

ESTIMATIVA DA RECARGA UTILIZANDO UM BALANÇO HÍDRICO SEQUENCIAL MENSAL

Manuel Mendes OLIVEIRA

Geólogo, LNEC, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, Portugal, (+351) 21 844 3436, Email: moliveira@lnec.pt

RESUMO

De acordo com a Portaria n.º 1115/2009 de 29 de Setembro, o estado quantitativo das massas de água subterrânea deve ser avaliado considerando a recarga anual média a longo prazo e as extracções de massas de águas subterrâneas; o valor da recarga média anual pode ser determinado através do método do balanço hídrico sequencial mensal (BHSM), apoiado em séries hidrometeorológicas com um mínimo de 30 anos e, sempre que possível, em validações baseadas na análise piezométrica.

À partida, afigura-se difícil fazer a avaliação da recarga de águas subterrâneas através de um modelo de BHSM. Para determinar a aplicabilidade do método de BHSM fez-se um estudo da relação entre os resultados obtidos por BHSM com os resultados obtidos por um balanço hídrico sequencial diário (BHSD), utilizando-se dados de postos udométricos situados na área de ocorrência da massa de água subterrânea Caldas da Rainha-Nazaré. Verifica-se que o excedente hídrico mensal, calculado pelo BHSM, subestima os valores obtidos por BHSD, o que se justifica por não se considerar a distribuição da precipitação.

Desenvolve-se uma metodologia de cálculo da recarga mensal de água subterrânea a partir do modelo de BHSM, através da definição de funções de transferência calculadas a partir do excedente hídrico mensal e a precipitação mensal determinados num posto udométrico. Esta função de transferência é aplicada a sete postos udométricos vizinhos e os valores de recarga mensal assim calculados são comparados com os do modelo de BHSD. As diferenças registadas entre os dois modelos permitem concluir acerca da adequabilidade da metodologia proposta para o cálculo da recarga.

Palavras-chave: recarga, águas subterrâneas, balanço hídrico sequencial, Caldas da Rainha-Nazaré

1. INTRODUÇÃO

Uma das metodologias mais adequadas para estimar a recarga espaciotemporal das águas subterrâneas é a aplicação de um modelo de balanço hídrico sequencial diário (MBHSD), por permitir estimar a recarga em função dos solos, das características de ocupação do terreno e da precipitação diária, com base em informação normalmente disponível, embora nem sempre à escala mais adequada.

A recente Portaria n.º 1115/2009 de 29 de Setembro define os termos em que deve ser feita a avaliação e a monitorização do estado quantitativo das massas de água subterrâneas (dando cumprimento ao disposto no artigo 47.º da Lei n.º 58/2005, de 29 de Dezembro – Lei da Água).

De acordo com esta Portaria o estado quantitativo deve ser avaliado considerando a recarga anual média a longo prazo e as extracções de massas de águas subterrâneas; o valor da recarga média anual pode ser determinado através do método do balanço hídrico sequencial mensal (BHSM), apoiado em séries hidrometeorológicas com um mínimo de 30 anos e, sempre que possível, em validações baseadas na análise piezométrica.

A sugestão de calcular a recarga a partir de um modelo de BHSM (MBHSM) merece reflexão uma vez que não tem sido tradição utilizar estes modelos para estimar a recarga. Por exemplo, um dos MBHSM mais utilizados, de Thorntwaite-Matter, só permite estimar o excedente hídrico mensal, correspondente ao somatório da recarga mensal com o escoamento directo superficial mensal, mas não permite distinguir entre estes dois processos. Desenvolvendo um processo que permita fazer esta diferenciação, uma dificuldade maior consiste no facto dos processos que conduzem à formação do excedente hídrico dependerem da distribuição da precipitação, pelo que não é possível traduzi-los através de totais mensais.

Independentemente destas considerações, o INAG desenvolveu uma metodologia para estimar a recarga através de um balanço hídrico sequencial mensal, aguardando-se a divulgação de um documento com a referida metodologia.

Para reflectir sobre a forma como um MBHSM pode ser utilizado para estimar a recarga, OLIVEIRA (2009) apresentou um primeiro conjunto de resultados correspondentes à corrida de um MBHSM, que comparou com os resultados da corrida de um MBHSD, utilizando os dados de uma série de precipitação média ponderada de 28 anos construída a partir dos postos udométricos 21D/01 – Alcochete, 20E/02 – Santo Estevão e 20D/01 – Vila Franca de Xira, de uma série de evapotranspiração de referência calculada para a estação 19E/02 – Salvaterra de Magos, e considerando associações {solo, ocupação do solo} características de solos com propriedades de infiltração e de armazenamento diferentes e ocupações de solos muito diferentes.

As ocupações dos solos seleccionadas foram a floresta de folhosas (código Corine land cover, clc, 311) e solos sem cobertura vegetal (clc 331). Os solos considerados foram (classificação da Carta de solos de Portugal do IHERA): Rg: Solos incipientes, Regossolos (dos Climas Sub-húmidos e Semiáridos) Psamíticos, não húmidos; Al: Solos incipientes, Aluviosolos Modernos, não Calcários, de textura ligeira; Pag: Solos Argiluvitados Pouco Insaturados, Solos Mediterrâneos Pardos, Para-Solos Hidromórficos, de arenitos ou conglomerados argilosos ou argilas.

Fez-se um conjunto de corridas com o MBHSM e o MBHSD BALSEQ_MOD (OLIVEIRA, 2004), que utilizou como opções de corrida o cálculo da infiltração utilizando a capacidade de infiltração do solo e o cálculo da evapotranspiração utilizando o balanço hídrico sequencial do solo, utilizando a evapotranspiração de referência e o coeficiente cultural dual.

A comparação dos valores de excedentes hídricos calculados permitiu verificar que o MBHSM subestimou os valores obtidos pelo MBHSD, correspondendo para os casos estudados a entre 13 % e 74 % dos valores obtidos pelo MBHSD. Verificou-se que, principalmente no caso dos solos

argiluvitados, mais argilosos, com menor capacidade de infiltração, em muitos meses o MBHSM não estimou excedentes mensais, ao contrário do MBHSD, o que se deveu ao facto do MBHSM não considerar a distribuição da precipitação.

Aprofunda-se agora o estudo realizado, aplicando-se a mesma metodologia e as mesmas associações {solo, ocupação de solo} às séries de precipitação diárias e mensais registadas nos postos udométricos da área correspondente ao sistema aquífero das Caldas da Rainha-Nazaré. Pela sua proximidade, também os sistemas aquíferos da Cesareda e do Paço (a sul) e de Maceira (a norte), acabam por ser abrangidos pelos postos udométricos utilizados (Figura 1).

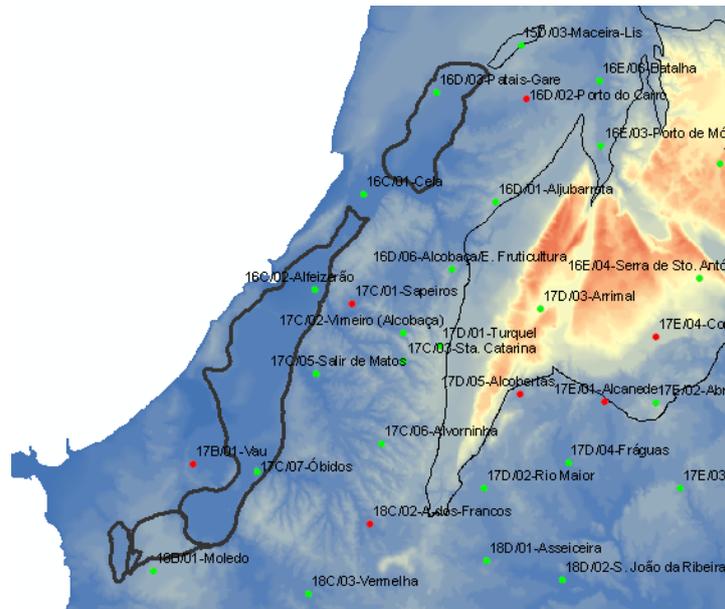


Figura 1 – Sistemas aquíferos e postos udométricos (origem da informação: SNIRH)

2. DADOS DE BASE DE CORRIDA DOS MODELOS

Foram seleccionados os postos udométricos representados na Figura 2. Para se ter uma série de 30 anos como referido na Portaria n.º 1115/2009, de 29 de Setembro, seleccionou-se um período comum a todos os postos, de 1978-10-01 até 2008-09-30. Não havendo qualquer dia deste período com ausência de dados simultânea em todos os postos, as lacunas de dados num posto foram preenchidas utilizando os registos existentes nos outros postos, através da média ponderada pelo inverso do quadrado das distâncias. Os dados provieram do SNIRH.

As coordenadas de localização e as distâncias entre os postos udométricos estão representadas no Quadro 1. O Quadro 2 apresenta os coeficientes de correlação obtidos entre as séries de precipitação diária (antes do preenchimento das lacunas) dos diversos postos udométricos utilizados, cujos valores demonstram uma boa correlação entre eles.

