

SÍNTESE DO ESTUDO DA RECARGA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO CONCELHO DE ALMADA

Catarina G. CARIA

Mestre em Geologia Aplicada (Hidrogeologia), cgameirocaria@gmail.com

Manuel M. OLIVEIRA

Doutor em Hidrogeologia, Núcleo de Águas Subterrâneas, LNEC, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, Portugal, 218 443 436, moliveira@lnec.pt

M. Catarina R. SILVA

Doutora em Geoquímica, Centro de Geologia, Faculdade de Ciência da Universidade de Lisboa, Departamento de Geologia, csilva@fc.ul.pt

Estrutura

- ❖ Introdução
- ❖ Objetivos
- ❖ Metodologia
- ❖ Enquadramento da área em estudo
- ❖ Variáveis do balanço hídrico
- ❖ Caracterização das variáveis do balanço hídrico necessárias à corrida do modelo BALSEQ_MOD
- ❖ Resultados e conclusões

Introdução

Importância do tema

RECARGA → Quantidade de água que é acrescentada à zona saturada de água subterrânea provocando o aumento do armazenamento de água da zona saturada.

↳ Processo integrante do ciclo hidrológico que assume o papel da reposição de água nos aquíferos e permite a manutenção do **balanço hídrico**.

Objetivos

A motivação deste estudo resultou da intenção de execução de um estudo abrangente sobre as características geológicas e hidrogeológicas do concelho de Almada, por parte da Câmara Municipal de Almada, com o apoio da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

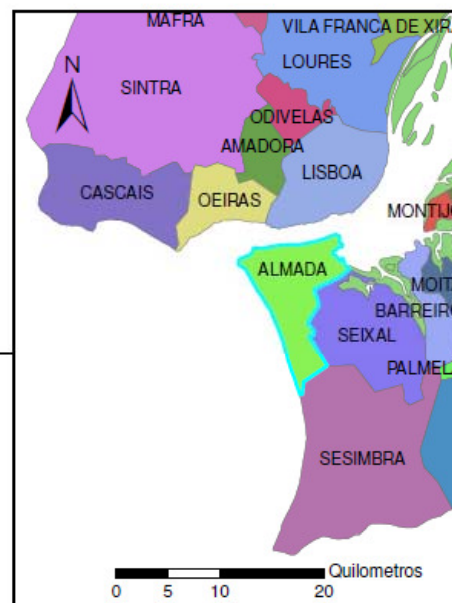
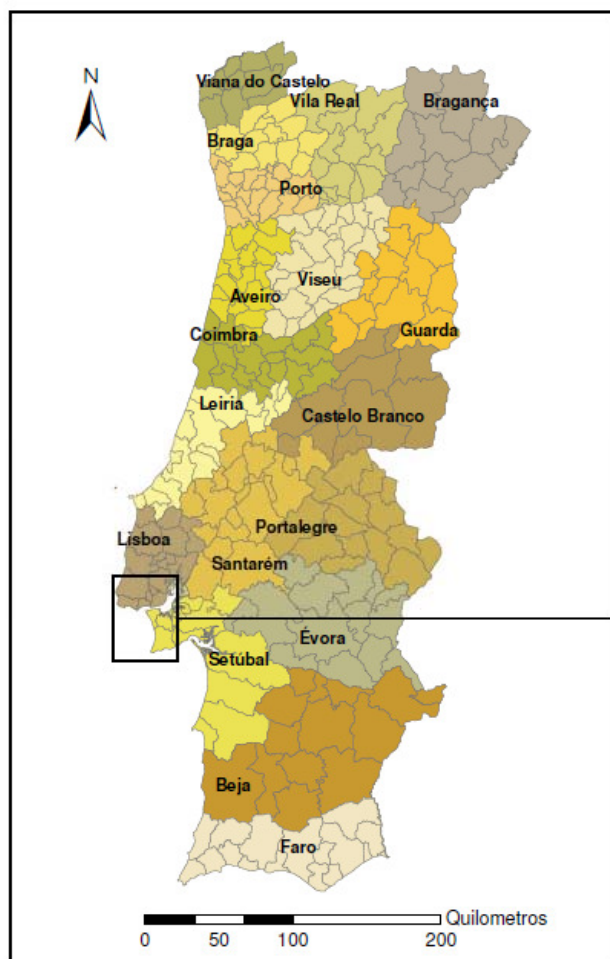
Avaliar o carácter quantitativo dos fenómenos de recarga de águas subterrâneas no concelho de Almada;

Metodologia

- ✓ Compilação de informação relativa às características geológicas e hidrogeológicas do concelho de Almada;
- ✓ Elaboração de base de dados com informação relativa ao solo e às suas características, ao uso do solo e às culturas que o ocupam, a partir de cartografia de base;
- ✓ Recolha de dados climáticos e elaboração de séries de precipitação e evapotranspiração de referência;
- ✓ Cálculo da recarga através do modelo de balanço hídrico sequencial diário ao nível do solo, designado BALSEQ_MOD, propriedade do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC);

Enquadramento da área em estudo

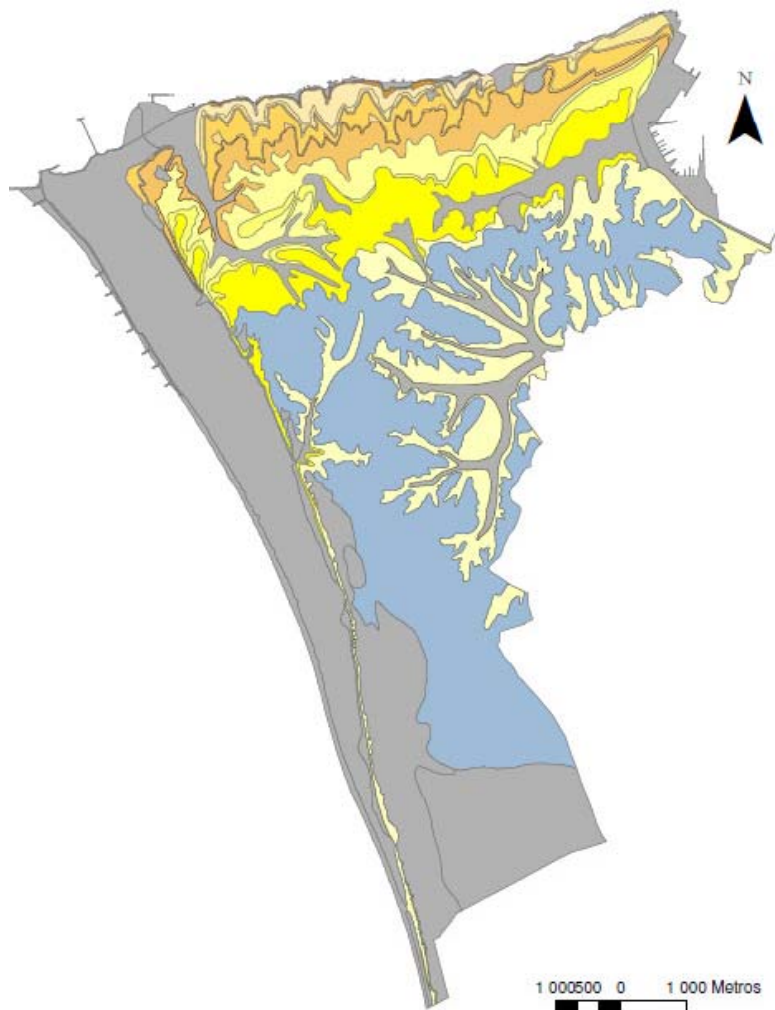
Enquadramento Geográfico



Cartograficamente, o concelho de Almada está contido na Carta Militar de Portugal à escala 1:25 000, folhas 431 (Lisboa), 441-B (Costa da Caparica), 442 (Barreiro) e 453 (Fernão Ferro (Sesimbra)).















