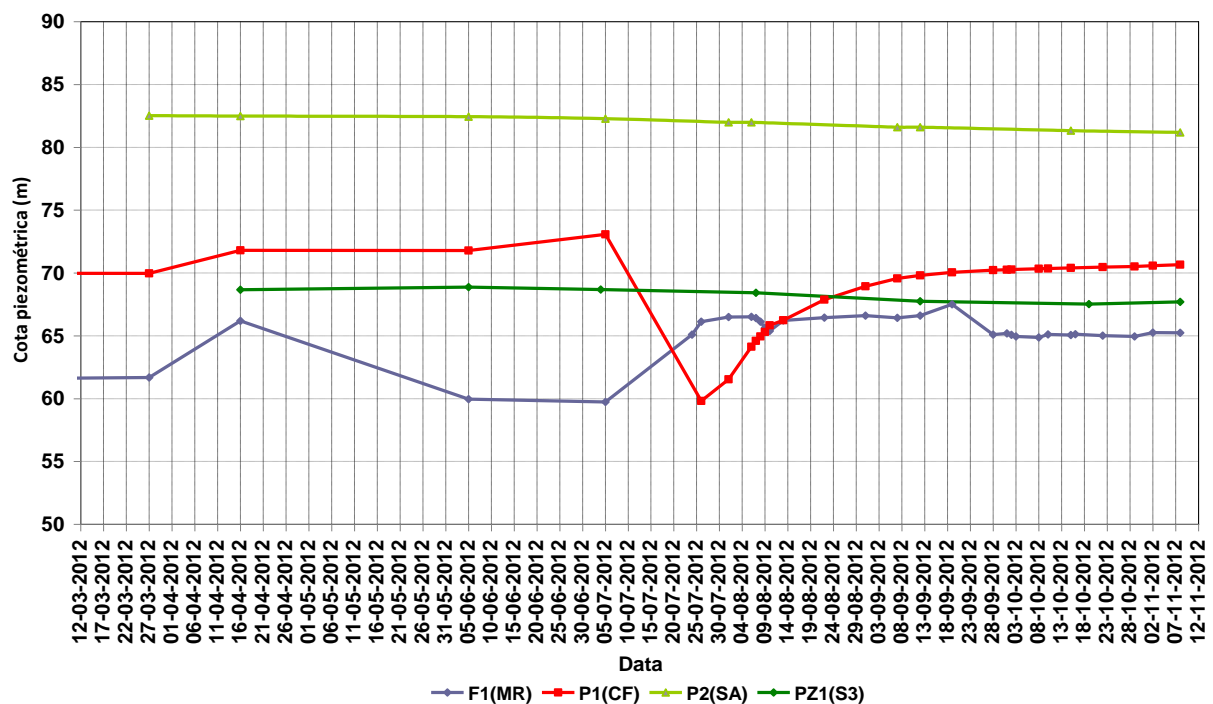


Figura 22 – Histórico das medições da cota piezométrica (em relação ao nível médio do mar) nos pontos F1(MR), P1(CF), P2(SA) e PZ1(S3)

A análise das causas subjacentes às oscilações nos níveis piezométricos (cf. Figura 22), para a qual se regista que, com exceção do mês de abril de 1995, a profundidade ao nível piezométrico foi maior no ponto F1(MR) em julho de 2012, permite verificar que o rebaixamento em julho de 2012 se deveu à extração excessiva de água. Esta extração foi responsável pelas avarias das bombas instaladas nos poços P1(CF) e F1(MR), onde o sistema de guarda nível das respetivas bombas avariou (informação transmitida pessoalmente pelo Sr. Daniel da Silva). De facto, é possível observar que, no início do mês de julho, a profundidade ao nível freático registada no poço F1(MR) foi de 26,65 m (cota piezométrica = 59,74 m), abaixo da profundidade da bomba colocada aos 26 m (cota = 60,39 m).

No poço P1(CF) a extração contínua de água durante 2 dias provocou a descida dos níveis piezométricos de 15,57 m de profundidade (cota piezométrica = 73,07 m) para 28,82 m de profundidade (cota piezométrica = 59,82 m), provocando um rebaixamento de 13,25 m. Considerando o diâmetro do poço igual a 3 m, o volume extraído só pelo esvaziamento do poço (ou seja sem considerar a afluência do aquífero para o poço) foi de 93,61 m³.

Após a paragem da extração, o nível piezométrico no poço F1(MR) recuperou para 21,30 m de profundidade (cota piezométrica = 65,09 m), subindo 5,35 m durante 2 dias. Considerando o diâmetro do poço igual a 3 m, esta subida corresponde a um volume de água que afluiu ao poço de 37,8 m³, i.e. 18,9 m³/d.

O gráfico da Figura 22 mostra também a recuperação dos níveis piezométricos (= 10,84 m) no poço P1(CF) no período entre 26 de julho e 8 de novembro (= 105 dias).

Esta elevada recuperação dos níveis piezométricos denota boa permeabilidade das formações hidrogeológicas, embora a recuperação do poço F1(MR) também se tenha devido à água proveniente das galerias do edifício Arantes e Oliveira que são canalizadas para este poço. Segundo comentário pessoal do Sr. Daniel da Silva, poderá ainda ter ocorrido transferência de água do poço P1(CF) para o poço F1(MR) através de uma tubagem que possibilita a ligação entre os dois poços. Contudo, este facto é de difícil confirmação.

Desde que as bombas estão paradas (julho de 2012) os níveis piezométricos apresentam oscilações que refletem períodos de ocorrência de rebaixamentos e de recuperação (Figura 22), tendo-se registado um rebaixamento máximo de 2,41 m no período entre 19 e 28 de setembro de 2012. Uma vez que não há extrações nos pontos do LNEC durante este período, esta variação parece dever-se a interferências com outros pontos em captação.

Mais recentemente, desde agosto de 2012, procedeu-se também à instalação de duas sondas de registo automático de níveis piezométricos nos poços F1(MR) e P1(CF). A Figura 23 apresenta os registos da cota piezométrica obtidos (entre 10 de agosto e 12 de setembro de 2012) nos dois poços. Verifica-se que o nível piezométrico do poço P1(CF) recuperou 4,21 m com cotas de 65,60 m no dia 10 de agosto e 69,81 m no dia 12 de Setembro.

O gráfico do poço F1(MR) mostra um valor aproximadamente constante do nível piezométrico médio embora demonstre a ocorrência alternada de períodos de descida e de recuperação de níveis piezométricos, com subidas dos níveis durante cerca de 1:00 h a 1:30 h, que alternam com períodos mais longos de descida. Esta situação pode traduzir a influência de alguma captação de águas subterrâneas não muito distante com períodos de paragem da bomba e de extração. O valor mínimo da profundidade ao nível (=19,47 m; cota piezométrica = 66,92 m) ocorreu no dia 14 de agosto entre as 7:30h e as 8:30 h e o valor mais elevado

(=20,26 m; cota piezométrica = 66,13 m) registou-se no dia 15 de agosto entre as 3:30 h e as 4:45 h. O valor médio das profundidades ao nível registadas é de 19,83 m (cota piezométrica = 66,56 m).

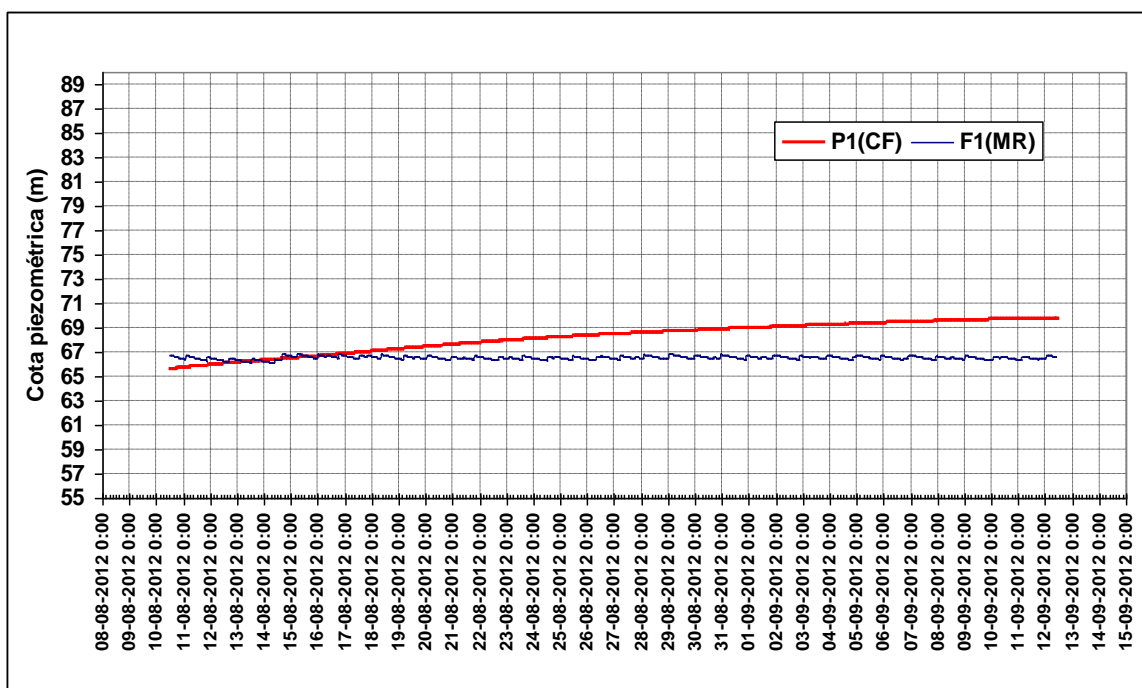


Figura 23 – Registos automáticos das cotas piezométricas nos poços P1(CF) e F1(MR) entre os dias 10 de Agosto e 12 de Setembro de 2012

5. QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

5.1 Objetivos e metodologia

A caracterização da qualidade das águas subterrâneas existentes no *campus* do LNEC teve como objetivo analisar a sua compatibilidade com o uso nos modelos físicos do Pavilhão da Hidráulica Marítima e, complementarmente, com a rega. Procurou-se, ainda, verificar se as características de qualidade permitiam evidenciar águas com origens diferentes, *i.e.* se pertenciam a extratos hidrogeológicos distintos.

Para o efeito foram recolhidas, no dia 23 de abril de 2012, quatro amostras de água pertencentes aos seguintes pontos: P(CF), F(MR) P2(SA) e N1(AO). Os piezómetros PZ1(S3), PZ2(S3), PZ3(S3) apresentam um diâmetro demasiado pequeno para permitir a recolha de amostras de água. As amostras foram recolhidas com um amostrador tipo *bailer* alguns metros abaixo do nível piezométrico, às profundidades indicadas no Quadro 10.

As amostras de água foram analisadas nos laboratórios químicos do LNEC, a quem se agradece a importante prestação dada para a realização deste estudo. O Labes do NES/DHA analisou a alcalinidade, dureza total, cálcio, magnésio, nitratos e ferro total e o laboratório químico do NB/DM analisou a concentração em bicarbonatos, cloretos, sulfatos, sódio e potássio. No Anexo 8 apresentam-se os boletins emitidos pelos dois laboratórios.

5.2 Análise dos resultados

O Quadro 10 apresenta o conjunto de informação que se dispõe relativamente à qualidade das águas subterrâneas. Integra os dados de estudos desenvolvidos em 1995 e os dados obtidos durante o presente estudo.

Quadro 10 – Síntese da informação disponível sobre a qualidade das águas subterrâneas no *campus* do LNEC

Ponto	P1 (CF)			P2 (SA)	F1 (MR)			N1 (AO)		
	04-04-1995			23-04-2012	04-04-1995			23-04-2012	23-04-2012	
Data	04-04-1995			23-04-2012	23-04-2012	04-04-1995			23-04-2012	23-04-2012
Profundidade	21,5	31,5	39,5	20	4	22,5	32,5	42,5	25	3
Ca ²⁺ (mg/L)				116	200				132	120
Mg ²⁺ (mg/L)				47	26				33	36
Na ⁺ (mg/L)				160	60				230	210
K ⁺ (mg/L)				14,8	5,3				4,6	3,2
HCO ₃ ⁻ (mg/L)				453	461				437	442
Cl ⁻ (mg/L)				179	171				154	142
SO ₄ ²⁺ (mg/L)				200	85,8				206	225
NO ₃ ⁻ (mg/L)				3,8	0,6				20	37
Fe (mg/L)				< 0,1	0,3				< 0,1	0,1
Alcalinidade				360	370				355	352
Dureza (mgCaCO ₃ /L)				485	605				465	450
SST (mg/L)				2	22				2	< 2
T (°C)	18	18,3	18,3	18,4	16,3	17,5	17,5	17,5	18,4	17,9
pH	7,6	7,6	8	7,65	7,59	8,2	8,2	8,3	7,76	7,79
Cond. Elétrica /microS/cm)	1640	1610	1610	1147	919	538	540	558	1135	1163
Eh (mV)	193	184	198	161,9	158,6	233	232	230	172,4	173,1

Em termos de uma breve análise histórica, para a qual é necessário atender ao facto de se basear num conjunto muito restrito de medições físicas e químicas, os dados apresentados permitem observar que em 1995 não se registava estratificação das águas subterrâneas em profundidade nos dois pontos com análises: P1(CF) e F1(MR). Entre aquela data e 2012 observa-se um aumento significativo da condutividade elétrica no ponto F1(MR) possivelmente relacionado com a descarga de água do ponto N1(AO), e que representa um aumento da concentração em iões na água. O ponto P1(CF) apresenta algum decréscimo do mesmo parâmetro.

O conjunto de águas analisadas apresenta características bicarbonatadas a sulfatadas sódicas e cálcicas. Nas Figura 24 e Figura 25 apresenta-se a projeção dos resultados, sendo possível observar que, do ponto de vista químico, as águas dos pontos P1(CF), F1(MR) e N1(AO) apresentam características muito próximas, sendo os pontos F1(MR) e N1(AO) praticamente equivalentes, o que é natural face ao elevado volume de água drenado do segundo para o primeiro. O ponto P2(SA) apresenta características distintas dos restantes, com águas predominantemente bicarbonatadas cálcicas, evidenciando que capta uma água de

origem diferente num nível mais próximo da superfície.

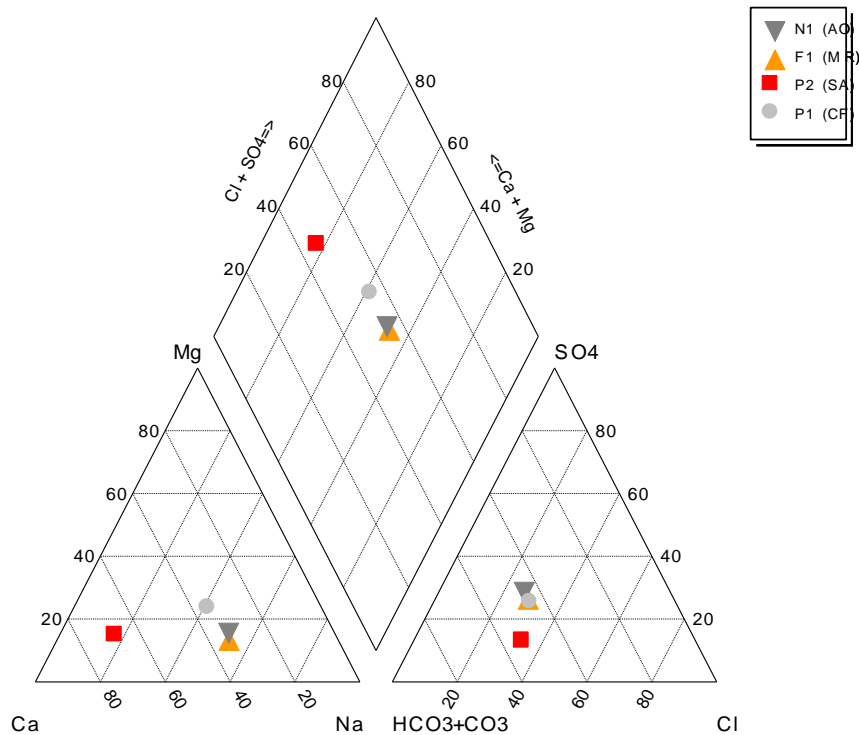


Figura 24 – Diagrama de Piper das águas subterrâneas do *campus* do LNEC

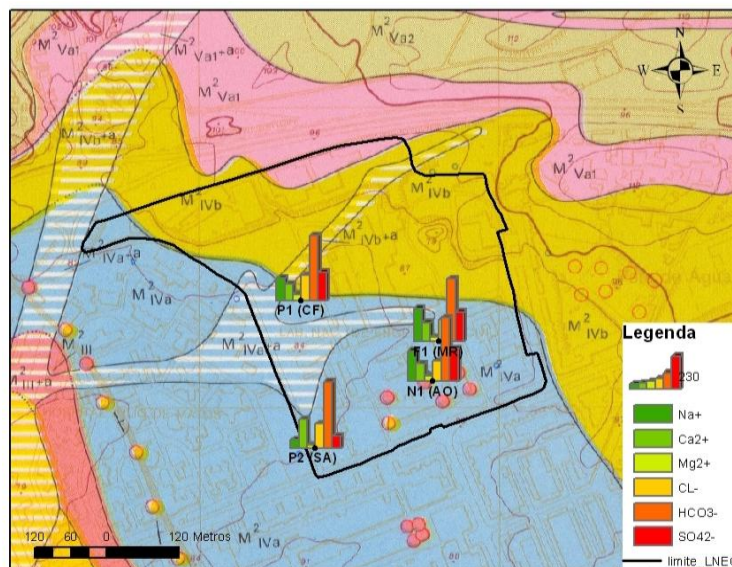


Figura 25 – Concentração dos íons maiores (em mg/L) das águas subterrâneas do *campus* do LNEC

Do ponto de vista das restantes características químicas das águas observa-se que as concentrações nos diversos elementos se encontram abaixo dos Valores Máximos Admissíveis ou Valores Máximos Recomendados, VMR, para a qualidade das águas destinadas à produção de água para consumo humano (DL236/98, de 1 de agosto) para todos os elementos químicos aí definidos (cloretos, sulfatos, nitratos, ferro e sólidos suspensos totais).

Atendendo às características da qualidade da água com interesse para os fins em análise, observa-se que as águas são muito duras, com valores muito acima dos 180 mgCaCO₃/L, valor a partir do qual se considera uma água muito dura (Figura 26). Estas concentrações devem-se à circulação da água por um conjunto de sequências deposicionais que alternam entre unidades marinhas, salobras e continentais e que apresentam litologias calcárias, arenosas e argilosas, por vezes com intercalações calcárias (cf. Secção 2). De acordo com a informação que obtivemos, esta foi a principal razão subjacente à não utilização direta destas águas nos modelos físicos na medida em que interferia com as leituras óticas ali realizadas. De facto, através do cálculo dos índices de saturação de todas as amostras, observa-se uma sobressaturação em relação à calcite, o que confirma a tendência para a precipitação daquele mineral.

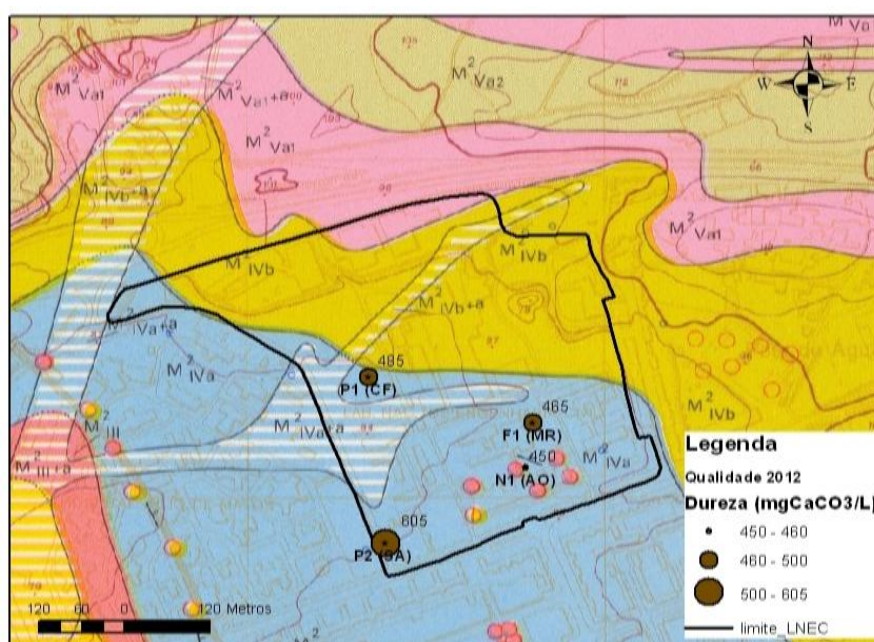


Figura 26 – Dureza total das águas subterrâneas do *campus* do LNEC

Também o furo F3(INATEL) foi construído com o intuito de regar o relvado do campo de futebol. Contudo, devido à dureza da sua água (possivelmente ainda mais elevada que a do LNEC), deixou de ser utilizado (informação transmitida pelo técnico responsável), facto pelo qual foi desativado.

Por outro lado observa-se a presença de concentrações em nitratos acima dos 25 mgNO₃/L (VMR para a qualidade das águas destinadas à produção de água para consumo humano, DL236/98, de 1 de agosto), embora abaixo do VMA, no ponto N1(AO) (Figura 27) cuja origem poderá estar relacionada com fugas da rede de águas residuais que, por sua vez, contribui para degradar a qualidade das águas do F1(MR) para onde drena.

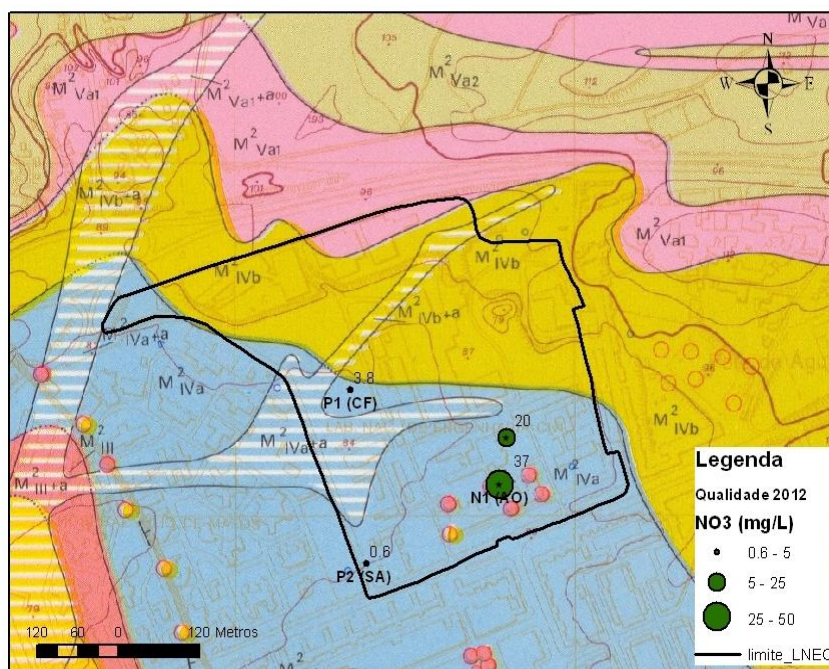


Figura 27 – Concentração em nitratos nas águas subterrâneas do campus do LNEC

Por fim analisou-se a qualidade da água na perspetiva da sua adequação para a rega, atendendo à habitual análise do risco de alcalização e salinização dos solos. Os resultados obtidos mostram algum risco de salinização do solo a longo prazo devido aos valores de condutividade elétrica (Figura 28), mas tal não deverá constituir matéria de preocupação face ao uso atual.

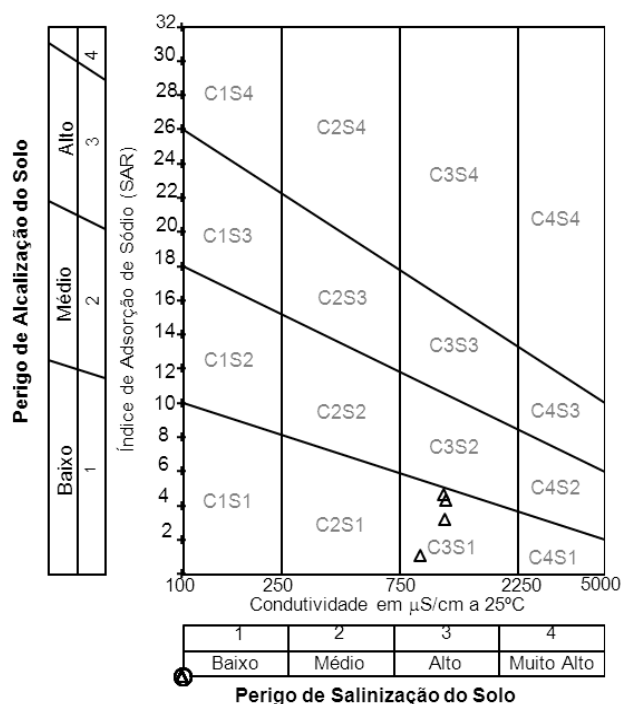


Figura 28 – Risco de alcalinização e salinização do solo

apresentam características naturais típicas deste tipo de águas subterrâneas, apenas com o íão nitrato com concentrações que espelham interferência de ações antropogénicas nos pontos N1(AO) e F1(MR), cuja origem seria desejável controlar. Não obstante, a dureza elevada deste tipo de águas constitui uma limitação ao seu uso direto nos modelos físicos do Pavilhão da Hidráulica Marítima atendendo à possível deposição de sais nas sondas resistivas, elétrodos e outros instrumentos de medição habitualmente utilizados. Atendendo a que os níveis de dureza da água da EPAL se situam entre 40 mg CaCO₃/L e 170 mg CaCO₃/L de carbonato de cálcio, sendo o valor médio 80 mg/L (<http://www.epal.pt/epal/Faqs.aspx?menu=483&sub=323&area=288&s=12214&t=12204>) e que as águas subterrâneas na área do LNEC apresentam um valor médio de 466 mgCaCO₃/L (cf. Quadro 10), para obter uma água com uma concentração média aceitável (entre 120 – 180 mg CaCO₃/L) será necessário fazer uma mistura com água da EPAL numa proporção de 1:3 até 1:7.

6. RECARGA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

6.1 Considerações gerais

Para a determinação da recarga para a área em estudo utilizou-se o modelo numérico de balanço hídrico sequencial diário BALSEQ_MOD (BALanço SEQuencial – MODelos) – Oliveira (2004, 2006). A descrição da metodologia, das séries climáticas e dos parâmetros de corrida do modelo encontra-se no Anexo 9. A área de estudo foi definida atendendo à estrutura geológica em monoclinal inclinado para leste e a critérios topográficos, formando a área de drenagem do *campus* do LNEC, ou seja, a área de terreno onde a infiltração da água da precipitação pode contribuir com escoamento subterrâneo para água captável no *campus* do LNEC.

A série de precipitação diária utilizada foi a do Cacém. A evapotranspiração de referência foi estimada com base nos dados climáticos registados na estação climatológica de Lisboa-Geofísico.

A caracterização dos parâmetros do solo foi feita com base no mapa de solos. Não estando disponível informação cartográfica detalhada dos solos da área de estudo fez-se a caracterização dos solos com base na descrição geológica das camadas, tendo-se selecionado um tipo de solo cujas características pedológicas (usando a classificação SROA 1970, 1973) serão semelhantes à constituição da rocha em determinado ponto. A associação geologia / solos apresenta-se no Quadro 11. A sua distribuição espacial está representada na Figura 29.