A evapotranspiração de referência utilizada foi a série mensal da estação climatológica 16D06 – Alcobaça calculada para o Plano de Bacia Hidrográfica do rio Tejo. O período de valores é de Outubro de 1959 a Setembro de 1988. Para o período após Setembro de 1988 utilizou-se a média dos valores mensais da série existente.

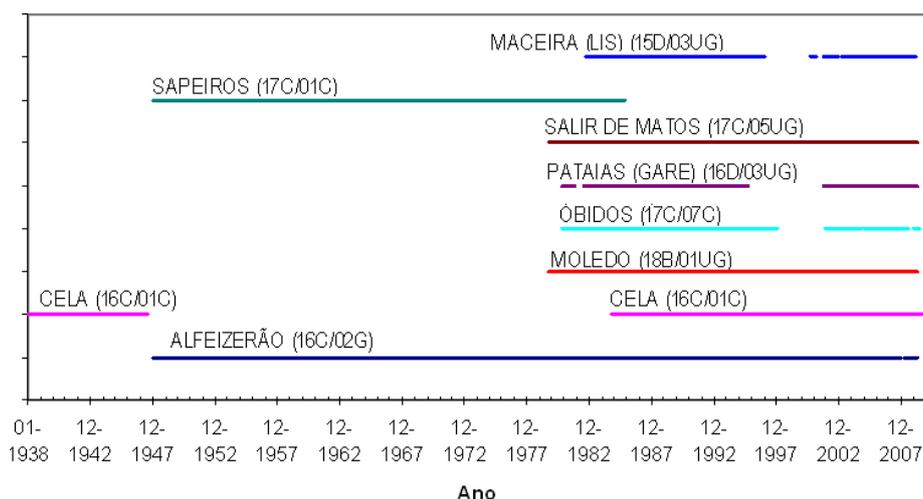


Figura 2 – Postos udométricos e indicação dos períodos com registos diários no SNIRH.

Quadro 1 - Localização dos postos udométricos e distâncias entre eles (m)

	ALFEIZERÃO (16C/02G)	CELA (16C/01C)	MOLEDO (18B/01UG)	ÓBIDOS (17C/07C)	PATAIAS (GARE) (16D/03UG)	SALIR DE MATOS (17C/05UG)	SAPEIROS (17C/01C)	MACEIRA (LIS) (15D/03UG)
Coordenada M	117165	119669	103105	111810	125770	116567	119831	133998
Coordenada P	281559	289808	257847	266020	301200	275291	280546	302405
Distâncias								
ALFEIZERÃO (16C/02G)	0	8621	27567	16436	21443	6296	2851	26794
CELA (16C/01C)		0	35998	25053	12923	14844	9263	19079
MOLEDO (18B/01UG)			0	11940	48921	22035	28196	54220
ÓBIDOS (17C/07C)				0	37849	10420	16594	42617
PATAIAS (GARE) (16D/03UG)					0	27495	21491	8316
SALIR DE MATOS (17C/05UG)						0	6186	32233
SAPEIROS (17C/01C)							0	26048

Quadro 2 – Coeficientes de correlação obtidos entre os diversos postos udométricos utilizados

Correlações	CELA (16C/01C)	MOLEDO (18B/01UG)	ÓBIDOS (17C/07C)	PATAIAS (GARE) (16D/03UG)	SALIR DE MATOS (17C/05UG)	SAPEIROS (17C/01C)	MACEIRA (LIS) (15D/03UG)
ALFEIZERÃO (16C/02G)	0.9188	0.6993	0.8599	0.8437	0.9034	0.8217	0.7895
CELA (16C/01C)	1	0.6613	0.8325	0.8605	0.8605	0.6075	0.8057
MOLEDO (18B/01UG)		1	0.7907	0.7139	0.6956	0.6251	0.62
ÓBIDOS (17C/07C)			1	0.7764	0.8643	0.6793	0.7182
PATAIAS (GARE) (16D/03UG)				1	0.8116	0.736	0.8621
SALIR DE MATOS (17C/05UG)					1	0.7273	0.7647
SAPEIROS (17C/01C)						1	0.6951

Os valores dos parâmetros necessários à corrida do MBHSD BALSEQ_MOD são os representados no Quadro 3. O MBHSM foi corrido utilizando os valores de quantidade máxima de água no solo utilizável para evapotranspiração representados no Quadro 4, e que foram calculados a partir dos valores de rp_1 , $fraccao$, fc e wp , representados no Quadro 3.

Quadro 3 – Parâmetros de corrida do MBHSD dependentes do solo e da ocupação do solo

Associação	331_AI	311_AI	331_Pag	311_Pag	331_Rg	311_Rg	Associação	331_AI	311_AI	331_Pag	311_Pag	331_Rg	311_Rg
fc	0.14	0.14	0.29	0.29	0.09	0.09	Kcb_med	0.01	1.2	0.01	1.2	0.01	1.2
wp	0.06	0.06	0.15	0.15	0.04	0.04	Kcb_fim	0.01	1.2	0.01	1.2	0.01	1.2
fi	0.44	0.44	0.42	0.42	0.437	0.437	h_cult	1	10	1	10	1	10
Ks_mm_d	1466	1466	119	119	5040	5040	rp_1	1	2750	1	2750	1	2750
solo_sup	2	2	8	8	1	1	rp_0	1	2750	1	2750	1	2750
ncult	1	1	1	1	1	1	sld_	1	0.5	1	0.5	1	0.5
permeavel	0	1	0	1	0	1	Kc_min	0.01	0.15	0.01	0.15	0.01	0.15
Calcula Kcb_esp	0	1	0	1	0	1	Kcb_tot	0.01	1.2	0.01	1.2	0.01	1.2
Dia_ini	1	1	1	1	1	1	fraccao	0	0.7	0	0.7	0	0.7
L_ini	100	1	100	1	100	1	fraccao_0	0	0.7	0	0.7	0	0.7
L_des	100	1	100	1	100	1	fraccao_nada	0	0.7	0	0.7	0	0.7
L_med	100	361	100	361	100	361	rp_1(3)	150	150	150	150	150	150
L_fim	65	2	65	2	65	2	sld_(3)	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42
Kcb_ini	0.01	1.2	0.01	1.2	0.01	1.2							

fc = capacidade de campo, wp = ponto de emurchecimento permanente, fi = porosidade, Ks_mm_d = condutividade hidráulica saturada vertical do solo, solo_sup = classe do horizonte superior do solo, ncult = número de culturas presente, permeavel= 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 esperso, 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, rp_1(3) = espessura do solo descoberto sujeita a evaporação, sld_(3)=limite de depleção da água do solo descoberto a 100%

Quadro 4 – Valores de quantidade máxima de água no solo utilizável para evapotranspiração para a corrida do MBHSM

Associação {ocupação do solo_solo}	311_AI	311_Pag	311_Rg	331_AI	331_Pag	331_Rg
Quantidade máxima de água no solo utilizável para evapotranspiração (mm)	157,6	275,8	98,5	12	21	7,5

3. COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DA CORRIDA DO MBHSD COM OS OBTIDOS PELO MBHSM

Para cada posto udométrico considerado fez-se a corrida do MBHSD e do MBHDM. Os valores médios obtidos são os representados no Quadro 5, para cada associação {ocupação do solo_solo}. Os resultados obtidos pelo MBHSD foram integrados para cada mês e comparados com os do MBHSM. Pode-se verificar que em todas as situações estudadas os excedentes hídricos calculados pelo MBHSD (EXCd) são superiores aos calculados pelo MBHSM (EXCm), entre 436 % e 127 %, o que significa que o MBHSM subestima os excedentes hídricos. Por outro lado, excepto as situações correspondentes aos solos menos permeáveis (associações contendo o solo Pag), a recarga (RECD – calculada pelo MBHSD) é superior aos excedentes EXCm, o que dificulta usar o MBHSM para calcular a recarga (e até o próprio escoamento directo). Esta situação resulta do MBHSM não considerar a distribuição da precipitação.

