

AVALIAÇÃO DA RECARGA DOS SISTEMAS AQUÍFEROS ABRANGIDOS PELAS REGIÕES HIDROGRÁFICAS DO VOUGA, MONDEGO, LIS, RIBEIRAS DO OESTE E TEJO

Manuel M. OLIVEIRA

Doutoramento em Hidrogeologia, Núcleo de Águas Subterrâneas, LNEC, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, Portugal, Tel: (+351) 21 844 3436, Email: moliveira@lnec.pt

Tiago André MARTINS

Licenciatura em Geologia Aplicada e Ambiente, Bolseiro, Núcleo de Águas Subterrâneas, LNEC, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, Portugal, Tel: (+351) 21 844 3561, Email: tmartins@lnec.pt

João Paulo LOBO FERREIRA

*Doutoramento em Engenharia Civil, Núcleo de Águas Subterrâneas, LNEC, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, Portugal
Tel: (+351) 21 844 3609, Email: lferreira@lnec.pt*

No âmbito dos trabalhos em curso para os Planos de Gestão das Regiões Hidrográficas nº. 4 (Vouga, Mondego, Lis e Ribeiras do Oeste) e nº. 5 (Tejo), procedeu-se à estimativa da recarga de todas as massas de águas subterrâneas da região hidrográfica do Tejo e da parte das Ribeiras do Oeste, assim como de todos os sistemas aquíferos abrangidos pelas bacias do Vouga, Mondego e Lis.

A metodologia de cálculo foi uniforme para todas as massas de águas subterrâneas tendo-se utilizado o programa de balanço hídrico sequencial diário a nível do solo BALSEQ_MOD. Este programa modela de uma forma sequencial diária a precipitação, a infiltração no solo, o aumento do armazenamento no solo devido a essa infiltração, o escoamento directo que se produz por a capacidade de infiltração do solo ser inferior à precipitação, a evapotranspiração da água do solo e a água que se infiltra abaixo da base do solo (infiltração profunda) quando o teor de humidade do solo é superior ao valor da sua capacidade de campo e a água drena por acção da gravidade. A água de infiltração profunda foi utilizada como um estimador da recarga da zona saturada mais próxima da superfície.

Este modelo permite obter a distribuição espacial e temporal da recarga por massa de águas subterrâneas, ao incorporar diferentes características físicas do meio aquífero e do solo sobrejacente, variáveis no espaço, de ocupação do solo, variáveis no espaço e no tempo, assim como de distribuição da precipitação e da evapotranspiração de referência, variáveis também no espaço e no tempo.

A corrida do modelo foi feita para cada subárea de cada massa de águas subterrâneas resultante da intersecção do mapa de ocupação dos solos Corine Land Cover 2006, com o mapa de solos definido de acordo com a metodologia referida, com a área de influência de cada série de evapotranspiração de referência mensal, e com a área de influência de cada série de precipitação diária.

Cada corrida originou para cada subárea uma série de dados diários de recarga. Estas séries são integradas em cada massa de águas subterrâneas para produzir séries diárias, mensais ou anuais de recarga, caracterizando-se a distribuição espaço-temporal da recarga.

Os valores de recarga anual média situam-se entre 9 e 62 % da precipitação que ocorre na área de afloramento das massas de águas subterrâneas.

Palavras-chave: Recarga, balanço hídrico sequencial, sistemas aquíferos, SIG.

1 INTRODUÇÃO

No âmbito dos trabalhos desenvolvidos para os Planos de Gestão das Regiões Hidrográficas nº. 4 (Vouga, Mondego, Lis e Ribeiras do Oeste) e nº. 5 (Tejo) e do estudo “Gestão quantitativa de sistemas aquíferos” do Plano de Investigação Programada do LNEC para o Quadriénio 2009-2012, procedeu-se à estimativa da recarga de todas as massas de águas subterrâneas da região hidrográfica do Tejo e das Ribeiras do Oeste, assim como de todos os sistemas aquíferos abrangidos pelas bacias hidrográficas do Vouga, Mondego e Lis, utilizado o programa de balanço hídrico sequencial diário a nível do solo BALSEQ_MOD.

Estes resultados, assim como uma descrição mais exaustiva da metodologia e da caracterização dos parâmetros necessários à corrida do programa encontram-se apresentados em MARTINS *et al.* (2011), LOBO FERREIRA *et al.* (2011a) e LOBO FERREIRA *et al.* (2011b).

2 O MODELO BALSEQ_MOD

O modelo numérico de balanço hídrico sequencial diário BALSEQ_MOD faz o balanço a nível do solo, incorporando metodologias para cálculo de forma sequencial dos processos de infiltração no solo, evapotranspiração real e infiltração profunda do solo. O modelo é corrido para cada fracção de território onde se possa assumir homogeneidade no solo e na ocupação do solo; neste modelo cada ocupação do solo pode ser descrita por até três cobertos diferentes: solo com coberto 1, solo com coberto 2, e solo descoberto. 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.

A infiltração superficial é calculada em função da textura do solo, da precipitação diária e do teor de humidade do solo. A evapotranspiração real é calculada com base na evapotranspiração de referência, nos parâmetros que definem o ciclo vegetativo dos cobertos vegetais (coeficientes culturais, períodos de crescimento, variação da área ocupada pelos cobertos, altura máxima das plantas e profundidades das suas raízes), nos parâmetros do solo (retenção específica e ponto de emurchecimento permanente), e no armazenamento de água no solo. A infiltração profunda é calculada em função da condutividade hidráulica saturada e da água armazenada no solo que pode drenar por acção da gravidade.

A água de infiltração profunda é utilizada como um estimador da recarga da zona saturada mais próxima da superfície.

A descrição de toda a metodologia programada no modelo BALSEQ_MOD pode ser encontrada, entre outros, em OLIVEIRA (2004, 2006) e OLIVEIRA *et al.* (2008).

Este modelo de balanço hídrico sequencial diário pode ser aplicado a todos os tipos litológicos desde que se conheçam os parâmetros característicos do meio, e utilizando especificidades na interpretação dos seus resultados (OLIVEIRA, 2011):

- Nos meios de porosidade intergranular com a presença de um solo, independentemente do terreno ser coberto ou descoberto, o método aplica-se directamente.
- No caso de afloramentos rochosos o método também se aplica directamente assumindo que os parâmetros correspondentes ao solo têm as propriedades da rocha e que, no caso de haver fracturação que permita a entrada de água na rocha, uma percentagem do escoamento directo que é calculado pela corrida do modelo também se infiltra, constituindo recarga, ficando o escoamento directo diminuído deste volume.
- O caso da ocorrência de formações carsificadas aflorantes encerra outra particularidade. No caso de constituírem afloramentos rochosos (rocha nua) e de não haver formas de retenção de água à superfície que armazene a água e depois permita a sua evaporação, pode-se considerar que toda a precipitação se infiltra nas zonas cársicas.

• No caso de ocorrência de sistemas cársicos aflorantes, onde exista um solo onde se pode ou não desenvolver um coberto vegetal (Figura 1), o modelo de balanço hídrico sequencial diário também pode ser utilizado, existindo a evapotranspiração resultante da presença desse solo (que terá as propriedades de um solo proveniente de calcários, muitas vezes um solo argiloso – terra rossa). O escoamento directo que é gerado, tratando-se de formações carsificadas, após um percurso à superfície acaba por se infiltrar, constituindo também recarga do aquífero. Nestas situações deixa de haver escoamento directo. No caso da ocupação do solo existente dar origem a áreas impermeabilizadas, por exemplo áreas urbanas, pode-se considerar que o escoamento directo é colectado e desviado para fora do sistema aquífero, não constituindo neste caso recarga do aquífero.

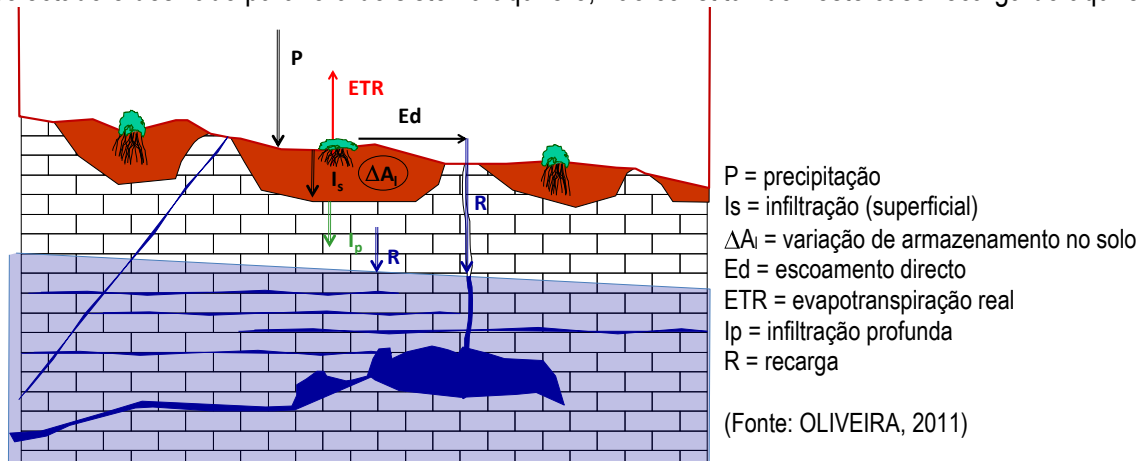


Figura 1 – Conceptualização do processo de recarga em meios cársicos aflorantes

A corrida do modelo foi feita para cada subárea de cada massa de águas subterrâneas resultante da intersecção do mapa de ocupação dos solos Corine Land Cover 2006 do IGP, com o mapa de solos definido de acordo com a metodologia referida, com a área de influência de cada série de evapotranspiração de referência mensal, e com a área de influência de cada série de precipitação diária.