Quadro 11 – Associação geologia/solo

Designação	Geologia	Solo	Descrição de acordo com a classificação SROA (1970, 1973)
M1II+a	Aluvião	A	Solos Incipientes, Aluviosolos Modernos Não Calcários de Textura Mediana
M1II	Areolas da Estefânia	Pcs	Solos Calcários, Pardos de Climas Sub-Húmidos e Semiáridos, Normais de Margas
M1I	Camadas dos Prazeres	Pcs	Solos Calcários, Pardos de Climas Sub-Húmidos e Semiáridos, Normais de Margas
M1I+a	Aluvião	A	Solos Incipientes, Aluviosolos Modernos Não Calcários de Textura Mediana
M2III	Calcários de Entrecampos	Pcs	Solos Calcários, Pardos de Climas Sub-Húmidos e Semiáridos, Normais de Margas
M2Va2	Areias com Placuna miocénica	Rc	Solos Calcários, Pardos de Climas Sub-Húmidos e Semiáridos, Normais de Materiais arenáceos calcários pouco consolidados
M2Va2+a	Aluvião	A	Solos Incipientes, Aluviosolos Modernos Não Calcários de Textura Mediana
M2Va1+a	Aluvião	A	Solos Incipientes, Aluviosolos Modernos Não Calcários de Textura Mediana
M2Va3	Calcários da Musgueira	Pcs	Solos Calcários, Pardos de Climas Sub-Húmidos e Semiáridos, Normais de Margas
M2Va1	Calcários do Casal Vistoso	Pc	Solos Calcários, Pardos de Climas Sub-Húmidos e Semiáridos, Normais de Calcários não Compactos
M2IVb	Areias da Quinta do Bacalhau	Rc	Solos Calcários, Pardos de Climas Sub-Húmidos e Semiáridos, Normais de Materiais arenáceos calcários pouco consolidados
M2IVb+a	Aluvião	A	Solos Incipientes, Aluviosolos Modernos Não Calcários de Textura Mediana
M2IVa+a	Aluvião	A	Solos Incipientes, Aluviosolos Modernos Não Calcários de Textura Mediana
M2IVa	Argilas do Forno do Tijolo	Pca	Solos Calcários, Pardos de Climas Sub-Húmidos e Semiáridos, Para-Barros de formações argiláceas associadas a depósitos calcários
M2III+a	Aluvião	A	Solos Incipientes, Aluviosolos Modernos Não Calcários de Textura Mediana

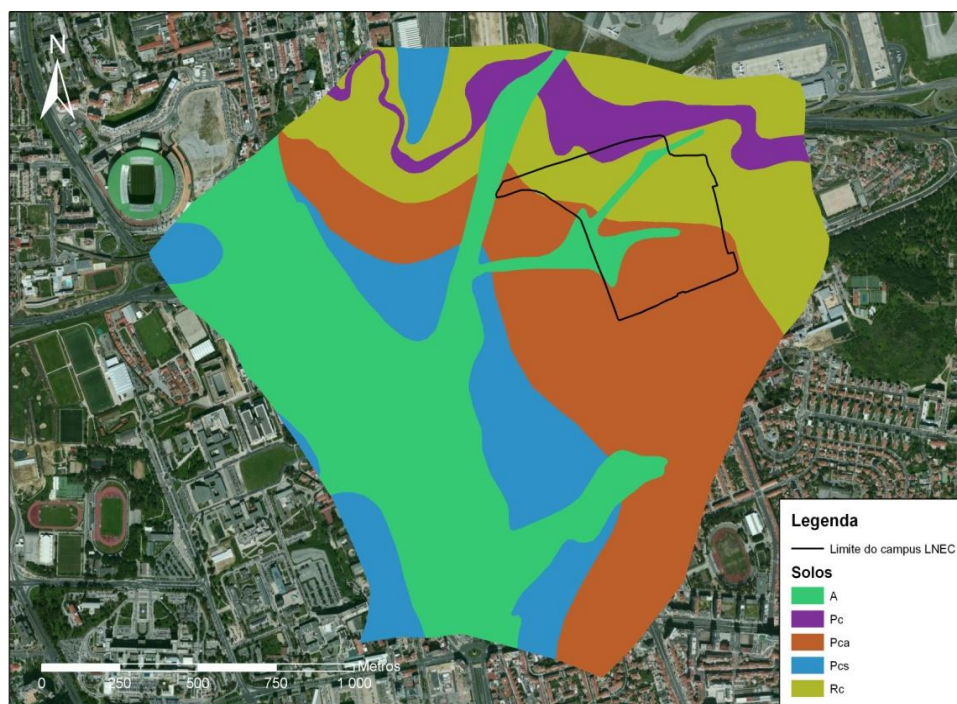


Figura 29 – Distribuição espacial dos tipos de solos definidos em função das litologias aflorantes

A caracterização dos parâmetros dependentes da ocupação do solo requereu em

primeiro lugar a caracterização da ocupação do solo. Esta foi determinada através da observação detalhada e zonamento através de fotografia aérea da região de Lisboa, de acordo com a Figura 30.

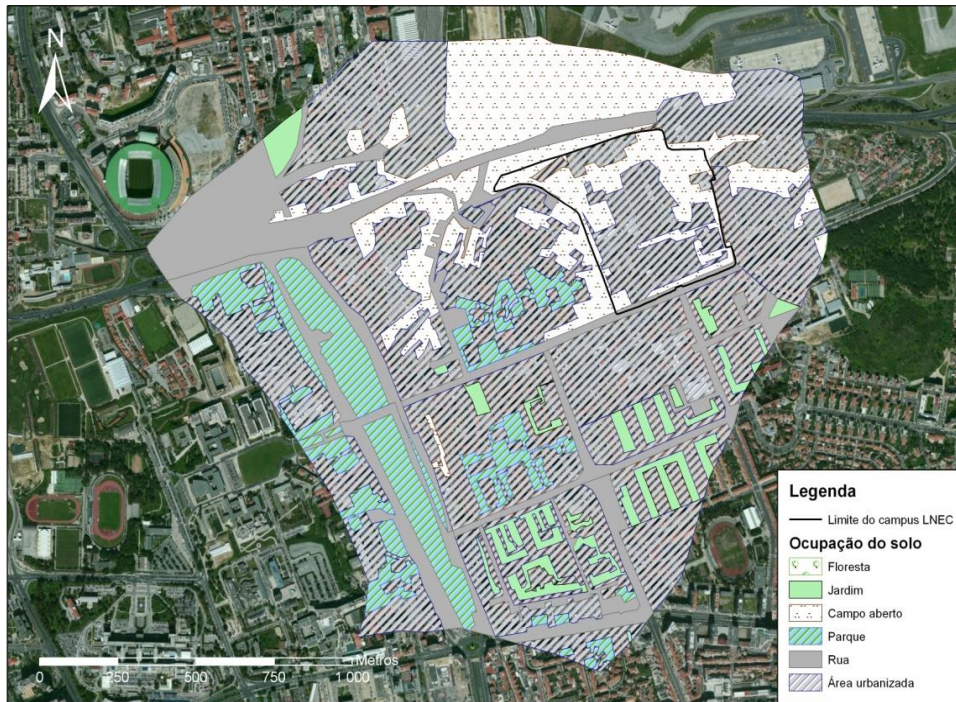


Figura 30 – Ocupação do solo

6.2 Recarga natural

A corrida do modelo para a área de drenagem do *campus* do LNEC permitiu obter os valores médios anuais de recarga pela precipitação calculados a partir das séries de 30 anos utilizadas (1981 – 2011) – Figura 31.

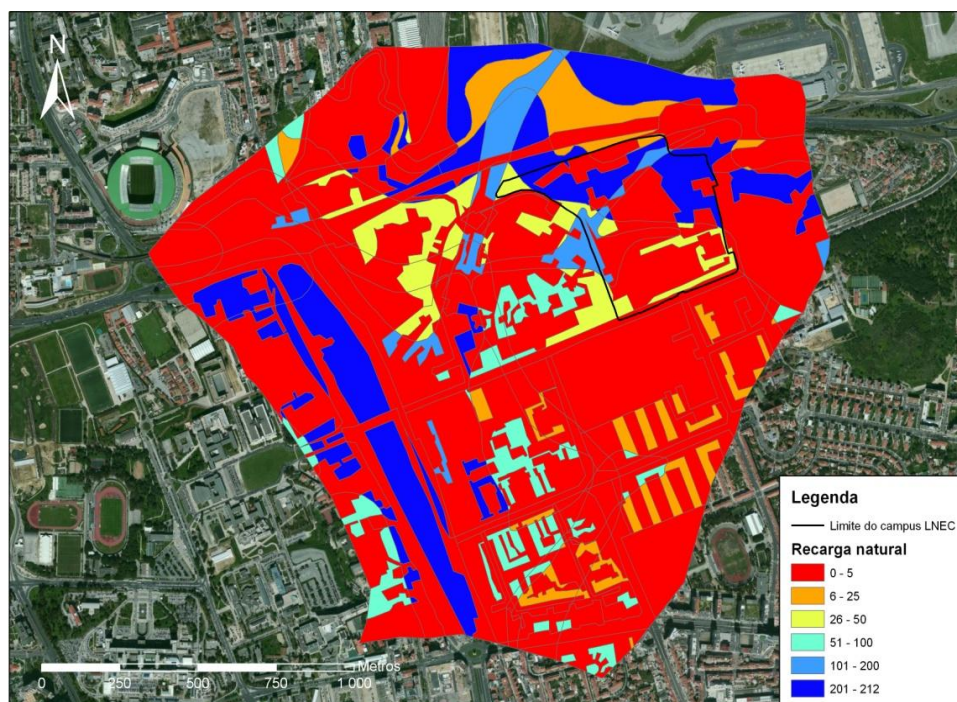


Figura 31 – Distribuição espacial da recarga natural anual média na área de estudo (1981-2011)

O valor médio anual para a série definida é de 42,5 mm/ano (ou 0,12 hm³/ano), correspondendo a um valor médio de 5,58% da precipitação ocorrida nesse período.

O Quadro 12 apresenta os diferentes componentes do balanço por associação de solo/ocupação do solo.

O Quadro 13 apresenta os valores de recarga por associação solo/ocupação do solo para o ano hidrológico de 2010/2011.

Quadro 12 – Valores de saída do modelo de balanço hídrico sequencial diário (1981-2011)

Ocupação	Solo	Precipitação (mm/ano)	Evapotranspiração real (mm/ano)	Escoamento direto (mm/ano)	Recarga (mm/ano)
Área Urbana	A	763	3	757	3
	Pc		3	760	1
	Pca		3	760	1
	Pcs		3	759	1
	Rc		3	757	3
Rua	A		62	701	1
	Pc		37	726	0
	Pca		35	728	0
	Pcs		47	716	0
	Rc		60	701	3
Campo Aberto	A		346	243	175
	Pc		278	463	22
	Pca		242	477	43
	Pcs		337	385	41
	Rc		308	243	212
Parque	A		288	274	200
	Pca		212	496	55
	Pcs		281	413	69
Jardim	A		158	547	58
	Pca		103	643	17
	Pcs	135	605	24	
	Rc	148	547	69	
Floresta	Rc	479	148	137	

Quadro 13 – Valores de saída do modelo de balanço hídrico sequencial diário (ano hidrológico 2010/2011)

Ocupação	Solo	Precipitação (mm/ano)	Evapotranspiração real (mm/ano)	Escoamento direto (mm/ano)	Recarga (mm/ano)
Área Urbana	A	514	3	510	2
	Pc		3	512	0
	Pca		2	512	0
	Pcs		3	511	1
	Rc		3	510	2
Rua	A		45	470	0
	Pc		29	485	0
	Pca		28	487	0
	Pcs		36	479	0
	Rc		45	470	0
Campo Aberto	A		287	141	86
	Pc		237	275	3
	Pca		224	288	4
	Pcs		289	219	6
	Rc		249	142	124
Parque	A		232	165	119
	Pca		188	303	24
	Pcs		243	241	30
Jardim	A		118	360	36
	Pca		86	420	9
	Pcs	108	393	14	
	Rc	114	360	40	
Floresta	Rc	422	72	20	

Os valores mais baixos de recarga estão associados às áreas impermeáveis como as

áreas edificadas, ruas e estradas (no último caso a recarga registada nestes pontos é nula). Os valores mais elevados estão associados a áreas de campo aberto sem ocupação impermeabilizante. O tipo de solo que apresenta valores mais elevados de recarga é neste caso o Rc (Solos Calcários, Pardos de Climas Sub-Húmidos e Semiáridos, Normais de Materiais arenáceos calcários pouco consolidados).

Por se tratar de uma área de cidade, altamente impermeabilizada, têm-se baixos valores de recarga pela precipitação e em contraste valores elevados de escoamento direto. Esta componente do balanço hídrico não é considerada atendendo ao facto de nestas áreas impermeabilizadas a água de escorrência ser mobilizada para fora da área em análise pelos sistemas de drenagem.

6.3 Recarga por perdas de água na rede de abastecimento público

Em áreas muito urbanizadas e em que os sistemas de abastecimento de águas possuem várias décadas de funcionamento há uma componente adicional para o balanço hídrico subterrâneo, de entrada de água para o sistema aquífero, que é a recarga por perdas na rede. O volume correspondente a esta componente depende não só das condições e da idade da rede, como também do número de habitantes que esta serve, entre outros fatores.

No âmbito da análise da recarga na área de estudo, em que o *campus* do LNEC se engloba, procurou-se, através da consulta de bases de dados atuais, quantificar qual o volume aproximado de perdas na rede.

A área de estudo subdivide-se entre cinco freguesias, ocupando as freguesias do Campo Grande e de São João de Brito a maior percentagem de área. Na base de dados INSAAR (<http://insaar.inag.pt>) extraiu-se a informação relativa ao consumo doméstico por habitante. Os dados associados a cada uma das freguesias podem ser observados no Quadro 14.

Quadro 14 – Análise de consumos e perdas na rede por freguesia

Freguesia	N.º de habitantes	Habitantes na área de estudo	Área (km ²)	Consumo (L/d)	Perdas (L/d)	Recarga (mm/ano)	Recarga (hm ³ /ano)
Alvalade	8869	535	0,035	83936	13262	138	0,005
Campo Grande	10514	4650	1,079	729633	115282	39	0,041
Lumiar	41162	2913	0,444	457026	72210	59	0,026
Santa Maria dos Olivais	51036	773	0,161	121207	19151	43	0,007
São João de Brito	11702	5560	1,083	872380	137836	46	0,049
Total	123283	14431	2,803	2264182	357741	47	0,128

Foram calculados os consumos médios e as conseqüentes perdas na rede em função do número total de habitantes de cada freguesia e da respetiva área dentro da área de estudo. Segundo dados INSAAR são consumidos diariamente cerca de 156,9 litros por habitante. Se se considerar um total de 14431 habitantes dentro da área de estudo tem-se um consumo de cerca de 2,264 m³/d; assumindo as perdas totais de 15,8% deste valor (cf. INSAAR), a recarga diária por perdas da rede de abastecimento corresponde a 357714 l/d (= 46,6 mm/ano).

6.4 Recarga total

Os valores de recarga por perda de água na rede de abastecimento público foram adicionados (por freguesia) aos valores calculados no modelo de balanço hídrico sequencial diário. Na Figura 32 apresenta-se o mapa da distribuição espacial da recarga total calculada para a área de estudo.

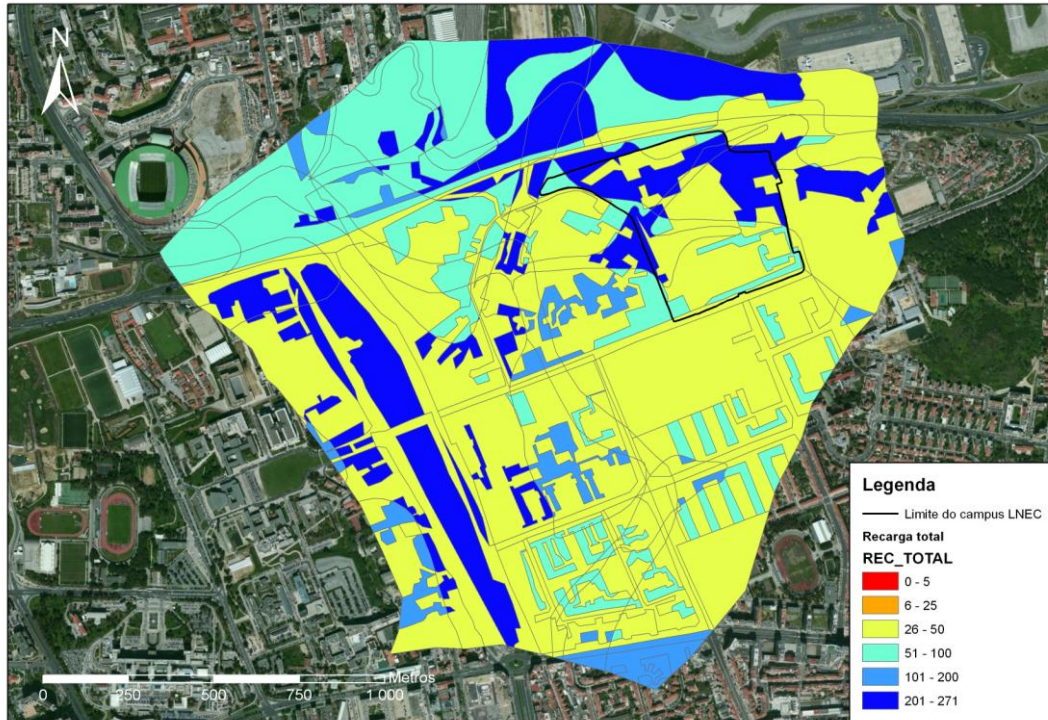


Figura 32 – Distribuição espacial da recarga total (natural média do período 1981-2011 + perdas na rede)

Os valores médios de recarga total por freguesia encontram-se sintetizados no Quadro 15. Como se pode verificar, a componente da recarga por perdas na rede de abastecimento apresenta um valor, em termos globais, um pouco superior à recarga natural do sistema hídrico subterrâneo. O valor médio de recarga para a série considerada (1981 a 2011) na área de estudo é, assim, de 89 mm/ano ($=0,250 \text{ hm}^3/\text{ano} = 685 \text{ m}^3/\text{d}$).

Quadro 15 – Valores totais para a área de estudo

Freguesia	Unidades	Resultados do BALSEQ (período 1981-2011)				Recarga por perdas na rede	Recarga total
		Precipitação	Evapotranspiração real	Escoamento direto	Recarga natural		
Alvalade	mm/ano	763	48	705	10	138	148
	hm ³ /ano	0,027	0,002	0,025	0,000	0,005	0,005
Campo Grande	mm/ano	763	101	616	46	39	85
	hm ³ /ano	0,824	0,109	0,665	0,049	0,042	0,091
Lumiar	mm/ano	763	110	608	45	59	105
	hm ³ /ano	0,338	0,049	0,269	0,020	0,026	0,046
Santa Maria dos Olivais	mm/ano	763	203	468	92	43	135
	hm ³ /ano	0,123	0,033	0,075	0,015	0,007	0,022
São João de Brito	mm/ano	763	75	656	32	46	78
	hm ³ /ano	0,827	0,081	0,711	0,034	0,050	0,085
Total	mm/ano	763	98	623	43	47	89
	hm ³ /ano	2,138	0,274	1,746	0,119	0,131	0,250

7. CONSUMOS E NECESSIDADES DE ÁGUA NO LNEC

7.1 Consumo de água da EPAL

No âmbito da iniciativa DHA Solidário, proposta “Indicadores ambientais” cujo responsável é o Eng.º Luís Portela, Chefe do Núcleo de Estuários e Zonas Costeiras, o cálculo do consumo de água da EPAL *per capita* e por ano permitiu concluir que o valor médio do consumo no LNEC é de 112,87 m³ *per capita*/ano e que mais especificamente para o DHA esse consumo é de 703,42 m³ *per capita*/ano (Figura 33). Ambos os indicadores têm vindo a subir desde 2009, embora de forma bem mais expressiva para o LNEC/DHA.

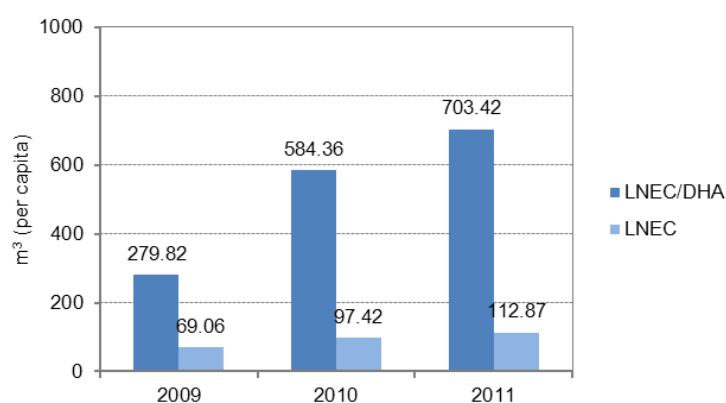


Figura 33 – Consumo de água da EPAL *per capita* e por ano. Fonte: CIC do LNEC

Os dados apresentados foram obtidos com base nos valores disponibilizados pelo CIC. Os dados relativos ao LNEC/DHA reportam-se às medições efetuadas no contador do ramal poente (existem quatro no LNEC) que alimenta o DHA e os pavilhões anexos, mas também o infantário, o bar e outros edifícios. Os dados permitem verificar que os consumos de água neste ramal apresentam valores muito elevados e com grande peso no consumo total do LNEC.

Neste contexto esta situação vem merecendo a atenção da Chefia do Departamento de Hidráulica e do Conselho Diretivo tendo havido em 2011 uma monitorização efetuada pela EPAL que permitiu identificar uma fuga de água da ordem de 4 m³/h no ramal poente. Citando a informação disponibilizada pela Eng.^a Joana Fortes com base nos gráficos de monitorização por telemetria da EPAL, do ramal poente, entre 8-ago-2011 e 10-nov-2011:

- Verifica-se um consumo mínimo constante de aproximadamente 4 m³/h no ramal poente, que indicia uma fuga na rede desta ordem de grandeza.
- Os consumos para abastecimento dos modelos parecem corresponder a picos com durações típicas de 2-3 horas e valores máximos da ordem de 60 m³/h. Os gráficos permitem admitir um consumo médio pelos modelos também da ordem de 4 m³/h (12 m³/d se se considerarem 3 horas de funcionamento diário).
- Os consumos para abastecimento aos modelos do Pavilhão da Hidráulica Marítima são muito superiores ao que seria normal, devido à existência de fugas nos tanques e nos reservatórios.

7.2 Consumo de águas subterrâneas

Em relação ao consumo de águas subterrâneas, o principal volume extraído tem por objetivo regar as áreas ajardinadas localizadas entre os diversos edifícios do *campus*. Para além do consumo de água na rega, o LNEC recorreu no passado ao uso de águas subterrâneas para o fornecimento de água aos modelos físicos de obras e estruturas hidráulicas do DHA. Esta ideia foi abandonada com base na convicção de que a água dos poços do LNEC seria muito calcária, podendo causar danos aos equipamentos, e que teria ocorrido uma descida do nível freático nos últimos 20 anos.

A análise dos consumos de águas subterrâneas para a rega foi efetuada através da compilação da informação disponibilizada pelo Sr. Daniel Silva, Assistente Técnico do CIC/CSE (Quadro 16). Com base na informação disponibilizada conclui-se que o volume de água extraído dos poços para a rega de algumas áreas ajardinadas é de cerca de 50 m³/d. A medição dos volumes foi efetuada à saída de gotejadores, entre os meses de junho e julho de 2012.

Quadro 16 – Consumos de água (litros) para a rega de áreas ajardinadas no *campus* do LNEC

PROGRAMADOR	LOCAL	AGUA DOS POÇOS	AGUA DA EPAL
1	EDIFÍCIO PRINCIPAL	7812	
2	ESTRUTURAS	472,5	
3	D.M.PLÁSTICOS		768
4	D.M.C		306
5	EDIFÍCIO GULBENKIAN- SUL	7020	
6	EDIFÍCIO GULBENKIAN- NORTE	6120	
7	GEOTÉCNIA	1440	405
8	MECÂNICA DE ROCHAS	4477,5	
9	D.S.L.M / F.C.C.N	4100	540
10	JARDIM INTERIOR CONGRESSOS	405	
11	HEDRAULICA MARÍTIMA	4030	539
12	BIBLIOTÉCA	80	
13	D.T	1980	
14	HEDRAULICA SANITÁRIA	2434	
15	ENSAIO DE VENTO		1440
16	INFANTÁRIO		1020
17	CENTRO DE CONVÍVIO - BOLÇEIROS	810	
18	EDIFÍCIO DE COMPONENTES	1745,5	
19	EDIFÍCIO SISMOS / BAR PRINCIPAL	1095	1490
20	C.IC /D.I.I	3564	
21	PAVILÃO CUAMA/SALA GRID	2437,5	
	TOTAL	50.023	6.508
	TOTAL DE AGUA GASTA	56.531	
	TEMPO GASTO	1.568	MINUTOS
	MISTA- POÇOS E EPAL		
	TOTAL- POÇOS		
	TOTAL - EPAL		

Fonte: Técnico Assistente Daniel Silva do CIC/CSE/LNEC

7.3 Necessidades de água para os modelos físicos e para a rega

As necessidades médias de água para os modelos do Pavilhão da Hidráulica Marítima são aproximadamente 4 m³/h, conforme atrás referido.

Relativamente aos volumes de água que seriam necessários para a rega de áreas ajardinadas efetuou-se a estimativa tendo em atenção a ocupação das áreas verdes do LNEC, de forma a permitir confrontar se os volumes necessários correspondiam aos consumos, *i.e.* se a rega estaria a ser efetuada por excesso ou por defeito.

De acordo com diversas referências bibliográficas, o volume anual de água a fornecer a jardins, sem contabilizar perdas, deverá situar-se entre 2700 e 4500 m³/ha. Tendo o LNEC aproximadamente 3 ha de área regada, o volume anual médio de água necessário seria entre 8100 e 13 500 m³ (22,2 e 37,0 m³/d). De facto, atendendo ao volume de água utilizado para rega, efetivamente medido em junho e julho de 2012 (*i.e.* 50 m³/d), e pressupondo que este volume será utilizado durante 4 meses de primavera/verão (aproximadamente 120 dias) e 25m³/d nos restantes, então ter-se-á um consumo anual de cerca de 12 000 m³/ano (ou 32,8 m³/d), que se enquadra nos valores ótimos. Corresponde, por isso, às reais necessidades de água para rega.

8. MODELO NUMÉRICO DO ESCOAMENTO SUBTERRÂNEO

8.1 Modelo conceptual do escoamento subterrâneo

A determinação da direção e do sentido do fluxo subterrâneo apresenta algumas dificuldades atendendo ao número reduzido de pontos de medição de níveis freáticos, a existir no LNEC uma tubagem que permite a transferência de água do P1(CF) para o F1(MR) (segundo informação transmitida pelo Sr. Daniel da Silva, do CIC) e, ainda, pelo facto da área se encontrar inserida numa zona fortemente intervencionada pelo Homem, nomeadamente com construções escavadas, perdas de água da rede, etc. Estes dois últimos aspetos podem contribuir para modificar artificialmente o nível piezométrico, induzindo a erros nas interpolações de valores entre pontos.

O modelo conceptual do escoamento tem por base a conceptualização das principais formações hidrogeológicas presentes. O Anexo 6 apresenta a síntese da informação dos *logs* das sondagens disponibilizada para este estudo em Pinto (2009) e em Coelho (2011). A informação coligida foi introduzida no programa *Hydro GeoAnalyst* para a realização dos perfis litológicos (localizados na Figura 34) e representados na Figura 35. As litologias foram agrupadas nas seguintes unidades:

- 1 – Depósitos de cobertura:
- 2 – Areias da Quinta do Bacalhau (M²IVb):
- 3 - Argilas do Forno do Tijolo (M²IVa):

A unidade superficial de cobertura inclui os aterros com espessuras a variar desde 1,5 a N do PHM até aos 2,7 m no edifício Ferry Borges. Os depósitos aluvionares com 1,5 m de espessura ocorrem apenas na sondagem S1 a N do Pavilhão de Hidráulica Marítima (PHM).

As Areias da Quinta do Bacalhau são constituídas por areia média a grosseira medianamente compacta a muito compacta com níveis silto-argilosos dos 3 aos 10 m e por areia média a grosseira siltosa, com seixo sub-rolado dos 10 aos 17 m (corresponde ao topo das argilas do forno do Tijolo) onde se localiza o nível aquífero mais superficial registado a N do PHM (15,5 a 16,5 m de profundidade (Anexo 6)).