Quadro 5 – Resultados (mm/mês) obtidos pelos MBHSD e MBHSM e comparações dos resultados para as séries de precipitação de Out/1978 a Set/2008

Alfeizerão	EDd	RECD	EXCd	EXCm	EXCd/ EXCm	RECD/ EXCm	Pataias (Gare)	EDd	RECD	EXCd	EXCm	EXCd/ EXCm	RECD/ EXCm
311_AI	6	22	27	16	169%	134%	311_AI	6	24	30	19	161%	128%
311_Pag	35	6	41	10	395%	57%	311_Pag	38	6	44	12	358%	51%
311_Rg	0	29	29	20	141%	141%	311_Rg	0	31	31	23	138%	138%
331_AI	6	31	36	28	131%	111%	331_AI	6	34	40	31	129%	109%
331_Pag	35	6	41	27	153%	22%	331_Pag	38	7	45	30	149%	22%
331_Rg	0	39	39	28	137%	137%	331_Rg	0	43	43	32	135%	135%
Cela	EDd	RECD	EXCd	EXCm	EXCd/ EXCm	RECD/ EXCm	Salir de Matos	EDd	RECD	EXCd	EXCm	EXCd/ EXCm	RECD/ EXCm
311_AI	5	20	25	15	173%	139%	311_AI	6	24	30	19	158%	126%
311_Pag	33	6	39	9	436%	65%	311_Pag	37	6	43	12	365%	52%
311_Rg	0	27	27	18	145%	145%	311_Rg	0	31	31	23	137%	137%
331_AI	5	29	34	26	132%	112%	331_AI	6	33	39	30	130%	110%
331_Pag	33	5	38	25	154%	21%	331_Pag	37	6	44	29	149%	22%
331_Rg	0	36	36	26	137%	137%	331_Rg	0	42	42	31	135%	135%
Moledo	EDd	RECD	EXCd	EXCm	EXCd/ EXCm	RECD/ EXCm	Sapeiros	EDd	RECD	EXCd	EXCm	EXCd/ EXCm	RECD/ EXCm
311_AI	5	21	26	16	168%	133%	311_AI	5	22	27	16	168%	134%
311_Pag	33	5	38	10	381%	54%	311_Pag	35	6	40	10	410%	59%
311_Rg	0	27	27	19	141%	141%	311_Rg	0	28	28	20	141%	141%
331_AI	5	30	35	27	132%	112%	331_AI	5	31	36	28	130%	111%
331_Pag	33	6	39	26	151%	23%	331_Pag	35	6	41	27	153%	22%
331_Rg	0	38	38	27	137%	137%	331_Rg	0	38	38	28	136%	136%
Óbidos	EDd	RECD	EXCd	EXCm	EXCd/ EXCm	RECD/ EXCm	Maceira (Lis)	EDd	RECD	EXCd	EXCm	EXCd/ EXCm	RECD/ EXCm
311_AI	5	21	26	15	172%	138%	311_AI	7	27	34	23	150%	119%
311_Pag	33	6	39	9	414%	61%	311_Pag	41	7	48	16	305%	42%
311_Rg	0	27	27	19	144%	144%	311_Rg	0	36	36	27	132%	132%
331_AI	5	30	35	26	133%	113%	331_AI	7	38	45	35	127%	107%
331_Pag	33	6	39	25	154%	22%	331_Pag	41	8	49	34	143%	22%
331_Rg	0	37	37	27	138%	138%	331_Rg	0	47	47	36	132%	132%

EDd = escoamento directo calculado pelo MBHSD, RECD = recarga calculada pelo MBHSD, EXCd = EDd + RECD, EXCm = excedentes hídricos calculados pelo MBHDM.

4. ESTIMATIVA DA RECARGA ANUAL MÉDIA UTILIZANDO O MBHSM

A análise dos valores mensais não permite estabelecer regras para correlacionar a recarga mensal com o excedente hídrico mensal, como se pode verificar, a título exemplificativo, na Figura 3, para o caso dos valores obtidos para o posto udométrico de Alfeizerão e para a ocupação de floresta de folhosas, principalmente devido à ocorrência de valores nulos estimados pelo MBHSM quando o MBHSD estima valores elevados. Assim não é possível derivar uma função que permita estimar a recarga mensal a partir dos valores dos excedentes hídricos mensais e da associação {solo, ocupação do solo}.

Daí que se tenha procurado uma função descontínua, variável em função do tempo, que relacione a recarga mensal com o excedente hídrico mensal. Dado o número de situações em que o excedente mensal é nulo, houve necessidade de fazer com que essa função descontínua dependesse também da precipitação mensal.

Essa função tem a seguinte forma (método 1):

$$REC = \begin{cases} K1 \cdot EXCm & \text{se } EXCm > 0 \\ K2 \cdot Pm & \text{se } EXCm = 0 \end{cases} \quad (\text{Eq. 1})$$

Os coeficientes são calculados utilizando os resultados dos modelos corridos para Alfeizerão fazendo $K1 = RECD/EXCm$ e $K2 = RECD/Pm$.

A Figura 4 representa os valores dos coeficientes K1 e K2 para o caso da ocupação do solo de floresta de folhas e o posto de Alfeizerão. Pode-se constatar o número de casos em que o parâmetro K2 assume valores o que significa que os excedentes mensais calculados pelo MBHSM foram nulos.

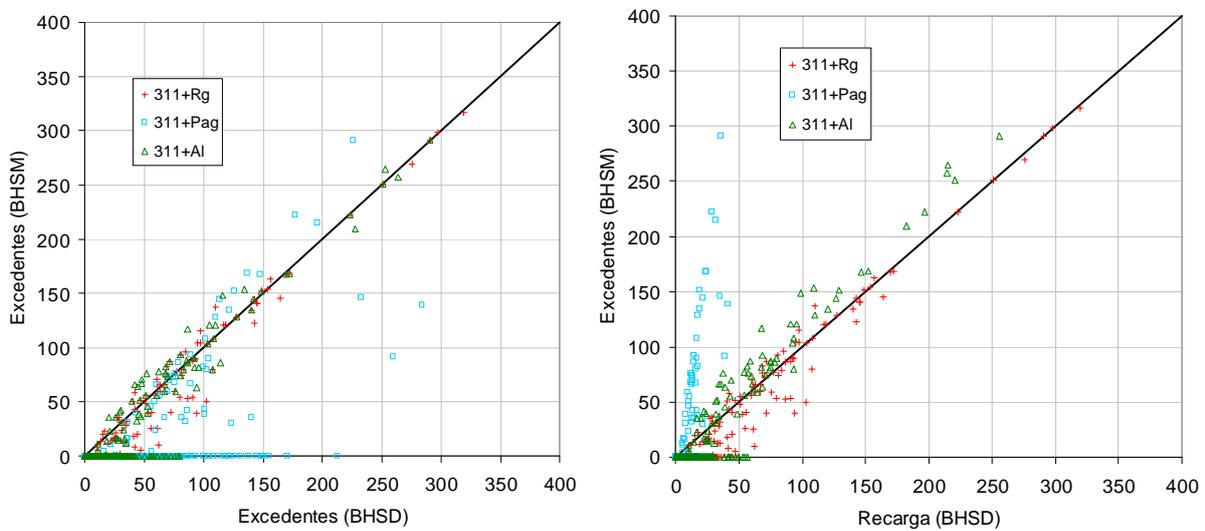


Figura 3 – Comparação (Esq.) dos excedentes hídricos mensais calculados pelos dois métodos de balanço hídrico sequencial e (Dir.) dos excedentes hídricos mensais calculados pelo MBHSM com as recargas mensais calculadas pelo MBHSD. Ocupação do solo: floresta de folhas. Dados do posto udométrico de Alfeizerão.

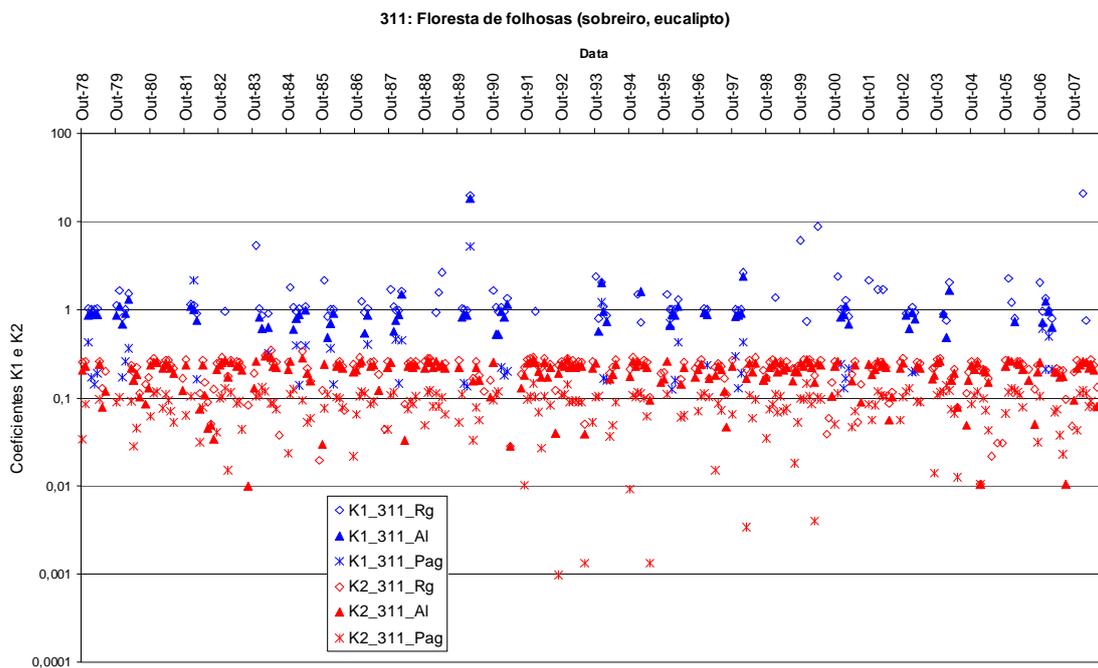


Figura 4 – Coeficientes K₁ e K₂ da Eq. 1 para o caso da ocupação do solo de floresta de folhas. Dados do posto udométrico de Alfeizerão.