Cada corrida originou para cada subárea uma série de dados diários de recarga. Cada série pode ser utilizada individualmente ou integrada para a massa de águas subterrâneas para produzir séries diárias, mensais ou anuais de recarga, podendo-se assim caracterizar a distribuição espaço-temporal da recarga.

Na aplicação realizada às massas de águas subterrâneas cársicas, nas zonas onde este curso aflora, considerou-se que toda a água de escoamento directo se infiltrava constituindo também recarga excepto nas zonas com coberto impermeável, onde se manteve como escoamento directo.

3 CORRIDA DO MODELO BALSEQ_MOD

3.1 Séries de precipitação diária e de evapotranspiração de referência mensal

O modelo BALSEQ_MOD foi aplicado a todas as massas de águas subterrâneas referidas em 1 com o objectivo de introduzir um maior detalhe no cálculo da sua recarga.

Para a corrida do modelo são necessários dados de séries de precipitação diária, de evapotranspiração de referência mensal ou diária, de parâmetros do solo e de parâmetros de ocupação do solo. O período de análise variou entre 23 anos e 31 anos hidrológicos, de acordo com o Quadro 1. O mesmo quadro indica os postos udométricos e climatológicos (para cálculo da evapotranspiração de referência) utilizados.

Cada massa de águas subterrâneas foi analisada individualmente. Para as massas de águas de área pequena ou onde a variação espacial da precipitação anual média de 30 anos é relativamente

reduzida (dada pela superfície de precipitação apresentada em NICOLAU, 2002) optou-se por seleccionar uma série de precipitação diária de um posto existente dentro ou próximo da massa de águas subterrâneas, preenchendo eventuais lacunas existentes a partir dos dados de postos udométricos vizinhos. Na maior parte dos casos a precipitação diária do posto sem dados foi calculada afectando a precipitação diária do posto udométrico com dados de um factor dado pela relação entre as médias de precipitação (para períodos comuns aos dois postos udométricos com dados) entre o posto sem dados e o posto com dados.

Quadro 1 – Séries de precipitação diária e de evapotranspiração de referência utilizadas nas corridas do modelo de balanço hídrico subterrâneo e respectivos postos udométricos e estações climatológicas

Massa de águas subterrâneas	Período analisado		Postos udométricos	Estações climatológicas
	Série	# anos		
A0x1RH5 - Maciço Antigo indiferenciado da Bacia do Tejo	10/1979 – 9/2009	30	Ver Quadro 2	Ver Quadro 2
A2 – Escusa	10/1979 – 9/2010	31	17M/01 – Castelo de Vide	18M/01 – Portalegre
A3 - Monforte – Alter do Chão	10/1979 – 9/2009	30	17M/01 – Castelo de Vide, 19M/01 – Monforte	18M/01 – Portalegre
A4 - Estremoz – Cano	10/1979 – 9/2010	31	20L/01 – Estremoz	22J/01 – Évora-Torre do Sertório
A12 - Luso	10/1978 – 9/2008	30	12/H01 - Penacova	11G/01 – Anadia
O01RH5 - Orla Ocidental Indiferenciado da Bacia do Tejo	10/1980 – 9/2009	29	Ver Quadro 3	Ver Quadro 3
O04RH4 - Orla ocidental indiferenciado das bacias das ribeiras do Oeste	10/1979 – 9/2010	31	19B/05 – Orjariça	19B/02 - Dois Portos
O1 - Quaternário de Aveiro	10/1979 – 9/2009	30	10G/01 – Oliveira do Bairro	10E/02 – S. Jacinto (Base Aérea)
O2 - Cretácico de Aveiro	10/1979 – 9/2009	30	11F/02 – Estrada	11G/01 – Anadia
O3 - Cársico da Bairrada	10/1979 – 9/2009	30	11F/01 – Cantanhede	11G/01 – Anadia
O4 - Ançã - Cantanhede	10/1979 – 9/2009	30	12F/01 – Tentúgal	12G/06 – Coimbra (Bencanta)
O5 - Tentúgal	10/1979 – 9/2009	30	12F/01 – Tentúgal	12G/06 – Coimbra (Bencanta)
O6 - Aluviões do Mondego	10/1979 – 9/2009	30	12F/02 – Santo Varão	12G/06 – Coimbra (Bencanta)
O7 - Figueira da Foz - Gesteira	10/1979 – 9/2009	30	13D/04 – Casal do Rato	12G/06 – Coimbra (Bencanta)
O8 - Verride	10/1978 – 9/2009	31	13F/01 – Soure	12G/06 – Coimbra (Bencanta)
O9 - Penela Tomar	10/1979 – 9/2009	30	13G/01 – Penela, 15G/02 – Rego da Murta	12G01 – Coimbra/Geofísico
O10 - Leirosa - Monte Real	10/1979 – 9/2009	30	14D/03 – Monte Real	14D05 – Monte Real (Base Aérea)
O11 - Sicó – Alvaiázere	10/1979 – 9/2009	30	14G/01 – Ansião	12G01 – Coimbra/Geofísico
O12 - Vieira de Leiria - Marinha Grande	10/1979 – 9/2009	30	16D/03 – Pataias (Gare)	14D05 – Monte Real (Base Aérea)
O14 - Pousos - Caranguejeira	10/1979 – 9/2009	30	15E/03 – Caranguejeira	16D/06 - Alcobaça
O15 – Ourém	10/1979 – 9/2009	30	15F/02C – Caxarias	16D/06 - Alcobaça
O18 – Maceira	10/1982 – 9/2008	26	15D/03 - Maceira (Lis)	16D/06 - Alcobaça
O19 – Alpedríz	10/1982 – 9/2008	26	15D/03 - Maceira (Lis)	16D/06 - Alcobaça
O20 - Maciço Calcário Estremenho	10/1980 – 9/2009	29	16E/01 – Crespos, 16D/01 – Aljubarrota	16D/06 - Alcobaça
O23 – Paço	10/1979 – 9/2009	30	18B01 – Moledo	19B/02 - Dois Portos
O24 – Cesareda	10/1979 – 9/2009	30	18B01 – Moledo	19B/02 - Dois Portos
O25 - Torres Vedras	10/1979 – 9/2009	30	19B/03 – Maxial	19B/02 - Dois Portos
O26 – Ota-Alenquer	10/1979 – 9/2002	23	19D/02 – Ota	19B/02 - Dois Portos
O28 - Pisões – Atrozela	10/1980 – 9/2010	30	21A/08 – Quinta do Pisão	21B/01 – Sintra/Granja
O29 – Louriçal	10/1979 – 9/2009	30	13E/02 – Louriçal	14D05 – Monte Real (Base Aérea)
O30 - Viso - Queridas	10/1979 – 9/2009	30	12E/02 – Ferreira-a-Nova	12G/06 – Coimbra (Bencanta)
O31 - Condeixa - Alfarelos	10/1979 – 9/2009	30	12G/03 – Taveiro	12G/06 – Coimbra (Bencanta)
O33 - Caldas da Rainha – Nazaré	10/1978 – 9/2008	30	16D/03 - Pataias (gare); 17C/07 – Óbidos	16D/06 - Alcobaça
T01RH5 - Bacia do Tejo – Sado indiferenciado da Bacia do Tejo	10/1980 – 9/2009	29	17I/02 – Bemposta, 19H/02 – Barragem de Montargil	17I/01 – Alvega, 19E/02 – Salvaterra de Magos
T1 - Bacia do Tejo – Sado / M. Direita	10/1979 – 9/2009	30	18E/01 – Santarém, 17F/01 – Pernes	18E/01 – Santarém
T3 - Bacia do Tejo – Sado / M. Esquerda	10/1980 – 9/2009	29	Ver Quadro 4	Ver Quadro 4
T7 - Aluviões do Tejo	10/1979 – 9/2009	30	20E/01 – Barragem de Magos	19E/02 – Salvaterra de Magos

Para as massas de águas subterrâneas mais extensas, onde a variabilidade da precipitação permitiu definir áreas com precipitações distintas, dividiu-se a massa de águas subterrâneas de forma a que cada área dividida assumisse a mesma série de precipitação diária, calculada da mesma forma que anteriormente. Essa divisão em áreas foi feita com base em uma ou mais isoietas determinadas a partir da superfície de precipitação de NICOLAU (2002).

A evapotranspiração de referência mensal utilizada foi a calculada e utilizada nos Planos de Bacia Hidrográfica do Tejo e do Oeste para os balanços hídricos das culturas, e, para o caso dos

sistemas aquíferos adstritos às bacias do Vouga, Mondego e Lis, o seu cálculo foi feito através da aplicação da equação de Penman-Monteith, tendo como base dados de temperaturas mensais mínima e máxima (médias), humidade relativa às 9 h, velocidade do vento e insolação.