As Argilas do Forno do Tijolo são constituídas por uma unidade de silte arenoso rijo esverdeado dos 17 aos 21 m e por uma segunda unidade constituída por silte argiloso por vezes com areia fina e concreções bicarbonatadas dispersas dos 21 aos 41 m e apresentando passagens calcareníticas fossilíferas (cascões) dos 39 aos 41m. É nesta formação que ocorrem os vários níveis freáticos. Na zona do edifício Ferry Borges, sendo estas unidades sub-aflorantes, o nível de água ocorre muito à superfície (aos 3,5 m de profundidade); a norte do PHM, dada a profundidade a que tais unidades se localizam, os níveis de água são muito mais profundos (16,55 m, 22,68 e 31,97 m de profundidade, na sondagem S3; cf. Anexo 1). Na zona a norte do PHM, está representada por siltes arenosos rijos, esverdeados, entre os 17 e os 20,5 m de profundidade, que fazem o contacto com as Areias da Quinta do Bacalhau. É no topo desta unidade (e base das Areias da Quinta do Bacalhau) que ocorre o primeiro nível freático, entre os 15,5 m e os 16,8 m de profundidade no piezómetro PZ3 (nível de ralos dos

16,55 a 17,05 m; Coelho, (2011)), e aos 18,5 m no poço P1(CF); cf. Anexo 2.

Trata-se assim de um sistema multi-aquífero de interesse local constituído por camadas aquíferas [níveis mais arenosos, níveis de siltes com concreções bicarbonatadas e com passagens calcareníticas fossilíferas (“cascões”)] separadas por outras de permeabilidade baixa a muito baixa (representadas pelos níveis silto-argilosos e argilosos). As variações laterais e verticais nas fácies litológicas são responsáveis pelas mudanças das condições hidrogeológicas.

Assim, face aos dados de que se dispõe, o modelo conceptual à escala local considera:

- uma primeira unidade que engloba os aterros e os depósitos aluvionares;
- uma segunda unidade constituída pelas Areias da Quinta do Bacalhau (areia média a grosseira com níveis silto-argilosos e areia média a grosseira com seixo) e
- uma terceira unidade constituída pelas Argilas do Forno do Tijolo subdividida nos seguintes grupos litológicos:
 - siltes arenosos;
 - siltes argilosos com concreções bicarbonatadas e
 - siltes argilosos com concreções bicarbonatadas dispersas com passagens calcareníticas fossilíferas (cascões) na base.

Esta última unidade assenta, quer sobre as argilas quer sobre a formação subjacente (Calcários de Entre-Campos).

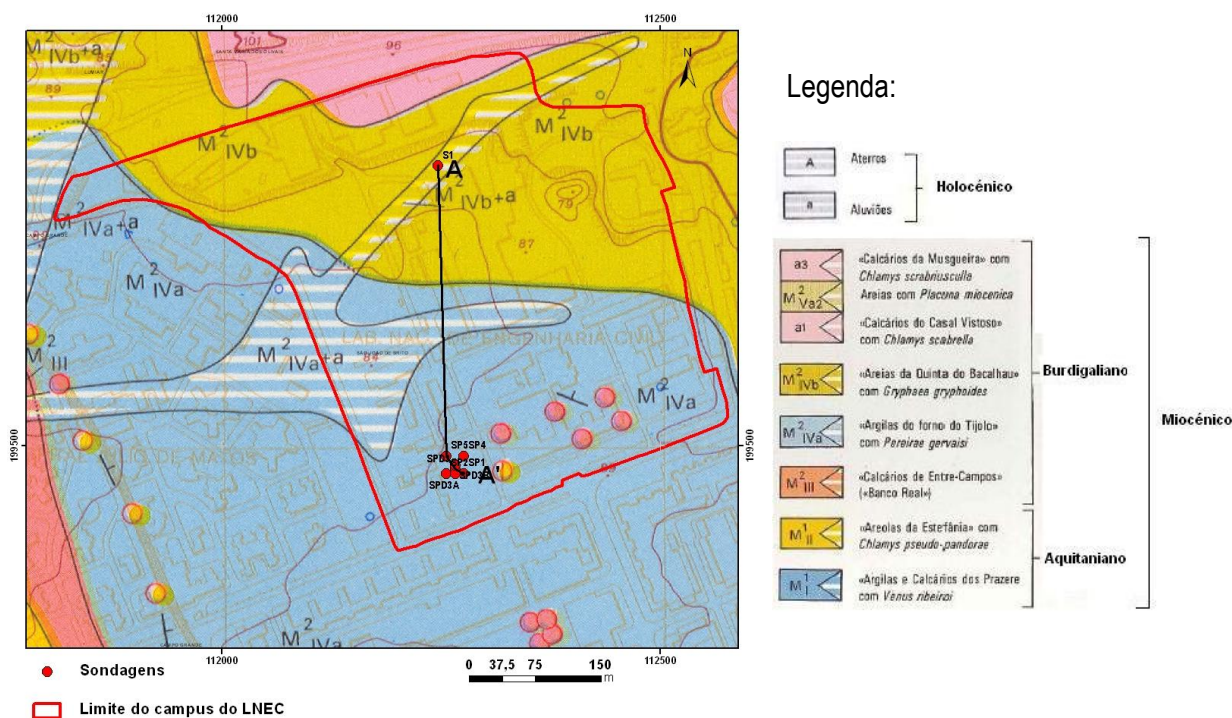


Figura 34 – Localização do perfil litológico (A-A')

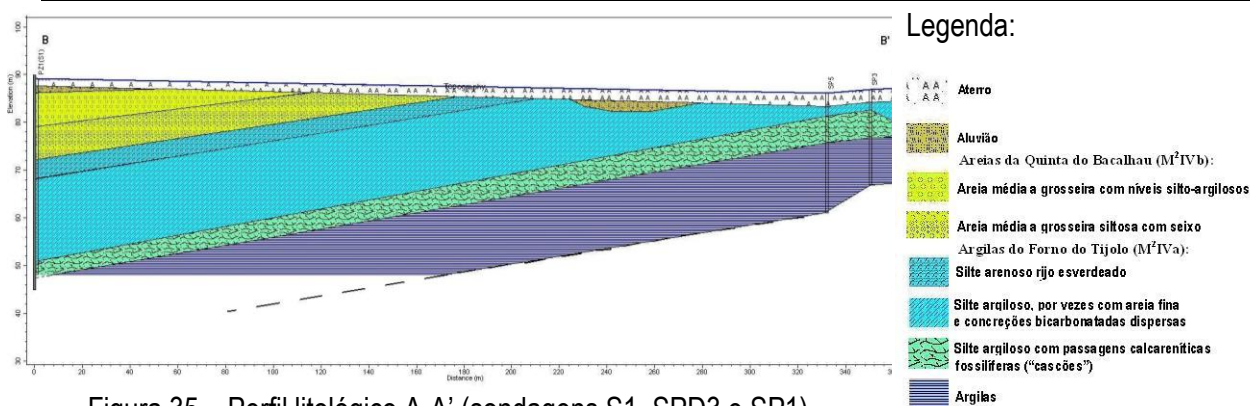


Figura 35 – Perfil litológico A-A' (sondagens S1, SPD3 e SP1)

8.2 Critérios para a delimitação da área a modelar

As fronteiras da área a modelar, representada na Figura 36, foram definidas atendendo aos dados de piezometria disponíveis, às características geomorfológicas e geológicas e ao modelo conceptual da área de estudo. Delimitou-se assim, uma área à escala local que engloba o *campus* do LNEC, de acordo com os critérios seguintes: (1) a norte mantém-se o limite da área de estudo visto corresponder a uma zona mais elevada de onde advém o fluxo subterrâneo; (2) o limite sul corresponde a uma zona deprimida atravessada por uma linha de água; (3) o limite NW correspondente também a uma zona de relevo superior definido com base na topografia; e (4) o limite SW corresponde ao limite geológico entre as Argilas do Forno do Tijolo e os Calcários de Entre-Campos.

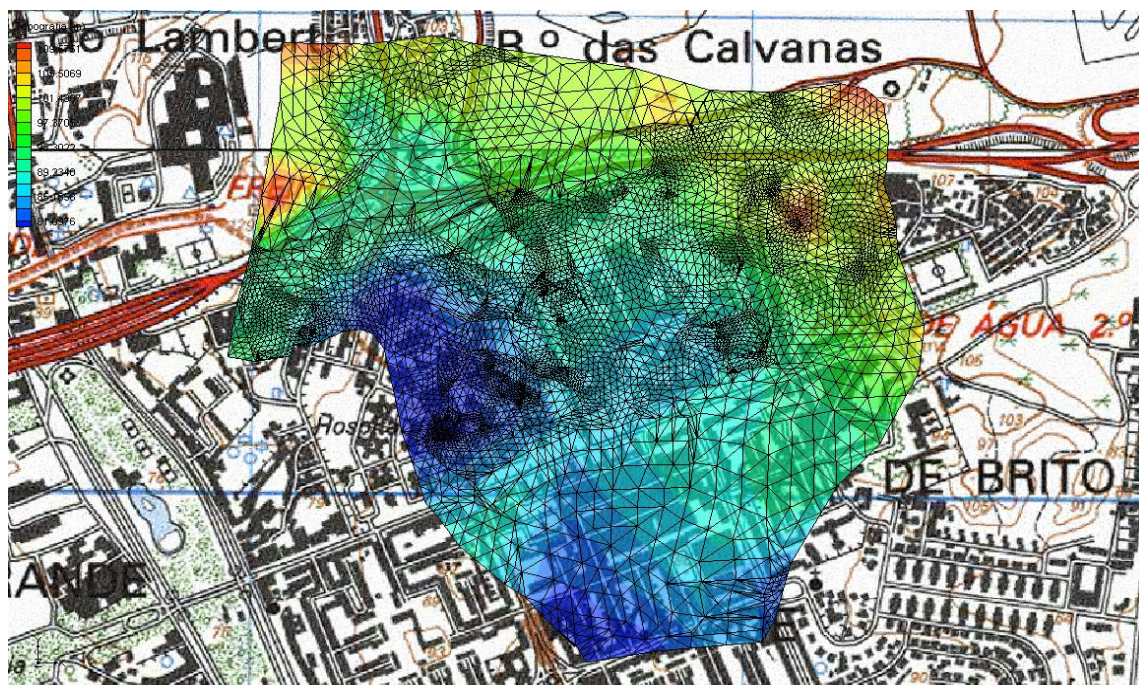


Figura 36 – Localização da subárea do modelo e representação da topografia definida através do modelo digital de terreno

8.3 Modelo geométrico tridimensional

A partir da informação de *logs* de sondagens localizados na área de estudo foram criados perfis que permitiram definir o número de camadas em profundidade e a sua localização espacial para a construção da estrutura tridimensional da malha. O conjunto de sondagens foi importado para o programa *Groundwater Modelling System – Aquaveo, 7.1*, com o objetivo de estabelecer um modelo geométrico tridimensional, tendo-se agrupado o conjunto de tipos litológicos identificados nas sondagens de acordo com modelo conceptual. Para tal foram criados sólidos correspondentes a cada uma das unidades litológicas definidas (Figura 37).

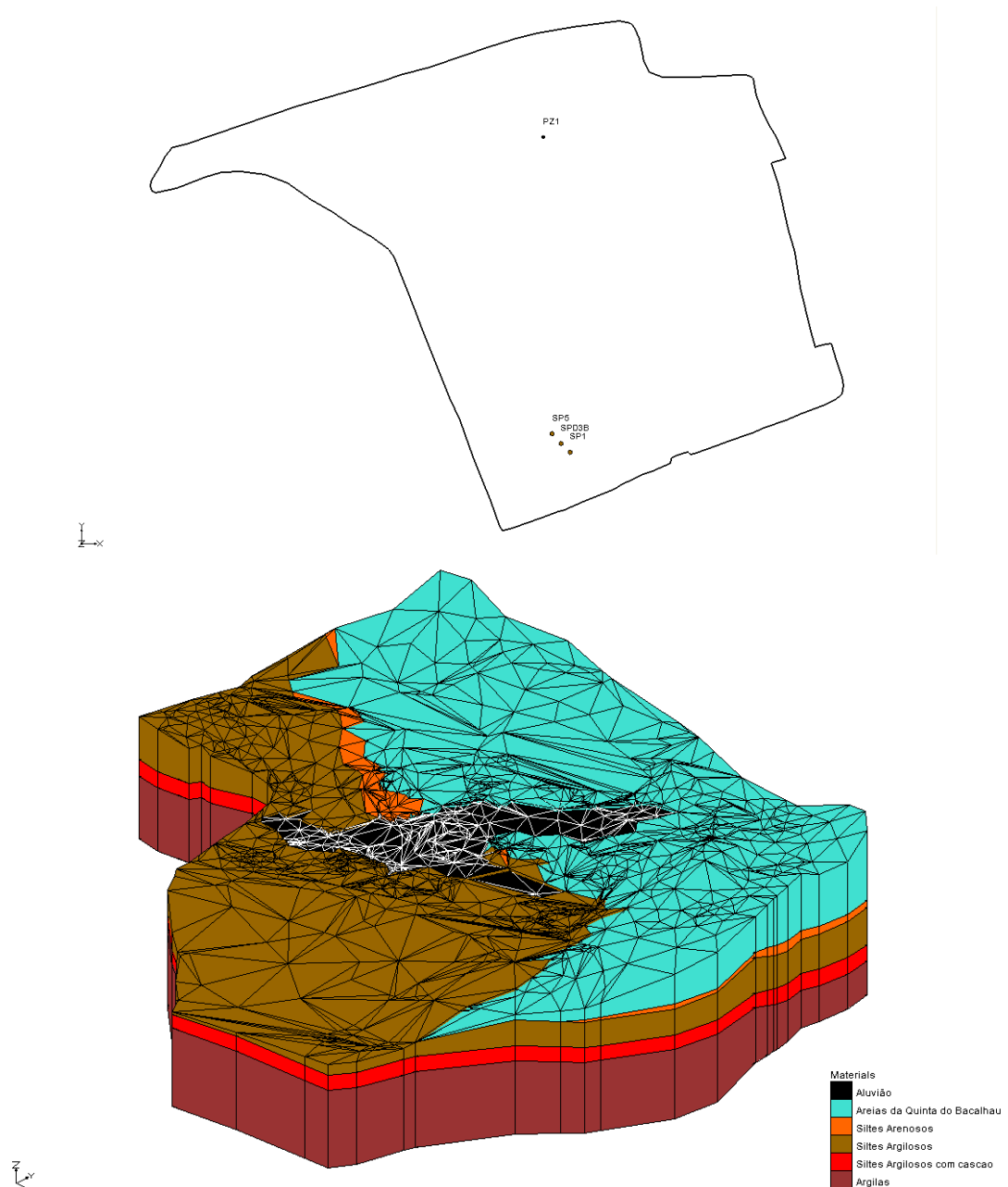


Figura 37 – Logs litológicos e estrutura geológica resultante dos respetivos logs (sobreelevação 5x)

A área do modelo foi discretizada numa malha composta por 50 linhas e 75 colunas, com

células de aproximadamente 10 m de lado. A malha é ainda composta por 6 camadas (*layers*) fazendo-se corresponder a cada uma das camadas apresentadas na Figura 37. O topo da malha foi determinado a partir do MDT da região e a base corresponde a um valor fixo de 40 metros - Figura 38.

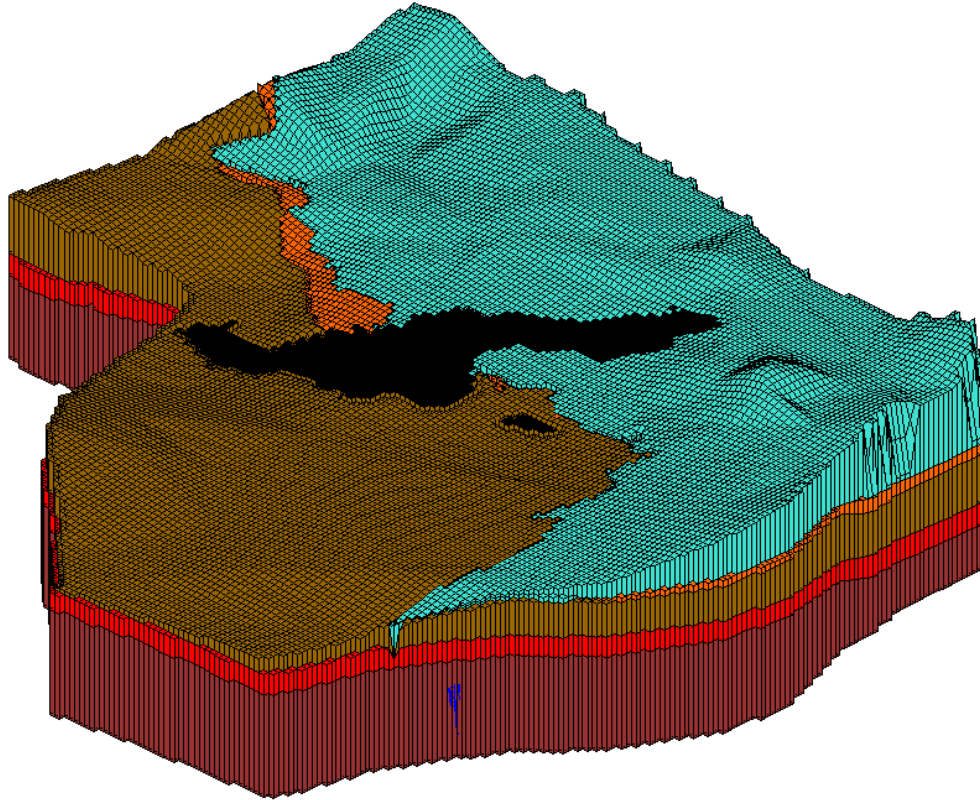


Figura 38 – Representação da malha da área a modelar e das camadas que a compõem

A cada um dos sólidos-camada que compõe a malha foi atribuído um valor de condutividade hidráulica de acordo com o modelo conceptual. Os valores considerados inicialmente para a condutividade hidráulica foram calculados em laboratório por Pinto (1991) para a formação **M²IVa** - Argilas do Forno do Tijolo (siltes arenosos, siltes argilosos e siltes com “cascões”, considerando-se uma anisotropia vertical igual a 1. Os valores da condutividade hidráulica atribuídos aos depósitos aluvionares e à formação **M²IVb** - Areias da Quinta do Bacalhau foram estimados por aplicação da fórmula de *Hazen* baseada na curva de distribuição granulométrica. Estes últimos dados foram disponibilizados em Coelho (2011). No processo de calibração do modelo, estes valores medidos em laboratório sofreram alterações decorrentes do facto da permeabilidade de campo ser o resultado da integração das características do conjunto das diferentes formações hidrogeológicas existentes, incorporando uma vasta área.

8.4 Dados de entrada e condições de fronteira

Para assegurar um fluxo de água contínuo no modelo definiu-se uma fronteira do tipo

General Head Boundary para todo o limite da área a modelar, com um valor do nível inicial de 20 metros de profundidade e uma condutância de 0,01 m²/d/m.

Os valores de recarga correspondem ao calculado na secção 6.2 deste relatório, isto é, a distribuição espacial da recarga natural na área considerada para a modelação. Não foi considerada a recarga induzida pela rede devido ao facto de se analisar o modelo num cenário em que as perdas da rede não existem, isto é, supõem-se que existe uma situação de aproveitamento máximo dos recursos hídricos com a reparação das possíveis fugas.

Foram ainda introduzidos dois pontos de extração que representam os dois poços existentes no *campus* do LNEC, a partir das quais foram simulados vários cenários de funcionamento com o intuito de estimar o impacto resultante dos volumes explorados atendendo às necessidades de água para a rega dos jardins e para os modelos físicos do Pavilhão de Hidráulica Marítima. Assim, foram introduzidos dois poços cujos ralos se localizam nas Argilas do Forno do Tijolo (Figura 39 – P1(CF) corresponde a Bomba_CF e F1(MR) a Bomba_MR).



Figura 39 – Localização dos pontos de extração

No conjunto de corridas inicial considerou-se que nenhum dos poços se encontra em extração, tendo-se utilizado para o processo de calibração um valor médio dos valores registados durante as campanhas efetuadas nos meses de outubro e novembro, período para o qual não se regista o funcionamento das bombas nos dois pontos referidos na Figura 39. No Quadro 17 apresentam-se os valores de piezometria atribuídos em cada ponto de calibração, cuja localização se apresenta na Figura 40.

Quadro 17 – Pontos de calibração

Ponto	Cota piezométrica (m)
F1(MR)	65,19
F4(HJM)	67,33
F8(REP)	65,87
P1(CF)	70,55
PZ1(S3)	67,62
N1(AO)	67,00

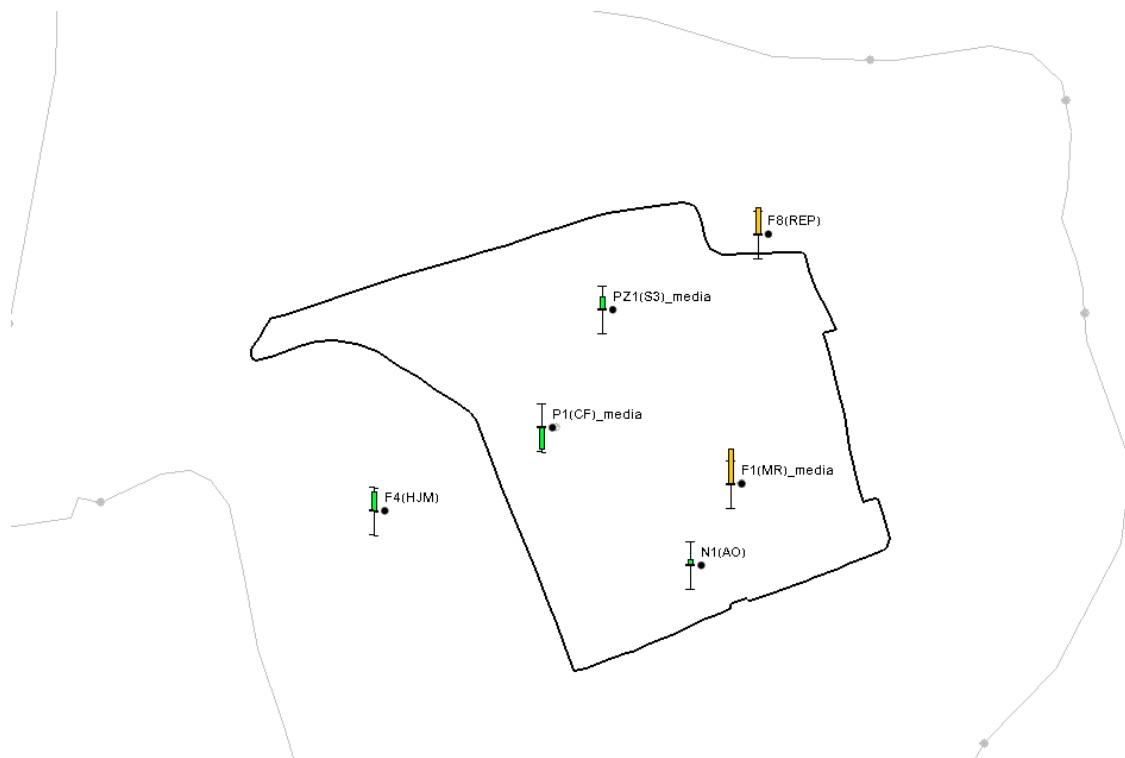


Figura 40 – Localização dos pontos utilizados na calibração dos modelos

8.5 Calibração e resultados

O modelo foi corrido em regime estacionário. Os parâmetros hidráulicos bem como as condições de fronteira foram ajustados para que os resultados da piezometria se aproximassem dos valores registados nos pontos de calibração. Aceitou-se um valor máximo de desfasamento até 1,5 m dos valores calculados para os medidos em campo.

O processo de calibração exigiu o ajustamento de parâmetros das condições de fronteiras do tipo geral (*General Head Boundary*) conseguido através do aumento da condutância de forma a existir uma saída de água a partir do limite na fronteira E e NE (100 m²/d/m). Este processo de calibração também resultou no ajustamento dos valores de condutividade hidráulica das camadas, tendo-se obtido em geral valores mais elevados - Quadro 18.

Quadro 18 – Valores da condutividade por camada após a calibração do modelo

Material	Condutividade horizontal (Kh) (m/d)	Condutividade vertical (Kv) (m/d)
Aluvião	8,64	0,86
M ² IVa	86,4	8,64
Siltes arenosos	8,64	0,864
Siltes argilosos	8,64	0,864
Siltes com cascão	8	0,8
Argilas	0,07	0,007

Uma vez calibrado o modelo exploraram-se vários cenários de extração.

Na Figura 41 apresenta-se o resultado da corrida com o modelo calibrado.

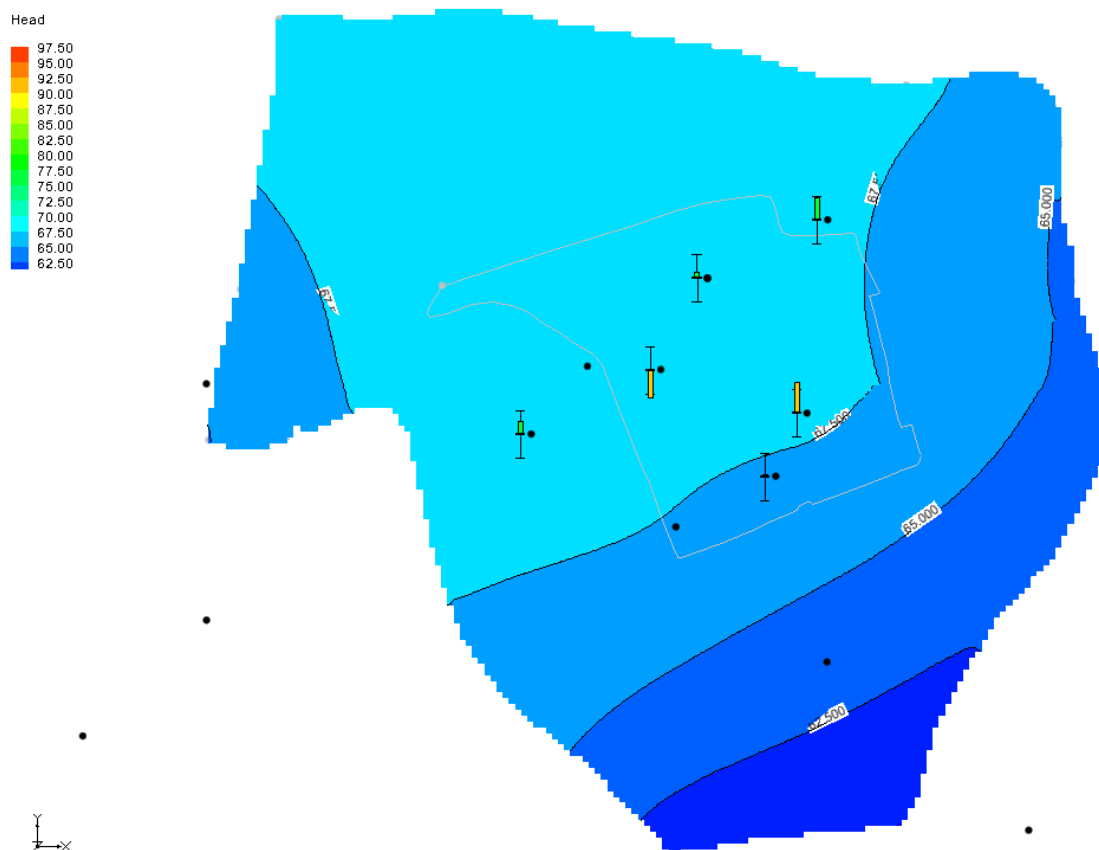


Figura 41 – Resultado final da corrida do modelo calibrado

8.6 Cenários de extração de água

8.6.1 Cenário 1: extração de 62 m³/d de água no poço F1(MR)

No primeiro cenário simula-se a hipótese de que toda a água para rega (50 m³/d) mais a água necessária para os modelos físicos é extraída de um único poço, neste caso o poço F1(MR) junto ao edifício Manuel Rocha. Segundo informação apresentada na Secção 7.3, para se encher o depósito de água que abastece os modelos seriam necessários 12 m³/d.

O resultado da corrida é apresentado na Figura 42.