Enquadramento da área em estudo

Enquadramento Geológico



Legenda

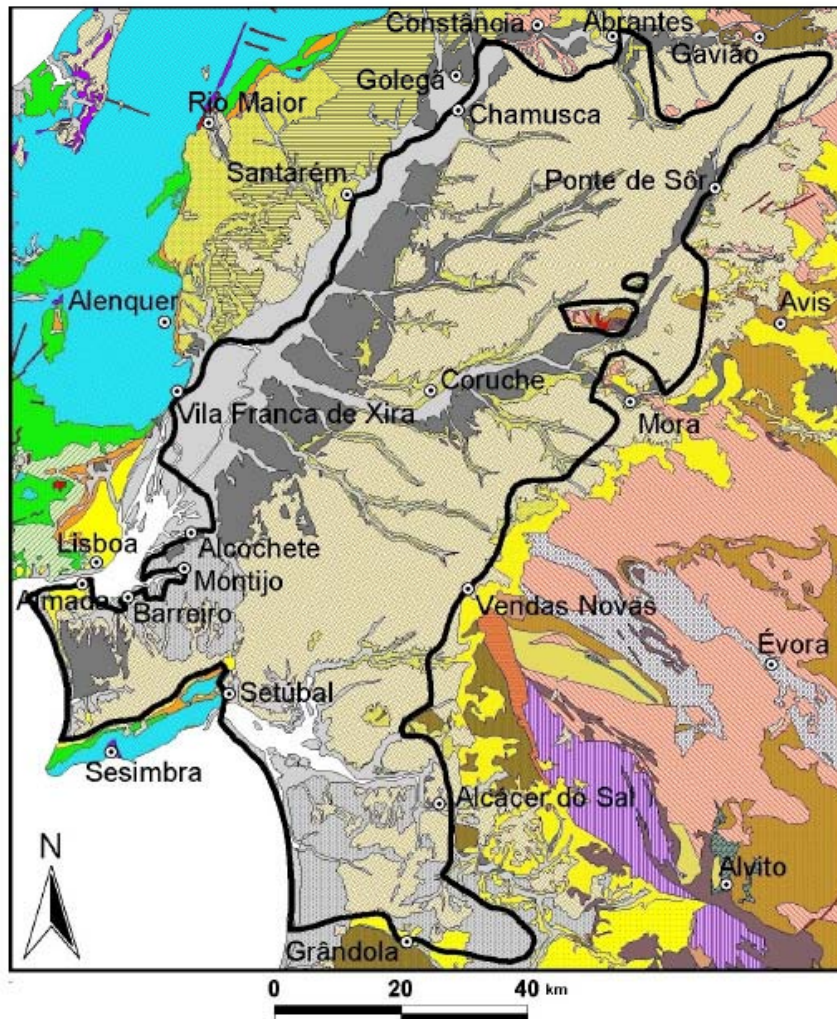
Litologia

-  Aterros, Aluviões, Areia de Praia, Areia de Duna, Depósitos de Vertente
-  Conglomerado de Belverde
-  Formação de Santa Marta
-  Areolas de Cabo Ruivo e Areolas de Braço de Prata indif.
-  Calcários de Marvila e Grés dos Grilos indiferenciados
-  Argilas de Xabregas
-  Areias de Vale de Chelas e Calcários de Quinta das Conhas indif.
-  Calcários de Musgueira
-  Areias com "Placuna miocénica"
-  Calcários de Casal Vistoso
-  Areias da Quinta do Bacalhau
-  Argilas de Forno do Tijolo
-  Calcários de Entrecampos (Banco Real)
-  Areolas de Estefânia

De acordo com informação disponibilizada pela Câmara Municipal de Almada.

Enquadramento da área em estudo

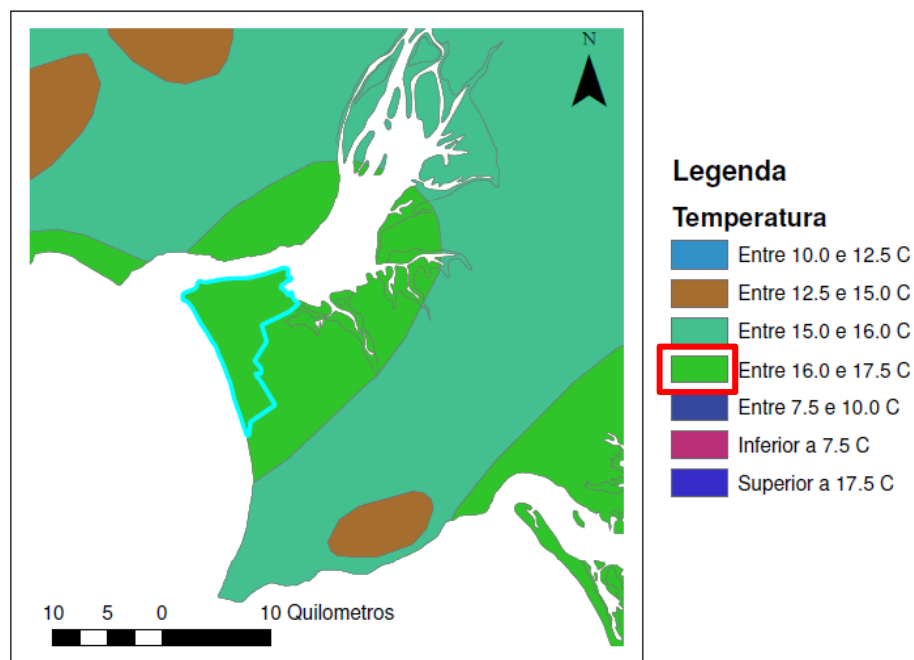
Enquadramento Hidrogeológico



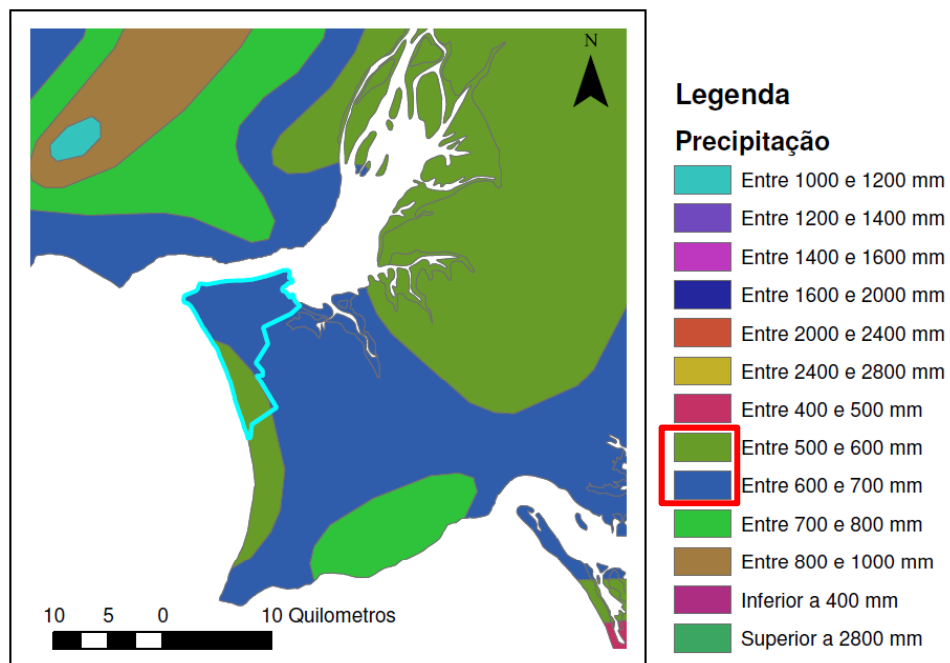
Enquadramento litostratigráfico do sistema aquífero Margem Esquerda (retirado de Almeida *et al.* (2000)).