Dado que estas séries se reportavam aos anos hidrológicos de 1959/60 a 1987/88 foi necessário estender estas séries para o período pós 1987/88. Neste caso optou-se por atribuir a cada mês o valor da média das evapotranspirações de referência do mesmo mês no período com dados. Uma vez que o balanço hídrico sequencial é feito a nível diário, esta simplificação influencia pouco os cálculos.

Para as massas de águas subterrâneas de extensão pequena atribuiu-se apenas uma série de evapotranspiração de referência mensal. As massas de águas subterrâneas com áreas maiores foram divididas de acordo com áreas de influência atribuídas a cada série de evapotranspiração no cálculo dos balanços hídricos das culturas.

O Quadro 1 resume os postos udométricos e as estações climatológicas utilizados para o balanço hídrico.

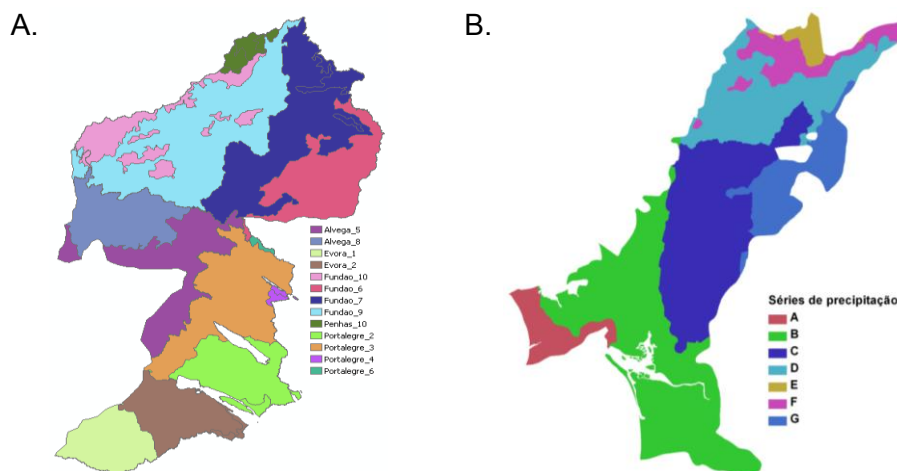


Figura 2 – Subdivisão da massa de águas subterrâneas em função da precipitação média anual e séries de ETo (A: Maciço Antigo indiferenciado da Bacia do Tejo; B: Bacia do Tejo-Sado/Margem Esquerda)

Quadro 2 – Séries de precipitação e de evapotranspiração utilizadas para a caracterização do Maciço Antigo Indiferenciado da Bacia do Tejo (ver Figura 2A para localização)

Série de precipitação	Postos udométricos	Estação climatológica (ETo)
1	22H/01UG – Montemor-o-Novo	22J/01 – Évora-Torre do Sertório
2	20L/01 – Estremoz	22J/01 – Évora-Torre do Sertório, 18M/01 – Portalegre
3	19M/01 – Monforte	18M/01 – Portalegre
4	17M/01 – Castelo de Vide	18M/01 – Portalegre
5	17I/02 – Bemposta	17I/01 – Alvega
6	14N/02 – Ladoeiro	13L/01 – Fundão, 18M/01 – Portalegre
7	14M/02 – Mata	13L/01 – Fundão
8	15I/02 – Vila de Rei	17I/01 – Alvega
9	14K/04 – Esteiro	13L/01 – Fundão
10	13H/05 – Castanheira de Pêra	13L/01 – Fundão, 11L/05 – Penhas Douradas

Quadro 3 – Séries de precipitação e de evapotranspiração utilizadas para a caracterização da Orla Ocidental Indiferenciado da Bacia do Tejo

Área de influência da estação meteorológica (Eto)	Série de Precipitação
21B/07 – Lisboa (Tapada da Ajuda)	22C/02 – Vila Nogueira de Azeitão
21B/01 – Sintra/Granja	21A/08 – Quinta do Pisão
19B/02 - Dois Portos	19B/03 – Maxial
18E/01 – Santarém	16D/01 – Aljubarrota
12G/01 – Coimbra/Geofísico	14G/01 – Ansião
16D/06 - Alcobaça	15F/02C – Caxarias
17I/01 – Alvega	15G/02 – Rego da Murta

Quadro 4 – Séries de precipitação e de evapotranspiração utilizadas para a caracterização da Orla Ocidental Indiferenciado da Bacia do Tejo-Sado / Margem Esquerda (ver Figura 2B para localização)

Série de Precipitação	Posto udométrico	Estação climatológica (ETO)
A	22C/02 – Vila Nogueira de Azeitão	21B/07 – Lisboa (Tapada da Ajuda)
B	22F/03 – Moinhola	18E/01 – Santarém, 19E/02 – Salvaterra de Magos, 21B/07 – Lisboa (Tapada da Ajuda)
C	21F/01 – Canha	19E/02 – Salvaterra de Magos, 21B/07 – Lisboa (Tapada da Ajuda)
D	18G/03 – Marianos	17I/01 – Alvega, 18E/01 – Santarém
E	17I/02 – Bemposta	17I/01 – Alvega
F	18H/04 – Tojeiras de Cima	17I/01 – Alvega, 18E/01 – Santarém
G	19H/02 – Barragem de Montargil	17I/01 – Alvega, 19E/02 – Salvaterra de Magos

3.2 Caracterização dos parâmetros dependentes do solo

Para cada solo é necessário caracterizar os parâmetros: porosidade, porosidade eficaz, ponto de emurchecimento permanente, condutividade hidráulica vertical e material do horizonte superior do solo.

Embora a informação dependente de cada solo possa resultar de análises de perfis de solos específicos de um local a estudar, neste caso não havia disponibilidade dessas análises. Nesta situação recorreu-se em primeiro lugar ao trabalho desenvolvido por OLIVEIRA (2004, 2006) que procedeu à interpretação dos dados de perfis de solos publicados em SROA (1973), tendo caracterizado os parâmetros necessários à corrida do modelo. Os perfis de solos referidos correspondem aos solos da classificação da cartografia de solos publicada pelo IHERA às escalas 1:25 000 e 1: 50 000.

Para caracterizar os solos presentes nas massas de águas subterrâneas utilizou-se a cartografia de solos à escala 1:25 000 para os sistemas aquíferos Leirosa-Monte Real, Quaternário de Aveiro, Torres Vedras e Monforte-Alter do Chão. Nas restantes massas de águas subterrâneas, fez-se uma analogia entre as formações geológicas representadas na carta geológica de Portugal à escala 1:500 000, publicada pelo IGM, nos mapas geológicos dos sistemas aquíferos apresentados em ALMEIDA *et al.* (2000), ou na carta geológica à escala 1:50 000, e a classificação da carta de solos do IHERA à escala 1:25 000, fazendo atribuir a cada formação geológica um solo desta classificação.

Esta analogia passou em primeiro lugar por perceber qual a relação entre a cartografia geológica da escala 1:500 000 e a classificação dos solos da carta de solos à escala 1:1 000 000 do Atlas do Ambiente, e, a partir desta, estabelecer a relação com a ordem, sub-ordem e grupo da classificação de solos do IHERA à escala 1:25 000. Quando se utilizaram os mapas geológicos dos sistemas aquíferos apresentados em ALMEIDA *et al.* (2000) ou as cartas geológicas à escala 1:50 000, procurou-se, quando disponível, estabelecer relações entre esta cartografia geológica e os mapas de solos do IHERA às escalas 1:25 000 e 1: 50 000.

O Quadro 5 sintetiza as relações estabelecidas. Pode haver formações geológicas com a mesma estratigrafia (legenda) que apresentam tipos de solos diferentes, dependendo dos locais onde se encontram e das descrições locais das formações (descrições associadas a cada massa de águas subterrâneas).

O Quadro 6 apresenta a caracterização dos parâmetros do solo. Para além dos solos derivados a partir da cartografia geológica, há um conjunto de solos provenientes da cartografia de solos à escala 1:25 000. Como referido, recorreu-se ao trabalho desenvolvido por OLIVEIRA (2004, 2006). Contudo, a utilização da cartografia de solos à escala 1:25 000, revelou um conjunto de novos solos para os quais não havia perfis efectuados, havendo nalguns casos descrições das propriedades dos solos e noutros casos apenas a sua classificação (cf. <http://www.dgadr.pt/ar/cartografia/notaexplisolo.htm>). Para estes novos solos ainda não caracterizados, houve necessidade de estabelecer os seus parâmetros (devidamente identificados no Quadro 6).