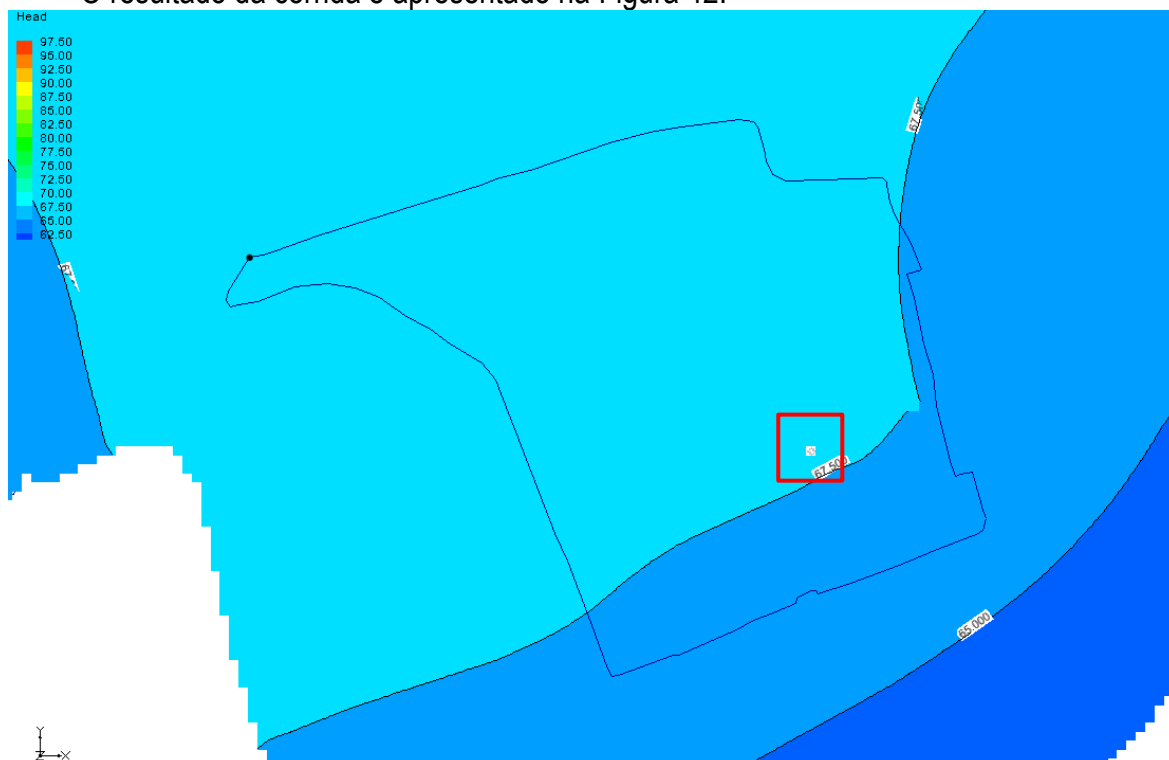


Figura 42 – Resultado final da corrida do modelo para o cenário 1 (a vermelho a área onde se localiza o ponto de extração)

Pode verificar-se que, nesta situação, o cone de rebaixamento se centra, como seria de esperar, em torno do poço F1(MR) em funcionamento, secando por completo a célula em que este se localiza. Trata-se de um caudal muito elevado para um poço que se localiza em formações de permeabilidade baixa pelo que o rebaixamento verificado é muito localizado dando-se muito rapidamente. Este cenário poderá não se apresentar muito viável atendendo ao facto de a capacidade de recuperação do poço ser muito baixa podendo rebaixar-se o nível ao ponto de danificar a bomba.

Ao nível regional não se verificam alterações de relevo na piezometria e no sentido de fluxo predominante.

8.6.2 Cenário 2: extração de 62 m³/d de água no poço P1(CF)

Neste cenário considera-se que a extração da água necessária para a rega é feita no poço P1(CF) situado junto ao campo de futebol. A Figura 43 apresenta os resultados da corrida do modelo para a simulação do cenário 2.

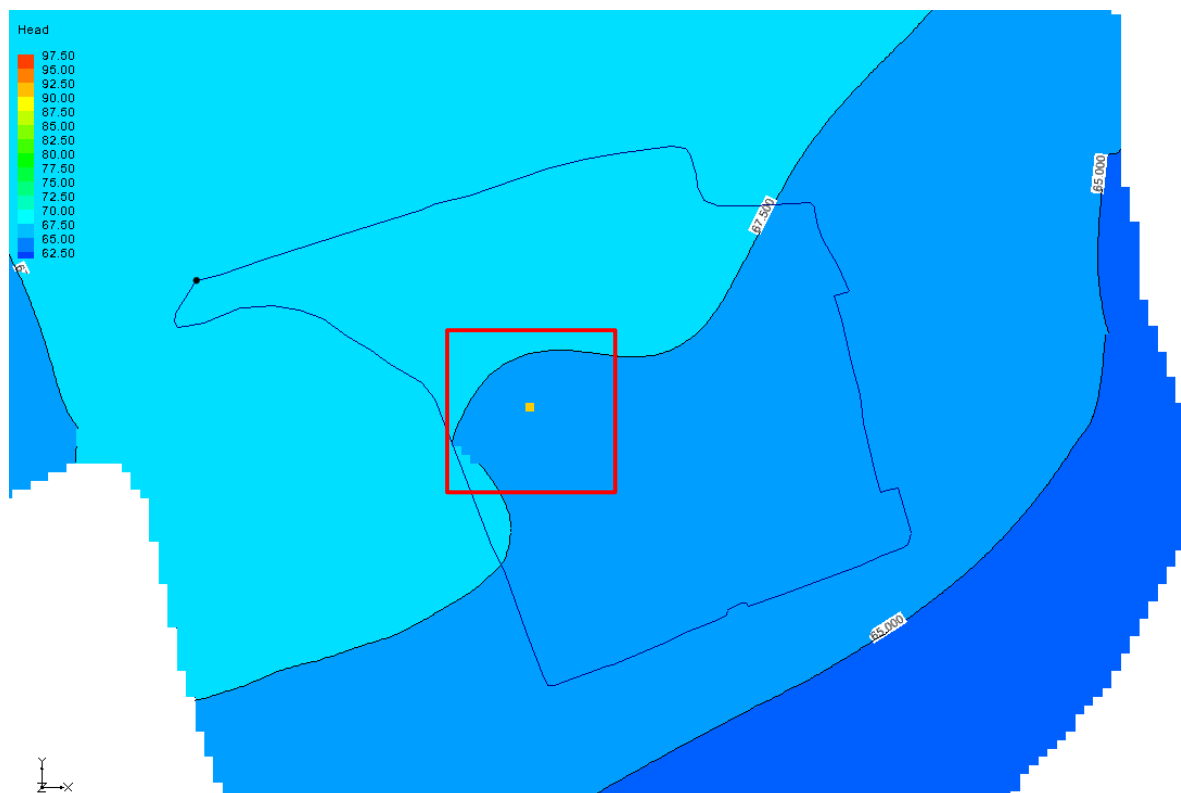


Figura 43 – Resultado final da corrida do modelo para o cenário 2 (a vermelho a área de influência do ponto de extração)

Nesta situação verifica-se que água desce aos 66 m de cota (9,68 m de profundidade) estando ainda longe de atingir a profundidade limite correspondente à localização da bomba (29 m de profundidade). Verifica-se também que, comparativamente ao poço F1(MR), face ao caudal em extração, as unidades geológicas apresentam maior transmissividade o que permite concluir que, embora apresentando um cone de rebaixamento local, não representa um risco tão elevado de escassez de água, se o programa de rega for devidamente regulado, evitando o funcionamento contínuo da bomba.

O modelo indica ainda que a influência sobre a piezometria regional é relativamente importante, refletindo-se num rebaixamento que pode chegar aos dois metros e meio, com o recuo da isopieza dos 67,5 m.

8.6.3 Cenário 3: extração repartida entre F1(MR) e P1(CF)

8.6.3.1 Cenário 3A: extração de 25 m³/d de água no poço F1(MR) e de 37 m³/d no poço P1(CF)

O cenário 3A representa um equilíbrio na solicitação ao sistema aquífero, dividindo-se o volume a extrair para rega (50 m³/d) de igual forma pelos dois furos existentes no *campus* do LNEC, *i.e.* 25 m³/d por poço, extraíndo-se os 12 m³/d para os modelos físicos no ponto P1(CF) (25m³/d + 12 m³/d).

O resultado da corrida do modelo é apresentado na Figura 44.

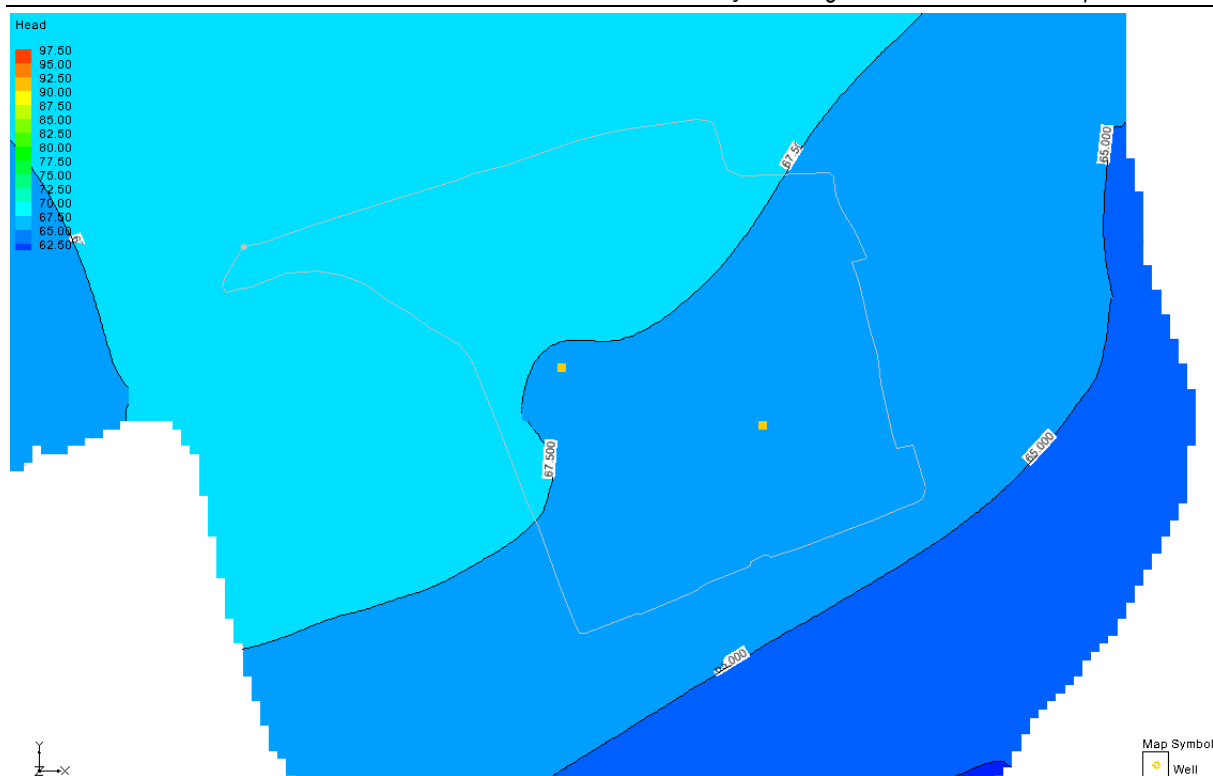


Figura 44 – Resultado final da corrida do modelo para o cenário 3A

Neste cenário os cones de rebaixamento não são acentuados embora exista um rebaixamento generalizado. É possível verificar o rebaixamento induzido pela extração de 37 m³/d. Esta opção mostra-se viável devendo haver uma alternância entre o tempo de funcionamento da bomba num e noutro furo.

No poço P1(CF) o rebaixamento dá-se até aos 67 m (longe da cota onde se situa a bomba) e no poço F1(MR) o nível piezométrico localiza-se aos 65 m (cota), também longe da profundidade da bomba.

8.6.3.2 Cenário 3B: extração de 25 m³/d de água no poço P1(CF) e de 37 m³/d no poço F1(MR)

Neste cenário invertem-se os caudais de extração, passando o ponto F1(MR) a extrair 37 m³/d (sustentando metade do volume necessário para a rega mais o volume necessário para os modelos) enquanto o poço P1(CF) retira 25 m³/d.

O resultado da corrida apresenta-se na Figura 45.

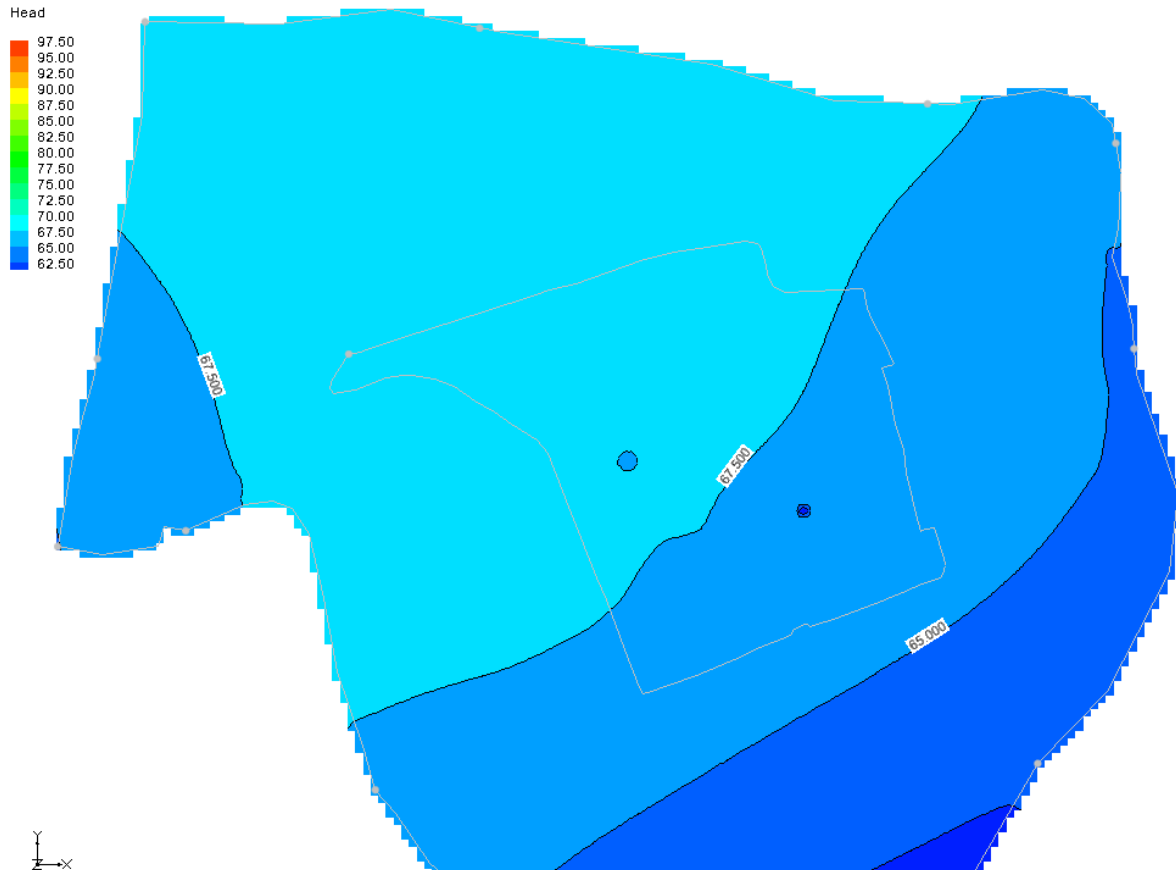


Figura 45 – Resultado final da corrida do modelo para o cenário 3B

Embora a nível regional a variação da piezometria seja muito semelhante à condição inicial, verificam-se cones de rebaixamento junto a cada um dos pontos de extração. O nível registado no ponto P1(CF) localiza-se aos 67 m (muito semelhante ao cenário 3^a, evidenciando a maior transmissividade da formação), enquanto o ponto F1(MR) regista um valor de piezometria de 59 m, ainda distante a profundidade limite da bomba.

Este cenário também se mostra viável, no entanto devido ao facto do ponto F1(MR) se localizar numa formação menos condutiva não se deve descurar a monitorização dos níveis, principalmente em épocas de maior escassez de água, correndo-se o risco de rebaixar os níveis aquando da extração abaixo da profundidade limite da bomba (51 m de cota).

8.6.4 Cenário 4: extração de 50 m³/d de água em furos no *campus* e de 12 m³/d no poço P1(CF)

No cenário 4, procura-se verificar a possibilidade de suprir a necessidade de água para rega e para os modelos físicos do DHA tentando-se evitar o rebaixamento localizado apenas em dois ou um ponto. Neste cenário propõe-se a criação de furos pouco profundos crepinados (*wellpoints*, cf. <http://www.extension.umn.edu/distribution/naturalresources/DD0951.html>) em grande parte da sua extensão e localizados essencialmente junto aos espaços verdes ou em áreas sem qualquer ocupação do *campus*. A água recolhida pelos furos iria convergir para unidade central. O facto de estes se localizarem junto a espaços verdes pode resultar numa

afluência a estes pontos da água de rega em excesso e não utilizada pelas plantas, maximizando-se o reaproveitamento de água.

Assim, atribui-se a cada um dos 10 furos 1/10 do volume necessário para rega, isto é, 5 m³/d. Considerou-se que o restante volume necessário para os modelos físicos seja extraído do poço P1(CF), visto que nos cenários anteriores se ter concluído que não apresentava rebaixamentos muito acentuados.

Na Figura 46 apresenta-se a distribuição dos pontos de extração.



Figura 46 – Localização dos furos pouco profundos (pontos amarelos) e do ponto P1(CF) (ponto azul)

O resultado da corrida do modelo apresenta-se na Figura 47.

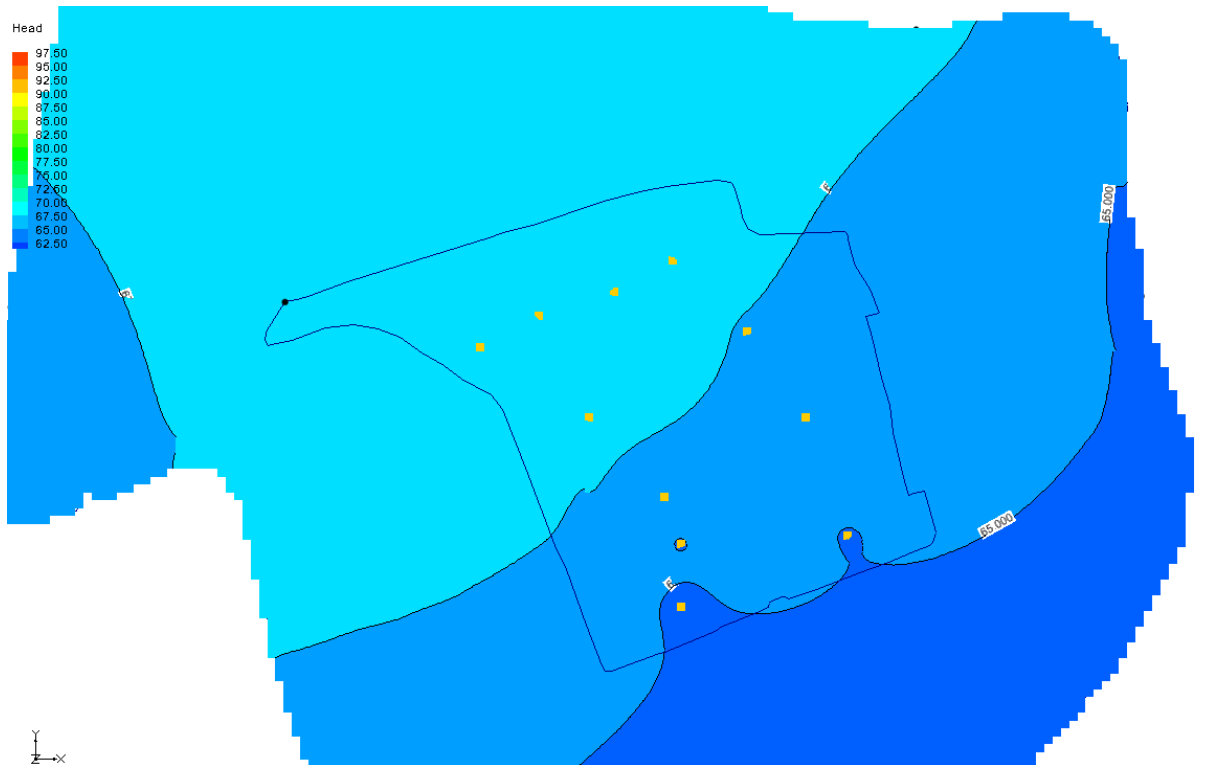


Figura 47 – Resultado final da corrida do modelo para o cenário 4

Neste cenário, o poço junto ao campo de futebol P1(CF) regista um rebaixamento até aos 68,5 m, isto é, acima da profundidade da bomba. Em geral existe um ligeiro recuo da isopiezia dos 67,5 m, mas não se verificam cones de rebaixamento acentuados junto à maioria dos furos. Na área sul do *campus* é possível observar que os níveis podem baixar ligeiramente abaixo dos 65 metros, mas de forma muito localizada em 3 dos 10 furos propostos.

Este cenário mostra-se viável desde que os furos pouco profundos distribuídos pelo *campus* mostrem de facto a capacidade de captação de 5 m³/d. Se este valor, na realidade, não se registar a água captada para rega poderá ficar aquém do necessário em determinadas alturas do ano. No entanto, o facto de haver uma distribuição dos caudais a extrair pela área do modelo significa um menor impacto na piezometria regional.

Deve notar-se que a localização dos furos pouco profundos se fez de forma expedita através de fotografia aérea. A construção do sistema proposto requereria uma análise cuidada das profundidades dos furos bem como um estudo dos locais de possível construção, não sendo necessariamente os indicados na Figura 46.

8.6.5 Análise dos resultados dos cenários

Em conclusão e após a análise dos vários cenários verifica-se que o furo existente junto ao campo de futebol P1(CF) reage mais rapidamente à solicitação que lhe é imposta, como se pode ver nos cones de rebaixamento.

Assim pode-se definir o cenário 3A como o mais viável se existir a necessidade de se abastecer o depósito dos modelos do Pavilhão da Hidráulica Marítima ao mesmo tempo que se obtém o volume necessário para a rega dos espaços verdes do *campus*.

Embora a nível regional o impacto dos caudais de extração simulados nos diferentes cenários seja muito baixo ou praticamente nulo subsiste a incerteza em relação a outras pressões eventualmente existentes dentro e na vizinhança da área modelada, incerteza essa justificada pela dificuldade de inventariar todos os pontos de água em que existe uma solicitação sobre o recurso, numa área fortemente urbanizada como é esta zona de Lisboa. Deve ainda referir-se que não se tem em conta a possível variação do volume necessário para rega durante o inverno, utilizando-se sempre o valor de 50 m³/d, que é acima do necessário nessa época do ano. No entanto, este fator permite fazer-se uma avaliação por excesso.

Note-se ainda que se considerou uma extração de um volume de água uniformemente distribuído ao longo do dia. Se a extração de água for feita num intervalo de tempo mais curto, o caudal de bombagem será maior e temporariamente os rebaixamentos serão maiores.

Neste conjunto de cenários não foi explorada a hipótese de aproveitamento da água que é extraída e que é injetada no furo F1(MR) devido ao facto do volume extraído diariamente ser relativamente baixo (em média 8 m³/d), como foi determinado na sequência do ensaio de bombagem efetuado em 20 de novembro de 2012, que se apresenta no Anexo 11.

9. BALANÇO HÍDRICO

Nesta secção apresenta-se o balanço hídrico entre as necessidades¹ de água, para os modelos físicos e para a rega das áreas ajardinadas do LNEC, e as disponibilidades sustentáveis de águas subterrâneas. Esta análise assenta no alargado conjunto de informação obtida ao longo deste estudo.

Assim, as **necessidades de água** (cf. secção 7.3) representam:

- Para os modelos do Pavilhão da Hidráulica Marítima: valor médio de, aproximadamente, 12 m³/d.
- Para a rega das áreas ajardinadas do LNEC: valor médio entre 22,2 m³/d e 37,0 m³/d, embora varie entre um valor nulo, no período húmido, e cerca de 50 m³/d nos dias mais quentes do ano.

Para o cálculo das disponibilidades sustentáveis de águas subterrâneas foram tidos em conta não só os valores médios de recarga estimados na área de estudo, dos quais 86,7 m³/d se podem atribuir à área do *campus* do LNEC² (cf. secção 6.4), mas também as características das formações geológicas na perspetiva da sua capacidade de cedência de água.

Foram considerados, consoante as premissas indicadas um conjunto de cinco cenários de extração cuja síntese se apresenta no Quadro 19. Considerou-se que o volume a extrair para rega diminui para metade no inverno por haver uma diminuição das necessidades de água por parte das plantas e devido à precipitação. Considerou-se, ainda, para além da situação de extração somente para rega (cenário A), a hipótese de extração do volume necessário para abastecer o depósito dos modelos do Pavilhão da Hidráulica Marítima (12 m³)

¹ Note-se que as necessidades são diferentes dos consumos na medida em que não se consideram as perdas na rede de aproximadamente 4 m³/h; este é um assunto que certamente virá a ser resolvido brevemente, atendendo designadamente aos custos associados.

² De referir que este valor apenas tem sentido se visto para um período de, pelo menos, um ano. Representa aqui o volume de água potencialmente disponível num ano dividido por 365 dias, por forma a facilitar a comparação com as necessidades.

apenas uma vez por mês (cenário B) ou uma vez por semana (cenário C) e a hipótese de se abastecer com águas subterrâneas apenas metade do depósito para os mesmos períodos (cenários D e E).

Quadro 19 – Volume anual por cenário de extração

Cenário	Volumes a extrair para rega				Hipóteses de necessidade de água para os modelos		Total anual (m ³ /ano)	Total anual (hm ³ /ano)
	Meses de verão (4)		Meses restantes (8)		1 vez por mês (12)	1 vez por semana (52)		
A	50	(m ³ /d)	25	(m ³ /d)	-	-	12000	0,0121
B					12	-	12144	0,012244
C					-	12	12624	0,012724
D					6	-	12072	0,012172
E					-	6	12312	0,012412

O Quadro 20 apresenta o cálculo do balanço hídrico entre os volumes de extração estimados para os cenários A, B, C, D e E (Quadro 19), a recarga natural e a recarga por perdas de água na rede de abastecimento. Tendo em conta as características das formações geológicas onde estão implantados os poços existentes no *campus* do LNEC, o volume médio anual a extrair por cenário ronda os 0,01 hm³/ano. O valor da recarga natural e o valor de recarga por perdas na rede de abastecimento calculados são de 0,12 hm³/ano e 0,13 hm³/ano e excedem as necessidades estimadas para os cinco cenários considerados na modelação numérica.

Quadro 20 – Balanço hídrico (recarga – necessidades) e taxa de extração (necessidades/recarga) por cenário

Recarga	Cenário									
	A		B		C		D		E	
	Balanço	Taxa de extração	Balanço	Taxa de extração	Balanço	Taxa de extração	Balanço	Taxa de extração	Balanço	Taxa de extração
Natural	(hm ³ /ano)	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
	(m ³ /d)	326,61	293,45	293,06	291,75	293,26	292,60	292,60	292,60	292,60
Total	(hm ³ /ano)	0,25	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
	(m ³ /d)	684,14	650,99	650,60	649,28	650,79	650,13	650,13	650,13	650,13

Os resultados obtidos permitem concluir que existe água suficiente para a rega dos jardins do *campus* do LNEC e para abastecer os modelos físicos do Pavilhão da Hidráulica Marítima sem que prejudique a sustentabilidade do sistema (se não existir uma alteração significativa a nível climatológico).

No entanto deve notar-se que os valores de recarga calculados representam a quantidade de água que entra numa área muito mais extensa que a do *campus* do LNEC e que se deve ter em conta que podem existir outras extrações que terão influência na quantidade de água disponível mas que são de difícil inventariação.

Se considerarmos para o mesmo conjunto de cenários apresentados no Quadro 20

apenas a área correspondente ao *campus* do LNEC então os balanços hídricos são os apresentados no Quadro 21.