Enquadramento da área em estudo

Enquadramento Climático



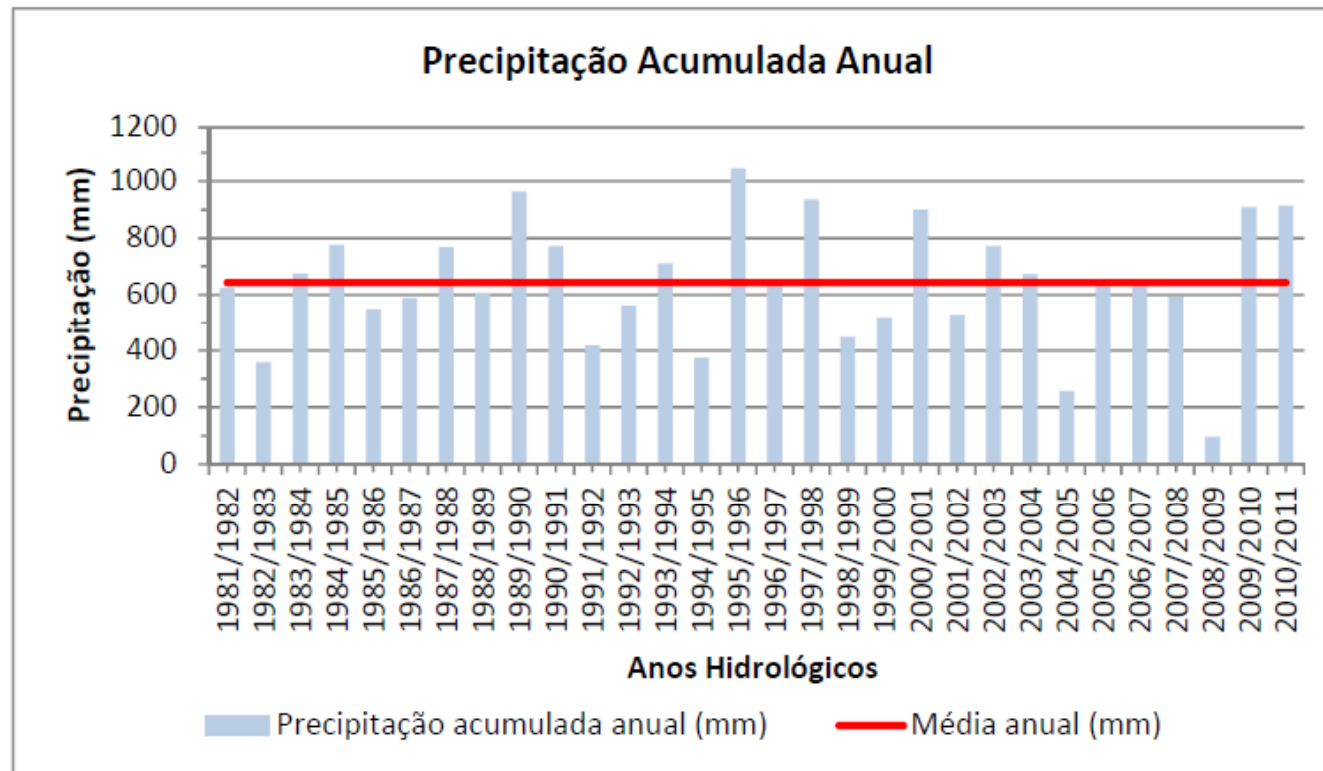
Distribuição da temperatura média anual na região envolvente do concelho de Almada, segundo o Altas do Ambiente da Agência Portuguesa do Ambiente



Distribuição da precipitação média anual na região envolvente do concelho de Almada, segundo o Altas do Ambiente da Agência Portuguesa do Ambiente.

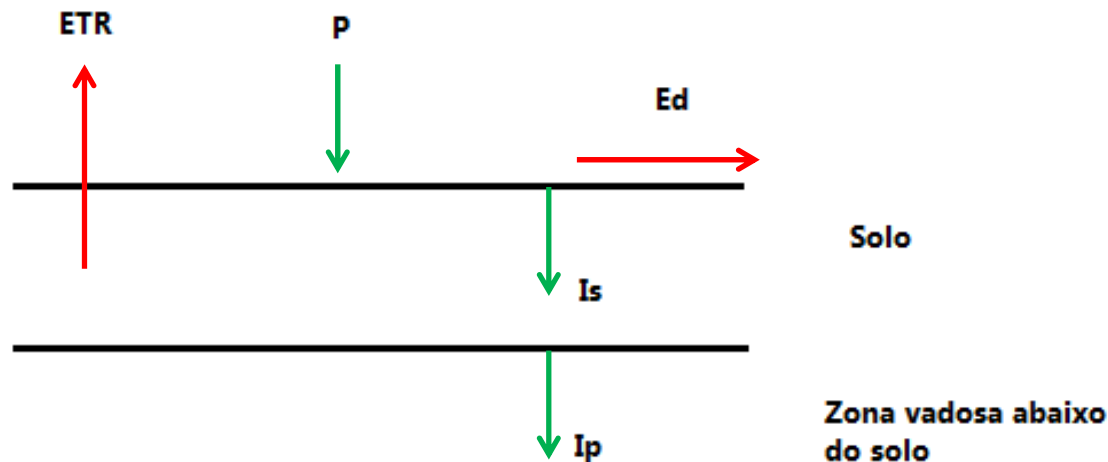
Enquadramento da área em estudo

Enquadramento Climático



Distribuição da precipitação anual acumulada (mm), numa série de 30 anos hidrológicos (de 1981 a 2011) e a sua média anual (643 mm/ano).

Variáveis do balanço hídrico



P – Precipitação;

ETR – Evapotranspiração real;

Ed – Escoamento direto;

Is – Infiltração superficial;

Ip – Infiltração profunda;

ΔA_1 – Variação do armazenamento de água no solo.

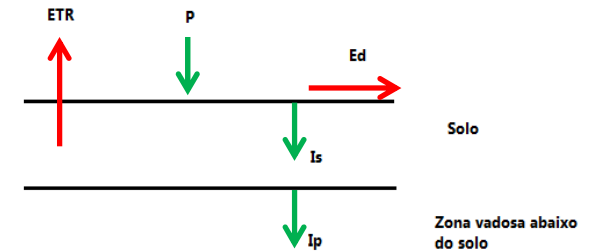
E_{ps} – Escoamento superficial de saída do volume de controlo

Cálculo realizado através do **BALSEQ_MOD**:

$$R = Ip = P - E_{ps} - ETR - \Delta A_t = Is - ETR - \Delta A_t$$

Variáveis do balanço hídrico

$$R = I_p = P - E_{ps} - ETR - \Delta A_t = I_s - ETR - \Delta A_t$$



Considerações adotadas na corrida do programa:

- 1) A única entrada de água é a água de precipitação;
- 2) Não há descarga de águas subterrâneas para o meio superficial nem há evapotranspiração a partir da zona saturada (considera-se que o nível freático está sempre abaixo do solo);
- 3) O escoamento no solo é vertical → não existe escoamento lateral de saída do solo;
- 4) Não há armazenamento de água superficial → não existe evaporação de águas superficiais nem extrações de água superficial;
- 5) Assume-se que a infiltração profunda é um indicador de recarga, ou seja, a água que se infiltra em profundidade corresponde à água de recarga.

Variáveis do balanço hídrico

Infiltração superficial

Consiste na água que entra no solo, quer seja resultante de precipitação ou de escoamento superficial.

Depende de:

- valores diários de precipitação;
- da capacidade de campo;
- do ponto de emurchecimento permanente;
- do teor de humidade inicial do solo.

Variáveis do balanço hídrico

Evapotranspiração real

Consiste no processo através do qual a água transita do estado líquido a gasoso, regressando diretamente, ou através das plantas, à atmosfera.

A sua determinação baseia-se:

na evapotranspiração de referência (informação climática);

na variação de armazenamento de água no solo (disponibilidade de água no solo);

no tipo de ocupação do solo.