Pretende-se aplicar esta função aos valores dos balanços hídricos mensais realizados para os outros postos udométricos, para a partir deles poder estimar a recarga sem ser necessário recorrer a um MBHSD.

Uma segunda função foi analisada (método 2):

$$\text{REC} = K2 \cdot P_m \quad (\text{Eq. 2})$$

cuja utilização para a estimativa da recarga evitaria a corrida do MBHSM nos postos udométricos, sendo apenas necessário ter as séries de precipitação mensal.

A validade destas duas abordagens é verificada comparando os valores de recarga mensal estimados por estas duas funções com os valores de recarga calculados pelo MBHSD, cujos resultados médios já foram apresentados no Quadro 5.

O Quadro 6 apresenta os valores médios de recarga estimados pelo MBHSM utilizando os coeficientes K1 e K2 calculados a partir do posto udométrico de Alfeizerão e os valores dos desvios em relação aos valores médios de recarga estimados pelo MBHSD (mm/mês).

Pode-se verificar que a maior parte dos valores absolutos dos desvios para as situações e postos udométricos analisados é inferior a 1 mm/mês, o que denota uma boa capacidade destas metodologias para estimar a recarga com base no MBHSM (método 1) ou na séries de precipitações mensais (método 2). Os postos udométricos de Cela e de Sapeiros registaram para todas as associações de {ocupação do solo_solo} valores inferiores a 1 mm/mês. O desvio mais elevado foi de 3,9 mm/mês, obtido pelo método 1, tendo sido registado para a associação {331_Rg} no posto udométrico de Maceira. Esta situação corresponde a uma sobre-estimação da recarga em 8 %.

Em termos médios pode-se constatar que os dois métodos podem ser utilizados para estimar a recarga de águas subterrâneas com base em valores mensais.

Quadro 6 – Valores médios estimados (mm/mês) pelo MBHSM utilizando os coeficientes K1 e K2 calculados a partir do posto udométrico de Alfeizerão e valores das diferenças (desvios) em relação aos valores estimados pelo MBHSD (mm/mês)

	311_AI		311_Pag		311_Rg		331_AI		331_Pag		331_Rg	
	Mét. 1	Mét. 2	Mét. 1	Mét. 2	Mét. 1	Mét. 2	Mét. 1	Mét. 2	Mét. 1	Mét. 2	Mét. 1	Mét. 2
Cela												
Média MBHSM	20,1	20,7	5,3	5,6	26,8	27,2	28,9	29,3	5,4	5,5	36,5	36,9
Desvio da média	-0,3	0,4	-0,4	-0,1	0,1	0,5	-0,2	0,3	0,1	0,2	0,3	0,6
Moledo												
Média MBHSM	20,7	20,8	5,7	5,6	30,8	27,2	29,6	29,5	5,7	5,7	36,6	36,8
Desvio da média	-0,1	0,1	0,2	0,1	3,5	-0,1	-0,5	-0,6	-0,2	-0,2	-1,1	-0,9
Óbidos												
Média MBHSM	20,1	20,9	5,3	5,6	28,8	27,4	28,8	29,5	5,5	5,6	35,7	37,0
Desvio da média	-0,7	0,1	-0,4	-0,1	1,7	0,3	-0,9	-0,1	0,0	0,1	-1,3	0,0
Pataias (Gare)												
Média MBHSM	23,6	23,1	6,4	6,3	31,4	30,2	35,0	32,3	6,2	6,1	44,3	40,7
Desvio da média	-0,4	-0,9	0,2	0,1	-0,1	-1,2	1,0	-1,7	-0,4	-0,5	1,7	-1,9
Salir de Matos												
Média MBHSM	23,5	22,8	6,2	6,2	33,1	29,9	35,1	32,2	6,2	6,0	43,2	40,5
Desvio da média	-0,1	-0,8	0,0	0,0	1,8	-1,4	1,7	-1,3	-0,3	-0,4	1,4	-1,4
Sapeiros												
Média MBHSM	21,5	21,6	5,7	5,8	28,5	28,4	30,9	30,5	5,8	5,8	38,6	38,4
Desvio da média	-0,1	0,0	-0,1	0,0	0,1	0,0	0,2	-0,1	0,0	0,0	0,3	0,1
Maceira												
Média MBHSM	26,8	25,0	7,5	6,7	37,0	32,6	40,1	34,9	7,0	6,6	51,0	43,8
Desvio da média	-0,1	-1,9	0,8	0,1	1,5	-2,9	2,4	-2,8	-0,5	-1,0	3,9	-3,4

Desvio da média é calculado fazendo (valores do MBHSM – valores do MBHSD)

5. ESTIMATIVA DA RECARGA MENSAL MÉDIA UTILIZANDO O MBHSM

Considerou-se a recarga média de cada mês e compararam-se os valores obtidos pelos dois métodos com os valores obtidos pelos correspondentes MBHSD. O Quadro 7 mostra as diferenças observadas, assinalando-se a laranja os valores fora do intervalo [-5,0;5,0] mm/mês (representando as maiores diferenças) e a amarelo os valores fora do intervalo anterior e do intervalo [-1,0;1,0] mm/mês. Pode-se verificar que o posto de Maceira (a norte, o posto mais distante de Alfeizerão) é aquele que produz resultados mais afastados, o que significa que a metodologia apresentada não traduz adequadamente a recarga mensal média para este posto.

Não considerando este posto na análise verifica-se que o método 2 consegue obter valores de desvios mais baixos do que o método 1. Os melhores resultados foram obtidos para Sapeiros; contudo a maior parte deste série foi preenchida a partir das séries registadas nos outros postos udométricos, pelo que o seu comportamento é condicionado pelo das outras estações. Os valores mais próximos são também obtidos para o caso das associações com o solo mais argiloso (Pag). Os meses com diferenças maiores variam entre Outubro e Maio.

Quadro 7 – Desvios (mm/mês) entre a recarga mensal média estimada pelo MBHSM utilizando os coeficientes K1 e K2 calculados a partir do posto udométrico de Alfeizerão e a recarga estimada pelo MBHSD