Quadro 21 – Balanço hídrico (recarga – necessidades) e taxa de extração (necessidades/recarga) por cenário para a área do *campus* do LNEC

Recarga		Cenário										
		A		B		C		D		E		
		Balanço	Taxa de extração	Balanço	Taxa de extração	Balanço	Taxa de extração	Balanço	Taxa de extração	Balanço	Taxa de extração	
Natural	(hm ³ /ano)	0,02	0,003	80,22%	0,003	81,17%	0,002	84,36%	0,003	80,70%	0,003	82,29%
	(m ³ /d)	41,33	8,17		7,78		6,46		7,98		7,32	
Total	(hm ³ /ano)	0,03	0,013	47,64%	0,013	48,21%	0,01	50,10%	0,013	47,92%	0,013	48,87%
	(m ³ /d)	69,59	36,44		36,04		34,73		36,24		35,58	

Na generalidade dos cenários propostos a percentagem de água da recarga natural não fica abaixo dos 80%, diminuindo a margem de manobra mas assegurando-se a quantidade de água necessária para suprir as necessidades diárias. Para ambos os tipos de recarga se conclui que o volume disponível resultante da recarga (tanto natural como total) é superior ao necessário para a rega e para os modelos físicos.

Estes valores são calculados para anos médios. Em anos secos, a quantidade de recarga existente e os volumes de águas subterrâneas armazenados nas reservas poderão não ser suficientes para suprir as necessidades, que poderão inclusivamente aumentar devido a evapotranspiração mais elevada nas áreas ajardinadas.

10. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

10.1 Conclusões

10.1.1 Balanço hídrico

Os resultados obtidos com este estudo permitem concluir que existem águas subterrâneas em quantidade suficiente para regar os jardins do *campus* do LNEC e para abastecer os modelos físicos do Pavilhão de Hidráulica Marítima, sem que prejudique a sustentabilidade do sistema hidrogeológico (considerando não haver alterações significativas a nível climatológico).

De acordo com os dados disponibilizados, traduzidos em termos médios diários, as necessidades máximas de água para a rega dos jardins são de cerca de 50 m³/d e as necessidades de água para o funcionamento dos modelos físicos do Pavilhão da Hidráulica Marítima rondam os 12 m³/d.

Em relação à disponibilidade de águas subterrâneas, considerou-se uma área mais extensa do que a do *campus* do LNEC para o cálculo da recarga, atendendo à estrutura e características das formações que ocorrentes e à topografia da área. Estima-se que a recarga

natural anual média para o período de 01-10-1981 a 30-09-2011 por precipitação direta na área de estudo seja de 0,12 hm³/ano e a recarga total (recarga natural + a recarga por perdas na rede de abastecimento) de 0,25 hm³/ano, excedendo as necessidades estimadas. No modelo numérico não foi considerada a recarga por perdas na rede devido ao facto de se analisar um cenário em que as perdas da rede não existem, isto é, supõe-se que existe uma situação de aproveitamento máximo dos recursos hídricos com a reparação das possíveis fugas.

Tendo em conta as infraestruturas existentes no *campus* do LNEC e o seu contexto hidrogeológico foram definidos cinco cenários de exploração, para satisfazer as necessidades de rega dos jardins bem como o abastecimento aos modelos físicos do Pavilhão de Hidráulica Marítima:

- Cenário 1: extração de 62 m³/d de água no poço F1(MR);
- Cenário 2: extração de 62 m³/d de água no poço P1(CF);
- Cenário 3: extração repartida entre F1(MR) e P1(CF);
 - Cenário 3A: extração de 25 m³/d de água no poço F1(MR) e de 25 m³/d + 12 m³/d no poço P1(CF);
 - Cenário 3B: extração de 25 m³/d + 12 m³/d de água no poço F1(MR) e de 25 m³/d no poço P1(CF);
- Cenário 4: extração de 50 m³/d de água em 10 novos furos pouco profundos no *campus* (5 m³/d cada) e de 12 m³/d no poço P1(CF).

Dos cenários testados concluiu-se que o cenário 3A é o mais viável, considerando a necessidade de se abastecer o depósito dos modelos dos Pavilhões da Hidráulica Marítima ao mesmo tempo que se obtém o volume necessário para a rega dos espaços verdes do *campus*. O cenário 3A representa um equilíbrio na solicitação ao sistema aquífero, dividindo-se o volume a extrair para rega (50 m³/d) de igual forma pelos dois furos existentes no *campus* do LNEC, isto é, 25 m³/d por poço, extraindo-se os 12 m³/d para os modelos físicos no ponto P1(CF) (25 m³/d + 12 m³/d).

O cenário 4 também se apresenta sustentável se os furos pouco profundos tiverem a capacidade efetiva de extrair o volume necessário para a rega dos jardins, tratando-se de uma hipótese de exploração mas que não aproveita as infraestruturas já existentes no *campus* do LNEC procurando no entanto representar uma solução não muito dispendiosa (visto os furos serem pouco profundos) que crie um impacto mais suave e distribuído sobre os níveis piezométricos locais.

O volume médio anual que é necessário extrair por cenário ronda os 0,01233 hm³/ano. Comparativamente à recarga que ocorre sobre a área de estudo que se estende para lá dos limites do *campus* do LNEC (Secção 6.2) o volume a extrair para as necessidades corresponde a 5% da recarga total e a 10% da recarga natural que ocorre anualmente. Se se diminuir a área de análise aos limites do *campus* verifica-se que o volume necessário corresponde a 49% da recarga total e a 82% da recarga natural que ocorre anualmente.

Embora a nível regional o impacto dos caudais de extração simulados nos diferentes cenários seja muito baixo, ou praticamente nulo, subsiste a incerteza em relação a outras

pressões eventualmente existentes dentro e na vizinhança da área modelada. Deve, ainda, referir-se que não se tem em conta a possível variação do volume necessário para rega durante o inverno, que poderá estar acima do necessário nessa época do ano. No entanto, este fator permitiu-nos fazer uma avaliação por excesso.

Neste conjunto de cenários não foi explorada a hipótese de aproveitamento da água que é extraída e que é injetada no furo F1(MR) devido ao facto do volume extraído diariamente ser relativamente baixo (em média 8 m³/d), como foi determinado na sequência do ensaio de bombagem efetuado em 20 de novembro de 2012, que se apresenta no Anexo 11.

10.1.2 Caudal de exploração

Em complemento à análise do volume de água disponível, face às necessidades, é também necessário verificar a capacidade das formações hidrogeológicas para ceder essa água em tempo, *i.e.* a sua transmissividade.

Não foi possível efetuar ensaio de caudal para avaliar o volume horário de extração aconselhável (por avaria das bombas). Assim, e com base no rebaixamento dos níveis piezométricos medidos no campo, devido à extração contínua durante dois dias (=13,25 m), apenas é possível determinar que o caudal de exploração de 0,54l/s (2 m³/h) para o poço P1(CF) é excessivo. Se a capacidade da bomba for superior ou igual a este valor (não foi possível obter esta informação por ser necessário extrair a bomba), o regime de exploração não poderá ser contínuo, sob risco de exaurir os recursos na zona envolvente da captação e, assim, danificar o equipamento instalado.

Atendendo ao exposto, a extração deverá ser controlada de forma a não ultrapassar o valor de 62 m³/d mas, simultaneamente, com valores horários compatíveis com manter os níveis hidrodinâmicos 5 m acima da bomba.

No entanto deve notar-se que os valores de recarga calculados representam a quantidade de água que entra numa área muito mais extensa que a do *campus* do LNEC e que se deve ter em conta que podem existir outras extrações que terão influência na quantidade de água disponível, mas que são de difícil inventariação.

10.1.3 Qualidade da água

Face aos elementos químicos analisados, observa-se que as águas apresentam características naturais típicas deste tipo de águas subterrâneas, apenas com o ião nitrato com concentrações que espelham interferência de ações antropogénicas nos pontos N1(AO) e F1(MR), cuja origem seria desejável conhecer melhor e controlar.

A elevada dureza (predominantemente causada pela presença de sais de cálcio e magnésio) deste tipo de águas constitui uma limitação ao seu uso direto nos modelos físicos do Pavilhão de Hidráulica Marítima, atendendo à possível deposição de sais nas sondas resistivas, elétrodos e outros instrumentos de medição habitualmente utilizados. O cálculo dos índices de saturação de todas as amostras mostra uma sobressaturação em relação à calcite, o que confirma a tendência para a precipitação daquele mineral.

Atendendo a que os níveis de dureza da água da EPAL se situam entre 40 mg CaCO₃/L e 170 mg CaCO₃/L de carbonato de cálcio, sendo o valor médio 80 mg/L (<http://www.epal.pt/epal/Faqs.aspx?menu=483&sub=323&area=288&s=12214&t=12204>) e que as águas subterrâneas no *campus* do LNEC apresentam um valor médio de 466 mgCaCO₃/L (cf. Quadro 10), para obter uma água com uma concentração média aceitável (entre 120 – 180 mg CaCO₃/L) será necessário fazer uma mistura com água da EPAL numa proporção de 1:3 até 1:7.

10.2 Recomendações

- Atendendo ao facto de, nas atuais condições, existir água suficiente para a rega dos jardins do *campus* do LNEC e para abastecer os modelos físicos do pavilhão de Hidráulica Marítima, recomenda-se:
 - usar as águas subterrâneas para a rega do *campus* do LNEC (até um valor máximo diário de 62 m³/d, acompanhada de um controlo do nível piezométrico de forma a manter os níveis hidrodinâmicos 5 m acima do ralo das bombas);
 - usar as águas subterrâneas para abastecer os modelos físicos do pavilhão de Hidráulica Marítima, diluindo-a com água da EPAL numa proporção de 1:3 a 1:7 por forma a não comprometer o bom funcionamento do equipamento devido a deposição de carbonato de cálcio.
- Atendendo a que a gestão fundamentada e sustentável dos recursos hídricos subterrâneos implica o conhecimento do estado de quantidade e de qualidade das águas e
- Atendendo às oscilações observadas nos níveis piezométricos (mesmo não havendo extrações) e recuperações ao longo do tempo, recomenda-se (predispondo-se o DHA/NAS a efetuar):
 - medir mensalmente os níveis piezométricos nos pontos de água do LNEC;
 - medir horariamente (com uma sonda do DHA/NAS) os níveis piezométricos durante o ano hidrológico 2012/2013, de forma a permitir avaliar os efeitos da rega e da recarga, e de forma a evitar a avaria e deterioração dos equipamentos causada por rebaixamentos excessivos;
 - medir mensalmente os parâmetros globais da qualidade da água (condutividade elétrica, temperatura, pH e nitratos), de forma a avaliar alterações assinaláveis;
 - efetuar um ensaio de caudal para avaliar o volume horário de extração aconselhável (após a reparação das bombas).
- Atendendo aos elevados consumos de água para rega e à existência de um sistema automático de rega que cobre quase todas as áreas ajardinadas do LNEC, recomenda-se
 - efetuar a rega de jardins antes das 8:00 ou depois das 18:00, de modo a

- minimizar as perdas por evaporação;
- não regar em dias de vento forte, de forma a evitar perdas de água por transporte e evaporação.
- Atendendo a que os pontos de água do LNEC são poços antigos, sem as condições mais adequadas de captação, poderá eventualmente equacionar-se a construção de um furo de captação de água subterrânea que intersete as camadas subjacentes à formação das Argilas do Forno do Tijolo. Para esse efeito, recomenda-se
 - analisar esta hipótese com um estudo hidrogeológico mais alargado no espaço e no tempo, baseado na monitorização dos poços existentes no LNEC durante o ano hidrológico 2012/2013 para melhor perceber a dinâmica do sistema face ao regime de precipitação, um melhor controlo dos volumes de água subterrânea utilizados para a rega e para os modelos do DHA, e no alargamento do modelo de escoamento subterrâneo do LNEC a uma área mais extensa e a uma maior profundidade para modelar também as formações subjacentes às argilas do Forno do Tijolo (nomeadamente os calcários de Entre Campos e as areolas da Estefânia, cujas formações, mais permeáveis, afloram na área do jardim do Campo Grande e cujas camadas inclinam em direção ao *campus* do LNEC). Pode-se atualmente orçamentar uma captação com cerca de 100 m de profundidade construída nos terrenos do LNEC, considerando o seu licenciamento, a perfuração a 10 ou 12 polegadas, entubamento com PVC georoscado de 160mm de diâmetro e resistência de 12,5 kgf/cm², limpeza e desenvolvimento da captação, ensaio de caudal de 12 horas, instalação bomba com capacidade para extrair caudais da ordem dos 4 L/s, em cerca de 8000 € (oito mil euro).

Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil

março de 2013

VISTOS



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

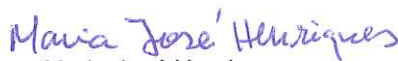
Rafaela de Saldanha Matos
Directora do Departamento de Hidráulica e Ambiente



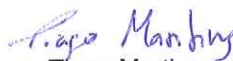
AUTORIAS



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



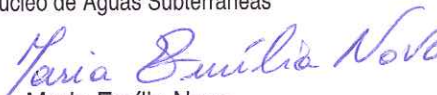
Maria José Henriques
Geóloga
Técnica Superior
Núcleo de Águas Subterrâneas



Tiago Martins
Geólogo
Bolseiro
Núcleo de Águas Subterrâneas



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



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



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

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



Leah Pope
Estudante da Licenciatura em Engenharia Civil,
Universidade Texas Tech
Acolhimento
Núcleo de Águas Subterrâneas



Bibliografia

Almeida C., Mendonça, J.J.L., Jesus, M.R., Gomes, A.J. (2000) – “Sistemas Aquíferos de Portugal Continental”. Centro de Geologia da Faculdade de Ciências de Lisboa e Instituto da Água.

Almeida, I.M.B.M. (1991) - *Características Geotécnicas dos Solos de Lisboa*. Tese de Doutoramento em Geologia, especialidade de Geotecnia. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

Antunes, M.T. (1971) - *Vertebrados Fósseis da Região de Lisboa*. Seu Enquadramento Paleocológico. III Curso de Extensão Universitária de Ciências Geológicas de Lisboa, pp. 49-72.

Coelho, M.J.B. (2011) - *Desenvolvimentos do Método das Ondas Superficiais no Âmbito da Geotecnia*. Dissertação elaborada no Laboratório Nacional de Engenharia Civil para obtenção do grau de Doutor em Ciências de Engenharia pela Universidade Técnica de Lisboa no âmbito do protocolo de cooperação entre o IST e o LNEC. Lisboa, IST, pp. 360.

Cotter, J.C.B. (1956) - *O Miocénico Marinho de Lisboa*. Obra póstuma, Lisboa, Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal, suplemento do Tomo XXXVI, pp. 170.

Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação (2005). *Folha 34-D (Lisboa) da Carta Geológica de Portugal na Escala 1:50000 – 2ª Edição*. INETI, Lisboa.

Lopes, I.M.F. (2001). *Avaliação das Condições Geológicas e Geotécnicas para a Caracterização do Risco Sísmico Aplicado à Colina do Castelo de São Jorge*. Dissertação para a Obtenção do Grau de Mestre em Geologia Económica e Aplicada, especialidade de Geotecnia. Lisboa, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, pp. 294.

Moitinho de Almeida, F. (1986) - *Carta Geológica do Concelho de Lisboa, Folha 2, Escala 1: 10 000*. Lisboa, Serviços Geológicos de Portugal.

Mota, R. (2009) - *Metodologias de Prospecção Geofísica Aplicadas a Problemas Ambientais e Geotécnicos. Aplicação conjunta de métodos eléctricos e sísmico*. Tese de Doutoramento, Lisboa, LNEC, Série TPI n.º 57, pp. 216

Nascimento, U. (1954) - *Física dos solos. Estudo dos Solos de Lisboa*. Lisboa, LNEC, Publicação n.º 56.

Nicolau, R. (2002) – “Carta de Precipitação Total Média Anual – Cartografia da Distribuição Espacial da Precipitação em Portugal Continental”. CNIG.

Nicolau, R. (2002) – “Modelação e mapeamento da distribuição espacial da precipitação – Uma aplicação a Portugal Continental”. Doutoramento em Engenharia do Ambiente pela Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2002.

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

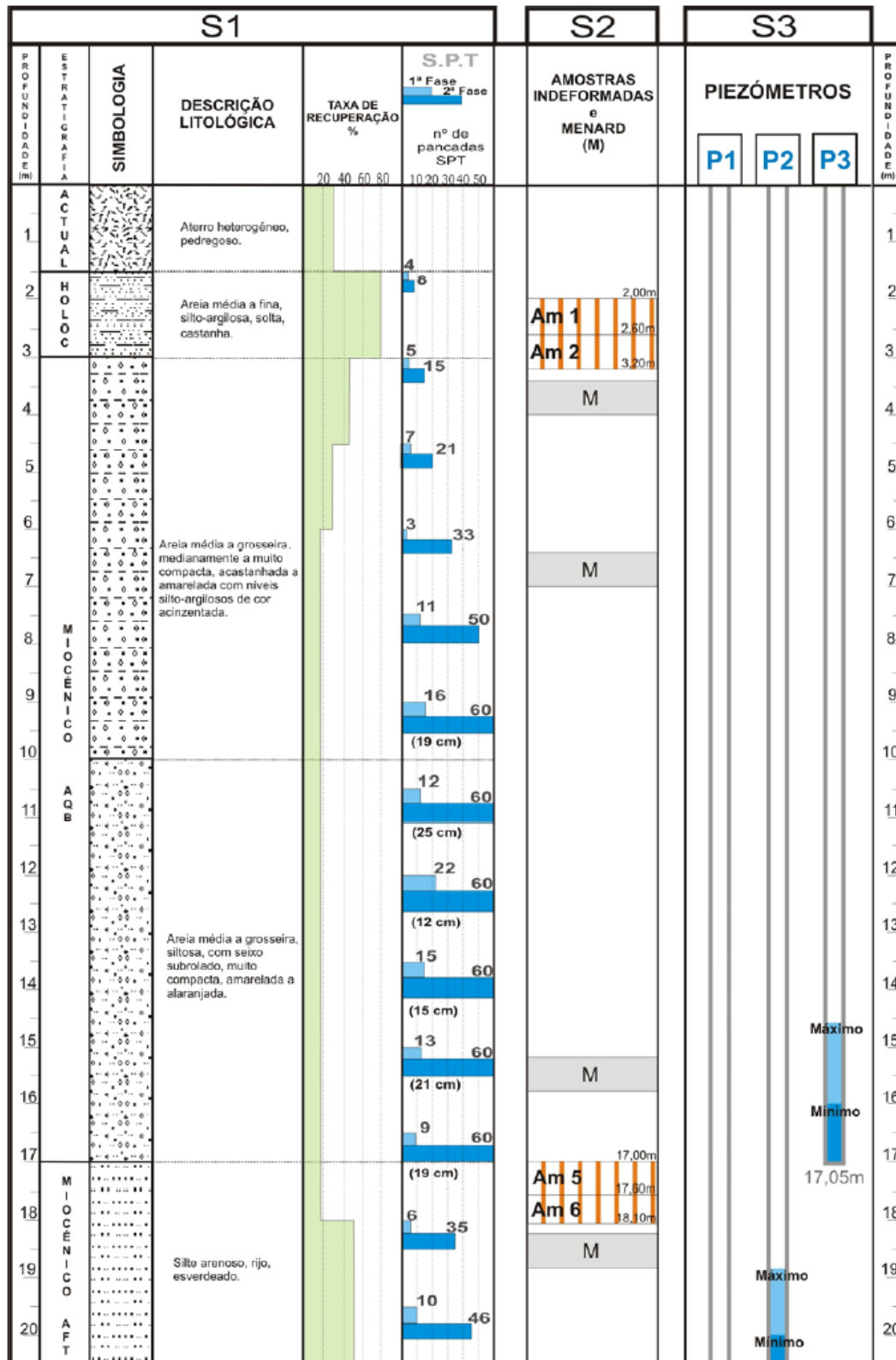
Pais, J.; Moniz, C., Cabral, J., Cardoso, J.L., Legoinha, P., Machado, S., Morais, M.A., Lourenço, C., Ribeiro, M.L., Henriques, P., Falé, P. (2006) - *Notícia Explicativa da Folha 34-D (Lisboa) da Carta Geológica de Portugal na Escala 1:50000*. Lisboa, INETI.

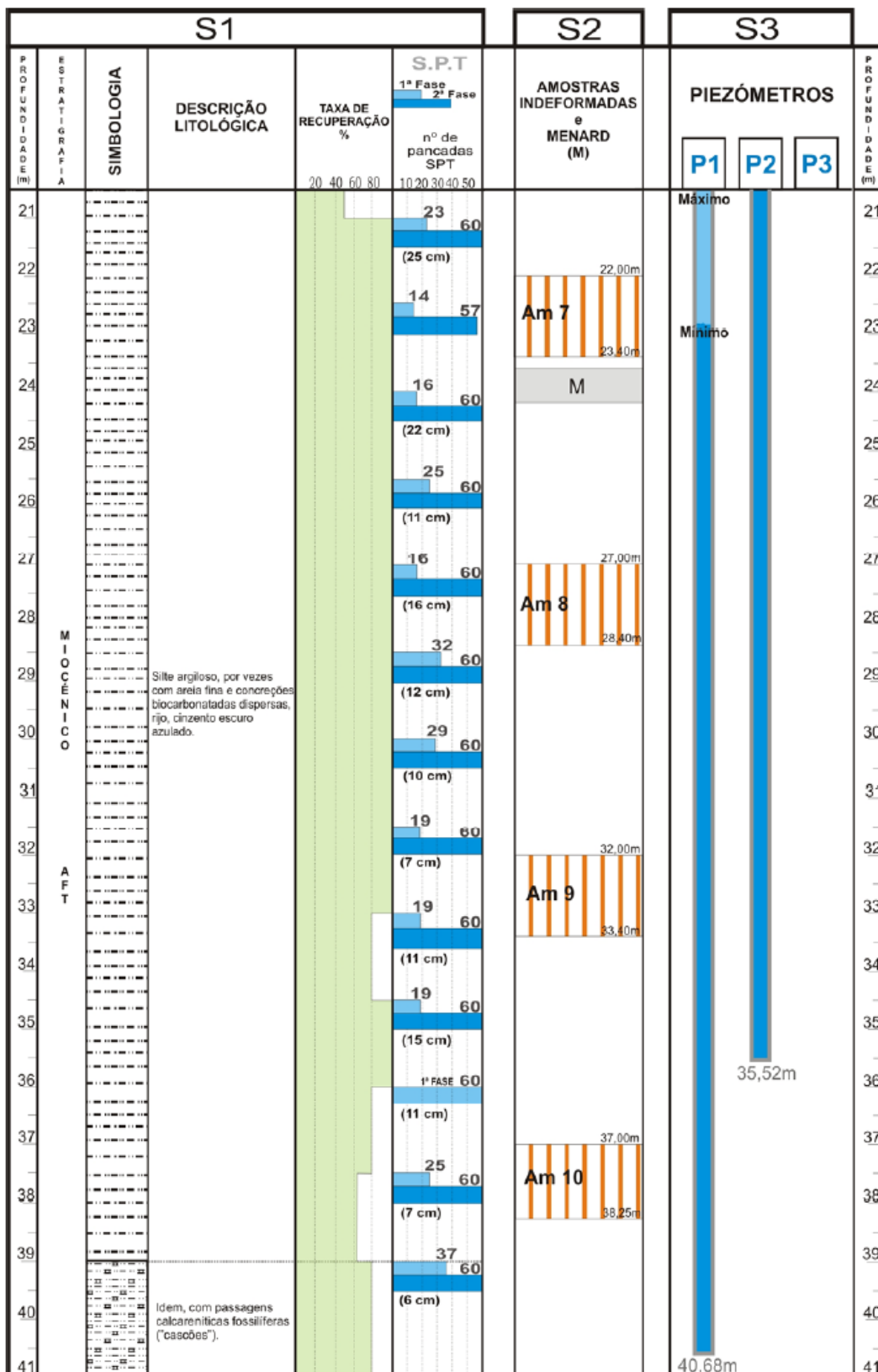
Pinto, P.S., Roque, A.M., Serra, J.P. (1991) - *Estudo Geológico e Geotécnico do Local de Implantação do Pavilhão de Ensaios Dinâmicos do LNEC*. Relatório 324/91 – NF. Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, pp. 121.

Zbyszewski, G. (1947) - *Panorama sur la Géologie de la Ville de Lisbonne*. Lisboa, Boletim da Sociedade de Geografia de Lisboa, Série 65^a, n.º 9 e 10, pp. 93.

Zbyszewski, G. (1963) - *Notícia Explicativa da Folha 4 [Lisboa] da Carta Geológica dos Arredores de Lisboa. Escala 1:50.000*. Lisboa, Serviços Geológicos de Portugal.

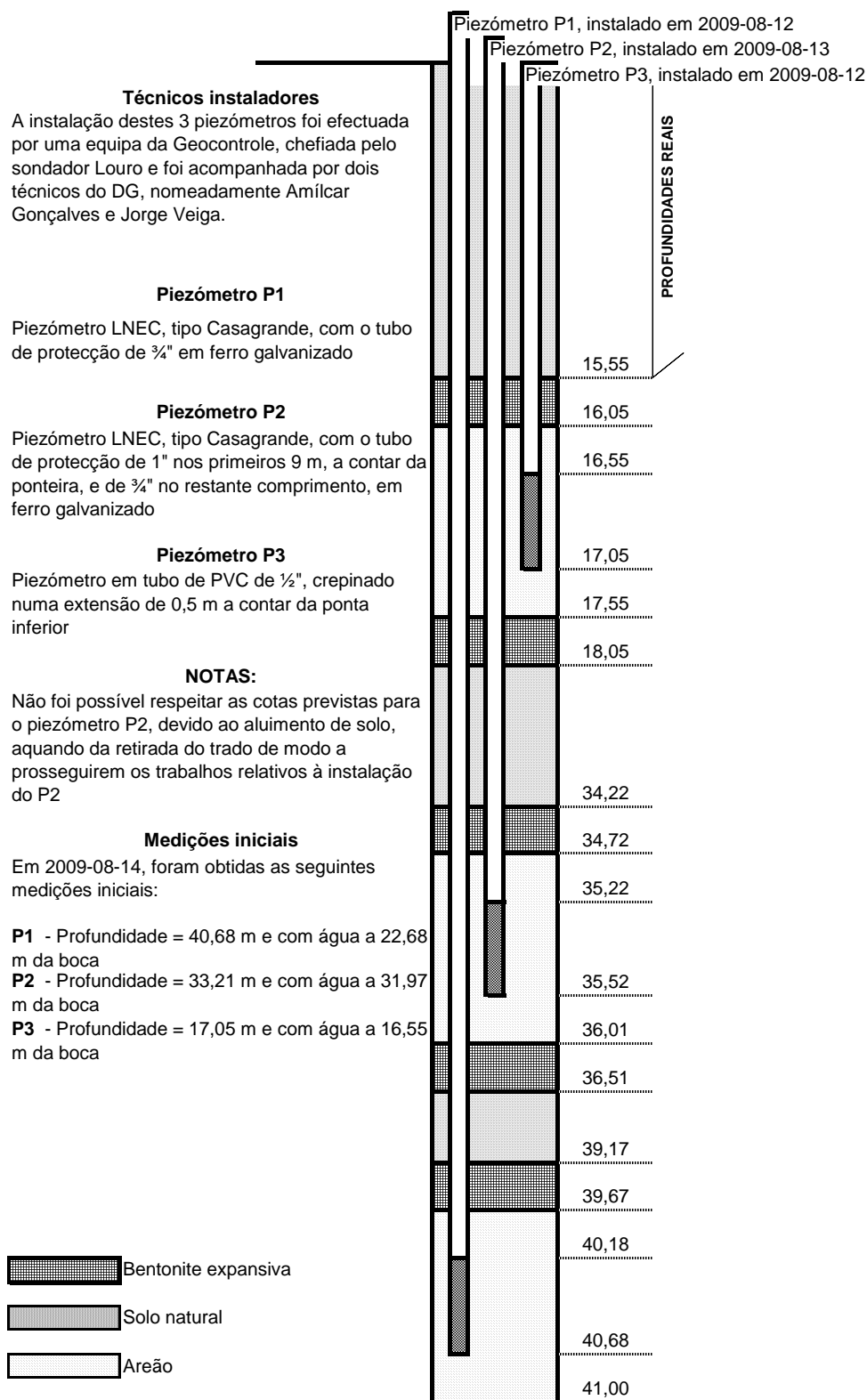
ANEXO 1 – Perfil da sondagem S1





Fonte: Coelho (2011)

ANEXO 2 – Aspectos construtivos dos piezómetros PZ1, PZ2 E PZ3 no interior da sondagem S3



Fonte: Coelho (2011)

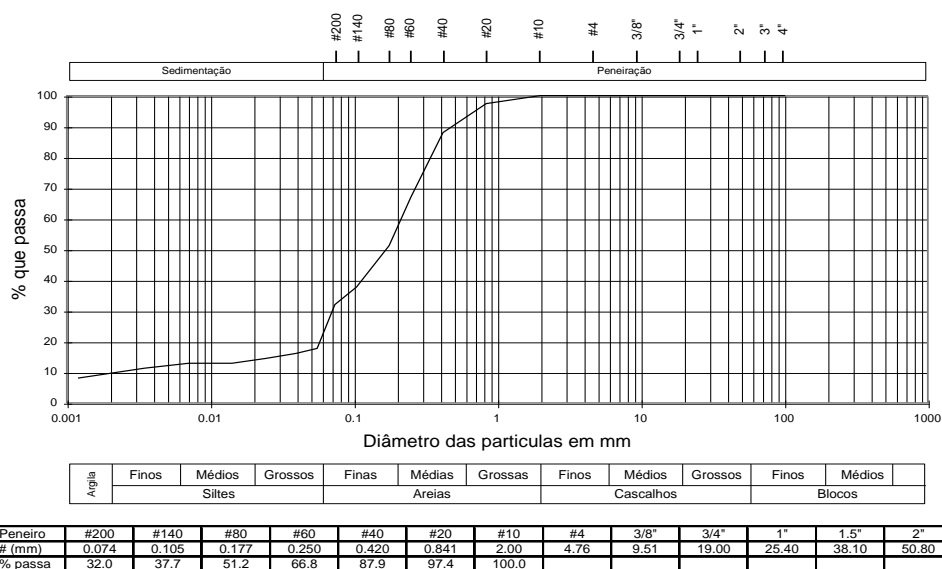
ANEXO 3 – Resultados de ensaios granulométricos

Os ensaios granulométricos de amostra remexida da base do **aterro** assinalam a presença de uma areia fina a média, com cerca de 10% de areias grosseiras e uma fração vestigial de cascalhos finos (Figura 48) assemelhando-se bastante aos materiais do topo das aluviões.