Cálculo da evapotranspiração real:

$$ETR = (K_a * K_{cb} + K_e) * ETo$$

(para o coeficiente cultural dual)

K_a - Coeficiente de stress hídrico; K_e - Coeficiente de evaporação do solo; K_{cb} - Coeficiente de cultura basal

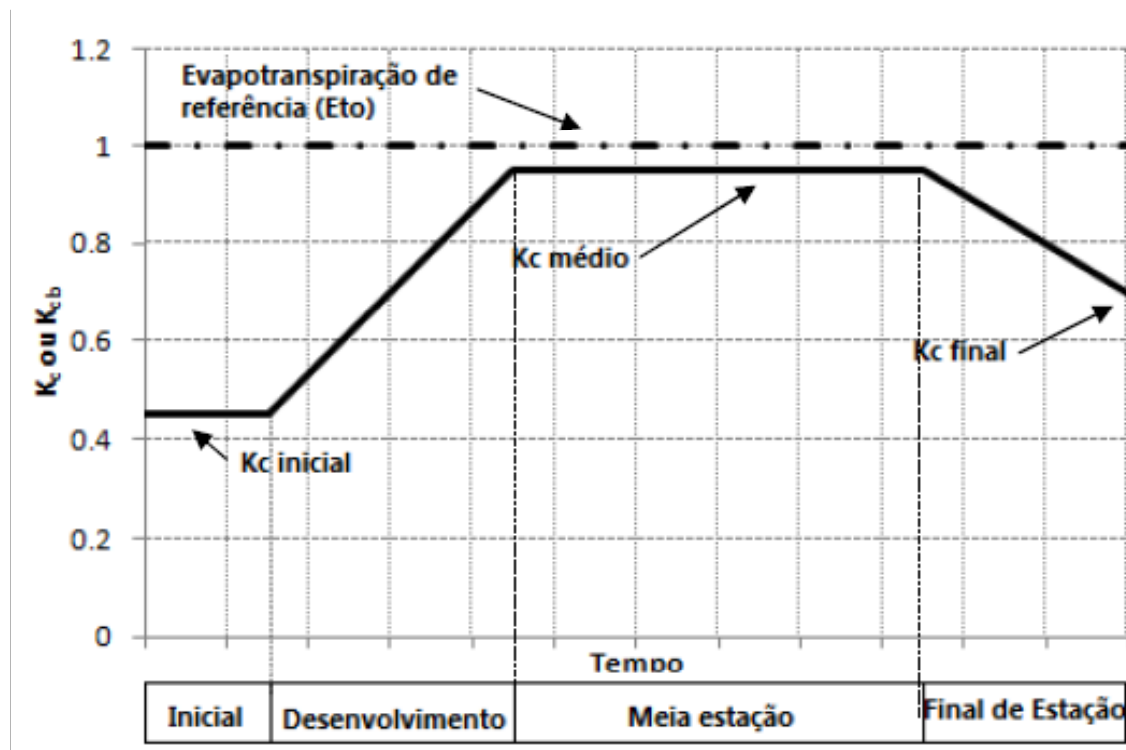
Evapotranspiração de referência (ETo) (Allen *et al.*, 1998) – evapotranspiração que ocorre numa superfície padrão, designadamente uma cultura de referência hipotética, com uma altura de 0,12 m, uma resistência superficial fixa de 70 s.m⁻¹ e um albedo de 0,23.

Variáveis do balanço hídrico

Evapotranspiração

Coeficientes culturais:

Considerados por Allen *et al.* (1998) para condições padrão de clima sub-húmido, com humidade relativa mínima (HRm(%)) durante o dia de aproximadamente 45% e velocidade do vento média durante o dia (u (m/s)) de 2 m/s.



Curva do coeficiente cultural, definida através dos valores de K_c inicial, K_c médio e K_c final, com valores referentes a macieira, cerejeira e pereira, segundo Allen *et al.* (1998) (adaptado de Oliveira, 2006).

Variáveis do balanço hídrico

Variação do armazenamento da água no solo

Consiste na diferença de água existente no solo no final e no início de um determinado período.

- Variação positiva: entrada de água (infiltração superficial, escoamento lateral de entrada ou entrada de água devido à ação humana);
- Variação negativa: saída de água (evapotranspiração, infiltração profunda, escoamento lateral de saída, extração por ação humana).

$$\Delta A_t = I_s - (I_p + ETR)$$

I_s , I_p e ETR são os processos modelado pelo `BALSEQ_MOD`.

Variáveis do balanço hídrico

Infiltração profunda

Processo pelo qual a água penetra na zona saturada, aumentando o volume acumulado anteriormente. Este processo ocorre quando é superada a capacidade de campo (cc) da zona vadosa abaixo do solo.

Depende de:

porosidade

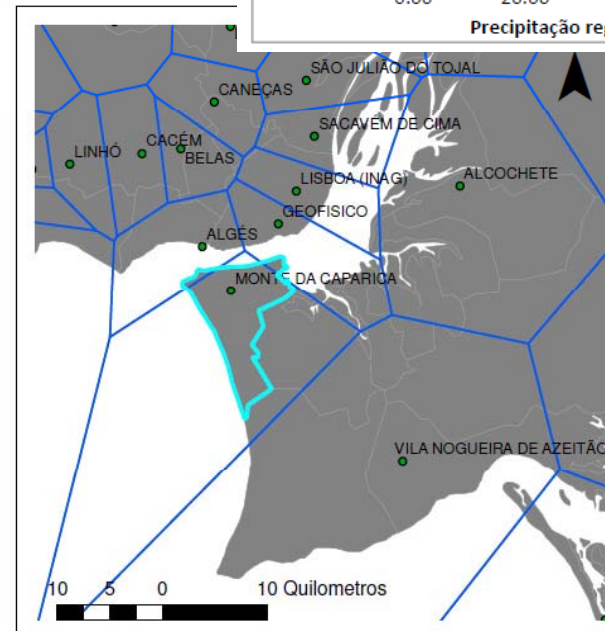
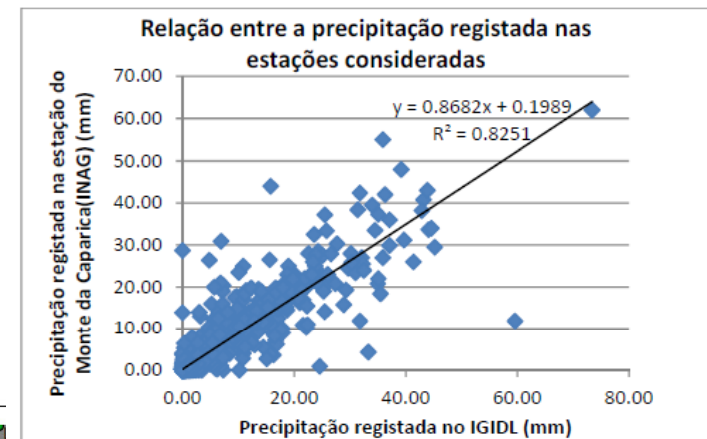
condutividade hidráulica saturada

Caraterização das variáveis do balanço hídrico

Parâmetros climáticos do balanço hídrico

Precipitação

- 1) Selecionar estação mais próxima da área em estudo e com dados representativos do local (Monte da Caparica, INAG)
- 2) Criar série de precipitação diária com o mínimo de 30 anos consecutivos;
- 3) Identificação de lacunas no registo dos dados;
- 4) Criação de polígonos de Thiessen para determinar as estações mais próximas com dados passíveis de serem utilizados no preenchimento das lacunas (Instituto Geofísico Infante D. Luiz (IGIDL));
- 5) Colmatação das lacunas através de equação de regressão linear;
- 6) Obtenção de série de precipitação constituída por dados de um período de 30, compreendidos ente 1981-10-01 e 2011-09-30.