	Método 1												Método 2														
	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Méd	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Méd	
Cela																											
311_AI	-0.9	-0.9	-1.1	-1.2	1.7	0.2	-0.8	-0.1	0.1	0.1	-0.4	0.0	-0.3	-0.1	1.9	0.4	0.3	1.9	0.4	-0.1	-0.1	0.1	0.1	-0.4	0.0	0.4	
311_Pag	-0.2	-0.9	-0.8	-1.1	-0.7	-0.1	-0.2	-0.2	0.0	0.0	-0.1	-0.1	-0.4	-0.2	-0.2	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	-0.2	0.0	0.0	-0.1	-0.1	-0.1	
311_Rq	2.0	0.9	-0.9	-2.1	1.3	-0.7	0.8	0.0	0.1	0.1	-0.5	0.1	0.1	1.0	0.4	1.5	1.8	0.8	0.8	0.2	0.0	0.1	0.1	-0.5	0.1	0.5	
331_AI	0.2	-0.3	5.2	-0.8	0.2	-0.2	-3.8	-0.2	-0.1	0.2	-1.9	-0.6	-0.2	0.4	0.5	0.2	0.9	0.5	0.8	1.5	0.6	-0.1	0.2	-1.9	-0.6	0.3	
331_Pag	0.3	0.3	-0.4	0.1	0.4	0.2	-0.1	0.0	0.0	0.1	0.5	0.3	-0.2	0.5	0.4	0.1	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	
331_Rq	-1.2	0.0	1.5	-0.5	0.8	0.1	-4.8	0.6	0.1	0.4	-2.4	8.4	0.3	0.8	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	2.2	1.5	0.1	0.4	-2.4	-0.2	0.6	
Moledo																											
311_AI	-1.7	-1.9	-2.6	1.9	6.0	-1.9	0.2	-0.1	0.1	-0.2	-0.1	-0.5	-0.1	0.0	-0.9	0.6	3.2	-0.6	-1.5	0.6	-0.1	0.1	-0.2	-0.1	-0.5	0.1	
311_Pag	0.3	0.3	1.8	-1.0	0.7	0.1	0.4	0.2	0.1	0.0	0.0	-0.1	0.2	0.3	0.2	-0.1	0.3	0.0	0.2	0.6	0.2	0.1	0.0	0.0	-0.1	0.1	
311_Rq	4.4	6.9	0.4	32.1	3.9	-3.2	-0.5	-1.2	-0.1	-0.2	-0.1	-0.9	3.5	1.1	-2.4	4.2	1.7	-2.7	-1.5	0.6	-1.2	-0.1	-0.2	-0.1	-0.9	-0.1	
331_AI	-0.4	-0.5	-1.1	-0.1	4.3	-3.0	2.2	-3.1	-1.3	-0.2	0.0	-2.7	-0.5	0.2	-0.4	-0.4	1.0	-1.2	-0.2	-0.7	-1.1	-1.3	-0.2	0.0	-2.7	-0.6	
331_Pag	0.1	-0.7	0.0	0.5	-0.1	-1.0	0.1	-0.6	0.0	0.0	0.0	-0.2	-0.2	0.2	-1.0	0.2	1.0	-0.9	-0.9	-0.2	-0.6	0.0	0.0	0.0	-0.2	-0.2	
331_Rq	-1.7	-1.4	-0.8	-0.6	5.8	-3.1	0.3	-3.8	-1.5	-0.4	-0.2	-6.2	-1.1	0.6	-0.9	0.2	0.2	-1.0	-0.4	-1.5	-1.7	-1.5	-0.4	-0.2	-4.2	-0.9	
Obidos																											
311_AI	-1.3	-1.6	-0.7	-0.4	0.0	-3.2	-0.9	0.1	0.2	-0.1	-0.2	0.0	-0.7	-0.1	0.7	1.6	1.3	0.9	-2.5	0.0	0.1	0.2	-0.1	-0.2	0.0	0.1	
311_Pag	0.1	-1.2	-0.7	-1.3	-0.7	-0.7	-0.4	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	-0.4	0.1	-0.1	-0.2	-0.1	0.0	-0.4	-0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	-0.1	
311_Rq	0.8	2.0	-1.6	25.3	0.3	-5.0	-0.7	0.1	0.1	-0.1	-0.1	-0.1	1.7	1.2	0.2	3.0	1.3	0.4	-2.8	0.1	0.1	0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0.3	
331_AI	-0.4	-0.1	-0.2	0.2	-0.4	-6.5	1.4	-2.6	-0.7	-0.7	-0.3	0.0	-0.9	1.7	-0.4	0.8	0.3	-0.1	-2.5	0.5	-0.3	-0.7	-0.7	-0.3	0.0	-0.1	
331_Pag	0.0	-0.3	0.1	0.1	0.3	-0.6	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.4	0.6	0.0	0.4	-0.6	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	
331_Rq	-1.4	-0.1	-0.4	0.2	0.0	-8.0	0.4	-2.5	-0.3	-0.8	-0.5	-2.2	-1.3	2.3	-0.5	1.7	0.4	0.4	-2.6	0.4	0.0	-0.3	-0.8	-0.5	-0.2	0.0	
Pataias (Gare)																											
311_AI	-1.6	-2.9	0.7	-2.4	2.7	-0.2	0.0	-0.4	-0.2	0.0	-0.3	-0.1	-0.4	-0.7	0.1	-3.5	-3.5	-1.6	-0.5	-0.4	-0.4	-0.2	0.0	-0.3	-0.1	-0.9	
311_Pag	0.0	-0.6	1.5	1.0	0.5	0.1	0.3	-0.2	-0.1	0.0	0.0	-0.2	0.2	0.0	0.3	0.3	0.3	0.3	0.0	0.1	-0.2	-0.1	0.0	0.0	-0.2	0.1	
311_Rq	0.9	1.5	-0.1	-0.2	-1.8	-0.4	0.4	-0.4	-0.3	0.0	-0.3	-0.2	-0.1	-1.0	-3.2	-1.8	-3.3	-2.6	-1.0	-0.7	-0.4	-0.3	0.0	-0.3	-0.2	-1.2	
331_AI	-1.5	2.1	12.1	-1.0	-0.4	-0.1	2.8	0.1	-0.7	0.0	0.0	-0.9	1.0	-3.9	-2.1	-2.5	-2.2	-2.8	-1.5	-2.7	-0.6	-0.7	0.0	0.0	-0.9	-1.7	
331_Pag	-0.3	-0.7	-0.9	-1.2	-0.8	-0.2	-0.2	-0.1	0.0	0.0	0.0	-0.2	-0.4	0.0	-1.5	-1.4	-1.6	-1.0	-0.3	0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0	-0.2	-0.5	
331_Rq	-3.9	1.8	4.0	-1.1	-0.2	-0.4	1.5	0.1	-0.8	0.2	-0.4	20.1	1.7	-4.6	-2.4	-3.1	-2.8	-2.8	-1.7	-2.9	-0.7	-0.8	0.2	-0.4	-1.1	-1.9	
Salir de Matos																											
311_AI	-1.1	-0.4	0.6	-1.2	3.9	-0.4	-1.2	-0.5	0.2	-0.3	-0.3	-0.2	-0.1	-0.2	-0.3	-4.0	-1.6	-0.4	-1.2	-1.2	-0.5	0.2	-0.3	-0.3	-0.2	-0.8	
311_Pag	-0.1	-1.0	0.5	0.6	0.0	0.2	-0.1	-0.3	0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	-0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	-0.1	-0.1	-0.3	0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	
311_Rq	2.1	7.0	-0.6	16.9	0.8	-2.2	-1.6	-0.5	0.1	-0.3	-0.3	-0.3	1.8	-0.1	-3.9	-2.4	-2.3	-2.0	-1.9	-3.5	-0.5	0.1	-0.3	-0.3	-0.3	-1.4	
331_AI	2.0	2.4	1.6	-0.6	0.0	-3.5	21.9	-2.5	0.5	-1.0	-0.7	-0.4	1.7	-0.8	-2.2	-1.5	-1.6	-2.0	-1.5	-2.4	-2.0	0.5	-1.0	-0.7	-0.4	-1.3	
331_Pag	0.0	-1.0	-0.4	-1.1	-0.2	-0.2	-0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.3	0.0	-1.4	-0.6	-1.3	-0.6	-0.3	-1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.4	
331_Rq	1.1	2.6	2.6	-0.5	0.7	-3.9	18.8	-2.7	0.7	-1.1	-1.0	-0.8	1.4	-0.9	-2.5	-1.2	-1.8	-1.8	-1.3	-2.9	-2.2	0.7	-1.1	-1.0	-0.6	-1.4	
Sapeiros																											
311_AI	-1.8	-0.3	1.3	0.4	0.1	0.4	-1.0	-0.1	0.1	0.0	0.0	-0.2	-0.1	-0.2	0.1	-0.1	1.2	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0.1	0.0	0.0	-0.2	0.0	
311_Pag	-0.2	-0.4	-0.1	-0.4	-0.3	0.3	-0.5	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	-0.2	-0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	-0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
311_Rq	-0.5	1.3	0.1	1.1	-0.6	0.2	-0.6	-0.1	0.1	0.0	0.0	-0.2	0.1	1.2	-0.4	-0.4	-0.3	-0.6	0.0	0.0	-0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	-0.2	0.0
331_AI	0.5	0.2	0.7	-0.2	-1.7	0.5	2.2	0.5	0.3	0.0	0.0	0.0	0.2	0.7	-0.6	-0.3	-0.4	-0.9	-0.7	0.5	0.6	0.3	0.0	0.0	0.0	-0.1	
331_Pag	0.3	-0.2	-0.1	0.0	-0.3	-0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	-0.2	-0.1	0.0	-0.3	-0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
331_Rq	-0.5	0.3	0.7	0.0	-0.3	-1.5	0.2	2.2	0.7	0.6	-0.1	-0.1	1.2	0.3	1.1	-0.6	0.0	-0.5	-0.8	-0.6	1.0	0.9	0.6	-0.1	-0.1	0.3	0.1
Maceira (Lis)																											
311_AI	-2.3	-2.3	0.9	-2.8	8.3	-0.4	0.1	-0.9	-0.6	-0.2	-0.3	-0.3	-0.1	-1.3	-2.2	-6.7	-4.4	-3.1	-1.6	-1.1	-0.9	-0.6	-0.2	-0.3	-0.3	-1.9	
311_Pag	-0.3	-0.4	5.2	2.7	3.0	0.4	0.5	-0.4	-0.2	0.0	0.0	-0.4	0.8	-0.3	0.3	0.9	0.6	0.5	0.1	0.0	-0.4	-0.2	0.0	0.0	-0.4	0.1	
311_Rq	5.4	12.1	-0.9	0.0	4.6	-0.6	0.8	-1.7	-0.6	-0.3	-0.3	-0.4	1.5	-2.5	-6.9	-5.5	-5.4	-6.5	-2.4	-2.6	-1.7	-0.6	-0.3	-0.3	-0.4	-2.9	
331_AI	-0.3	1.8	14.2	2.0	5.1	-1.0	12.4	-1.4	-0.9	-0.8	-0.1	-2.1	2.4	-6.0	-2.6	-4.7	-2.9	-4.4	-3.5	-4.0	-2.2	-0.9	0.8	-0.1	-2.1	-2.8	
331_Pag	-0.3	-1.1	-0.8	-1.3	-1.0	-0.3	-0.4	-0.7	0.0	0.0	0.0	-0.5	-0.5	-0.6	-1.9	-1.9	-2.2	-2.4	-0.6	-0.7	-0.7	0.0	0.0	0.0	-0.5	-1.0	
331_Rq	-1.3	1.5	5.4	1.0	5.9	-0.6	11.6	-1.3	-1.8	-0.9	-0.4	27.4	3.9	-6.0	-3.2	-6.6	-4.2	-5.2	-3.6	-4.4	-2.2	-1.8	-0.9	-0.4	-2.0	-3.4	

6. ESTIMATIVA DA RECARGA MENSAL UTILIZANDO O MBHSM

No caso de haver interesse em conhecer a distribuição da recarga mensal, para além dos valores médios das séries, interessa verificar se as mesmas metodologias são adequadas para fazer a estimativa mensal da recarga. Neste caso estuda-se a distribuição dos desvios mensais, obtidos pela diferença entre os valores de recarga mensal estimados pelos métodos 1 e 2 e os valores de recarga mensal obtidos pelo MBHSD.