Quadro 5 – Relação entre as formações geológicas cartografadas à escala 1:500 000 e em ALMEIDA *et al.* (2000) e os solos da classificação do IHERA às escalas 1:25 000 e 1:50 000

Carta Geológica 1:500 000	Cartografia ALMEIDA <i>et al.</i> (2000)	Carta geológica 1:50 000	Solo
A	Aluviões (a), Areias de duna e areias de praia (Q)	a, Aluvião	A
A			Al
PU			Apr
alfa2, delt, delt_l, delta1, delta2, delta3, gama_delta, gama2, gama3		(delta), (theta)	Bp
CEA2, CEVA3, CEVB3, CTRVB2, CVBVB1, OS1VB6, XMVBL6			Bp
beta, delt, BR, C3*	Filões, Rochas eruptivas		Cb
PEMG*			Eb
		Ec	Ec
PEM			Egn
	Formação dos Quartzitos Armorianos (O1)		Eq
CBI*		Ea	Et
CBA, CBI, CBM, CBP, CBR, OBA, OS, OS1, DTE, PES			Ex ⁽¹⁾
OQABS			Mng
MUITO			Pa
DPE			Pac
ME, PE, PP			Par
FI_C, MS			Pat
OQABS*, OSG			Pat
Q			Pc
g, g1, g2, g2p, g3, g3p, g4, g_22b, g_23b, g_23c, g_23d, g3, pg, QUARTZ, tau			Pg
PEMOVA, PEU*, CVBVA1, XVA2			Pg ⁽²⁾
		(alfa)	Pga
g_delta, g_delta1			Pmg
g_11, gz1m, gz1o, gzc, gzo			Ppn
PEM, PEM*			Ppn
g_21, g_22 ^a			Ppq ⁽²⁾
Sigma			Psn
XM, CD*, CFA, CTR, CVB, OCV, OQABS**, SBS, DCB, DCB*, DDR, DFQ, PEA, PECM, PEMA, PEMG			Px
PP, AOO	Areias de duna e areias de praia (d), Complexo arenoso (P), Areias de Cordinhã e Cascalheiras de Gordos (P), Complexo arenoso (P), Complexo de Bolhos (Plio-Plisto)		Pz
PEMT, PES, PEU, PEA, OCA, OQABS**, DSM			Qx
A1, A2, AOO, D, Q, Q*	Areias de dunas, praias (Q), Areias e cascalheiras de praias antigas (Plio), Depósitos de terraços (Q), Terraços, areias e cascalheiras (Q)	A, Ad, Ae, Ap, Q, Q1, Q2, Q2_a, Q2_b, Q3, Q3*, Q4, Q4_a, Q4_b, Qp, Areias de praia, d, da, db, dc, dd, Depósitos de praias antigas e de terraços fluviais de 10-20m, Depósitos de praias antigas e de terraços fluviais de 30-45m, Depósitos de terraços de 75-100m	Rg
CD, CE, DSM*	Calcários Dolomíticos de Escusa (D2)	Q\$t	Vcc
FI_M			Vcd
TJ, J1, J2A, J2O, J3, J3F, J3G, C1AR, C1SC, C2	Margas de Dagorda (J1), Calcários dolomíticos, calcários margosos e margas (J1), Calcários, margas e calcários margosos (J1), Calcários de Andorinha e Calcários de Ançã (J2), Calcários de Sicó (J2), Calcários (J2), Calcários de Ançã e Calcários de Andorinha (J2), Calcários e Margas (J2), Calcários margosos da Póvoa da Lomba (J2), Complexo carbonoso e calcários hidráulicos (J3), Calcários margosos, margas e calcários com corais e oncolitos (J3), Calcários nodulares (J3), Camadas de Cabaços e de Montejunto (J3), Calcários e margas (C1-Berriasiano), Complexo carbonatado (C3), Calcários apinhoados da costa de Arnes (C3), Calcários Tentúgal (C3)	J1*_ab, J1_ab, J1_c, J1_cd, J1_d, J1_e, J1_ef, J1_f, J1_g, J2_ab, J2_b, J2*_ab, J2_1, J2_ab, J3_ab, J3_ab-1, J3_ab-2, Calcários, margas e calcários margosos, Caloviano, Camadas de Abadia, C2-3, C3, Calcários margosos e margas, Turoniano incluindo as camadas com Pterocera incerta	Vcd
	Margas e calcários da Dagorda (J1)		Vcm
	Complexo de Pousos (Phi)		Vcr
MST, PE	Complexo arenoso (Pliocénico)		Vct

Carta Geológica 1:500 000	Cartografia ALMEIDA et al. (2000)	Carta geológica 1:50 000	Solo
FI_A, FI_B, FI_BS, ML, MO, MP, MAS, MV, PAF, PAL, PB, PMT, PP, PR, PU	Formações do Paleógeno e Miocénico indiferenciados (phiM), Complexo de Montes (Phi, E), Complexo greso-argiloso de Alpedriz (M), Complexo greso-argiloso (M), Formação argilo-gresosa e conglomerática da Sra. do Bom Sucesso (P e M)	(phi)M, E, M	Vt
J3G, C1A	Formação do Buçaco (Ca3)		Vt
OQABS			Vt
TJ, C1A, C2, C3	Arenitos de Eirol (T), Grés de Silves e Margas da Dagorda (T-J1), Arenitos de Carrascal (C1), Complexo detrítico (C1), Grés do Buçaco (C), Arenitos e argilas de Aveiro e Vagos (C3), Arenitos e argilas de Taveiro e arenitos finos de Lousões (C3), Arenitos e argilas de Viso; Grés de Olã; Grés de Furadouro (C3)	T, C1-2, C2, C3, C3-F, C3-O, C3-4, C4, C4*, C4-5, C5, C5*, Cenomaniano inferior, Albiano, Aptiano e Neocomiano, Arenitos e argilas de Taveiro, Arenitos finos de Lousões	Vtc
	Complexo de Vale de Lagares (J3), Complexo do Portlandiano (J3)	Portlandiano e Kimeridgiano, J3_bc, J3_c, J4, J4-5, C2, C3	Vtd
TJ, C1A, C1AR, C1BEL	Calcários, margas e arenitos (C1-Valanginiano), Complexo gresoso de Cós-Juncal (C1)		Vts
		(phi)	Vts
COS			Vx

Nota: O facto de as formações geológicas provenientes de fontes de informação diferentes se apresentarem na mesma linha do quadro não significa que haja equivalência entre as designações apresentadas mas sim que foram classificadas com o mesmo tipo de solo.

No Maciço Antigo Indiferenciado da Bacia do Tejo, com base no modelo digital de terreno com células com 500 m de lado, considerou-se que: ⁽¹⁾ os solos Ex com declive superior 6 % são considerados como Arx; ⁽²⁾ os solos Pg e Ppq com declive superior a 6 % são considerados como solo Arg.