Legenda

- Estações meteorológicas

Caraterização das variáveis do balanço hídrico

Parâmetros climáticos do balanço hídrico

Evapotranspiração de referência

$$ET_o = \frac{0.408(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 \times (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$

Equação de Penman-Monteith da FAO

ET_o a evapotranspiração de referência (mm/d);

R_n a radiação útil na superfície do coberto vegetal (MJ/m²/d);

G a densidade do fluxo de calor do solo (MJ/m²/d);

T a temperatura diária média a 2 m de altitude (°C);

u_2 é a velocidade do vento a 2 m de altitude (m/s);

e_s é a pressão do vapor de saturação (kPa);

e_a é a pressão de vapor (kPa);

$e_s - e_a$ é o défice da pressão do vapor de saturação (KPa);

Δ é a tangente da curva de pressão de vapor (kPa/°C);

γ é a constante psicométrica (kPa/°C).

Caraterização das variáveis do balanço hídrico

Parâmetros associados a cartografia de base

- **Carta de Ocupação do Solo [COS'90]** da autoria do Centro Nacional de Informação Geográfica (CNIG), à escala 1:25000 para Portugal Continental, para o período de referência de Agosto de 1990.

- **Carta de Solos de Portugal**, do Instituto de Hidráulica, Engenharia Rural e Ambiente (IHERA), à escala 1:25000 em formato digital.

Parâmetros associados a cartografia de base

Infiltração superficial – Carta de Solos

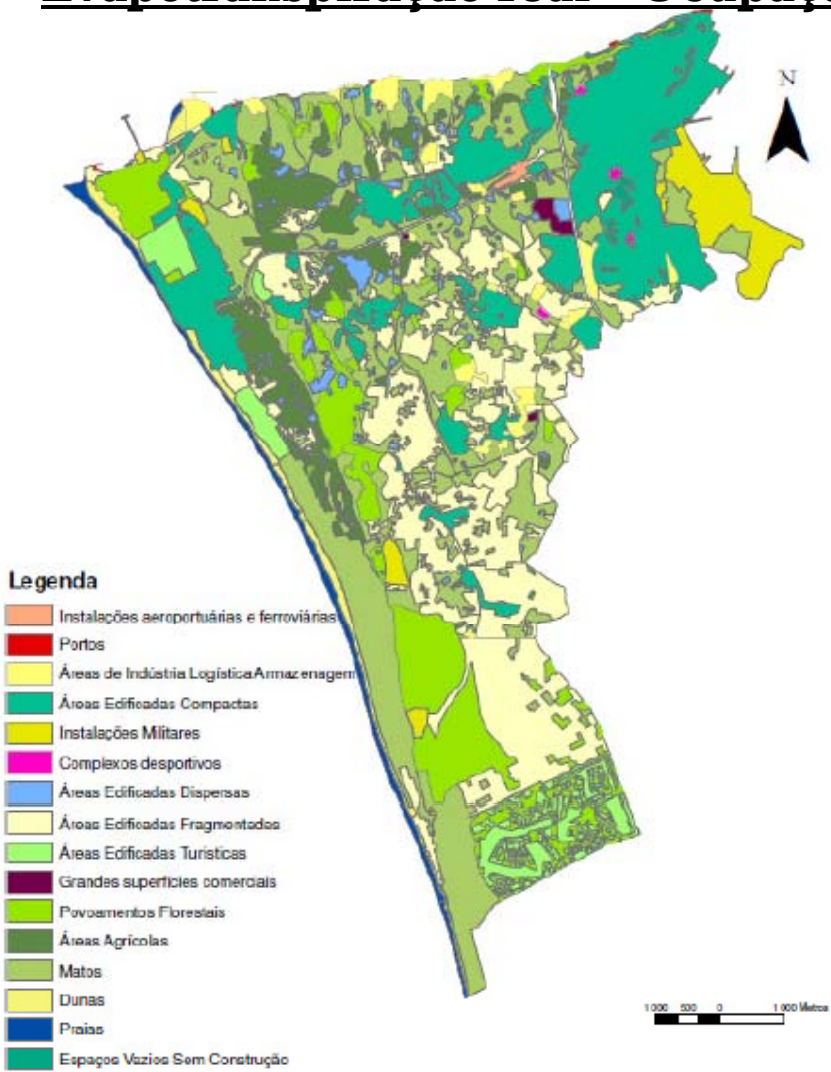
- Assume-se que o horizonte do solo que condiciona a infiltração superficial é o horizonte mais próximo da superfície.
- Classificação do solo segundo as percentagens de areia, silte (ou limo) e argila → Caracterização TEXTURAL

Solo	Textura	Código de textura
Aac	Franco argilo-limoso	9
Ac	Franco argiloso	10
Al	Arenoso franco	2
Alc	Franco	6
Ap	Arenoso franco	2
Aph	Arenoso	1
Apr	--	2
Arb	Argiloso	5
Arc	Argiloso	5
Arct	Argiloso	5
Arcx	Argiloso	5
Ard	Argiloso	5

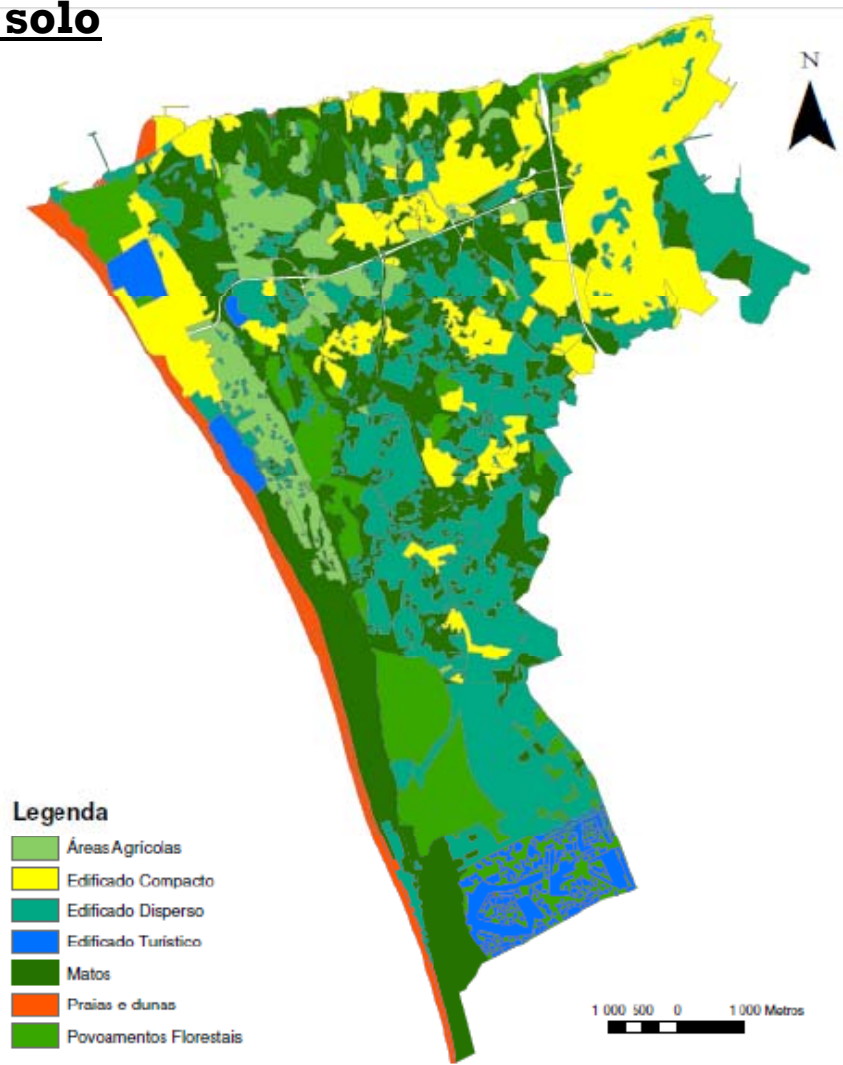
Extrato da tabela que relaciona a classe textural com o horizonte do solo considerado, de acordo com a Carta de Solos (1:25000).