Para a série de 360 desvios mensais (correspondentes aos 30 anos das séries em análise) calculou-se o conjunto de parâmetros indicados no Quadro 8 para cada mês (isto é, juntaram-se os 30 registos de cada mês e estudaram-se esses parâmetros).

Quadro 8 – Parâmetros utilizados para caracterizar as séries de desvios

Média dos desvios absolutos	Percentil 80 %
Média dos desvios	Percentil 95 %
Percentil 0 % (correspondente ao maior desvio negativo)	Percentil 100% (correspondente ao maior desvio positivo)
Percentil 5 %	Intervalo 5%-95%
Percentil 20 %	Intervalo 20%-80%
Percentil 50 % (correspondente ao valor mediano dos desvios)	

Em termos de apreciação dos resultados, a utilização das metodologias propostas é tanto mais adequada para a estimativa da recarga quanto menor forem os intervalos 5%-95% e 20%-80% (o que significa que os valores estimados pelo MBHSM estão muito próximos dos calculados pelo MBHSD), e quanto mais próximo de zero for a média dos desvios absolutos e o desvio mediano (o que significa que as estimativas estão mais centradas).

O intervalo 5%-95% dá o intervalo de variação dos desvios de 90 % dos valores mensais e o intervalo 20%-80% dá o intervalo de variação dos desvios de 60 % dos valores mensais. A utilização destes intervalos na análise tem a vantagem de eliminar valores extremos, que podem surgir quando os coeficientes K1 ou K2 são grandes e os valores de precipitação mensal ou de excedentes mensais são muito diferentes entre o posto udométrico de Alfeizerão (utilizado para calcular os coeficientes K1 e K2) e o do posto udométrico para o qual se está a estimar a recarga.

Apresenta-se, como exemplo, para o caso dos valores calculados para o posto udométrico de Cela, uma síntese das variações mensais para as associações {311_AI} (Figura 5) e {311_Pag} (Figura 6), onde se pode verificar que no período seco, os desvios são muito reduzidos e que no período húmido são muito superiores. Verifica-se também que a magnitude dos desvios é menor no caso do solo Pag e que para a associação {311_Pag} o método 2 estima claramente melhor a recarga.

A análise caso a caso das situações representadas nas Figura 5 e Figura 6 para todos os postos udométricos e associações {ocupação do solo, solo} utilizadas seria muito extensa (nestas figuras representam-se 4 dos 84 casos possíveis), tendo-se optado por sintetizar toda a informação calculando-se a média anual dos parâmetros do Quadro 8 obtidos para cada mês. Esta síntese apresenta-se no Quadro 9.

Utilizando o intervalo 20%-80% verifica-se que, exceptuando as corridas para as associações que contêm o solo Pag, os valores dos intervalos de variação são superiores a 1 mm/mês, podendo atingir valores tão elevados como 9,4 mm/mês no caso da associação 331_Rg em Moledo, registando-se os valores mais elevados para o caso da ocupação de solo descoberto. As médias dos valores absolutos também assumem valores mais baixos no caso dos solos Pag.

Os valores mais aproximados dos solos Pag significa que a metodologia em estudo produz melhores resultados no caso dos solos mais argilosos. Verifica-se também que é nos solos mais arenosos que se registam as maiores diferenças entre os valores estimados pelo MBHSM e os calculados pelo MBHSD.

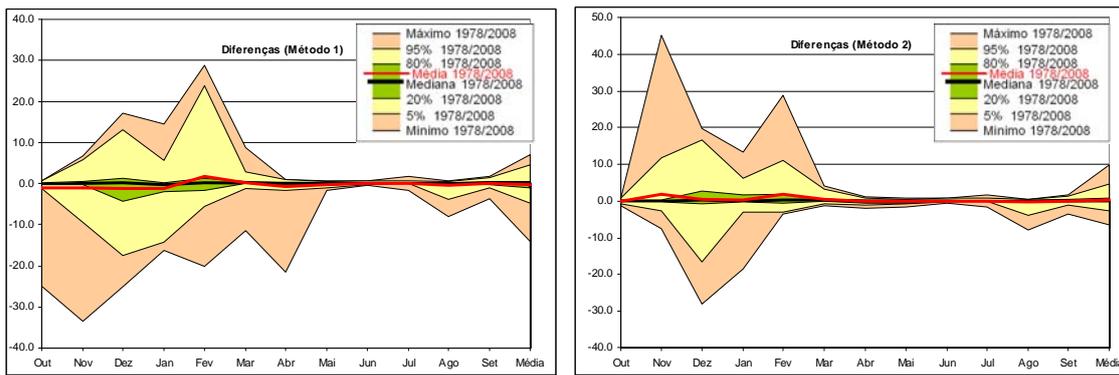


Figura 5 – Variação mensal da distribuição dos desvios (mm/mês) entre os valores de recarga estimados pelo MBHSM e os correspondentes valores calculados pelo MBHSD (Esq.) utilizando o método 1 e (Dir.) utilizando o método 2, para o caso dos registos de precipitação no posto udométrico de Cella e a associação {311_AI}.

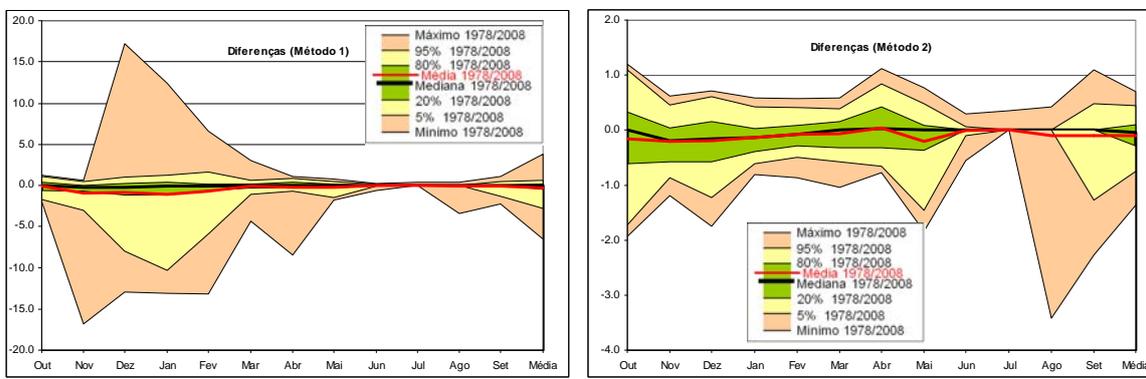


Figura 6 – Variação mensal da distribuição dos desvios (mm/mês) entre os valores de recarga estimados pelo MBHSM e os correspondentes valores calculados pelo MBHSD (Esq.) utilizando o método 1 e (Dir.) utilizando o método 2, para o caso dos registos de precipitação no posto udométrico de Cella e a associação {311_Pag}.

Em relação ao melhor método a utilizar (1, que requer a realização do BHSM, e 2, que requer somente a série de precipitações mensais), fez-se a comparação das médias das diferenças obtidas pela aplicação dos dois métodos aos seguintes parâmetros do Quadro 8: média dos desvios absolutos, intervalo 5%-95%, intervalo 20%-80%, média dos desvios, e percentil 50% (mediana). Verifica-se (Figura 7), que em todas as situações, globalmente, o método 2, que requer menos esforço, apresenta menores diferenças e logo melhores resultados, excepto no caso da associação 331_Pag, em que o método 1 é melhor. As maiores diferenças ocorrem quando se analisa o intervalo 5%-95%.