Quadro 6 – Parâmetros característicos do solo

Solo (IHERA)	sr (-)	wp (-)	n (-)	Ks (mm/d)	Material do horizonte superior do solo	Nota	Solo (IHERA)	sr (-)	wp (-)	n (-)	Ks (mm/d)	Material do horizonte superior do solo	Nota
A	0.27	0.12	0.44	91.32	7-Franco arenoso		Pcst	0.27	0.12	0.46	163.20	6-Franco	5
Aa	0.36	0.24	0.47	19.52	5-Argiloso		Pcst'	0.40	0.27	0.48	14.40	5-Argiloso	5
Aac	0.26	0.14	0.42	34.20	9-Franco-argilo-limoso		Pct	0.28	0.15	0.46	231.60	6-Franco	
Ac	0.31	0.18	0.44	17.11	10-Franco argiloso		Pcx	0.31	0.19	0.42	15.6	10-Franco argiloso	
Al	0.14	0.06	0.44	1466.40	2-Arenoso franco		Pdc	0.29	0.18	0.46	127.43	8-Franco-argilo-aren.	
Alc	0.25	0.13	0.42	100.80	6-Franco		Pdg	0.26	0.16	0.45	158.34	7-Franco arenoso	
Alu	0.14	0.06	0.44	1466.40	2-Arenoso franco	1	Pg	0.13	0.04	0.33	390.48	7-Franco arenoso	
Ap	0.11	0.05	0.44	1833.89	2-Arenoso franco		Pga	0.17	0.08	0.45	621.60	7-Franco arenoso	
Aph	0.09	0.03	0.35	3930.31	1-Arenoso		Pgm	0.20	0.05	0.39	425.24	7-Franco arenoso	
Apr	0.11	0.05	0.44	1833.89	2-Arenoso franco		Pgn	0.18	0.04	0.38	1018.00	7-Franco arenoso	
Arb	0.0100	0.0050	0.0200	0.001	5-Argiloso		Pm	0.33	0.16	0.46	247.91	5-Argiloso	
Arc	0.0250	0.0100	0.0500	10.00	5-Argiloso		Pmc	0.37	0.25	0.46	19.717	5-Argiloso	
Arcx	0.0030	0.0015	0.0060	10.00	5-Argiloso		Pmg	0.21	0.10	0.40	121.01	10-Franco argiloso	
Ard	0.0015	0.0007	0.0030	0.001	5-Argiloso		Pmn	0.23	0.12	0.44	392.95	2-Arenoso franco	
Arg	0.0015	0.0007	0.0030	0.001	5-Argiloso		Ppg	0.14	0.04	0.35	305.18	7-Franco arenoso	
Argn	0.0005	0.0002	0.0010	0.001	5-Argiloso		Ppn	0.19	0.09	0.45	621.60	7-Franco arenoso	
Arp	0.0015	0.0007	0.0030	0.001	5-Argiloso		Ppq	0.22	0.04	0.38	216.97	7-Franco Arenoso	
Art	0.0500	0.0200	0.1500	0.10	5-Argiloso		Ppr	0.17	0.08	0.44	1162.00	2-Arenoso franco	
Arx	0.0200	0.0100	0.0300	0.001	5-Argiloso		Ppt	0.19	0.07	0.33	639.48	7-Franco arenoso	
As	0.21	0.07	0.42	118.27	7-Franco arenoso		Psn	0.35	0.16	0.50	879.10	6-Franco	
Asa	0.34	0.19	0.47	47.19	6-Franco		Pto	0.14	0.04	0.45	3569.62	7-Franco arenoso	2
Asl	0.20	0.08	0.44	135.12	6-Franco		Ptp	0.14	0.04	0.45	3569.62	7-Franco arenoso	
Aslc	0.14	0.06	0.45	621.60	7-Franco arenoso		Pv	0.28	0.16	0.42	930.72	5-Argiloso	
Ass	0.40	0.22	0.46	7.18	9-Franco-argilo-limoso		Px	0.31	0.12	0.45	212.71	6-Franco	
Assc	0.31	0.16	0.50	316.80	11-Franco limoso		Pz	0.07	0.02	0.26	3050.55	7-Franco arenoso	
Assl	0.14	0.06	0.45	621.60	7-Franco arenoso		Pze	0.07	0.02	0.26	3050.55	7-Franco arenoso	3
Asslc	0.14	0.06	0.45	621.60	7-Franco arenoso		Pzh	0.09	0.03	0.24	260.48	2-Arenoso franco	
At	0.25	0.12	0.41	102.29	6-Franco		Qx	0.44	0.20	0.55	579.38	11-Franco limoso	
Atl	0.15	0.06	0.37	356.10	7-Franco Arenoso		Rcg	0.19	0.10	0.41	799.37	7-Franco arenoso	
Atlu	0.15	0.06	0.37	356.10	7-Franco arenoso	1	Rcgc	0.09	0.04	0.44	5040.00	1-Arenoso	4
Atu	0.25	0.12	0.41	102.29	6-Franco	1	Rg	0.09	0.04	0.44	5040.00	1-Arenoso	
Au	0.27	0.12	0.44	91.32	7-Franco arenoso	1	Rgc	0.15	0.07	0.44	5040.00	1-Arenoso	
Bp	0.35	0.16	0.48	279.60	5-Argiloso		Sb	0.31	0.15	0.46	86.16	11-Franco limoso	
Bpc	0.40	0.19	0.52	276.54	5-Argiloso		Sba	0.36	0.22	0.48	21.60	4-Argilo-limoso	
Ca	0.31	0.17	0.44	26.02	9-Franco-argilo-limoso		Sbc	0.31	0.16	0.50	316.80	11-Franco limoso	
Caa	0.35	0.21	0.44	8.21	4-Argilo-limoso		Sbl	0.22	0.06	0.43	308.30	7-Franco arenoso	
Caac	0.52	0.34	0.57	5.44	4-Argilo-limoso		Sblu	0.22	0.06	0.43	308.30	7-Franco arenoso	1
Cac	0.31	0.16	0.50	316.80	11-Franco limoso		Sbu	0.31	0.15	0.46	86.16	11-Franco limoso	1
Cal	0.14	0.06	0.45	969.08	7-Franco arenoso		Scv	0.27	0.16	0.41	142.035	7-Franco arenoso	

Solo (IHERA)	sr (-)	wp (-)	n (-)	Ks (mm/d)	Material do horizonte superior do solo	Nota	Solo (IHERA)	sr (-)	wp (-)	n (-)	Ks (mm/d)	Material do horizonte superior do solo	Nota
Calc	0.14	0.06	0.45	621.60	7-Franco arenoso		Sg	0.14	0.04	0.42	1390.83	7-Franco arenoso	
Cb	0.30	0.12	0.44	326.30	5-Argiloso		Sp	0.75	0.19	0.80	325.64	11-Franco limoso	
Cd	0.26	0.11	0.46	138.14	8-Franco-argilo-aren.		Spc'	0.46	0.33	0.51	7.88	4-Argilo-limoso	
Cpc	0.47	0.33	0.52	5.09	5-Argiloso		Srt	0.24	0.14	0.44	190.93	7-Franco arenoso	
Eb	0.23	0.11	0.43	599.35	7-Franco arenoso		Va	0.39	0.24	0.47	432.86	7-Franco arenoso	
Ec	0.34	0.16	0.46	44.82	11-Franco limoso		Vac'	0.40	0.27	0.48	14.40	5-Argiloso	6
Ed	0.11	0.04	0.41	2457.66	2-Arenoso franco		Vago	0.23	0.11	0.44	170.22	6-Franco	5
Eg	0.11	0.04	0.41	2457.66	2-Arenoso franco		Val	0.23	0.11	0.43	262.58	7-Franco arenoso	
Egn	0.27	0.04	0.45	598.15	2-Arenoso franco		Vao	0.40	0.27	0.48	14.40	5-Argiloso	6
Eq	0.23	0.03	0.38	381.60	2-Arenoso franco		Vato	0.31	0.19	0.46	61.90	8-Franco-argilo-aren.	5
Et	0.30	0.16	0.48	354.28	2-Arenoso franco		Vc	0.24	0.10	0.44	547.19	10-Franco argiloso	
Ex	0.24	0.12	0.43	423.19	5-Argiloso		Vc'	0.36	0.23	0.46	55.2	10-Franco argiloso	
Lpt	0.24	0.11	0.46	258.52	6-Franco	5	Vcc	0.31	0.15	0.49	1310.16	5-Argiloso	
Lvt	0.25	0.12	0.44	161.54	7-Franco arenoso	5	Vcd	0.31	0.18	0.47	647.82	4-Argilo-limoso	
Mnq	0.29	0.13	0.51	616.40	7-Franco arenoso		Vcm	0.22	0.14	0.45	163.33	5-Argiloso	
Mnr	0.23	0.16	0.42	186.30	2-Arenoso franco		Vcmo	0.22	0.14	0.45	163.33	5-Argiloso	
Mnt	0.23	0.16	0.42	186.30	2-Arenoso franco		Vcr	0.30	0.20	0.43	24.12	8-Franco-argilo-aren.	
Mnto	0.23	0.16	0.42	186.30	2-Arenoso franco	2	Vcso	0.18	0.06	0.39	794.99	8-Franco-argilo-aren.	
Mvl	0.23	0.16	0.42	186.30	2-Arenoso franco		Vcst	0.37	0.21	0.47	36.00	9-Franco-argilo-limoso	5
Pa	0.30	0.12	0.46	209.73	6-Franco		Vcst'	0.40	0.27	0.48	14.40	5-Argiloso	6
Pac	0.26	0.10	0.44	537.08	8-Franco-argilo-aren.		Vct	0.22	0.14	0.48	1299.00	6-Franco	
Paco	0.35	0.22	0.47	33.12	10-Franco argiloso	5	Vcv	0.34	0.19	0.44	9.54	6-Franco	
Pag	0.29	0.15	0.42	118.52	8-Franco-argilo-aren.		Vcx	0.24	0.13	0.50	440.98	5-Argiloso	
Pagn	0.24	0.13	0.44	87.40	2-Arenoso franco		Vf	0.25	0.12	0.42	106.66	11-Franco limoso	
Pago	0.29	0.15	0.42	118.52	8-Franco-argilo-aren.	2	Vgn	0.30	0.13	0.50	292.79	7-Franco arenoso	
Pal	0.30	0.12	0.46	209.73	6-Franco		Vi	0.18	0.09	0.41	435.59	7-Franco arenoso	
Pao	0.40	0.27	0.48	14.40	5-Argiloso	5	Vm	0.23	0.14	0.44	213.64	8-Franco-argilo-aren.	
Par	0.16	0.03	0.32	332.76	7-Franco arenoso		Vmc	0.35	0.23	0.44	66.20	8-Franco-argilo-aren.	
Pat	0.18	0.03	0.44	33.60	12-Limoso		Vmg	0.28	0.15	0.46	169.38	7-Franco arenoso	
Pato	0.35	0.22	0.47	27.44	10-Franco argiloso	5	Vt	0.13	0.04	0.38	1080.62	7-Franco arenoso	
Pc	0.28	0.09	0.46	378.13	9-Franco-argilo-limoso		Vtc	0.47	0.32	0.52	1.70	5-Argiloso	
Pc'	0.36	0.15	0.55	499.03	10-Franco argiloso		Vtd	0.32	0.19	0.46	20.13	7-Franco arenoso	
Pca	0.30	0.20	0.46	242.61	8-Franco-argilo-aren.		Vto	0.20	0.09	0.45	447.54	7-Franco arenoso	5
Pcd	0.31	0.10	0.51	2856.00	10-Franco argiloso		Vtr	0.30	0.17	0.46	82.55	7-Franco arenoso	
Pcs	0.30	0.06	0.45	433.04	6-Franco		Vts	0.17	0.06	0.42	1505.81	7-Franco arenoso	
Pcs'	0.40	0.27	0.48	14.40	5-Argiloso	5	Vual	0.23	0.11	0.43	262.58	7-Franco arenoso	1
Pcsd	0.30	0.17	0.46	73.42	10-Franco argiloso	5	Vx	0.37	0.16	0.51	75.08	4-Argilo-limoso	
Pcsd'	0.40	0.27	0.48	14.40	5-Argiloso	5							

sr – retenção específica [L³/L³]; wp – ponto de emurchecimento permanente [L³/L³]; n – porosidade [L³/L³]; Ks – condutividade hidráulica saturada (vertical) (mm/dia)