Parâmetros associados a cartografia de base

Evapotranspiração real – Ocupação do solo



Ocupação do solo do concelho de Almada, de acordo com a nomenclatura da Carta de Ocupação do Solo [COS'90].



Ocupação do solo simplificada do concelho de Almada, de acordo com a nomenclatura da Carta de Ocupação do Solo [COS'90].

Parâmetros associados a cartografia de base

Evapotranspiração real – Carta de Solos

→ Caracterização do tipo de solo, em função da capacidade de campo e ponto de emurchecimento.

Solo	cc	wp
A	0,27	0,12
Aa	0,36	0,24
Aac	0,26	0,14
Ac	0,31	0,18
Al	0,14	0,06
Alc	0,25	0,13
Ap	0,02	0,01
Aph	0,09	0,03
Apr	0,11	0,05
Arb	0.0100	0.0050
Arc	0.0250	0.0050
Arct	0.0500	0.0200
Arcx	0.0030	0.0015
Ard	0.0015	0.0007
Arg	0.0015	0.0007

Extrato da tabela que apresenta a capacidade de campo (cc) e o ponto de emurchecimento (wp) em função da Carta de Solos (1:25000).

Parâmetros associados a cartografia de base

Infiltração profunda – Carta de Solos

→ Determinação dos valores de porosidade (n (L^3/L^3))

Solo	n	Solo	n	Solo	n	Solo	n	Solo	n
A	0,44	Atc	0,43	Pac	0,44	Ppx	0,45	Srt	0,44
Aa	0,47	Atl	0,37	Pag	0,42	Pqx	0,49	Srth	0,42
Aac	0,42	Atlc	0,44	Pagn	0,44	Ps	0,43	Ss	-9
Ac	0,44	Bp	0,48	Pagp	0,47	Psn	0,50	Svc'	0,46
Al	0,44	Bpc	0,52	Pagx	0,46	Pt	0,45	Svqx	0,46
Alc	0,42	Bva	0,50	Par	0,32	Ptc	0,47	Va	0,47
Ap	0,32	Bvc	0,48	Par*	0,32	Pv	0,42	Vac	0,44
Aph	0,35	Ca	0,44	Pat	0,44	Pvc	0,42	Vag	0,48
Apr	0,44	Caa	0,44	Pb	0,46	Pvl	0,44	Val	0,43
Arb	0,02	Caac	0,57	Pbc	0,48	Pvx	0,44	Vc	0,44
Arc	0,05	Cac	0,50	Pc	0,46	Px	0,45	Vc'	0,46
Arct	0,15	Cal	0,45	Pc'	0,55	Pxr	0,47	Vcc	0,49
Arcx	0,01	Calc	0,45	Pca	0,46	Pz	0,26	Vcd	0,47
Ard	0,00	Cb	0,44	Pcd	0,51	Pzh	0,24	Vcm	0,45

Extrato da tabela que apresenta valores de porosidade (n) em função da Carta de Solos à escala 1:25000 (IHERA).

Parâmetros associados a cartografia de base

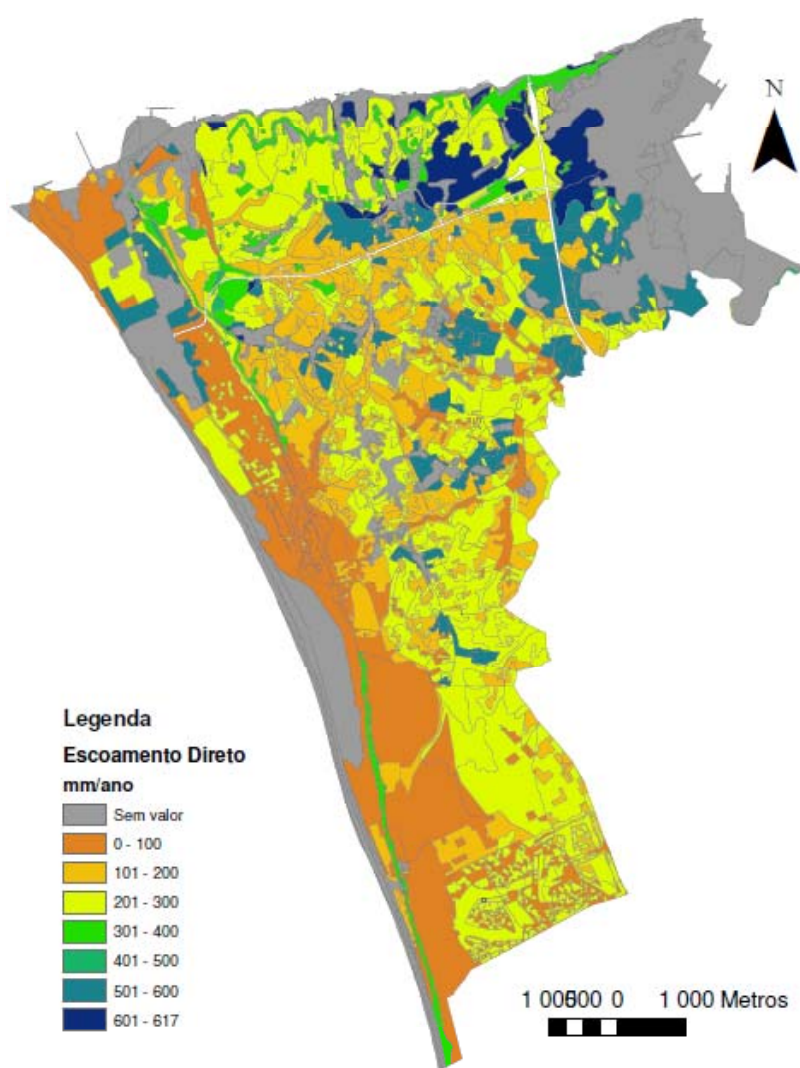
Infiltração profunda – Carta de Solos

→ Determinação dos valores de condutividade hidráulica saturada (K_s (mm/d))