Quadro 9 – Características das séries de desvios mensais (mm/mês) entre os valores de recarga estimados pelo MBHSM utilizando os coeficientes K1 e K2 calculados a partir do posto udométrico de Alfeizerão e os valores estimados pelo MBHSD

	CELA		MOLEDO		ÓBIDOS		PATAIAS (GARE)		SALIR DE MATOS		SAPEIROS		MACEIRA (LIS)	
	Mét. 1	Mét. 2	Mét. 1	Mét. 2	Mét. 1	Mét. 2	Mét. 1	Mét. 2	Mét. 1	Mét. 2	Mét. 1	Mét. 2	Mét. 1	Mét. 2
311_AI														
Média abs.	1.74	1.40	2.93	2.36	2.07	1.60	2.23	1.89	2.15	1.84	1.21	0.89	3.29	3.13
5%-95%	9.43	7.38	13.69	10.98	10.82	8.18	10.68	8.76	10.28	9.20	5.79	4.66	17.25	15.73
20%-80%	1.35	1.07	2.72	2.17	1.68	1.57	2.21	1.95	1.39	1.42	0.76	0.50	3.18	3.26
Mediana	0.01	0.04	0.04	0.04	0.00	0.02	-0.08	-0.12	-0.07	-0.13	-0.02	-0.03	-0.13	-0.23
0% - Min	-14.04	-6.51	-18.81	-18.24	-19.59	-10.05	-13.18	-15.41	-16.16	-16.53	-12.09	-4.75	-14.15	-19.78
5%	-4.74	-2.87	-7.49	-4.95	-6.83	-3.76	-6.78	-6.31	-4.98	-6.56	-2.19	-2.44	-8.98	-13.28
20%	-0.86	-0.31	-1.08	-0.67	-0.87	-0.52	-1.50	-1.58	-0.75	-1.14	-0.41	-0.37	-1.97	-2.97
80%	0.49	0.77	1.64	1.49	0.81	1.05	0.71	0.37	0.64	0.28	0.35	0.13	1.21	0.29
95%	4.69	4.51	6.20	6.02	3.99	4.42	3.90	2.45	5.30	2.64	3.60	2.21	8.27	2.45
100% - Max	6.93	9.87	15.77	11.59	6.41	9.70	14.02	7.02	13.79	7.95	6.35	8.29	21.65	11.67
311_Pag														
Média abs.	0.78	0.27	1.39	0.46	0.84	0.36	0.90	0.42	0.66	0.28	0.43	0.17	1.73	0.53
5%-95%	3.46	1.19	5.73	1.89	4.65	1.53	4.23	1.95	3.61	1.23	1.74	0.89	10.54	2.10
20%-80%	0.61	0.39	0.98	0.64	0.64	0.53	0.75	0.57	0.61	0.44	0.24	0.18	1.21	0.87
Mediana	-0.05	-0.04	0.02	0.03	-0.04	-0.01	0.09	0.09	0.00	-0.01	-0.04	-0.04	0.08	0.08
0% - Min	-6.60	-1.37	-6.44	-1.57	-7.51	-2.20	-4.89	-1.47	-4.30	-1.27	-4.65	-0.64	-6.25	-2.00
5%	-2.80	-0.75	-2.97	-0.75	-3.71	-0.88	-1.83	-0.95	-1.98	-0.70	-1.05	-0.34	-2.09	-0.93
20%	-0.46	-0.29	-0.47	-0.22	-0.40	-0.30	-0.25	-0.21	-0.28	-0.25	-0.17	-0.15	-0.36	-0.33
80%	0.14	0.11	0.51	0.42	0.24	0.23	0.50	0.36	0.33	0.18	0.08	0.03	0.86	0.54
95%	0.66	0.44	2.76	1.14	0.94	0.65	2.40	1.00	1.64	0.53	0.69	0.55	8.45	1.16
100% - Max	3.74	0.69	13.70	2.96	2.34	1.04	6.04	1.43	3.15	1.04	2.18	0.90	12.61	1.74
311_Rg														
Média abs.	2.72	1.71	7.17	3.28	5.72	2.48	4.51	2.86	5.10	2.75	1.54	1.07	5.79	4.51
5%-95%	13.22	8.66	18.32	15.87	19.40	13.59	24.44	14.67	17.59	12.27	7.50	5.68	31.24	20.97
20%-80%	1.61	2.09	2.56	3.30	2.99	2.56	3.50	3.32	2.16	2.73	0.79	0.82	3.41	5.73
Mediana	0.04	0.13	0.03	0.13	0.02	0.10	-0.09	-0.21	-0.09	-0.20	-0.01	-0.01	-0.17	-0.58
0% - Min	-15.56	-6.90	-20.76	-27.24	-20.06	-13.08	-19.77	-18.62	-23.17	-25.90	-10.68	-5.85	-20.77	-28.60
5%	-7.85	-3.00	-10.36	-8.07	-11.90	-5.53	-11.46	-10.22	-7.78	-8.65	-3.41	-3.20	-10.95	-15.90
20%	-0.98	-0.59	-1.40	-0.78	-1.87	-0.99	-2.90	-2.77	-1.22	-2.41	-0.38	-0.53	-2.34	-5.46
80%	0.63	1.50	1.16	2.52	1.12	1.57	0.60	0.55	0.94	0.32	0.41	0.29	1.07	0.27
95%	5.37	5.66	7.96	7.80	7.50	8.05	12.98	4.46	9.81	3.61	4.09	2.47	20.29	5.07
100% - Max	25.45	10.58	133.23	12.13	89.07	11.77	35.98	10.19	75.34	9.39	12.86	8.10	57.97	10.73
331_AI														
Média abs.	3.47	2.40	4.58	3.90	4.20	3.04	5.48	3.40	5.30	3.06	1.88	1.27	6.81	4.41
5%-95%	14.42	10.66	21.31	16.31	19.60	13.80	24.34	14.88	22.09	12.90	8.49	5.89	32.45	18.59
20%-80%	3.80	3.34	7.02	6.34	5.34	4.96	6.25	5.34	4.39	4.45	1.49	1.35	8.20	6.94
Mediana	-0.02	0.27	-0.01	0.13	0.03	0.05	-0.32	-0.64	0.14	-0.45	-0.03	-0.09	0.19	-1.05
0% - Min	-19.86	-13.73	-22.67	-24.08	-24.92	-17.40	-17.22	-19.12	-16.66	-20.66	-9.80	-7.87	-19.07	-24.24
5%	-8.52	-4.91	-11.56	-9.45	-11.36	-7.31	-9.88	-10.65	-9.16	-8.67	-4.38	-2.98	-10.56	-14.37
20%	-1.78	-1.03	-3.91	-3.10	-3.15	-1.93	-3.46	-3.88	-2.39	-2.98	-0.66	-0.63	-3.24	-6.04
80%	2.02	2.31	3.10	3.25	2.19	3.03	2.79	1.46	2.01	1.47	0.83	0.72	4.96	0.91
95%	5.90	5.75	9.75	6.86	8.25	6.49	14.45	4.23	12.93	4.23	4.11	2.91	21.89	4.22
100% - Max	20.70	7.46	17.65	9.91	17.36	8.74	47.94	6.61	59.04	8.35	16.23	6.81	55.48	7.26
331_Pag														
Média abs.	0.46	0.59	1.02	1.23	0.55	0.74	0.93	1.10	0.76	0.90	0.31	0.40	1.30	1.50
5%-95%	2.41	3.28	4.16	5.30	2.91	4.05	4.52	5.63	3.24	4.16	1.46	1.92	6.49	7.52
20%-80%	0.60	0.68	0.97	1.38	0.58	0.88	1.04	1.21	0.74	0.95	0.26	0.34	1.50	1.77
Mediana	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.05	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.06	-0.10
0% - Min	-2.05	-2.12	-10.05	-11.31	-3.01	-3.48	-8.13	-8.26	-7.52	-7.69	-1.76	-1.98	-10.27	-11.08
5%	-0.98	-1.29	-2.21	-2.89	-1.62	-1.80	-3.08	-3.82	-2.12	-2.70	-0.79	-1.01	-4.46	-5.84
20%	-0.24	-0.24	-0.36	-0.52	-0.29	-0.37	-0.64	-0.87	-0.50	-0.76	-0.21	-0.27	-0.94	-1.62
80%	0.36	0.44	0.60	0.85	0.30	0.51	0.40	0.34	0.24	0.19	0.05	0.06	0.56	0.15
95%	1.43	1.99	1.95	2.42	1.29	2.26	1.43	1.80	1.12	1.46	0.67	0.90	2.03	1.68
100% - Max	2.49	3.51	3.97	4.69	2.88	3.42	2.50	2.72	2.91	2.47	2.60	3.64	3.94	3.31
331_Rg														
Média abs.	4.42	2.89	5.69	4.68	4.95	3.65	7.08	4.00	5.71	3.54	2.18	1.52	9.12	5.42
5%-95%	17.09	12.15	26.99	20.57	22.97	15.42	25.44	16.93	24.69	15.10	9.66	7.17	34.62	22.97
20%-80%	4.98	4.35	9.40	7.01	6.63	5.68	7.28	6.99	4.83	5.06	2.00	1.78	8.30	8.45
Mediana	0.07	0.56	-0.01	0.32	-0.01	0.23	-0.40	-0.50	0.07	-0.58	0.04	0.00	0.18	-1.51
0% - Min	-23.70	-14.79	-29.19	-31.20	-31.11	-20.80	-20.29	-20.88	-18.69	-21.68	-12.46	-8.75	-21.83	-27.79
5%	-9.98	-5.41	-16.82	-12.75	-14.86	-8.14	-12.03	-11.93	-11.79	-9.79	-4.79	-3.40	-12.72	-17.45
20%	-2.09	-1.16	-5.89	-3.37	-3.94	-2.12	-4.37	-5.04	-2.63	-3.42	-0.75	-0.70	-3.72	-7.06
80%	2.88	3.19	3.51	3.64	2.68	3.56	2.91	1.95	2.20	1.64	1.26	1.08	4.57	1.39
95%	7.11	6.74	10.17	7.81	8.11	7.28	13.41	5.00	12.89	5.31	4.87	3.76	21.90	5.52
100% - Max	32.33	9.51	20.41	10.26	18.31	10.69	82.51	7.83	60.03	9.17	16.43	8.00	109.14	8.89