De acordo com ensaios granulométricos em amostras indeformadas recolhidas no ponto S1 sito a N do pavilhão da Hidráulica Marítima, à profundidade de 2,5 a 2,6 m, estes materiais são, nesse local, areias finas a médias, com uma componente de siltes da ordem dos 10%, igual percentagem de argila e menos de 10% de areias grosseiras (Coelho, 2011, informação disponibilizada em 2012).

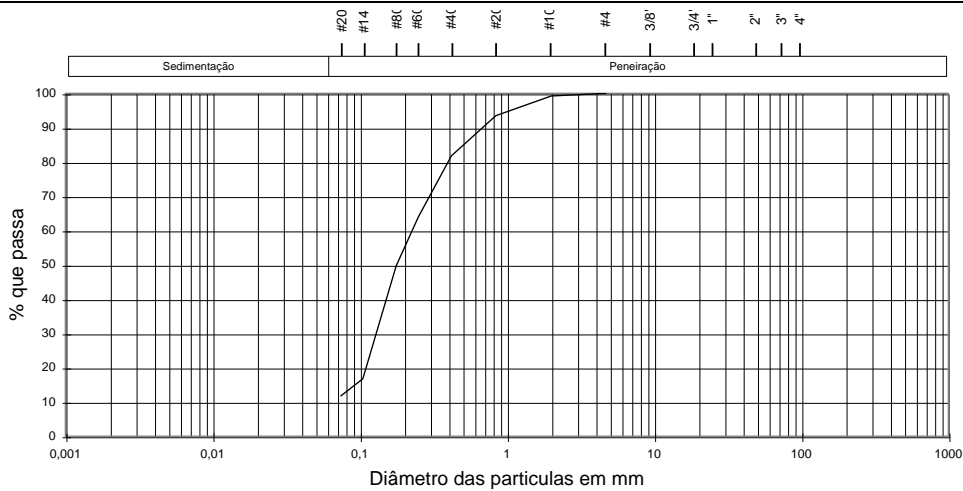
Os ensaios granulométricos num conjunto de amostras remexidas nas **aluviões**, respetivamente no topo (Figura 49), meio (Figura 50) e base das aluviões (Figura 51), também retiradas em pontos a norte dos modelos físicos do Pavilhão da Hidráulica Marítima (vala e ponto S1) mostram igualmente um domínio das areias finas a médias, mas com variações granulométricas nas frações de grosseiros e finos, indiciando uma progressiva passagem para granulometrias progressivamente mais finas em direção à base:

- Topo das aluviões – areias finas a médias, com cerca de 10% de areias grosseiras e uma fração residual de cascalhos finos (Figura 49);
- Meio das aluviões – areias finas a médias, com preponderância das areias médias e uma redução da componente de areias grosseiras (Figura 50);
- Base das aluviões – areias finas a médias, com uma componente significativa de argilas (> 10%), siltes (≈ 20%), alguma areia grosseira (≈ 10%) e uma fração residual de cascalhos finos (Figura 51).



Fonte: Coelho (2011)

Figura 48 – Curva granulométrica de amostra indeformada (ponto S2) aos 2,5 a 2,6 m de profundidade

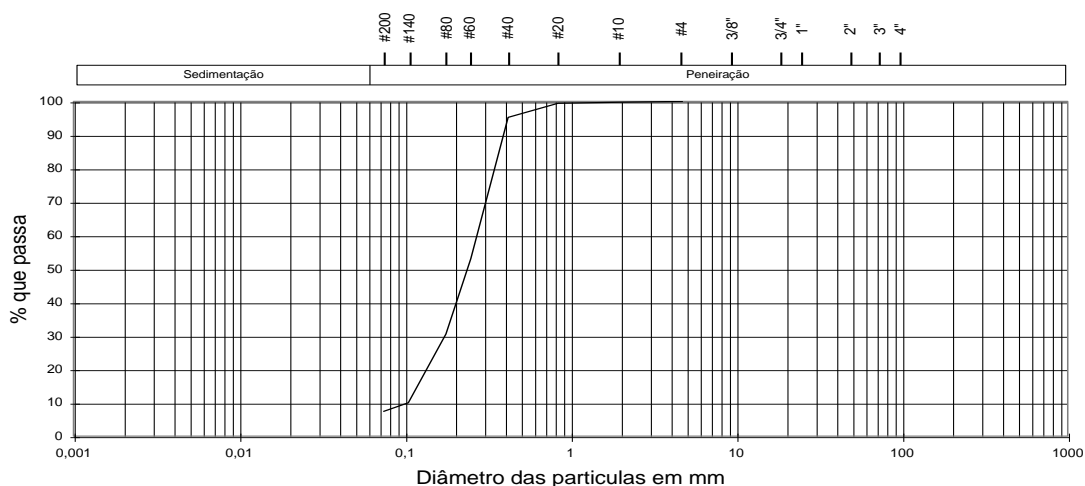


Angla	Siltos			Areias			Cascalhos			Blocos	
	Finos	Médios	Grossos	Finas	Médias	Grossas	Finos	Médios	Grossos	Finos	Médios

Peneiro	#200	#140	#80	#60	#40	#20	#10	#4	3/8"	3/4"	1"	1.5"	2"
# (mm)	0,074	0,105	0,177	0,25	0,42	0,841	2	4,76	9,51	19	25,4	38,1	50,8
% passa	11,66	16,71	49,68	63,93	81,75	93,48	99,25	100					

Fonte: (Coelho, 2011)

Figura 49 – Curva granulométrica de amostra remexida (vala) aos 1,6 m de profundidade

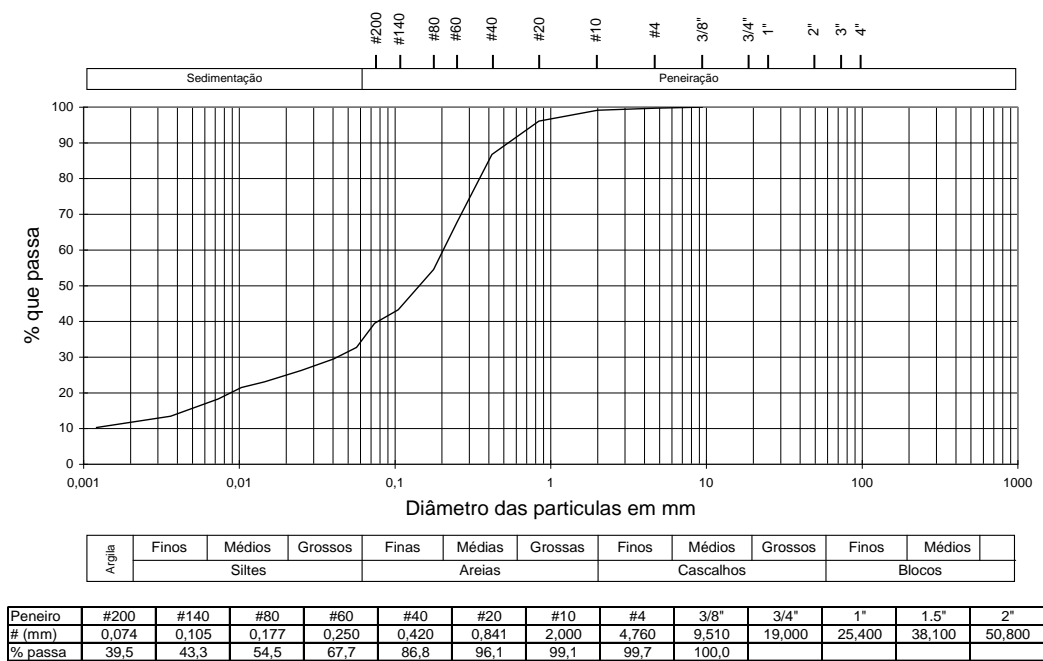


Angla	Siltos			Areias			Cascalhos			Blocos	
	Finos	Médios	Grossos	Finas	Médias	Grossas	Finos	Médios	Grossos	Finos	Médios

Peneiro	#200	#140	#80	#60	#40	#20	#10	#4	3/8"	3/4"	1"	1.5"	2"
# (mm)	0,074	0,105	0,177	0,25	0,42	0,841	2	4,76	9,51	19	25,4	38,1	50,8
% passa	7,35	9,98	30,52	53,02	95,19	99,44	99,75	100					

Fonte: Coelho (2011)

Figura 50 – Curva granulométrica da amostra remexida (vala) aos 2,3 m de profundidade



Fonte: Coelho (2011)

Figura 51 – Curva granulométrica de amostra remexida (ponto S1) aos 2,5 a 3,0 m de profundidade

As **Areias da Quinta do Bacalhau** ocorrem apenas nas sondagens da zona a N dos Pavilhões da Hidráulica Marítima, entre os cerca de 3 e 17 m de profundidade. Nesta região são definidas duas unidades:

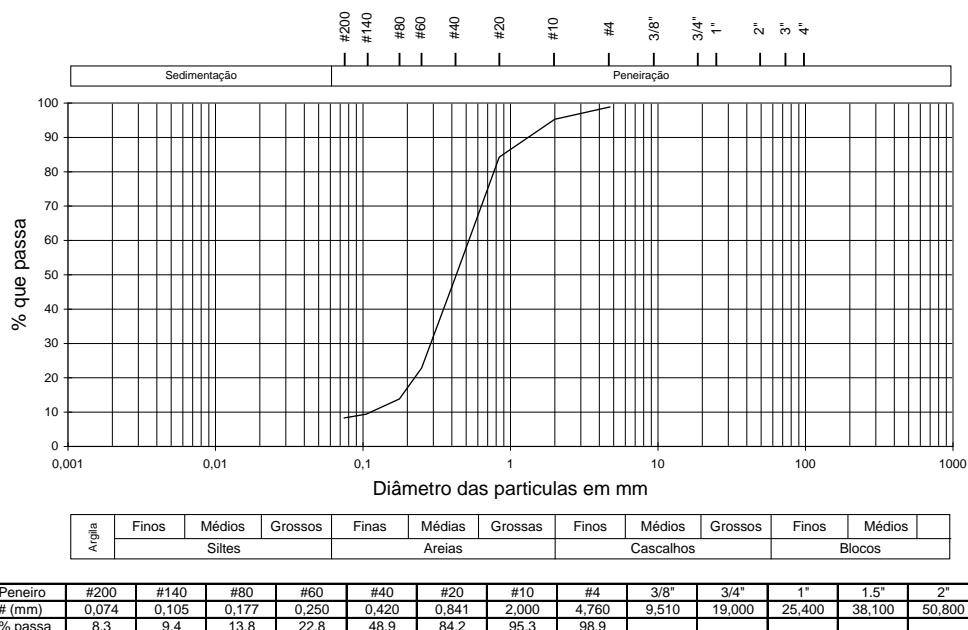
Unidade superior – areia média a grosseira, mediana a muito compacta, com níveis silto-argilosos; níveis de estratificação e outras estruturas sedimentares são visíveis em afloramento (Figura 52). Ocorre entre os 3 e os 10 m de profundidade. A análise de amostras remexidas colhidas na sondagem S1 a meio desta unidade mostra serem areias médias, com cerca de 25% de areias grosseiras e menos de 10% de cascalhos finos (Coelho, informação disponibilizada em 2012; cf. Figura 53).

Unidade inferior – areia média a grosseira, siltosa e com seixos rolados a sub-rolados, muito compacta. Ocorre entre os 10 e os 17 m de profundidade. A análise de amostras remexidas colhidas na sondagem S1 no topo desta unidade (e base da unidade anterior) revela um material arenoso médio, com uma pequena componente de cascalhos finos a médios (cerca de 8%) e, ao invés da unidade anterior, uma componente de areias finas e siltes, além duma percentagem de cerca 5% de argilas (Coelho, informação disponibilizada em 2012; cf. Figura 54).



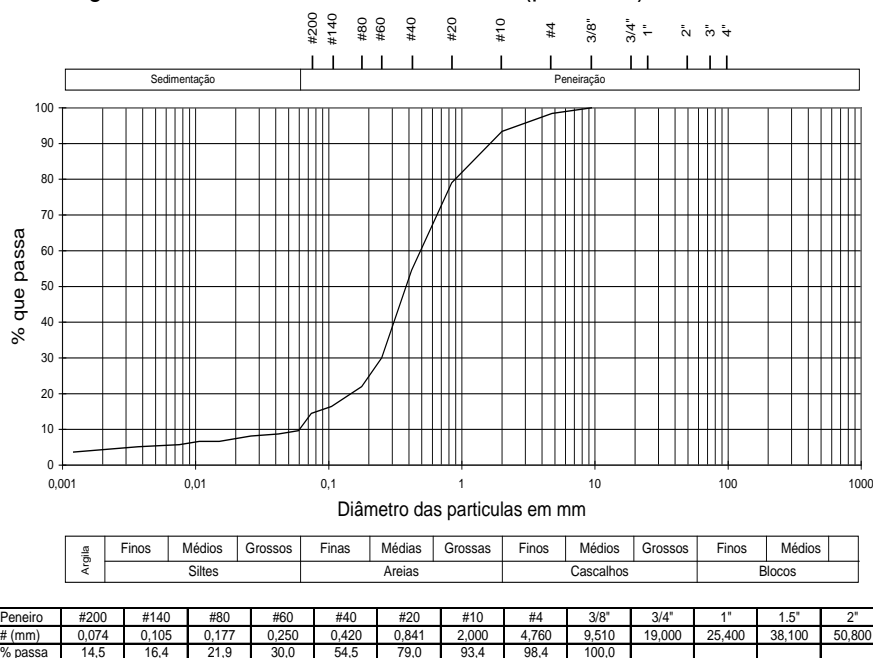
Fonte: Coelho (2011)

Figura 52 – Areias da Quinta do Bacalhau na zona a N do Pavilhão da Hidráulica Marítima (vala na zona do pavilhão do Cuama); a) em afloramento; b) amostras remexidas



Fonte: Coelho (2011)

Figura 53 – Curva granulométrica de amostra remexida (ponto S1) dos 6,0 a 7,5 m de profundidade



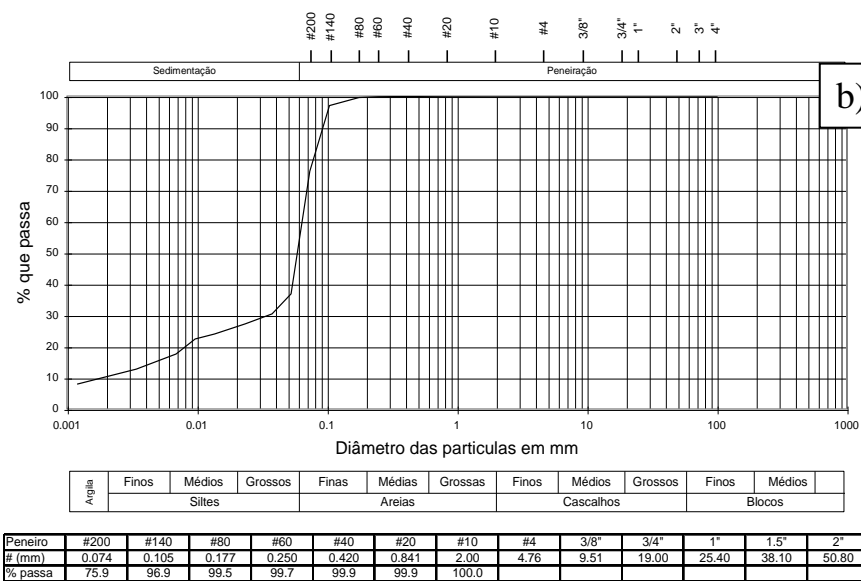
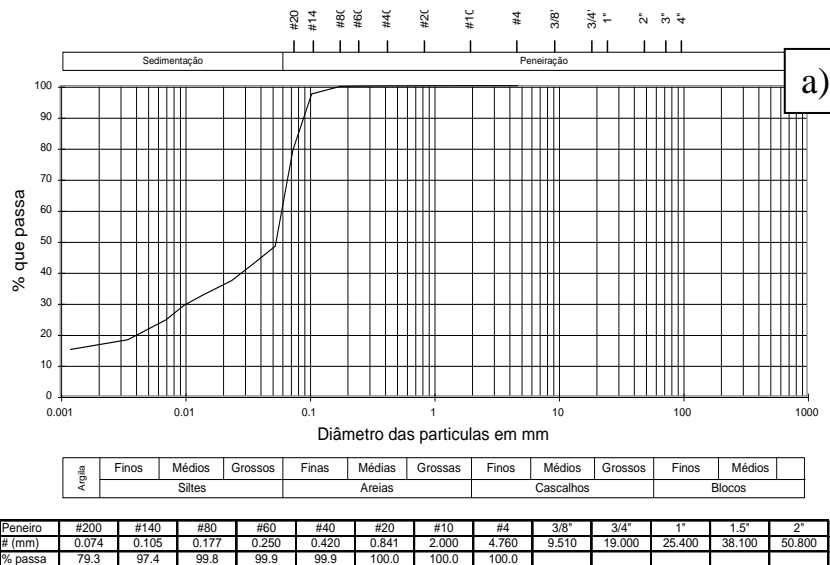
Fonte: Coelho (2011)

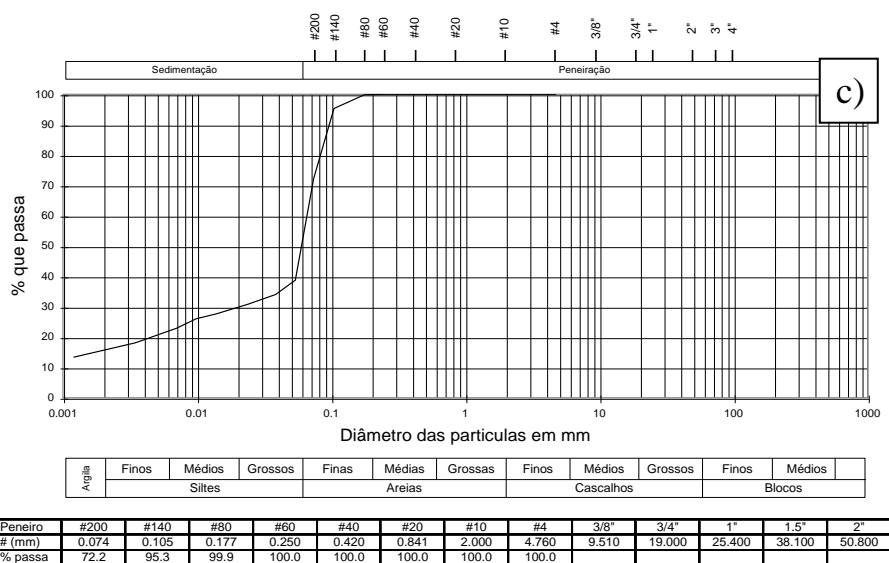
Figura 54 – Curva granulométrica de amostra remexida (ponto S1) dos 9,0 a 12,0 m de profundidade

Nas Argilas do Forno do Tijolo, as sondagens atravessaram as seguintes unidades:

Unidade superior – na zona a norte dos modelos físicos do Pavilhão da Hidráulica Marítima está representada por siltes arenosos rijos, esverdeados, entre os 17 e os 20,5 m de profundidade, que fazem o contacto com as Areias da Quinta do Bacalhau. É no topo desta unidade (e base das Areias da Quinta do Bacalhau) que ocorre o primeiro nível piezométrico, entre os 15,5 m e os 16,8 m de profundidade no piezómetro PZ3 (nível de ralos dos 16,55 a 17,05 m; Coelho, 2011), e aos 18,5 m no poço P1(CF); (cf. Anexo 4). As amostras indeformadas no topo desta unidade (dos 17,05 a 17,20 m de profundidade) mostraram, em ensaios granulométricos, serem essencialmente areias finas (cerca de 50%), siltosas, cujas

componentes dominantes são siltes grosseiros e médios e uma componente argilosa de cerca 10 a 18% (Figura 55).

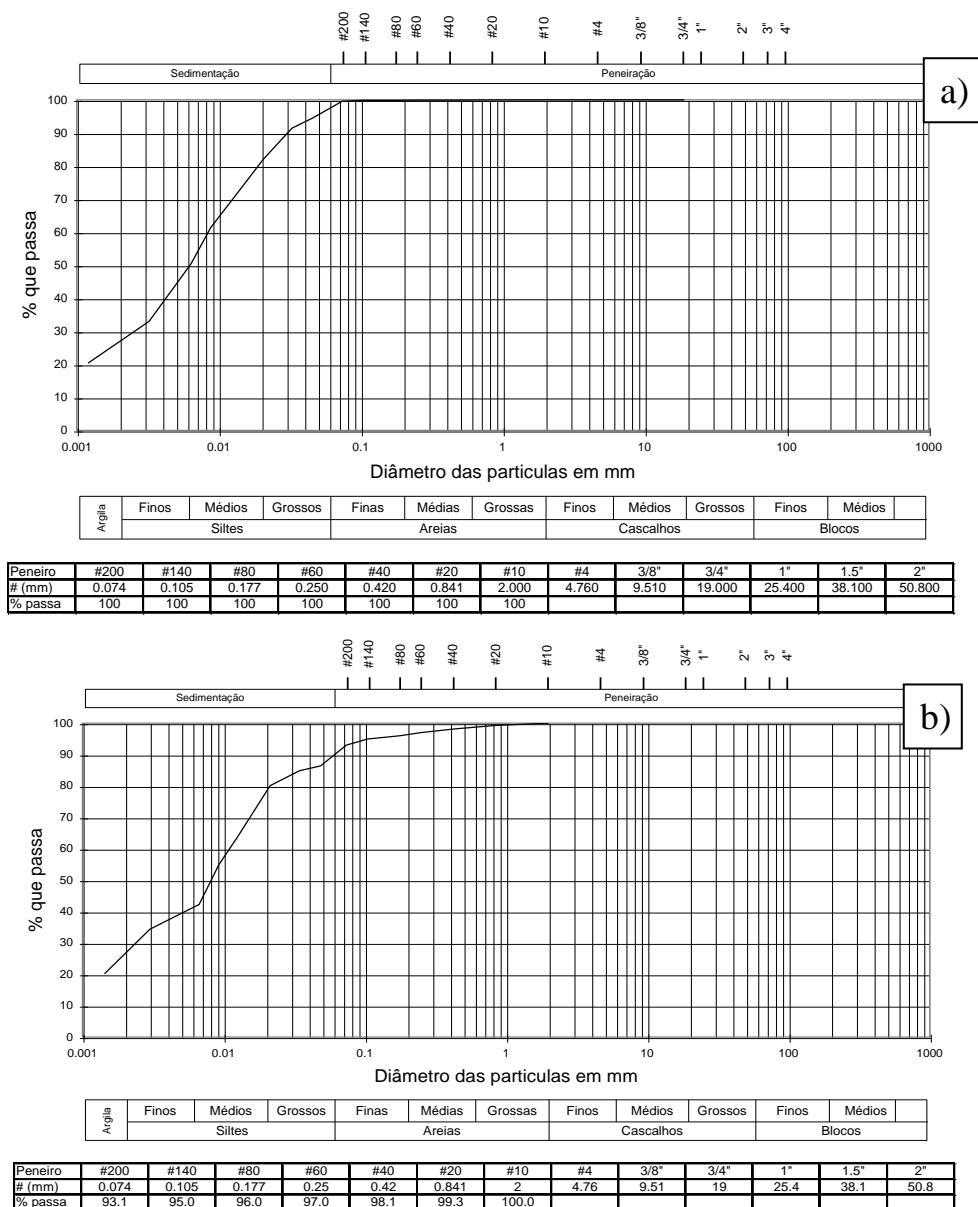




Fonte: Coelho (2011)

Figura 55 – Curva granulométrica de amostra indeformada (ponto S2); a) 17,05 a 17,2 m de profundidade; b) 17,20 a 17,30 m de profundidade; c) 17,90 a 18,05 m de profundidade

Unidade intermédia 1 – na zona a N dos modelos físicos do Pavilhão da Hidráulica Marítima esta é constituída por um silte argiloso cinzento-escuro azulado, rijo, por vezes com areia fina e dispersas concreções carbonatadas, que ocorre dos 20,5 aos 39 m de profundidade. Na área do edifício Ferry Borges o nível de siltes argilosos acastanhados, que constitui aí a unidade mais superficial, surgindo entre os 2,6 e os 4,2 a 4,8 m (exceto no ponto SP1, onde a base se situa aos 7,25 m), será a correspondente aos siltes argilosos com areias finas da zona a N dos modelos físicos do pavilhão de Hidráulica Marítima. Deste modo, e atendendo à sucessão litológica que aí ocorre, na área do edifício Ferry Borges são intercetados os 2 m de espessura basal desta unidade; refira-se que nesta área, no ponto SP1 (cf. Figura 4), há uma depressão da base da camada, passando a espessura para 4,6 m. Em termos de piezometria esta unidade regista, no ponto PZ1 um nível piezométrico aos 32 m de profundidade (ralos entre 35,22 e 35 m), ou seja perto da sua base (Coelho, 2011). Por seu lado, no furo F1(MR), o nível de água ocorre geralmente entre os 20,5 e os 29 m (admissivelmente no mesmo nível produtivo de PZ1, dada a localização do furo F1(MR)); refira-se porém que este é um furo em exploração e além disso, para ele é canalizada a água das galerias de drenagem no Edifício Arantes e Oliveira, pelo que a piezometria neste ponto pode nem sempre ser representativa da realidade. Amostras indeformadas colhidas a meio e quase na base desta formação revelaram ser materiais siltosos, que na zona intermédia apresentam uma componente de argila de mais de 25% e um domínio dos siltes médios embora com proporções iguais (20% de siltes finos e grosseiros, e sem componente arenosa; na zona mais basal dominam os siltes médios e grosseiros mas têm uma componente arenosa essencialmente fina, com pequenas contribuições de areias médias e grosseiras e uma componente argilosa de mais de 25% (Figura 56; Coelho, informação disponibilizada em 2012).