Notas: Caracterização dos solos conforme a OLIVEIRA (2004, 2006) excepto os seguintes casos calculados atendendo à sua descrição na Nota Explicativa (<http://www.dgadr.pt/ar/cartografia/notaexplisolo.htm>). (1) a letra u corresponde ao horizonte superficial húmico. Este horizonte, devido à maior presença de matéria orgânica tende a fazer aumentar a porosidade. Assim pode considerar-se este horizonte (de porosidade muito elevada) como não existente, correspondendo portanto às características de um solo hierarquicamente superior, ou seja, o solo com a designação do solo presente mas sem a letra u no fim, atendendo à classificação SROA; (2) Solo igual ao hierarquicamente superior, mas que se situa no Oeste do país (letra o); (3) Situação semelhante ao ponto (1), sendo no entanto o horizonte superior representado por areias eólicas também elas acabando por não funcionar como uma barreira à água (4) A letra c corresponde a solos cultivados, com uma quantidade muito elevada de matéria orgânica no horizonte superior, comportando-se da mesma forma que o enunciado no ponto (1), considerando-se as características do solo hierarquicamente superior; (5) calculado a partir da ficha do solo acessível a partir da Nota Explicativa; (6) calculado em função da descrição do solo na Nota Explicativa: por ser par-barros assumiu-se solo argiloso.

3.3 Caracterização dos parâmetros dependentes da ocupação do solo

Para cada ocupação do solo é necessário, para cada coberto considerado, indicar se ele é permeável ou não e se o for caracterizar os períodos de desenvolvimento dos tipos culturais se eles existirem, a data de início do período de desenvolvimento, as profundidades atingidas pelas raízes das plantas durante os períodos de desenvolvimento e as fracções de terreno abrangidas, os seus coeficientes culturais e o limite de depleção de água do solo a 100%. No caso do coberto conferir impermeabilidade ao meio é necessário definir a fracção de área impermeável.

Os parâmetros dependentes da ocupação do solo, no que diz respeito aos cobertos vegetais, podem ser extraídos do conhecimento existente localmente ou, na ausência deste, de publicações

como a de ALLEN et al. (1998) que refere as propriedades de muitos tipos de cobertos vegetais. A caracterização espacial da ocupação do solo utilizada neste PBH foi a do Corine Land Cover 2006 desenvolvida pelo IGP.

A legenda desta carta foi interpretada tendo em vista a identificação dos cobertos vegetais existentes quando se tratava de áreas agrícolas ou florestadas, ou do tipo de áreas artificializadas tendo em vista a caracterização dos parâmetros necessários à corrida do modelo. Esta identificação recorreu também à análise de imagens de satélite Google Earth para identificar a fracção ocupada por cada um dos até três cobertos diferentes definidos para cada ocupação do solo. Refira-se que o terceiro coberto corresponde sempre a um solo descoberto, cuja fracção de área ocupada é calculada como o remanescente da soma das fracções ocupadas pelos outros dois cobertos considerados (ou no caso de só existir um coberto, pela fracção que ele ocupa).

Assim, uma mancha caracterizada pela mesma classe de ocupação do solo em sistemas aquíferos diferentes pode ser interpretada com cobertos diferentes e com fracções de ocupação diferentes.

O Quadro 7 sintetiza os tipos de cobertos associados a cada classe da legenda Corine Land Cover. O Quadro 8 sintetiza os parâmetros que de uma forma geral se atribuíram a cada coberto. Os intervalos de variação de cada fracção dependem da observação que foi feita para cada massa de águas subterrâneas. No caso do coberto ser impermeável (parâmetro “Permeável” = 0 no Quadro 8) é necessário apresentar valores de parâmetros para correr o modelo mas só os parâmetros referentes às fracções de terreno ocupadas são utilizados. Nos casos em que todas as fracções são iguais a zero (Sem coberto e Praias, dunas e areais), também é necessário definir parâmetros para que o modelo corra, embora a recarga seja calculada para o “terceiro coberto” que corresponde ao solo descoberto.

Quadro 7 – Cobertos considerados em cada classe de ocupação do solo CORINE Land Cover

Código Corine LC	Cobertos presentes	Código Corine LC	Cobertos presentes	Código Corine LC	Cobertos presentes
111	Impermeável	211(2)	Trigo de Inverno, Pinhal, Pomar	311	Eucaliptos, Sobreiro, Azinheira
112	Impermeável	212	Milho	312	Pinhal
112(2)	Impermeável, Milho, Olival, Pinhal, Pomar, Relva	212(2)	Milho, Olival, Pinhal, Pomar	313	Eucalipto
121	Impermeável	213	Arrozal	313(2)	Eucaliptos, Sobreiro, Pinhal
121(2)	Impermeável, Pinhal	221	Vinha	321	Matos, Vinha
122	Impermeável	221(2)	Vinha, Pinhal, Pomar, Trigo de Inverno	321(2)	Matos, Pomar
122(2)	Impermeável, Eucalipto, Pinhal	222	Pomar	322	Matos
123	Impermeável	222(2)	Pomar, Milho, Pinhal	322(2)	Matos, Pinhal
124	Impermeável, Pinhal	223	Olival	323	Matos
124(2)	Impermeável, Matos	223(2)	Olival, Pinhal, Impermeável	323(2)	Matos, Sobreiro / Azinheira, Pinhal
131	Eucalipto, Impermeável, Matos, Pinhal	231	Matos	324	Azinheira, Eucalipto, Pinhal
131(2)	Impermeável, Matos, Pinhal	231(2)	Matos, Vinha, Pinhal	324(2)	Eucalipto, Matos, Milho, Pinhal, Pomar, Impermeável
132	Impermeável	241	Pomar	331	Matos; Praias, dunas e areais; Impermeável
132(2)	Impermeável, Eucalipto, Pinhal	241(2)	Pomar, Milho, Trigo de Inverno, Olival, Vinha	331(2)	Matos, Impermeável
133	Impermeável	241.2	Eucalipto, Matos, Pinhal, Vinha	332	Rocha nua, Impermeável
133(2)	Impermeável, Matos, Pinhal	242(2)	Milho, Olival, Pinhal, Pomar, Tomate, Trigo de inverno, Vinha, Impermeável	333	Matos, Impermeável
141(2)	Impermeável, Pinhal	243	Trigo de inverno	333(2)	Matos, Sem coberto
142	Matos	243(2)	Trigo de Inverno, Eucalipto, Milho, Olival, Pinhal, Pomar, Relva, Sobreiro, Tomate, Vinha	334	Eucalipto, Matos, Sem coberto
142(2)	Impermeável, Matos, Pinhal, Relva	244	Eucalipto, Pinhal, Sobreiro	334(2)	Eucalipto, Matos, Pinhal
211	Trigo de Inverno	244(2)	Pinhal, Sobreiro / Azinheira, Vinha, Matos, Trigo de Inverno		

(2) Situações em que se consideram dois cobertos na mesma classe de ocupação do solo (correspondem a combinações de dois dos cobertos identificados, sendo que na maior parte dos casos o primeiro coberto está presente).

Nota: Considera-se sempre um terceiro coberto, que corresponde ao terreno descoberto.

Quadro 8 – Ocupação do solo segundo o CORINE Land Cover 2006 e parâmetros do modelo