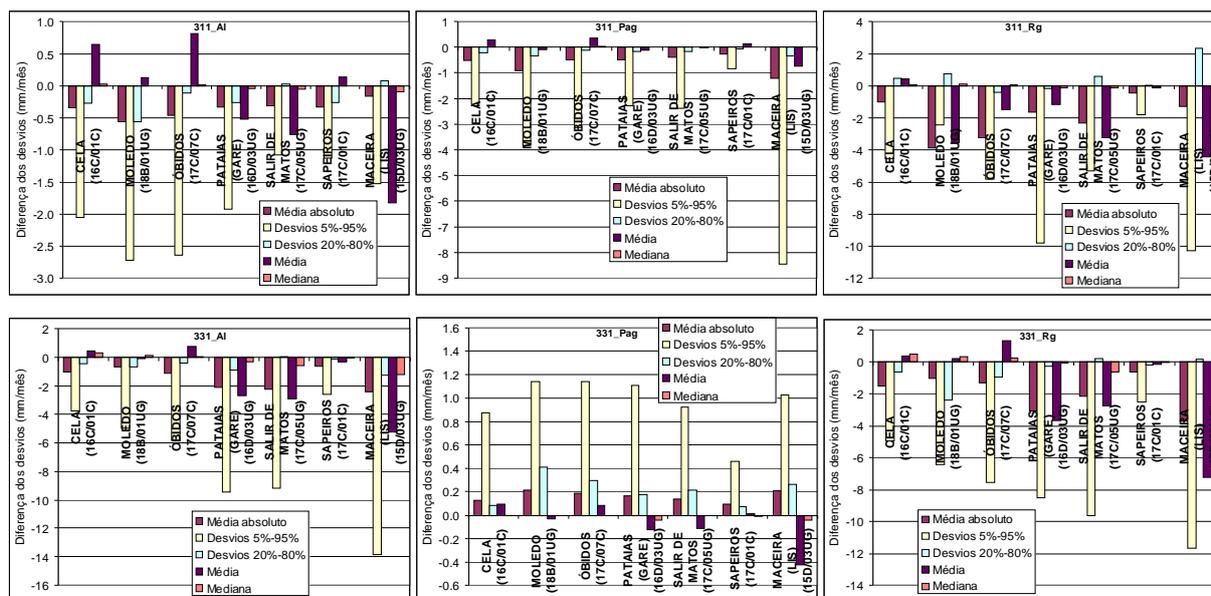


Figura 7 – Diferença dos desvios obtidos utilizando o método 1 e o método 2, calculada por (método 1-método 2)

7. CONCLUSÕES

Pretendeu-se verificar de que forma se pode utilizar um modelo de balanço hídrico sequencial mensal (MBHSM) para estimar a recarga de águas subterrâneas, nomeadamente se é possível estabelecer relações entre as variáveis deste modelo e a recarga mensal.

Para tal fez-se a corrida do MBHSM de Thorntwaite-Matter para estimar o excedente hídrico utilizando dados registados em oito postos udométricos e seis associações diferentes de {ocupação de solo, solo}. Fez-se a corrida do modelo de balanço hídrico sequencial diário (MBHSD) BALSEQ_MOD, para calcular o excedente hídrico e a recarga para as mesmas condições. Partindo do pressuposto que este modelo estima o excedente hídrico de uma forma mais correcta, por ter em consideração a distribuição da precipitação ao longo do mês, comparam-se os resultados obtidos pelo MBHSM com os resultados mensais obtidos por este modelo.

Verificou-se que em todas as situações estudadas o excedente hídrico calculado pelo MBHSD (EXCd) é superior ao calculado pelo MBHSM (EXCm), entre 436 % e 127 %, pelo que o MBHSM subestima o excedente hídrico. Verificou-se também que, exceptuando as situações correspondentes aos solos menos permeáveis (associações contendo o solo Pag), a recarga (RECD) calculada pelo MBHSD é superior a EXCm. Não foi possível obter boas relações entre o excedente mensal calculado pelo MBHSM e o excedente mensal e a recarga mensal calculada pelo MBHSD.

Para estimar a recarga testaram-se duas metodologias, com base em dois coeficientes calculados utilizando os resultados dos modelos corridos para Alfeizerão. O primeiro método usou o excedente hídrico calculado pelo MBHSM e a precipitação mensal; o segundo método utilizou apenas a precipitação mensal. Os coeficientes variam em função do tempo e foram utilizados para estimar a recarga com os dados de precipitação mensal e de excedente mensal dos outros sete postos udométricos.

Verificou-se que os dois métodos permitiram estimar adequadamente os valores de recarga anual média, com desvios absolutos das recargas médias muitas vezes inferiores a 1 mm/mês, sendo que os postos udométricos de Cela e de Sapeiros registaram os melhores resultados. O desvio da média mais elevado foi registado no posto udométrico de Maceira, onde se sobre-estimou a recarga em

8 %. Em termos médios pode-se constatar que os dois métodos podem ser utilizados para estimar a recarga de águas subterrâneas com base em valores mensais.

Relativamente à utilização dos dois métodos para a estimativa da recarga mensal média, em alguns casos obteve-se desvios elevados, o que compromete a aplicação desta metodologia tal como apresentada para a estimativa da recarga. Somente no caso dos solos mais argilosos (associações com o solo Pag) é que se obtiveram bons valores. Por outro lado, o método 2 originou desvios menores.

Relativamente à estimativa da recarga mensal verificou-se que se podem obter intervalos de variação de desvios importantes cujas médias atingiram no máximo mais de 9 mm/mês. Os valores mais elevados obtiveram-se para os caso da ocupação de solo descoberto. No caso dos solos Pag conseguiram-se os melhores resultados, o que indicia que a metodologia em estudo produz melhores resultados no caso dos solos mais argilosos. As maiores diferenças entre os valores estimados pelo MBHSM e os calculados pelo MBHSD verificaram-se nos solos mais arenosos. Em termos globais o método 2, com maior facilidade de aplicação forneceu melhores resultados do que o método 1.

Como conclusão final, constata-se que as metodologias propostas para estimar a recarga utilizando um MBHSM, ou a série de precipitação mensal, a partir de coeficientes variáveis no tempo, determinados em postos udométricos próximos, pode fornecer boas estimativas da recarga anual média, afastando-se estas estimativas dos valores de recarga quando se pretende estimar a recarga mensal ou a recarga mensal média. Os resultados indiciam que os métodos são tanto melhores quanto mais argiloso for o solo, o que se deverá ao facto da recarga produzida ser menor. De entre os dois métodos, o método que depende apenas da série de precipitação é o que geralmente apresenta melhores resultados, com a vantagem de não ser necessário fazer um balanço hídrico sequencial mensal.

Contudo, verificou-se que a estimativa da recarga utilizando informação proveniente de outro posto udométrico pode apresentar erros e, a não ser que se introduzam outros factores que permitam corrigir a metodologia apresentada (como por exemplo evitar que a recarga estimada assumia valores muito altos devido ao facto de se estar a utilizar coeficientes que foram calculados noutra local), recomenda-se que se continue a utilizar modelos de balanço hídrico sequencial diário para calcular a recarga.

BIBLIOGRAFIA

OLIVEIRA, M.M. (2004) - "Recarga de Águas Subterrâneas: Métodos de Avaliação". Doutoramento em Geologia (Hidrogeologia), Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, Departamento de Geologia, 2004, 440 pp. Também Oliveira, M.M. (2006) - "Recarga de Águas Subterrâneas: Métodos de Avaliação". Lisboa, TPI 42, ISBN 972-49-2093-3, Editora LNEC, 2006.

OLIVEIRA, M.M. (2009) - "Sistema Tejo-Sado: Recarga de águas subterrâneas". Aguarda publicação na revista Tágides. Sessão de Debate sobre Águas Subterrâneas nas Bacias do Rio Tejo e Ribeiras do Oeste. Administração de Região Hidrográfica do Tejo, I.P., 13 de Novembro de 2009.