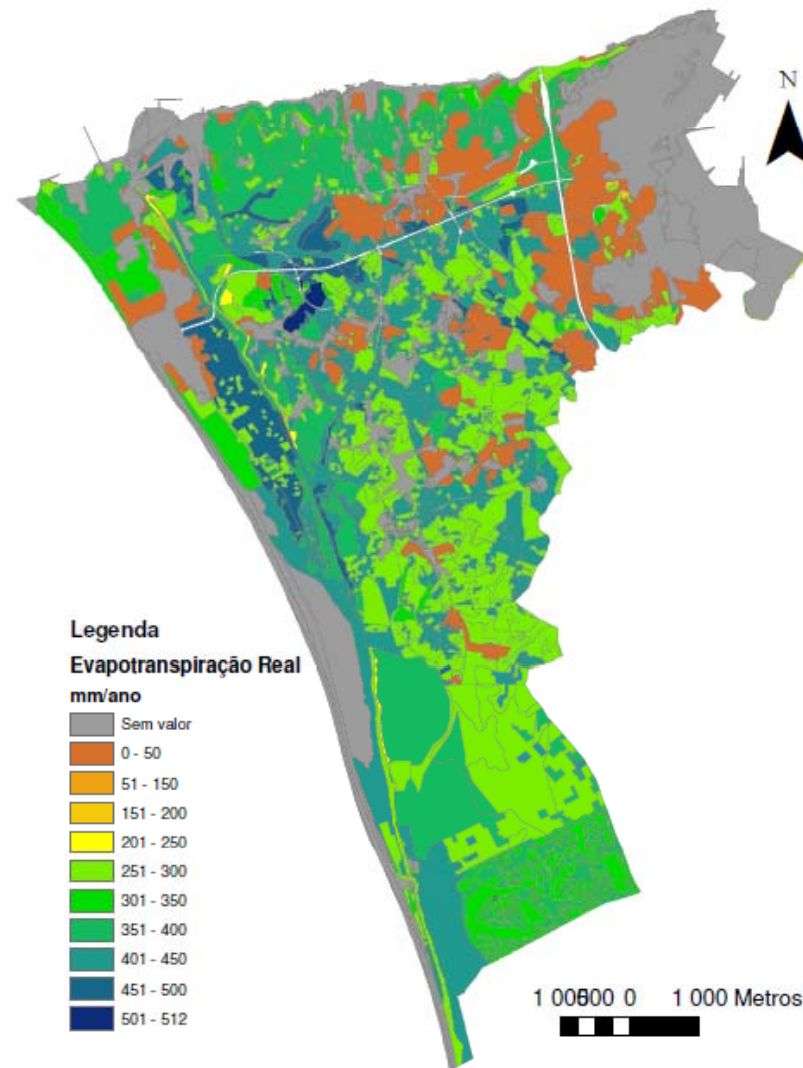
Solo	K_s	Solo	K_s	Solo	K_s	Solo	K_s	Solo	K_s
(Agua)	-9	At	102.3	Mnt	186.3	Ppq	217.0	Sq	233.1
(Albuf)	-9	Ata	74.89	Mnx	156.4	Ppr	1162	Sr	82.6
(ArPr)	5040	Atac	21.60	Pa	209.7	Ppt	639.5	Sr*	104.8
A	91.32	Atc	23.02	Pac	537.1	Ppx	21.9	Srt	190.9
Aa	19.52	Atl	356.1	Pag	118.5	Pqx	320.3	Srth	11.0
Aac	34.20	Atlc	1466	Pagn	87.4	Ps	940.7	Ss	-9
Ac	17.11	Bp	279.6	Pagp	25.6	Psn	879.1	Svc'	8.72
Al	1466	Bpc	276.5	Pagx	8.3	Pt	3570	Svqx	148.1
Alc	100.8	Bva	5.08	Par	332.8	Ptc	314.8	Va	432.9
Ap	5840	Bvc	95.4	Par*	332.8	Pv	930.7	Vac	354.2
Aph	3930	Ca	26.02	Pat	33.6	Pvc	128.4	Vag	28.0
Apr	1834	Caa	8.21	Pb	467.9	Pvl	68.13	Val	262.6
Arb	0.001	Caac	5.44	Pbc	14.4	Pvx	123.1	Vc	547.2
Arc	10.0	Cac	316.8	Pc	378.1	Px	212.7	Vc'	55.2

Extrato da tabela que apresenta valores de condutividade hidráulica saturada em função da Carta de Solos à escala 1:25000 (IHERA).

Resultados e conclusões

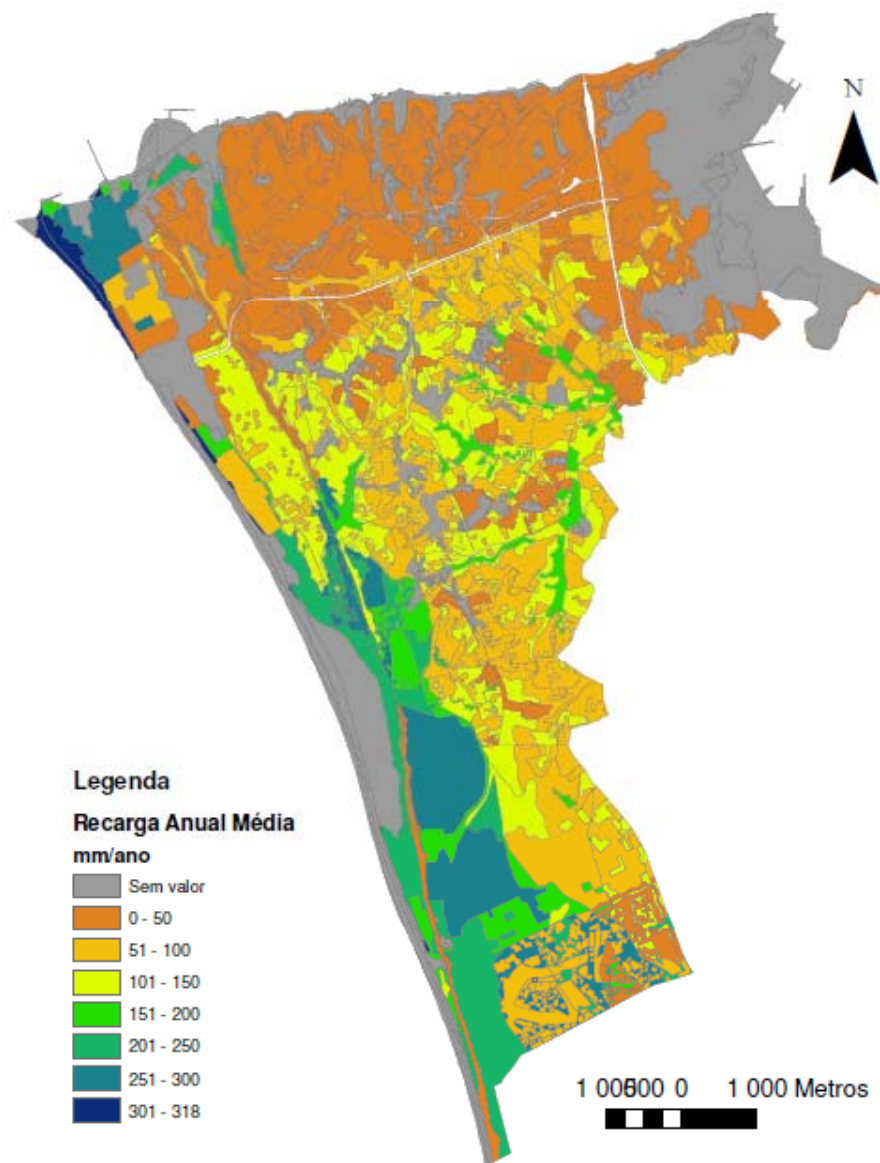


Escoamento direto anual médio
estimado no concelho de Almada.



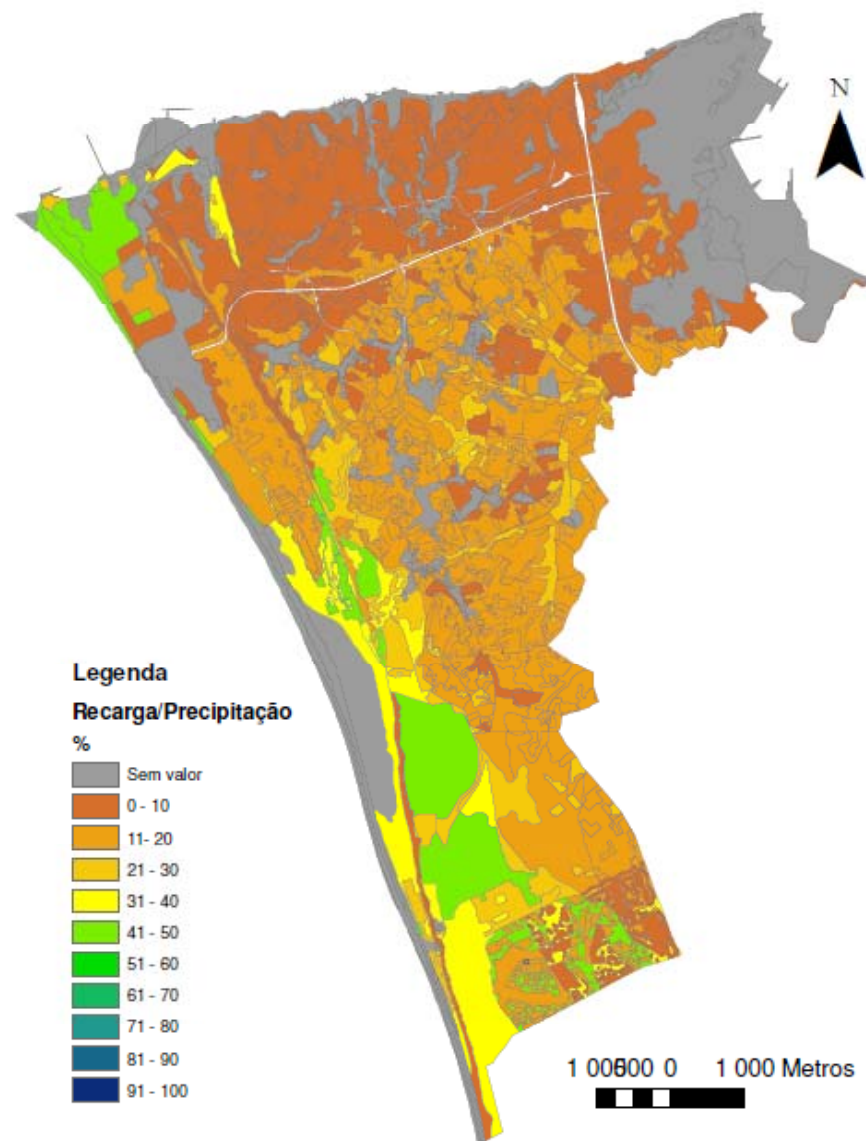
Evapotranspiração real anual média
estimada no concelho de Almada.