Fonte: Coelho (2011)

Figura 56 – Curva granulométrica de amostra indeformada (ponto S2); a) 27,0 a 27,30 m de profundidade; b) 37,00 a 37,15 m de profundidade

Unidade intermédia 2 – na zona a N dos modelos físicos do Pavilhão da Hidráulica Marítima está representada por um silte argiloso cinzento-escuro azulado, rijo, por vezes com areia fina e níveis calcareníticos fossilíferos (“cascões”), onde ocorre abaixo dos 39 m de profundidade estendendo-se pelo menos até aos 41,5 m. Na zona do edifício Ferry Borges esta unidade está representada pelos mesmos siltes argilosos com “cascões”, sendo aqui de coloração acastanhada, ocorrentes entre 4,2 m e os 10,7 m de profundidade (espessura média = 5,2 m). Esta unidade possui também um nível aquífero, detetado no ponto PZ1 a uma profundidade entre os 40,4 e os 40,7 m (Coelho, 2011); este nível é confinado, como indica a piezometria, que se situa aos 22,7 m de profundidade. No ponto P2 (SA), sito na área do edifício Ferry Borges, regista-se um nível de água aos cerca de 3,5 m de profundidade; dadas as suas propriedades hidroquímicas admite-se que este nível esteja associado à unidade de siltes com “cascões”.

Unidade inferior – foi atravessada somente na zona do edifício Ferry Borges, sendo constituída por argilas cinzentas, ocorrendo abaixo dos 10,2 a 10,7 m de profundidade, apresentando espessura média admissivelmente superior a 10 m, dado que aos 20 m (25 m no caso da sondagem SP5) não fora ainda atravessada qualquer outra unidade.

ANEXO 4 – CARACTERÍSTICAS DOS PONTOS DE ÁGUA INVENTARIADOS NO INTERIOR E NAS IMEDIAÇÕES DA ÁREA DE ESTUDO

Desig.	Tipo	M (m)	P (m)	Cota do terreno (m)	Prof. da base (m)	Topo e base dos ralos (m)	Proprietário, local	
F1(MR)**	Poço	112403	199608	86,39	37	-	LNEC	
P1(CF)*	Poço	112173	199676	88,64	39	-	LNEC	
P2(SA)*	Poço	112197	199430	86,07	6,7	-	LNEC	
PZ(S3)	PZ1(S3)	Piezómetro	112246	199819	89,23	40,68	40,18-40,68	LNEC
	PZ2(S3)	Piezómetro	112246	199819	89,23	35,52	35,22-35,52	LNEC
	PZ3(S3)	Piezómetro	112246	199819	89,23	17,05	16,55-17,05	LNEC
N1(AO)	Nascente	112370	199510	86,96	7	-	LNEC (galerias de drenagem do edifício principal)	
P3(MC)*	Poço	111023	199520	80,00	16,48	-	Museu da cidade	
F4(HJM)**	Furo	111970	199575	80,93	35,75	-	Hospital Júlio de Matos	
P4(HJM)*	Poço	112058	199681	86,88	21	-	Hospital Júlio de Matos	
P5(Rosa)**	Poço	112751	198955	80,08	13,54	-	Rosa Henriques, Av. Sta Joana Princesa N.º 39	
P6(Bombeiros)*	Poço	112434	199218	87,46	3,76	-	Bombeiros de Alvalade	
F3(INATEL) *	Furo	112650	198630	83,08	121	42-48; 54-60; 78-84; 96-114	INATEL, Av. Rio de Janeiro	
431/71***	Furo	111280,00	198920,00	79,43	70	30-36;42-48;60-66	Faculdade de Psicologia	
F5(LRC)	Furo	112992	199403	99,48	89	-	Lisboa Racket Centre, Alvalade	
P7(ESVP) **	Poço	111460,32	199653,58	90,25	23	-	Externato S. Vicente de Paulo	
431/43***	Furo	113300,00	199530,00	72,38	70	24-30;50-59	Av. Gago Coutinho n.º 141	
F6(RT)***	Furo	113204,50	198780,04	62,22	42	-	Reis Tomé, Rua Eduardo Noronha, n.º46	
F7(LF)***	Furo	113267,60	198820,60	60,00	-	-	Luís Fonseca, Av. Gago Coutinho, nº 89	
P8(LBP) **	Poço	113138,78	198597,92	67,87	4,9	-	Liga dos Bombeiros Portugueses, R. Eduardo Noronha, n.º 7	
431/37***	Furo	113450,00	199920,00	89,17	150	48-54;66-78;114-126	Posto da Repsol, Rotunda do Aeroporto	
F8(REP) **	Furo	112435	199910	98,00	186	-	Posto da Repsol, 2ª Circular sentido Sul-Norte	
P9(CG300) **	Poço	111460,57	199283,49	78,59	16,8	-	Pedro Gil, Grande n.º 300	
P10(Horto) **	Poço	111266,46	199102,20	77,90	13,4	-	Horto do Campo Grande	

Nota: todas as medições são em relação ao nível do terreno

(*) Inativo; (**) Em extração; (***) Sem condições para a medição da profundidade ao nível piezométrico ou cimentado

ANEXO 5 – REGISTO FOTOGRÁFICO DE PONTOS DE ÁGUA INVENTARIADOS DURANTE AS CAMPANHAS DE CAMPO



Figura 57 – Poço P2(SA), LNEC (nas proximidades da Sala de Atividades)



Figura 58 – Poço P1(CF), LNEC (junto ao campo de futebol)



Figura 59 – Poço F1(MR), LNEC (junto ao edifício Manuel Rocha)



Figura 60 – Piezómetros PZ1, PZ2 e PZ3, LNEC (a N do PHM)



Figura 61 – Poço P3(MC), Museu da Cidade (Campo Grande)



Figura 62 – Poço P4(HJM), Hospital Júlio de Matos



Figura 63 – Poço P5(Rosa), Av. Sta. Joana Princesa, n.º 39



Figura 64 – Poço P7(ESVP), Externato São Vicente de Paulo (Av. Marechal Craveiro Lopes)



Figura 65 – Poço P8(LBP), Liga dos Bombeiros Portugueses (Rua Eduardo de Noronha n.º 7)



Figura 66 – Furo F8(REP), posto de abastecimento de gasolina da Repsol (2.ª circular sentido sul-norte)



Figura 67 – Poço P9(CG300), Centro de Atividades Culturais (Campo Grande n.º 300)

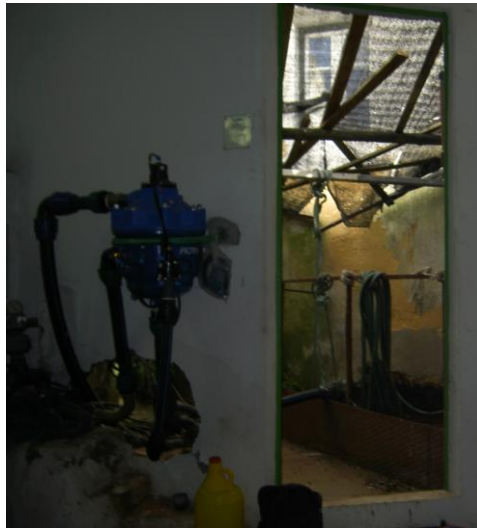


Figura 68 – Poço P10(Horto), Horto do Campo Grande



Figura 69 – Furo F3(INATEL), Parque de Jogos 1.º de Maio (Av. Rio de Janeiro)

ANEXO 6 – REGISTOS DE NÍVEIS PIEZOMÉTRICOS (CAMPANHAS DE MONITORIZAÇÃO EFETUADAS ENTRE JULHO E OUTUBRO DE 2012)

Ponto	M (m)	P (m)	Data	Prof. ao nível piezométrico (m)	Cota terreno (m)	Cota piezométrica (m)
PZ1(S3)	112246,43	199818,88	04-07-2012	20,55	89,23	68,68
P3(MC)	111022,99	199520,35	04-07-2012	6,48	80,00	73,52
P1(CF)	112173,28	199675,86	05-07-2012	15,57	88,64	73,07
P2 (SA)	112196,95	199429,50	05-07-2012	3,84	86,07	82,23
F1(MR)	112402,76	199607,65	05-07-2012	26,65	86,39	59,74
F3(INATEL)	112650,00	198630,00	05-07-2012	25,85	83,08	57,23
F4(HJM)	111970,00	199575,00	06-07-2012	13,62	80,93	67,31
P4(HJM)	112058,24	199681,00	06-07-2012	4,68	86,88	82,20
P4(HJM)	112058,24	199681,00	06-08-2012	5,01	86,88	81,87
F4(HJM)	111970,00	199575,00	06-08-2012	13,84	80,93	67,09
F1(MR)	112402,76	199607,65	06-08-2012	19,88	86,39	66,51
P1(CF)	112173,28	199675,86	06-08-2012	24,52	88,64	64,12
P2(SA)	112196,95	199429,50	06-08-2012	4,08	86,07	81,99
F1(MR)	112402,76	199607,65	22-08-2012	19,95	86,39	66,44
P1(CF)	112173,28	199675,86	22-08-2012	20,77	88,64	67,87
P5(Rosa)	112750,56	198954,60	21-08-2012	12,09	80,08	67,99
P6(Bombeiros)	112434,13	199218,10	21-08-2012	3,10	87,46	84,36
P2 (SA)	112196,95	199429,50	15-10-2012	4,75	86,07	81,32
P1(CF)	112173,28	199675,86	15-10-2012	18,24	88,64	70,40
F1(MR)	112402,76	199607,65	15-10-2012	21,34	86,39	65,06
PZ1(S3)	112246,43	199818,88	19-10-2012	21,70	89,23	67,53
F5(LRC)	112991,89	199402,89	23-10-2012	49,00	99,48	50,48
P7(ESVP)	111460,32	199653,58	23-10-2012	21,24	90,25	69,01
P5(Rosa)	112750,56	198954,60	24-10-2012	12,14	80,08	67,94
P7(ESVP)	111460,32	199653,58	24-10-2012	20,37	90,25	69,88
P8(LBP)	113138,78	198597,92	25-10-2012	3,90	67,87	63,97
F8(REP)	112435,14	199910,45	30-10-2012	32,13	98,00	65,87
P9(CG300)	111460,57	199283,49	31-10-2012	8,45	78,59	70,14
P10(Horto)	111266,46	199102,20	02-11-2012	6,38	77,90	71,52
P1(CF)	112173,28	199675,86	02-11-2012	18,06	88,64	70,58
F1(MR)	112402,76	199607,65	02-11-2012	21,13	86,39	65,26
P7(ESVP)	111460,32	199653,58	05-11-2012	19,17	90,25	71,09
P2 (SA)	112196,95	199429,50	05-11-2012	4,88	86,07	81,19
P4(HJM)	112058,24	199681,00	06-11-2012	5,48	86,88	81,40
P3(MC)	111022,99	199520,35	06-11-2012	6,33	80,00	73,67
F3(INATEL)	112650,00	198630,00	06-11-2012	25,78	83,08	57,30
P7(ESVP)	111460,32	199653,58	06-11-2012	20,15	90,25	70,10
P6(Bombeiros)	112434,13	199218,10	08-11-2012	2,76	87,46	84,70
P1(CF)	112173,28	199675,86	08-11-2012	17,98	88,64	70,66
F1(MR)	112402,76	199607,65	08-11-2012	21,15	86,39	65,24

Estudo da viabilidade de utilização das águas subterrâneas do *campus* do LNEC

PZ1(S3)	112246,43	199818,88	08-11-2012	21,53	89,23	67,70
F4(HJM)	111970,00	199575,00	09-11-2012	13,60	80,93	67,33

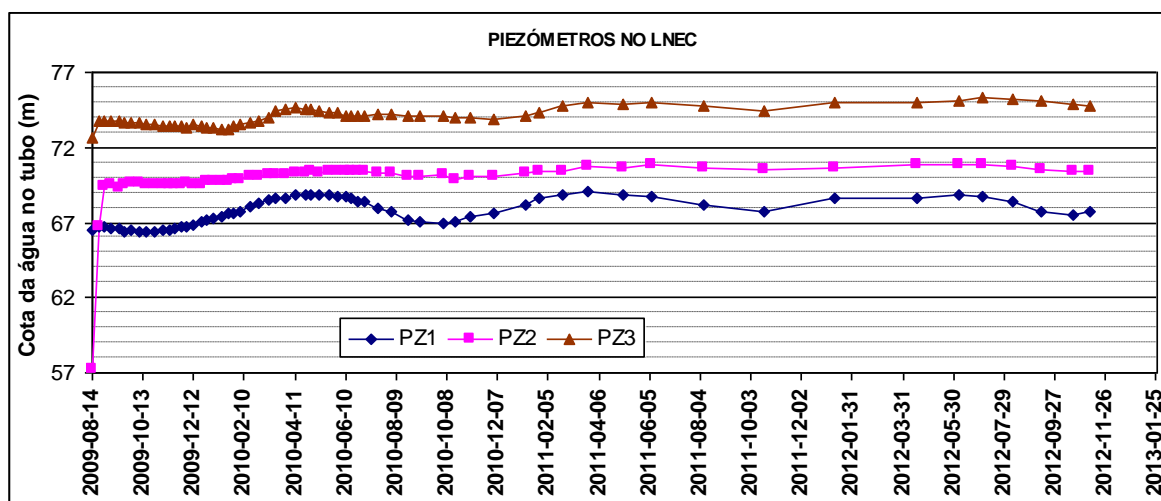
ANEXO 7 - PROFUNDIDADE AO NÍVEL DA ÁGUA NOS PIEZÓMETROS PZ1, PZ2 E PZ3 (A TRÊS DIFERENTES NÍVEIS AQUÍFEROS, DEVIDAMENTE ISOLADOS)

Data	PZ1 - Prof. = 40,68 m		PZ2 - Prof. = 35,52 m		PZ3 - prof. = 17,05 m	
	Prof. Água (m)	Cota Água (m)	Prof. Água (m)	Cota Água (m)	Prof. Água (m)	Cota Água (m)
2009-08-14 (a)	22,68	66,55	31,97 (a)	57,26	16,55 (a)	72,68
2009-08-21	22,54	66,69	22,52	66,71	15,49	73,74
2009-08-28	22,56	66,67	19,80	69,43	15,47	73,76
2009-09-04	22,58	66,65	19,70	69,54	15,51	73,72
2009-09-14	22,66	66,57	19,99	69,24	15,51	73,72
2009-09-21	22,79	66,44	19,68	69,55	15,55	73,68
2009-09-29	22,78	66,45	19,66	69,57	15,57	73,66
2009-10-08	22,81	66,42	19,65	69,58	15,63	73,60
2009-10-16	22,87	66,36	19,69	69,54	15,65	73,58
2009-10-26	22,83	66,40	19,67	69,56	15,69	73,54
2009-11-05	22,76	66,47	19,70	69,53	15,77	73,47
2009-11-13	22,71	66,52	19,73	69,50	15,80	73,44
2009-11-20	22,66	66,57	19,72	69,51	15,86	73,37
2009-11-27	22,54	66,69	19,71	69,52	15,85	73,39
2009-12-04	22,48	66,75	19,65	69,58	15,88	73,35
2009-12-11	22,41	66,82	19,73	69,50	15,74	73,49
2009-12-21	22,14	67,09	19,67	69,56	15,85	73,38
2009-12-28	22,08	67,15	19,54	69,69	15,91	73,32
2010-01-05	21,93	67,30	19,47	69,76	15,94	73,29
2010-01-14	21,82	67,41	19,44	69,79	16,01	73,22
2010-01-22	21,67	67,56	19,46	69,77	16,02	73,21
2010-01-29	21,60	67,63	19,43	69,80	15,76	73,47
2010-02-05	21,46	67,77	19,35	69,88	15,69	73,54
2010-02-17	21,15	68,08	19,20	70,03	15,62	73,61
2010-02-26	20,98	68,25	19,15	70,08	15,50	73,73
2010-03-10	20,77	68,46	19,08	70,15	15,21	74,02
2010-03-19	20,66	68,57	19,01	70,22	14,79	74,44
2010-03-30	20,58	68,65	19,01	70,22	14,73	74,50
2010-04-12	20,41	68,82	18,96	70,27	14,61	74,62
2010-04-23	20,40	68,83	18,92	70,31	14,74	74,49
2010-04-30	20,36	68,87	18,82	70,41	14,72	74,51
2010-05-10	20,36	68,87	18,94	70,29	14,78	74,45
2010-05-21	20,38	68,85	18,85	70,38	14,87	74,36
2010-06-01	20,45	68,78	18,83	70,40	14,96	74,27
2010-06-11	20,50	68,73	18,82	70,41	15,09	74,14

Estudo da viabilidade de utilização das águas subterrâneas do campus do LNEC

2010-06-17	20,56	68,67	18,80	70,43	15,08	74,15
2010-06-25	20,81	68,42	18,83	70,40	15,10	74,13
2010-07-02	20,85	68,38	18,83	70,40	15,12	74,11
2010-07-19	21,29	67,94	18,88	70,35	15,07	74,16
2010-08-04	21,54	67,69	18,93	70,30	15,05	74,18
2010-08-23	22,02	67,21	19,19	70,04	15,08	74,15
2010-09-06	22,20	67,03	19,18	70,05	15,12	74,11
2010-10-04	22,28	66,95	19,10	70,13	15,15	74,08
2010-10-18	22,15	67,08	19,42	69,81	15,21	74,02
2010-11-05	21,85	67,38	19,12	70,11	15,23	74,00
2010-12-03	21,62	67,61	19,14	70,09	15,41	73,82
2011-01-10	21,02	68,21	18,98	70,25	15,19	74,04
2011-01-26	20,60	68,63	18,78	70,45	14,88	74,35
2011-02-22	20,43	68,80	18,81	70,42	14,43	74,80
2011-03-23	20,18	69,05	18,54	70,69	14,20	75,03
2011-05-05	20,40	68,83	18,60	70,63	14,30	74,93
2011-06-07	20,45	68,78	18,43	70,80	14,19	75,04
2011-08-08	21,10	68,13	18,60	70,63	14,48	74,75
2011-10-18	21,50	67,73	18,74	70,49	14,83	74,40
2012-01-11	20,60	68,63	18,64	70,59	14,28	74,95
2012-04-16	20,56	68,67	18,40	70,83	14,19	75,04
2012-06-05	20,35	68,88	18,35	70,88	14,12	75,11
2012-07-04	20,55	68,68	18,41	70,82	13,94	75,29
2012-08-07	20,80	68,43	18,47	70,76	13,97	75,26
2012-09-12	21,48	67,75	18,71	70,52	14,16	75,07
2012-10-19	21,70	67,53	18,84	70,39	14,40	74,83
2012-11-08	21,53	67,70	18,83	70,40	14,47	74,76
Média	21,50	67,74	19,39	69,84	15,14	74,09
Máximo	22,87	69,05	31,97	70,88	16,55	75,29
Mínimo	21,50	66,36	19,39	69,84	15,14	74,09

(a) profundidade ao nível piezométrico detetado na construção



Fonte: Coelho (2011)

ANEXO 8 – BOLETINS DE ANÁLISES QUÍMICAS



LABES 2012/05/07

AMOSTRAS DE ÁGUA ANÁLISE QUÍMICA

Requerente: DHA – Departamento de Hidráulica e Ambiente

Processo: 0202/021

Data do Pedido: 2012-04-23

1 – Identificação das amostras

“Projecto DHA – SOL, Ponto: Campo de Futebol, Data: 23-04-2012”;

“Projecto DHA – SOL, Ponto: Edifício M.R., Data: 23-04-2012”;

“Projecto DHA – SOL, Ponto: Sala de Actividades., Data: 23-04-2012”;

“Projecto DHA – SOL, Ponto: Edifício A.O., Data: 23-04-2012”.

2 – Condições de ensaio

Os ensaios foram realizados de acordo com os seguintes documentos normativos:

Determinação do teor em cloretos..... NP 423: 1966

Determinação do teor em sulfatos..... NP 413: 1966

Determinação da alcalinidade..... NP 421: 1966

Determinação do teor de álcalis..... Especificação E381


3 – Resultados

Parâmetros	Identificação das amostras			
	Água do Campo de Futebol	Água do Edifício M.R	Água da Sala de Actividades	Água do Edifício A.O.
Teor em HCO ₃ ⁻ (mg/l)	453	437	461	442
Teor em Cl ⁻ (mg/l)	179	154	171	142
Teor em SO ₄ ²⁻ (mg/l)	200	206	85,8	225
Teor em Na ⁺ (mg/l)	160	230	60,0	210
Teor em K ⁺ (mg/l)	14,8	4,6	5,3	3,2


Data do início dos ensaios: 2012-04-26

Data final dos ensaios: 2012-05-03

O Técnico


2012-05-03

Visto


2012-05-03

ANEXO 9 – METODOLOGIA DE CÁLCULO DA RECARGA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Metodologia de cálculo e informação utilizada

Considerando um volume de controlo vertical cujo limite horizontal superior e inferior é o da área em estudo e a espessura é a espessura do solo sujeita a evapotranspiração, este modelo assume as seguintes características:

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

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

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

sendo P a precipitação, E_{ps} o escoamento direto, ETR a evapotranspiração real e ΔA_l a variação de água armazenada no solo.

No modelo numérico de balanço hídrico sequencial diário BALSEQ_MOD foram incluídas diversas formas de calcular os processos do balanço hídrico referidos na Equação (1). O modelo BALSEQ_MOD tem como antecedentes o modelo BALSEQ desenvolvido por Lobo Ferreira (1981, 1982) para a estimativa da recarga de águas subterrâneas na ilha de Porto Santo.

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

Modelação da infiltração superficial

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

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

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

Os valores de P_{lim} , a e b são apresentados no Quadro 22, em função da classe textural do *solo* presente (ver Figura 70 para a definição da classe textural) e do teor de humidade inicial (θ_i). Se o teor de humidade inicial (θ_i) não for um dos apresentados nesse Quadro, os parâmetros da equação de regressão linear são estimados pela equação:

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

onde θ_2 é o teor de humidade inicial da equação com teor de humidade imediatamente superior, a_2 e b_2 são os respetivos parâmetros, θ_1 é o teor de humidade inicial da equação representada no Quadro 22 com teor de humidade imediatamente inferior, e a_1 e b_1 são os respetivos parâmetros.

Quadro 22 – Relação entre I_s e P para os casos em que $P > P_{lim}$, em função da textura do solo e do teor de humidade inicial.

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

cc = retenção específica; n = porosidade; wp = ponto de emurhecimento permanente.

(adaptado de Oliveira, 2004, 2006)

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

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

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

O modelo numérico BALSEQ_MOD é aplicado a uma área de estudo (por exemplo um sistema aquífero) dividindo a sua área de afloramento num conjunto de subáreas que se caracterizam por ter propriedades de solos, ocupação do solo, precipitação e evapotranspiração de referência semelhantes. O modelo é corrido separadamente para cada uma dessas subáreas pelo que os valores obtidos para uma subárea são independentes dos valores obtidos para outra subárea. Dentro de cada subárea a metodologia implementada no modelo numérico BALSEQ_MOD contempla a possibilidade de existência de até dois cobertos vegetais e de uma superfície descoberta. Dentro de cada subárea, a fração do espaço ocupada por cada coberto vegetal ou terreno descoberto pode variar no tempo, ao longo de um ano hidrológico, em função do período de desenvolvimento vegetativo. Isto faz com que cada subárea possa ser dividida horizontalmente em até três partes. Para cada porção é realizado um balanço hídrico sequencial diário, em que o balanço hídrico numa parte depende do balanço hídrico das outras duas partes. Por esse motivo, o balanço hídrico sequencial tem que ser feito simultaneamente. Com a coexistência de dois cobertos vegetais e do terreno descoberto, a equação (5) toma a forma:

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

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

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

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

$$A_{iETR}(\text{dia}, \text{coberto } i) = A_{i\text{inicio}}(\text{dia}, \text{coberto } i) + I_s(\text{dia}, \text{coberto } i) + A_{i\text{ganho}}(\text{dia}, \text{coberto } i) \quad (8)$$

sendo $A_{i\text{inicio}}$ a quantidade de água que existe no *solo* no final do dia anterior, I_s a infiltração superficial calculada para o próprio dia [equação (2)], representando $A_{i\text{ganho}}$, no caso do coberto vegetal, o aumento de um dia para o outro da quantidade de água devido ao aumento

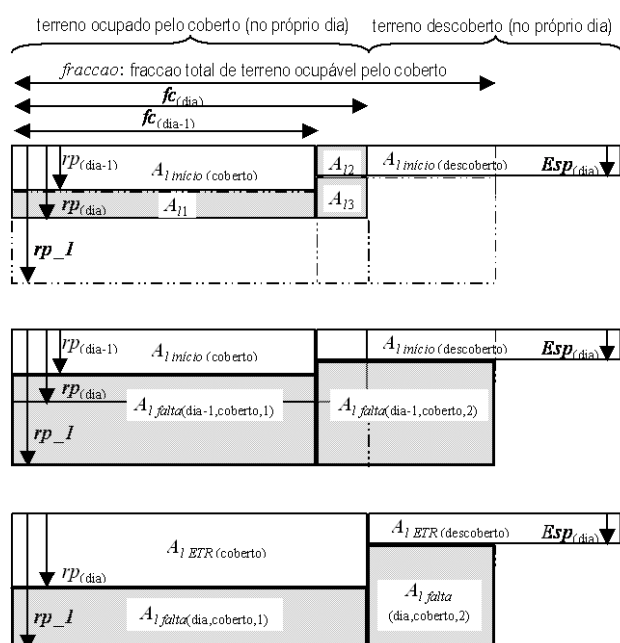
da área coberta pelas plantas ou ao aumento da profundidade das raízes das plantas.

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

$$A_{I\text{ganho}}(\text{dia, terreno descob.}) = [A_{I\text{inicio}}(\text{dia, coberto}) / rp_1(\text{coberto}) \cdot Esp(\text{dia})] \cdot fc(\text{dia-1, coberto}) / fc(\text{dia, terreno descob.}) \quad (9)$$

onde Esp representa a espessura do terreno descoberto sujeita a evaporação, rp_1 representa a profundidade das raízes das plantas do coberto no dia anterior (equivalente à profundidade máxima alcançável pelas raízes das plantas do coberto), fc a fração de área ocupada, dia o próprio dia, e $dia-1$ o dia anterior.

Para cada coberto vegetal, são os seguintes os termos relativos ao aumento da quantidade de água no *solo*, expressos em altura de água na zona ocupada pelo coberto vegetal (Figura 71):



in Oliveira (2004, 2006)

Figura 71 – Situações consideradas durante o balanço hídrico para o caso do aumento da fração ocupada por um determinado coberto vegetal ou da espessura do solo sujeita a evapotranspiração.

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

$$A_{I1} = [rp(\text{dia, coberto}) - rp(\text{dia-1})] \cdot (cc - wp - \theta_{\text{falta1}}) \cdot fc(\text{dia-1, coberto}) / fc(\text{dia, coberto}) \quad (10)$$

onde θ_{falta1} é dado por:

$$\theta_{\text{falta1}} = A_{I\text{falta}}(\text{dia-1, coberto, 1}) / [rp_1(\text{coberto}) - rp(\text{dia-1, coberto})] \quad (11)$$

$A_{I\text{falta}}(\text{dia-1, coberto, 1})$ representa a quantidade de água do *solo* em falta para que, na área do *solo* entre a profundidade das raízes das plantas no dia anterior $[rp(\text{dia-1})]$ e a profundidade máxima alcançável pelas raízes das plantas (rp_1), o teor de humidade do *solo* atinja a retenção

específica (cc).

Devido ao aumento da profundidade das raízes das plantas, o termo $A_{I\ falta}(\text{dia}, \text{coberto}, 1a)$ é atualizado para a nova profundidade que ainda falta preencher pelas raízes das plantas [entre rp_1 e $rp(\text{dia})$]:

$$A_{I\ falta}(\text{dia}, \text{coberto}, 1a) = A_{I\ falta}(\text{dia}-1, \text{coberto}, 1) / [rp_1(\text{coberto}) - rp(\text{dia}-1, \text{coberto})] \cdot [rp_1(\text{coberto}) - rp(\text{dia}, \text{coberto})] \cdot fc(\text{dia}-1, \text{coberto}) / fc(\text{dia}, \text{coberto}) \quad (12)$$

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

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

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

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

onde $\theta_{\ falta2}$ é dado por:

$$\theta_{\ falta2} = A_{I\ falta}(\text{dia}-1, \text{coberto}, 2) / [rp_1(\text{coberto}) - Esp(\text{dia}-1)] \quad (15)$$

$A_{I\ falta}$ representa a quantidade de água do *solo* em falta para que, na área do *solo* entre a espessura do terreno descoberto no dia anterior [$Esp(\text{dia}-1)$] e a profundidade máxima alcançável pelas raízes das plantas (rp_1), o teor de humidade do *solo* atinja a retenção específica.