Cobertos presentes	Permeável	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	slid	Kc_min	Kcb_tot	fraccao	fraccao_0	fraccao_nada
Arrozais	1	0	62	30	30	60	30	1	1,15	0,6	1	800	150	0,2	0,15	1,15	0,55-1	0,1	0
Azinhreira	1	1	1	1	1	361	2	1,2	1,2	1,2	10	2750	2750	0,5	0,15	1,2	0,8	0,8	0,8
Eucalipto	1	1	15	1	1	361	2	1,2	1,2	1,2	10	2750	2750	0,8	0,15	1,2	0,1-0,95	0,1-0,95	0,1-0,95
Impermeável	0	0	1	1	1	361	2	0,01	0,01	0,01	1	1	1	1	0,01	0,01	0,1-1	0,1-1	0,1-1
Matos	1	1	1	1	1	361	2	0,8	0,8	0,8	1	1000	1000	0,5	0,15	0,8	0,1-1	0,1-1	0,1-1
Milho	1	1	182	25	65	61	31	0,29	1,17	0,3	2	1000	150	0,55	0,15	1,17	0,5	0,1	0
Milho	1	1	183	30	40	50	30	0,15	1,15	0,15	2	1200	150	0,55	0,15	1,15	0,3-0,95	0,1	0
Olival	1	1	152	30	90	60	90	0,6	0,7	0,7	4	1500	1500	0,65	0,15	0,7	0,15-0,95	0,15-0,95	0
Pinhal	1	1	1	1	1	361	2	0,95	0,95	0,95	10	2750	2750	0,7	0,15	0,95	0,05-0,95	0,05-0,95	0,05-0,95
Pomar	1	1	1	1	1	361	2	0,6	0,95	0,75	4	1500	1500	0,5	0,15	0,95	0,1-0,9	0,1-0,9	0,1-0,9
Praias, dunas e areais	1	0	1	10	10	10	10	0,15	0,15	0,15	1	1	1	1	0,15	0,15	0	0	0
Relva	1	0	1	1	1	361	2	0,9	0,9	0,9	0,2	500	500	0,4	0,15	0,9	0,4-0,85	0,4-0,85	0,4-0,85
Rocha nua	0	0	1	1	1	361	2	0,01	0,01	0,01	1	1	1	1	0,01	0,01	0,25-0,9	0,25-0,9	0,25-0,9
Sobreiro / Azinhreira	1	1	1	1	1	361	2	1,2	1,2	1,2	10	2750	2750	0,8	0,15	1,2	0,1-0,8	0,1-0,8	0,1-0,8
Sem coberto	1	0	1	1	1	361	2	0,01	0,01	0,01	1	1	1	1	0,01	0,01	0	0	0
Tomate	1	1	196	30	31	30	17	0,27	1,1	0,66	0,6	700	150	0,4	0,15	1,1	0,4-0,5	0,1	0
Tomate	1	1	198	35	40	50	30	0,15	1,1	0,7	0,6	900	150	0,4	0,15	1,1	0,5	0,1	0
Trigo de Inverno	1	1	32	30	140	40	30	0,15	1,1	0,15	1	1200	150	0,55	0,15	1,1	0,2-1	0,1	0
Vinha	1	1	152	20	50	75	60	0,15	0,65	0,4	2	1500	150	0,45	0,15	0,65	0,15-0,95	0,1	0

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), slid=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, fraccao_nada=fracção de terreno ocupada pela cultura no seu período de dormência.

Nota: Cada corrida do modelo pode ser feita para um ou dois cobertos identificados neste Quadro. Um terceiro coberto corresponde à fracção de terreno remanescente (não ocupada pelos até outros dois cobertos) e trata-se de um terreno descoberto para o qual só se definem dois parâmetros: rp_1=150 e slid= 0,42.

3.4 Identificação das formações carsificadas

Como referido anteriormente, no caso da ocorrência de formações carsificadas e/ou muito fracturadas pode-se assumir que toda a água produzida para escoamento directo se pode infiltrar no aquífero após um determinado percurso à superfície, constituindo também recarga do aquífero. Os sistemas aquíferos e as formações onde se assume que toda a água de escoamento directo se infiltra são apresentados no Quadro 9.

Quadro 9 – Identificação dos sistemas aquíferos com formações carsificadas e/ou muito fracturadas e identificação das referidas formações.

Massa de Águas subterrâneas	Formações carsificadas e/ou muito fracturadas
A2 - Escusa	Toda a área de ocorrência
A3 - Monforte – Alter do Chão	Calcários e dolomitos do Câmbrio
A4 - Estremoz – Cano	Calcários dolomíticos e os mármoreos do Câmbrio
A12 - Luso	Formação dos Quartzitos Armoricanos (O1)
O3 - Cárstico da Bairrada	Calcários, margas e calcários margosos (J1), Calcários de Andorinha e Calcários de Ançã (J2)
O4 - Ançã - Cantanhede	Calcários de Ançã (Calcários compactos micríticos) (J2_ab), Calcários de Andorinha (Calcários Oolíticos e Calciclásticos - carso profundo colmatado com areias de Arazedo) (J2*_ab)
O5 - Tentúgal	Calcários de Ançã e Calcários de Andorinha (J2)
O8 - Verride	Complexo carbonoso e calcários hidráulicos (J3), Calcários e Margas (J2)
O9 – Penela - Tomar	J1, J20, e C2 do mapa geológico à escala 1:500 000
O11 - Sicó – Alvaiázere	TJ, J1, J20, J3, e C2 do mapa geológico à escala 1:500 000
O18 – Maceira	Zona de afloramento das formações jurássicas
O19 – Alpedríz	Formações da carta geológica à escala 1:50 000 pertencentes ao Complexo carbonatado (C3)
O20 - Maciço Calcário Estremenho	J1, J2A, J20, J3, C1AR, e C2 do mapa geológico à escala 1:500 000
O24 – Cesareda	Formações Camadas de Cabaços e de Montejuento (J3) e Calcários (J2)

Massa de Águas subterrâneas	Formações carsificadas e/ou muito fracturadas
O26 – Ota-Alenquer	J3, J3F do mapa geológico à escala 1:500 000
O28 - Pisões – Atrozela	Calcários nodulares (J3), Calcários margosos, margas e calcários com corais e oncólitos (J3), e Calcários e margas (C1-Berriasiano)

4 RESULTADOS

O Quadro 10 apresenta os resultados obtidos pelo cálculo da recarga em cada massa de águas subterrâneas, indicando o valor médio por massa de águas subterrâneas. A Figura 3 representa a distribuição espacial da recarga anual média.

Quadro 10 – Síntese dos valores finais de recarga anual média obtidos pela corrida do modelo de balanço hídrico subterrâneo BALSEQ_MOD por massa de águas subterrâneas

Massa de Águas subterrâneas	Área aflorante (km ²)	Precipitação (mm/ano)	Recarga		
			(mm/ano)*	(hm ³ /ano)	% Prec
A0x1RH5 - Maciço Antigo indiferenciado da Bacia do Tejo	14143	794	71	1006,48	9 %
A2 - Escusa	7,7	776	482	3,72	62 %
A3 - Monforte – Alter do Chão	98	640	169	16,53	26 %
A4 - Estremoz – Cano	202	567	204	41,28	36 %
A12 - Luso	15,3	1156	351	5,37	30%
O01RH5 - Orla Ocidental indiferenciado da Bacia do Tejo	1369	744	64	87,64	9 %
O04RH4 - Orla ocidental indiferen. das bacias das ribeiras do Oeste	1801	764	119	213,61	16 %
O1 - Quaternário de Aveiro	799,9	991	372	297,54	38%
O2 -Cretácico de Aveiro	355,4	963	332	117,97	34%
O3 - Cárscico da Bairrada	260,3	938	409	106,50	44%
O4 - Ançã - Cantanhede	39,6	1066	551	21,82	52%
O5 - Tentúgal	159,6	1066	117	18,71	11%
O6 - Aluviões do Mondego	126,7	835	308	38,96	37%
O7 - Figueira da Foz - Gesteira	54,1	762	47	2,52	6%
O8 - Verride	15,2	816	480	7,31	59%
O9 - Penela Tomar	245	920	445	108,96	48 %
O10 - Leirosa - Monte Real	217,6	684	206	44,88	30%
O11 - Sicó – Alvaiázere	332	971	469	155,43	48 %
O12 - Vieira de Leiria - Marinha Grande	320,1	818	281	89,87	34%
O14 - Pousos - Caranguejeira	102,2	857	101	10,33	12%
O15 – Ourém	316	808	154	48,74	19 %
O18 – Maceira	5,06	896	411	2,08	46 %
O19 – Alpedriz	92,5	896	254	23,50	28 %
O20 - Maciço Calcário Estremenho	768	917	556	426,79	61 %
O23 – Paço	6,39	700	218	1,39	31 %
O24 – Cesareda	16,8	700	428	7,19	61 %
O25 - Torres Vedras	79,8	713	176	14,04	25 %
O26 – Ota-Alenquer	9,4	721	415	3,89	58 %
O28 - Pisões – Atrozela	22,1	693	287	6,34	41 %
O29 – Lourçal	576,8	906	232	133,77	26%
O30 - Viso - Queridas	124,6	892	356	44,39	40%
O31 - Condeixa - Alfarelos	177,5	864	147	26,15	17%
O33 - Caldas da Rainha – Nazaré	165	761	218	36,07	29 %
T01RH5 - Bacia do Tejo – Sado indiferenciado da Bacia do Tejo	926	629	143	132,56	23 %
T1 - Bacia do Tejo – Sado / Margem Direita	1404	668	123	172,80	18 %
T3 - Bacia do Tejo – Sado / Margem Esquerda	6036	642	167	1005,91	26 %
T7 - Aluviões do Tejo	1052	629	207	217,87	33 %

* valores expressos em altura de água (mm/ano) referem-se às áreas aflorantes dos sistemas