Resultados e conclusões



**Recarga anual média
estimada no concelho de
Almada, considerando o
intervalo temporal entre 1981-
10-01 e 2011-09-30.**

Resultados e conclusões



A recarga média anual ocorrida no concelho representa em média 11% da precipitação média anual e no máximo 50%.

Relação entre a recarga anual média estimada no concelho de Almada e a precipitação anual média entre 1981-10-01 e 2011-09-30.

Resultados e conclusões

Recarga média anual:

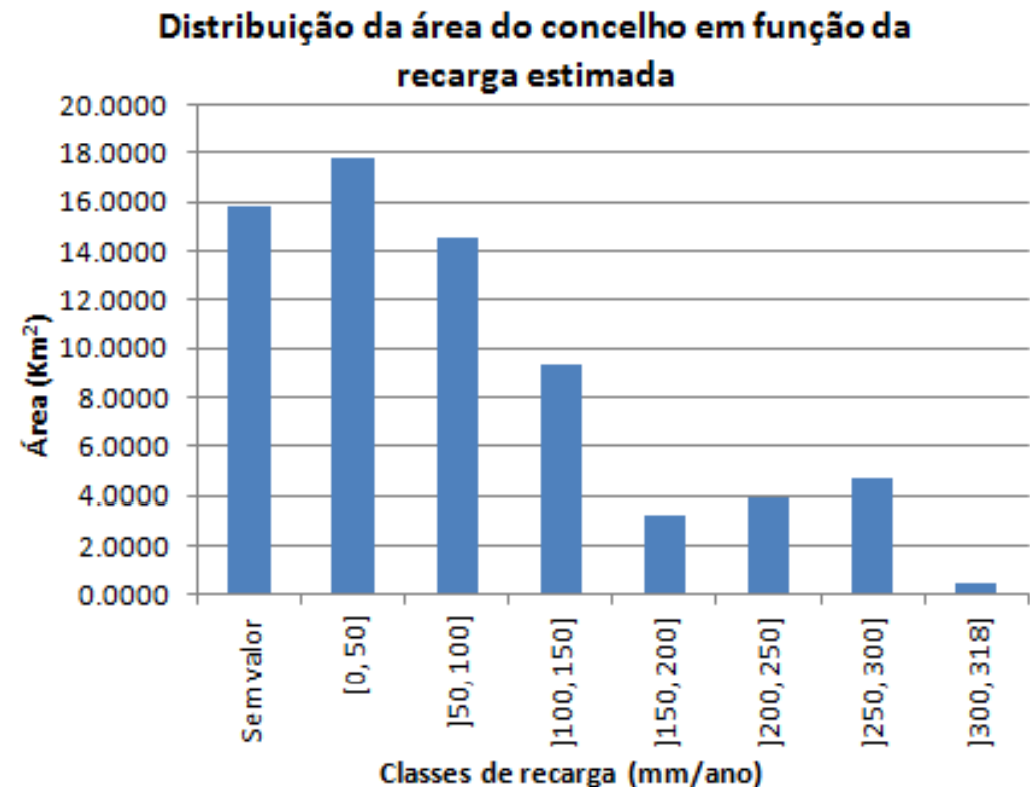
Em 23% da área do concelho (16 Km² de 69,7 Km²) não foi possível determinar o valor de recarga por não se conhecer os solos aí existentes;

Na restante área (54 Km²), a recarga média ocorrida é de 99 mm/ano (representa a recarga distribuída por 77% da área do concelho e não o valor médio para todo o concelho).

Totalidade da área do concelho

↓
Recarga média anual

↓
77 mm/ano
5 hm³/ano



Distribuição da área do concelho em função da recarga estimada.

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.; Gomes, A.J. (2000) – “Sistemas Aquíferos de Portugal Continental”, Centro de Geologia e Instituto da Água.
- Custodio, E.; Llamas, M.R., (1983) – “ Hidrologia Subterrânea”. Barcelona, Ediciones Omega, S.A. 2241 pp.
- IPCC (2008) – “Climate Change and Water”. IPCC Technical Paper VI, June 2008. Bates, B.C.; Z.W. Kundzewicz, S. Wu; J.P. Palutikof, Eds. IPCC Secretariat, Geneva, 210 pp.
- Miranda, P.M.; Valente, M.A.; Tomé, A.R.; Trigo, R.; Coelho, M.F.; Aguiar, A.; Azevedo, E. (2006) – “O Clima de Portugal nos Séculos XX e XXI” in Santos, F.D. *et al.* (editores) (2006) – “Alterações Climáticas em Portugal, Cenários, Impactos e Medidas de Adaptação” – Projecto SIAM II, Gradavia, Lisboa.
- Oliveira, M.M (2003) – Cálculo da recarga dos sistemas aquíferos de Quarteira e de Albufeira-ribeira de Quarteira recorrendo a uma actualização (do modelo de balanço hídrico sequencial diário) que utiliza o coeficiente cultural dual na estimativa da evapotranspiração real”. Jornadas Luso-Espanholas “As Águas Subterrâneas no Sul da Península Ibérica”, Faro, Universidade do Algarve.
- Oliveira, M.M (2006) – “Recarga de Águas Subterrâneas: Métodos de Avaliação”. Teses e Programas de Investigação, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa. 440 pp.
- Sandstrom (1995) – “Modelling the effects of rainfall variability on groundwater recharge in semi-arid - Tanzania”. *Nordic hidrology*, 26(4-5): 313-330.
- Simões, M.M. (1998) – “Contribuição para o conhecimento hidrogeológico do Cenozóico na Bacia do Baixo Tejo”. Dissertação apresentada à Universidade Nova de Lisboa para obtenção do grau de Doutor em Geologia, na especialidade de Hidrogeologia, Vol. I, 270 pp.
- Silva, M.O. (2010) – “As Águas subterrâneas nas bacias hidrográficas do Tejo e das Ribeiras do Oeste”. Coleção Tágides, N° 7 “Os Aquíferos das Bacias Hidrográficas do Rio Tejo e das Ribeiras do Oeste – Saberes e Reflexões”. ARH do Tejo, I.P..
- S.R.O.A. (1970) – “Carta dos Solos de Portugal. I Volume: Classificação e Caracterização Morfológica dos Solos”. Ministério da Economia, Secretaria de Estado da Agricultura, Serviço de Reconhecimento e Ordenamento Agrário, Volume I, 6ª Ed.
- S.R.O.A. (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.

Obrigada pela atenção.