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

$$A_{I\ falta}(\text{dia}, \text{coberto}, 1b) = A_{I\ falta}(\text{dia}-1, \text{coberto}, 2) / [rp_1(\text{coberto}) - Esp(\text{dia}-1)] \cdot [rp_1(\text{coberto}) - rp(\text{dia}, \text{coberto})] \cdot [fc(\text{dia}, \text{coberto}) - fc(\text{dia}-1, \text{coberto})] / fc(\text{dia}, \text{coberto}) \quad (16)$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$A_{l\ falta}(dia, coberto, 2) = [rp_1(coberto) - Esp(dia-1)] * [cc - (wp + A_{l\ inicio}(dia, coberto) / rp(dia-1, coberto))] \quad (21)$$

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

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

A variação do armazenamento de água no *solo* (ΔA_l) e a infiltração profunda (lp) são também determinadas pelo balanço hídrico sequencial:

$$\Delta A_l(dia, coberto\ i) + lp(dia, coberto\ i) = Is(dia, coberto\ i) + A_{l\ ganho}(dia, coberto\ i) - ETR(dia, coberto\ i) \quad (22)$$

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

$$A_{l\ fim}(dia, coberto\ i) + lp(dia, coberto\ i) = A_{l\ inicio}(dia, coberto\ i) + Is(dia, coberto\ i) + A_{l\ ganho}(dia, coberto\ i) - ETR(dia, coberto\ i) \quad (23)$$

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

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

Substituindo $lp(dia, coberto\ i)$ na equação (23) obtém-se $A_{l\ fim}(dia, coberto\ i)$. Mas pela aplicação desta equação pode acontecer que a quantidade de água no *solo* exceda a quantidade máxima de água que o *solo* pode conter ($AG_l(dia, coberto\ i) = rp(dia, coberto\ i).n$ sendo n a porosidade). Nesse caso assume-se que se $A_{l\ fim}(dia, coberto\ i)$ dado pela aplicação da equação (23) excede $AG_l(dia, coberto\ i)$, a diferença será acrescentada ao escoamento direto ou ao armazenamento de água no *solo* (que no BALSEQ_MOD se considera nulo: $\Delta A_p = 0$), ou seja:

$$E_{ps}(dia, coberto\ i) = E_{ps\ equação(4)}(dia, coberto\ i) + (A_{l\ fim}(dia, coberto\ i) - AG_l(dia, coberto\ i)) \quad (25)$$

A quantidade de água armazenada no *solo* passa a ser:

$$A_{l\ fim}(dia, coberto\ i) = AG_l(dia, coberto\ i) \quad (26)$$

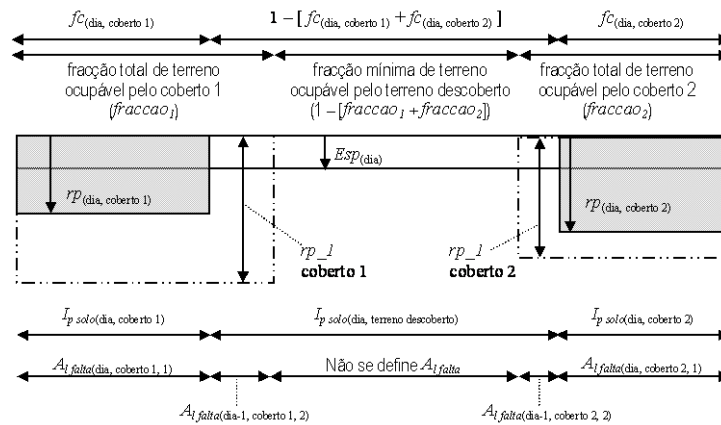
A infiltração profunda calculada pela metodologia apresentada não traduz, ainda, a infiltração profunda de um determinado dia. Porque, enquanto as raízes das plantas se estão a desenvolver em profundidade, o volume que existe entre a profundidade das raízes das plantas num determinado dia [$rp(dia)$]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

A quantidade de água de infiltração profunda calculada pela equação (24), que se

designa agora por lp_{solo} , não drena livremente em profundidade, indo antes colmatar a quantidade de água em falta para se atingir o teor de humidade correspondente à retenção específica nessa área.

Considerem-se as três zonas representadas na Figura 72:

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



in Oliveira (2004, 2006)

Figura 72 – Termos representados no cálculo da infiltração profunda quando se utiliza o coeficiente cultural dual para o cálculo da evapotranspiração

No caso das duas primeiras zonas, a quantidade de água em falta abaixo da fração de terreno ocupada pelo coberto vegetal [$fc_{(dia, coberto 1)}$ e $fc_{(dia, coberto 2)}$; Figura 72] é representada por $A_{I\ falta}(dia, coberto 1, 1)$ e $A_{I\ falta}(dia, coberto 2, 1)$ como calculados na equação (18). lp_{solo} é o calculado para os cobertos vegetais [$lp_{solo}[dia, coberto 1]$ e $lp_{solo}[dia, coberto 2]$]. A infiltração profunda e os novos valores da quantidade de água em falta, são calculados da seguinte forma:

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

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

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

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

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

vêm dados por:

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

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

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

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

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

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

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

Séries meteorológicas

Para a corrida do modelo são necessárias séries de precipitação diária e de evapotranspiração mensal representativas e sem lacunas de informação.

Para a seleção da série de precipitação diária consultou-se o Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (www.snirh.pt) no sentido de verificar os postos udométricos com dados mais próximos da área de estudo em que se inclui o *campus* do LNEC.

Foram selecionadas os seguintes postos: Alcochete (21D/01UG), Algés (21B/06G), Belas (21B/09U), Cacém (21B/10G), Calhandriz (20C/04UG), Caneças (21B/11UG), Lisboa (INAG) (21C/02G), Monte da Caparica (22B/01C), Sacavém de Cima (21C/01UG), São Julião do Tojal (20C/01C) e Vila Nogueira de Azeitão (22C/02UG).

Para o conjunto de dados de precipitação diária registados em cada uma dos postos udométricos foi determinada a precipitação média anual (PMA) da série incompleta (com lacunas no registo diário), da série de precipitação completada utilizando o algoritmo do inverso do quadrado da distância a partir dos postos udométricos com dados, calculados o número de dias da série total (para o início do ano hidrológico de 1981 até ao fim do ano hidrológico de 2011) e o número total de registos por estação. Foi ainda determinada a diferença absoluta entre a PMA para cada estação na série completa e incompleta e o valor médio determinado por Nicolau (2002) para a área de estudo (Figura 73).

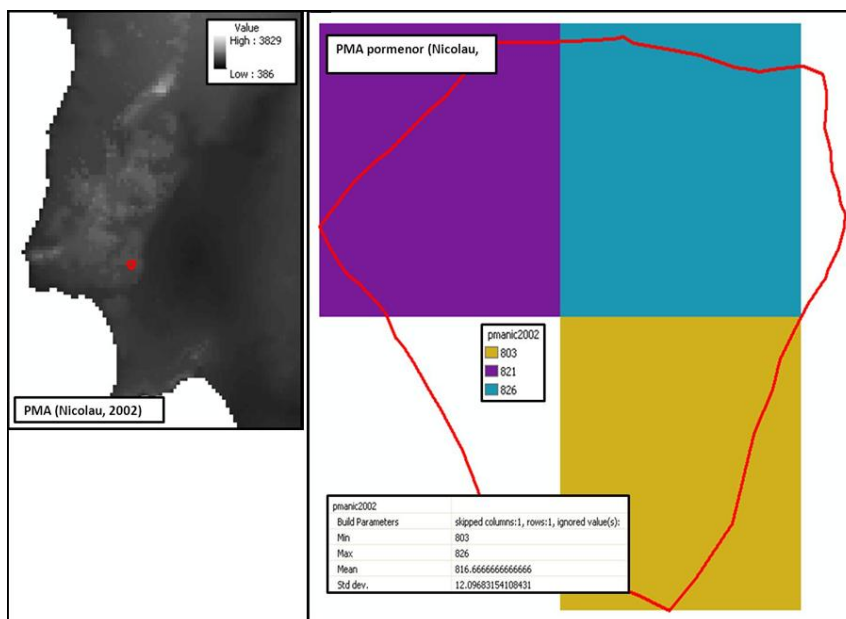


Figura 73 – Precipitação média anual determinada para a área de estudo (adaptado a partir de Nicolau 2002)

A análise indicada apresenta-se no Quadro 23.

Quadro 23 – Análise das séries de precipitação por posto udométrico (valores de precipitação em mm/ano)

	Alcochete (21D/01UG)	Algés (21B/06G)	Belas (21B/09 U)	Cacém (21B/10G)	Calhandriz (20C/04UG)	Caneças (21B/11UG)	Lisboa (INAG) (21C/02G)	Monte da Caparica (22B/01C)	Sacavém de Cima (21C/01UG)	São Julião do Tojal (20C/01C)	Vila Nogueira de Azeitão (22C/02UG)
PMA série incompleta	535,81	-	-	808,13	702,08	902,63	182,03	615,02	679,68	721,53	694,13
PMA série completa	576,68	502,28	774,31	775,70	731,42	883,84	609,58	640,08	630,50	720,87	693,42
N. de dias com registos	9076	0	0	9738	8643	9880	1155	6988	7670	10913	10908
N. total de dias da série	10957,00										
Dif. Abs. (PMA série incompleta- PMANicolau)	280,86	-	-	8,54	114,58	85,97	634,64	201,65	136,99	95,14	122,53
Dif. Abs. (PMA calc- PMANicolau)	239,98	314,39	42,36	40,97	85,25	67,17	207,08	176,58	186,16	95,79	123,24

O posto udométrico cujo conjunto de dados de precipitação diária para o período de 01-10-1981 a 30-09-2011 melhor representa a precipitação média na área do *campus* do LNEC é a do Cacém, visto possuir um número considerável de registos e apresentar um valor próximo de PMA ao valor médio calculado a partir de Nicolau (2002) para a área (817 mm/ano).

Para a série de evapotranspiração mensal, e as correspondentes séries de velocidade do vento e de humidade mínima relativa, utilizaram-se os dados da estação de Lisboa-Geofísico. Dado que estas séries apresentam dados apenas até ao ano de 1989, os valores utilizados para os restantes meses da série até 2011 foram assumidos, para cada mês, como sendo iguais às médias mensais dos meses do período anterior com registos.

Caraterização dos parâmetros dos solos

Com base na classificação de solos apresentada no Quadro 11, fez-se a atribuição dos

valores dos parâmetros necessários à corrida do modelo de cálculo da recarga utilizando a tabela apresentada em Oliveira (2004, 2006), de acordo com o Quadro 24. A distribuição espacial dos solos está representada na Figura 29.

Quadro 24 – Parâmetros característicos do solo

SROA	Código	Capacidade de campo (fc)	Ponto de emurchecimento (wp)	Porosidade (ϕ)	Condutividade (Ks) (mm/d)	Perfil superior do solo
A	131102	0.27	0.12	0.44	91.32	7
Pc	311101	0.28	0.09	0.462	378.129	9
Pca	311202	0.3	0.2	0.459	242.607	8
Pcs	311104	0.3	0.06	0.45	433	6
Rc	311108	0.19	0.1	0.41	799.368	7

Caraterização dos parâmetros dependentes da ocupação do solo

Os parâmetros atribuídos a cada um dos tipos de ocupação dos solos têm como base os valores definidos por Oliveira (2004, 2006) para áreas com ocupação semelhante (Quadro 25). A ocupação do solo é a apresentada na Figura 30.

Quadro 25 – Parâmetros de ocupação do solo

Classificação	Descrição	N.º de culturas	permeavel	Calcula Kcb_esp	Dia_ini	L_ini	L_des	L_med	L_fim	Kcb_ini	Kcb_med	Kcb_fim	h_cult	rp_1	rp_0	sld	Kc_min	Kcb_tot	fraccao	fraccao_0	fraccao_nada
Área Urbana	Zona impermeável	1	0	0	1	1	1	361	2	0,01	0,01	0,01	1	1	1	1	0,01	0,01	0,99	0,99	0,99
Rua	Zona impermeável	2	0	0	1	1	1	361	2	0,01	0,01	0,01	1	1	1	1	0,01	0,01	0,9	0,9	0,9
	Coníferas	1	1	1	1	1	1	361	2	0,95	0,95	0,95	10	2750	2750	0,7	0,15	0,95	0,1	0,1	0,1
Parque	Zona impermeável	2	0	0	1	1	1	361	2	0,01	0,01	0,01	1	1	1	1	0,01	0,01	0,2	0,2	0,2
	Relva	1	1	1	1	1	1	361	2	0,9	0,9	0,9	0,2	500	500	0,4	0,15	0,9	0,79	0,79	0,79
Campo Aberto	Vegetação arbustiva	2	1	1	1	1	1	361	2	0,8	0,8	0,8	1	1000	1000	0,5	0,15	0,8	0,75	0,75	0,75
	Zona impermeável	2	0	0	1	1	1	361	2	0,01	0,01	0,01	1	1	1	1	0,01	0,01	0,15	0,15	0,15
Jardim	Zona impermeável	2	0	0	1	1	1	361	2	0,01	0,01	0,01	1	1	1	1	0,01	0,01	0,65	0,65	0,65
	Coníferas	1	1	1	1	1	1	361	2	0,95	0,95	0,95	10	2750	2750	0,7	0,15	0,95	0,15	0,15	0,15
Floresta	Coníferas	1	1	1	1	1	1	361	2	0,95	0,95	0,95	10	2750	2750	0,7	0,15	0,95	0,9	0,9	0,95

Notas: Em todas as ocupações, os solos descobertos têm espessura sujeita a evaporação de 150 mm e limite de depleção de água do solo a 100 % de 0,42; dentro da ocupação, a fração que o solo descoberto ocupa é dada pela diferença (1 – fração).

Permeável = código para a infiltração superficial: (0) é nula, (1) calculada pelo modelo, Calcula_Kcb_esp = código para calcular (1) ou não (0) o coeficiente cultural basal esparso, Dia_ini = dia de início de desenvolvimento da cultura, L = comprimento (d): L_ini = da fase inicial, L_des = da fase de desenvolvimento, L_med = da meia estação, L_fim = da fase final, Kcb = coeficiente cultural basal: Kcb_ini = da fase inicial, Kcb_med = da meia estação, Kcb_fim = da fase final, h_cult = altura da cultura na fase de meia estação (m), rp_1 = profundidade máxima das raízes das plantas (m), rp_0 = profundidade mínima das raízes das plantas (m), sld = limite de depleção da água do solo a 100%, Kc_min = coeficiente cultural mínimo, Kcb_tot = coeficiente cultural basal total, fraccao = fracção máxima de terreno ocupada pela cultura, fraccao_0 = fracção mínima de terreno ocupada pela cultura no período inicial.

ANEXO 10 – SÍNTESE DA INFORMAÇÃO DOS LOGS DE SONDAgens EFETUADAS NO CAMPUS DO LNEC

<i>Desig.</i>	<i>Cota topo da camada (m)</i>	<i>Cota da base da camada (m)</i>	<i>Prof. topo da camada (m)</i>	<i>Prof. base da camada (m)</i>	<i>Litologia</i>	<i>Form.</i>	<i>Esp. (m)</i>	<i>Prof. dos níveis de água (m)</i>	<i>Cota da prof. dos níveis de água (m)</i>
S1	89,23	87,73	0,0	1,5	Aterro heterogéneo pedregoso	Aterro	1,5		
S1	87,73	86,23	1,5	3,0	Areia média a fina silto-argilosa, solta, castanha	Aluvião	1,5		
S1	86,23	79,23	3,0	10,0	Areia média a grosseira, medianamente a muito compacta acastanhada a amarelada com níveis silto-argilosos de cor cinzenta	AQB	7,0		
S1	79,23	72,23	10,0	17,0	Areia média a grosseira, siltosa com seixo subrolado, muito compacta amarelada a alaranjada	AQB	7,0	16,55	72,68
S1	72,23	68,23	17,0	21,0	Silte arenoso, rijo esverdeado	AFT	4,0		
S1	68,23	50,23	21,0	39,0	Silte argiloso, por vezes com areia fina e concreções biocarbonatadas dispersas, rijo cinzento escuro azulado	AFT	18,0	22,68	66,55
S1	50,23	48,23	39,0	41,0	Idem, com passagens calcareníticas fossilíferas(cascões)	AFT	2,0	31,97	57,26
SP1	87,21	84,51	0,0	2,7	Aterro areno-siltoso com calhaus de cor castanha	Aterro	2,7		
SP1	84,51	80,01	2,7	7,2	Siltito argiloso, de cor acastanhada	AFT	4,5	6	81,21
SP1	80,01	76,91	7,2	10,3	Siltito argiloso, com cascões calcários, de cor acastanhada	AFT	3,1		
SP1	76,91	67,21	10,3	20,0	Argilas cinzentas	AFT	9,7		
SP2	87,01	84,31	0,0	2,7	Aterro areno-siltoso com calhaus de cor castanha	Aterro	2,7		
SP2	84,31	82,51	2,7	4,5	Siltito argiloso, de cor acastanhada	AFT	1,8		
SP2	82,51	76,71	4,5	10,3	Siltito argiloso, com cascões calcários, de cor acastanhada	AFT	5,8	6	81,01

Estudo da viabilidade de utilização das águas subterrâneas do *campus* do LNEC

SP2	76,71	67,01	10,3	20,0	Argilas cinzentas	AFT	9,7		
SPD3	86,99	84,29	0	2,7	Aterro areno-siltoso com calhaus de cor castanha	AFT			
SPD3	84,29	82,69	2,70	4,3	Siltito argiloso, de cor acastanhada	AFT	1,6		
SPD3	82,69	76,79	4,30	10,2	Siltito argiloso, com cascões calcários, de cor acastanhada	AFT	5,9	6	80,99
SPD3	76,79	66,99	10,20	20	Argilas cinzentas	AFT	9,8		
SPD3A	87,04	84,34	0	2,7	Aterro areno-siltoso com calhaus de cor castanha	Aterro	2,7		
SPD3A	84,34	82,24	2,7	4,8	Siltito argiloso, de cor acastanhada	AFT	2,1		
SPD3A	82,24	76,34	4,8	10,7	Siltito argiloso, com cascões calcários, de cor acastanhada	AFT	5,9	6	81,04
SPD3A	76,34	67,04	10,7	20	Argilas cinzentas	AFT	9,3		
SPD3B	86,87	84,27	0	2,6	Aterro areno-siltoso com calhaus de cor castanha	Aterro	2,6		
SPD3B	84,27	82,67	2,6	4,2	Siltito argiloso, de cor acastanhada	AFT	1,6		
SPD3B	82,67	76,57	4,2	10,3	Siltito argiloso, com cascões calcários, de cor acastanhada	AFT	6,1	6	80,87
SPD3B	76,57	66,87	10,3	20	Argilas cinzentas	AFT	9,7		
SP4	86,38	83,68	0	2,7	Aterro areno-siltoso com calhaus de cor castanha	Aterro	2,7		
SP4	83,68	82,08	2,7	4,3	Siltito argiloso, de cor acastanhada	AFT	1,6		
SP4	82,08	75,68	4,3	10,7	Siltito argiloso, com cascões calcários, de cor acastanhada	AFT	6,4	6,3	80,08
SP4	75,68	66,38	10,7	20	Argilas cinzentas	AFT	9,3		
SP5	86,15	83,45	0	2,7	Aterro areno-siltoso com calhaus de cor castanha	Aterro	2,7		
SP5	83,45	81,35	2,7	4,8	Siltito argiloso, de cor acastanhada	AFT	2,1		
SP5	81,35	75,85	4,8	10,3	Siltito argiloso, com cascões calcários, de cor acastanhada	AFT	5,5	6,3	79,85
SP5	75,85	61,15	10,3	25	Argilas cinzentas	AFT	14,7		

ANEXO 11 – RESULTADOS DO ENSAIO DE BOMBAGEM NAS CAVES DO EDIFÍCIO PRINCIPAL E QUANTIFICAÇÃO DOS VOLUMES EXTRAÍDOS

Apresentam-se neste anexo os resultados do ensaio efetuado no dia 2012/11/20 nas caves do edifício principal, com início às 17h21m, registando-se um volume inicial no caudalímetro eletromagnético Krohne Waterflux 3070C (DN65mm, PN16) de 0,3 m³ e uma profundidade ao nível inicial de 3,94 m medidos a partir do passadiço – Quadro 26. A profundidade do depósito medida a partir do passadiço é de 4,5 m.

Quadro 26 – Registos efetuados durante o ensaio de bombagem

Hora	Tempo (min)	Nível (m)	Altura de água (m)	Volume (m ³)	Estado
17:22	1	3,94	0,56	0,5	Início
17:23	2	3,95	0,55	0,7	Bombagem
17:24	3	3,95	0,55	0,8	
17:25	4	3,955	0,545	1	
17:26	5	3,96	0,54	1,2	
17:27	6	3,96	0,54	1,3	
17:28	7	3,97	0,53	1,5	
17:29	8	3,97	0,53	1,6	
17:30	9	3,98	0,52	1,8	
17:31	10	3,98	0,52	2	
17:32	11	3,98	0,52	2,1	
17:33	12	3,99	0,51	2,3	
17:34	13	3,99	0,51	2,5	
17:35	14	4	0,5	2,6	
17:36	15	4	0,5	2,8	
17:37	16	4,01	0,49	3	
17:38	17	4,01	0,49	3,1	
17:39	18	4,02	0,48	3,3	
17:40	19	4,02	0,48	3,3	
17:41	20	4,03	0,47	3,5	
17:42	21	4,04	0,46	3,6	
17:43	22	4,05	0,45	3,7	
17:44	23	4,05	0,45	4	
17:45	24	4,06	0,44	4,1	
17:46	25	4,07	0,43	4,3	
17:47	26	4,07	0,43	4,5	
17:48	27	4,08	0,42	4,6	
17:49	28	4,08	0,42	4,8	
17:50	29	4,09	0,41	4,9	
17:51	30	4,09	0,41	5,2	
17:54	33	4,07	0,43	-	

Hora	Tempo (min)	Nível (m)	Altura de água (m)	Volume (m ³)	Estado
17:55	34	4,07	0,43	-	recuperação
17:56	35	4,07	0,43	-	
17:57	36	4,07	0,43	-	
17:58	37	4,07	0,43	-	
17:59	38	4,07	0,43	-	
18:00	39	4,07	0,43	-	
18:01	40	4,07	0,43	-	

O Gráfico 1 mostra o rebaixamento induzido pelo funcionamento da bomba durante o ensaio. Pode verificar-se que o rebaixamento é linear (em que R^2 está muito próximo de 1).

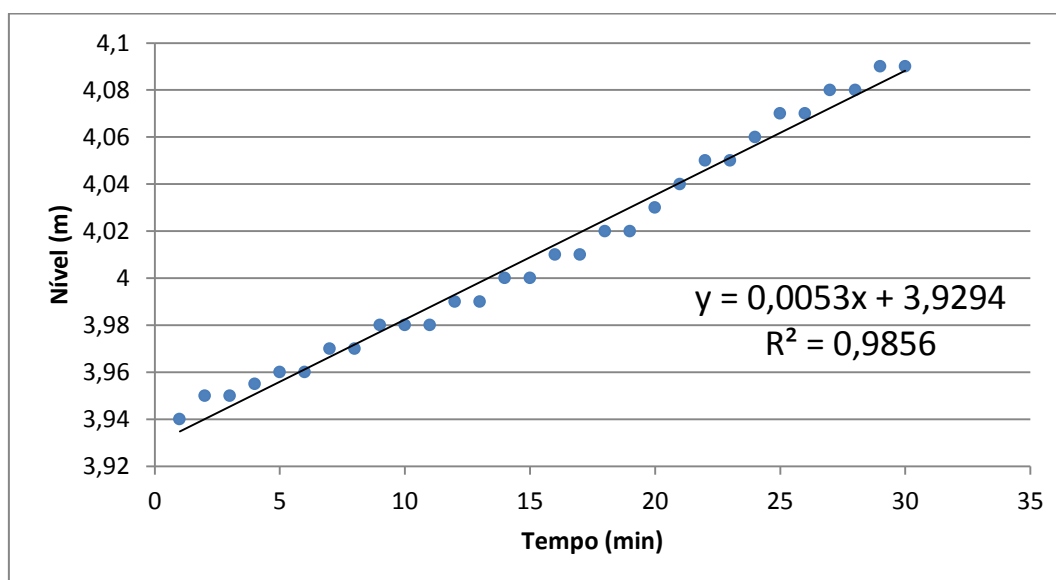


Gráfico 1 – Níveis registados ao longo do ensaio

Esta análise permitiu determinar o caudal aproximado da bomba que é 9,8 m³/h (isto é, 4,9 m³ extraídos em 30 minutos) e verificar um rebaixamento de 0,15 m.

Para se conhecer o tempo médio de funcionamento da bomba diariamente foi instalado um contador de horas cujos valores foram registados ao longo de 199 dias. Os registos do número de horas apresentam-se no Quadro 27.

Quadro 27 – Registo do número de horas de funcionamento da bomba desde Abril a Novembro de 2012

Data	Totalizador de funcionamento da bomba (h)	Intervalo de tempo (d)	Intervalo de tempo total (dia)	Total de horas de funcionamento da bomba (h)
24-04-2012	4266,3	-	0	
11-06-2012	4308,4	48	48	42,1

12-09-2012	4384,7	93	141	76,3
28-09-2012	4393,1	16	157	8,4
01-10-2012	4395,4	3	160	2,3
02-10-2012	4395,7	1	161	0,3
03-10-2012	4396,1	1	162	0,4
04-10-2012	4396,8	1	163	0,7
08-10-2012	4398,5	4	167	1,7
10-10-2012	4399,55	2	169	1,05
15-10-2012	4403,1	5	174	3,55
19-10-2012	4407,4	4	178	4,3
22-10-2012	4408,8	3	181	1,4
23-10-2012	4409,1	1	182	0,3
25-10-2012	4411,3	2	184	2,2
29-10-2012	4414,1	4	188	2,8
30-10-2012	4415,2	1	189	1,1
02-11-2012	4417,3	3	192	2,1
07-11-2012	4420,8	5	197	3,5
08-11-2012	4421,5	1	198	0,7
09-11-2012	4421,9	1	199	4

Conhecendo o caudal de funcionamento da bomba pode então calcular-se para o período acima indicado um volume médio extraído diariamente a partir das caves – Quadro 28.

Quadro 28 – Caudais aproximados extraídos durante o período de registo temporal (abril a novembro de 2012)

Data	Total de horas de funcionamento da bomba (h)	Débito da bomba (m ³ /h)	Débito da bomba x numero de horas que funcionou	Débito da bomba por intervalo de tempo (m ³ /d)
24-04-2012	0			
11-06-2012	42,1	9,8	412,58	8,60
12-09-2012	76,3	9,8	747,74	8,04
28-09-2012	8,4	9,8	82,32	5,15
01-10-2012	2,3	9,8	22,54	7,51
02-10-2012	0,3	9,8	2,94	2,94
03-10-2012	0,4	9,8	3,92	3,92
04-10-2012	0,7	9,8	6,86	6,86
08-10-2012	1,7	9,8	16,66	4,16
10-10-2012	1,05	9,8	10,29	5,15
15-10-2012	3,55	9,8	34,79	6,96
19-10-2012	4,3	9,8	42,14	10,53
22-10-2012	1,4	9,8	13,72	4,57
23-10-2012	0,3	9,8	2,94	2,94
25-10-2012	2,2	9,8	21,56	10,78

Estudo da viabilidade de utilização das águas subterrâneas do *campus* do LNEC

29-10-2012	2,8	9,8	27,44	6,86
30-10-2012	1,1	9,8	10,78	10,78
02-11-2012	2,1	9,8	20,58	6,86
07-11-2012	3,5	9,8	34,30	6,86
08-11-2012	0,7	9,8	6,86	6,86
09-11-2012	4	9,8	39,20	39,20
			Média	8,28

Determinou-se assim que o volume médio extraído diariamente é de 8,3 m³/d.