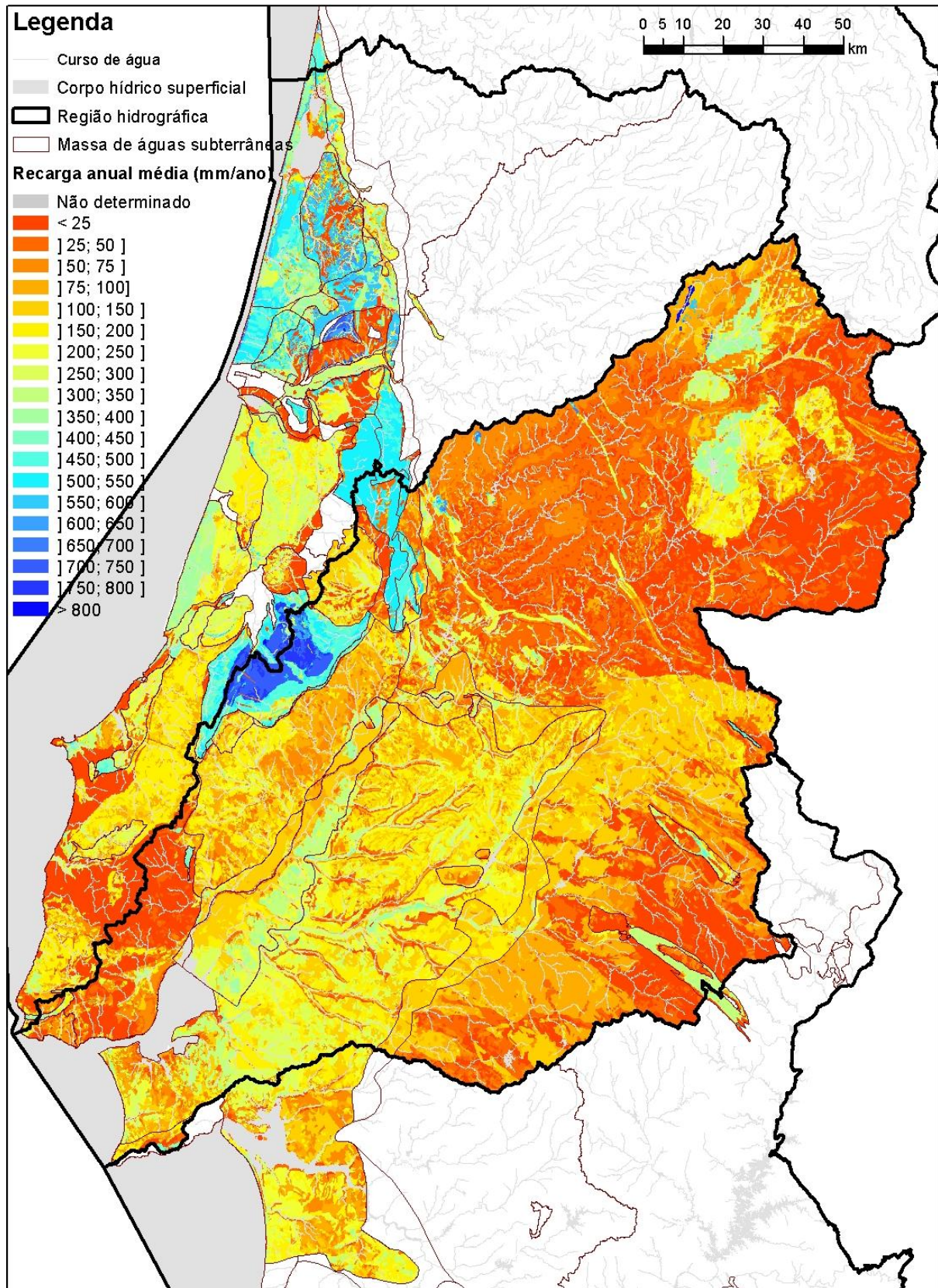


Figura 3 – Distribuição da recarga anual média das massas de águas subterrâneas

5 CONCLUSÕES

Utilizou-se o modelo de balanço hídrico sequencial diário BALSEQ_MOD para estimar a recarga das águas subterrâneas que se apresenta por massa de águas subterrâneas no Quadro 10.

Como referido em 2 a água de infiltração profunda é utilizada como um estimador da recarga da zona saturada mais próxima da superfície. Na prática, os valores apresentados correspondem à água que se infiltra à superfície e que não é evapotranspirada. Isto significa que no caso de existirem camadas menos permeáveis entre a base do solo e o topo do aquífero esta água poderá não constituir a recarga de aquíferos, sendo encaminhada para o meio hídrico superficial.

Esta situação é particularmente relevante no caso dos sistemas aquíferos confinados. Por exemplo, no caso dos sistemas aquíferos Cretácico de Aveiro e Viso-Queridas, em parte da área de afloramento do sistema ocorrem materiais arenosos que permitem taxas de infiltração elevadas. Estas formações, ao manterem-se saturadas podem assegurar a recarga diferida das formações menos permeáveis ou das formações confinadas subjacentes. Esta recarga será contínua no tempo, embora num valor previsivelmente inferior ao das formações arenosas livres.

Alguns aspectos a rever incluem a assunção no sistema aquífero Penela-Tomar de que a quase totalidade da água calculada como escoamento directo se infiltra (porque se assumiu tratar de um aquífero cársico, o que a posteriori levanta algumas dúvidas), e em sentido contrário, rever a recarga da área da serra de Montejunto que se pensa recarregar o sistema aquífero de Ota-Alenquer, assumindo que aqui todas as formações carbonatadas são carsificadas (esta revisão afecta as massas de águas subterrâneas Orla Ocidental indiferenciado da Bacia do Tejo e a Orla Ocidental indiferenciado das ribeiras do Oeste).

Os resultados da corrida do programa BALSEQ_MOD poderão ser analisados no sentido de providenciar valores de recarga anual em ano seco e em ano húmido, situação a prever numa próxima comunicação.

AGRADECIMENTOS

Estudo desenvolvido no âmbito dos estudos "Gestão quantitativa de sistemas aquíferos" (Proc. LNEC 0607/11/17760) do Plano de Investigação Programada do LNEC para o Quadriénio 2009-2012, do Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Tejo e Plano de Bacia Hidrográfica das Ribeiras do Oeste – Lote 2: Recursos Hídricos Subterrâneos (Proc. LNEC 0607/1/17628) e do projecto Modelação de Dados Geográficos e Modelação Matemática dos Recursos Hídricos Superficiais e Subterrâneos para o Planeamento e Gestão dos Recursos Hídricos sob Jurisdição da ARH do Centro, I.P. (Proc. LNEC 0607/541/5756).

BIBLIOGRAFIA

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

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

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

LOBO FERREIRA, J.P.; VAZ PINTO, I.; MONTEIRO, J.P.; OLIVEIRA, M.M.; LEITÃO, T.E.; NUNES, L.; NOVO, M.E.; SALVADOR, N.; NUNES, J.F.; LEAL, G.; POMBO, S.; SILVA, M.F.; IGREJA, A.; HENRIQUES, M.J.; SILVA, D.; OLIVEIRA, L.; MARTINS, T.; MARTINS, J.; BRACEIRO, A.;

HENRIQUES, R.S.; MARTINS, R. (2011a): Plano de gestão da Região Hidrográfica do Tejo - Lote 2: Recursos Hídricos Subterrâneos (Versão de Agosto de 2011). Consórcio Hidroprojecto/LNEC/ICCE. Rel. 289/2011 – NAS. Estudo realizado para a Administração da Região Hidrográfica do Tejo, I.P., 1056 pp.

LOBO FERREIRA, J.P.; VAZ PINTO, I.; MONTEIRO, J.P.; OLIVEIRA, M.M.; LEITÃO, T.E.; NUNES, L.; NOVO, M.E.; SALVADOR, N.; POMBO, S.; SILVA, M.F.; IGREJA, A.; NUNES, J.F.; LEAL, G.; HENRIQUES, M.J.; SILVA, D.; OLIVEIRA, L.; MARTINS, T.; MARTINS, R.; MONTE, M.; MARTINS, J.; BRACEIRO, A.; HENRIQUES, R.S.; QUARESMA, M. (2011b): Plano das bacias hidrográficas das Ribeiras do Oeste - Lote 2: Recursos Hídricos Subterrâneos (Versão de Agosto de 2011). Consórcio Hidroprojecto/LNEC/ICCE. Rel. 290/2011 – NAS. Estudo realizado para a Administração da Região Hidrográfica do Tejo, I.P., 597pp.

MARTINS, T.; OLIVEIRA, M. M.; LOBO FERREIRA, J. P. C. (2011) – “Modelação da recarga dos sistemas aquíferos da região hidrográfica do Centro - Relatório final”. Relatório 208/2011 – NAS, Junho de 2011, 117 pp.

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

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

OLIVEIRA, M.M. (2011) – “Conceptualização do processo de recarga e do balanço hídrico de sistemas aquíferos no planeamento de recursos hídricos por sub-bacias hidrográficas”. 8º Seminário sobre Águas Subterrâneas, APRH, Lisboa, 10 e 11 de Março de 2011.

OLIVEIRA, M.M., OLIVEIRA, L., LOBO FERREIRA, J.P. (2008) – “Estimativa da recarga natural no sistema aquífero de Querença-Silves (Algarve) pela aplicação do modelo BALSEQ_MOD”. 9.º Congresso da Água. 2 a 4 de Abril de 2008, Cascais, 15 pp.

SROA (1973) – “Carta dos solos de Portugal. II Volume: classificação e caracterização morfológica dos solos”. Ministério da Economia, Secretaria de Estado da Agricultura, Serviço de Reconhecimento e Ordenamento Agrário, Volume II, 6ª Ed.