MODELAÇÃO DA RECARGA DO AQUÍFERO LIVRE MIOCÉNICO DA BACIA DE ALVALADE E DO SISTEMA AQUÍFERO DOS GABROS DE BEJA

Eduardo A. PARALTA *
Alain P. FRANCÉS *
Luís F. RIBEIRO **

*** Departamento de Hidrogeologia do INETInovação. Email: eduardo.paralta@ineti.pt**
*** Departamento de Hidrogeologia do INETInovação Email: frances.alain@ineti.pt**

**** Engenheiro de Minas. Professor Auxiliar, CVRM-Centro de Geo-sistemas do IST**
Email: nlrib@alfa.ist.utl.pt.

Objectivos

Q U A N T I F I C A R A R E C A R G A N A T U R A L

(MODELO DE BALANÇO HÍDRICO DIÁRIO EARTH)

↓

Gestão dos recursos disponíveis para abastecimento público e agricultura

↓

Perspectiva agro-ambiental
(definir eventos de precipitação com elevado potencial de lixiviação de agroquímicos e pesticidas)

↓

Cumprimento da legislação sobre qualidade da água subterrânea

Casos de estudo

- Caso de estudo 1 – Sistema Aquífero da Bacia de Alvalade (Perímetro de Rega da Infra-estrutura 12 em Canhestros, Ferreira do Alentejo)

- Caso de estudo 2 – Sistema Aquífero dos Gabros de Beja (piezómetros em Beja e Serpa)

Estado da Arte / Recarga

•PARALTA, E. (2001) – ***Hidrogeologia e modelação estocástica da contaminação por nitratos do aquífero gabro-dioritico da região de Beja. Tese de Mestrado***. IST, Lisboa.

•PARALTA, E., FRANCÉS, A. & SARMENTO P. (2002) - ***Caracterização Hidrogeológica e Avaliação da Vulnerabilidade à Poluição Agrícola do Aquífero Mio-Pliocénico da Região de Canhestros*** *(Alentejo)*. 6º Congresso da Água, Porto.

•PARALTA, E.; FRANCÉS, A.; MARQUES da COSTA; SARMENTO P. & RIBEIRO, L. (2002) – ***Estudos Hidrogeológicos e Redes de Monitorização do Bloco de Rega de Canhestros (Alentejo) no Contexto das Preocupações Agroambientais e da Directiva Quadro da Água***. III Congresso Ibérico sobre Gestión y Planificación del Agua, Sevilha.

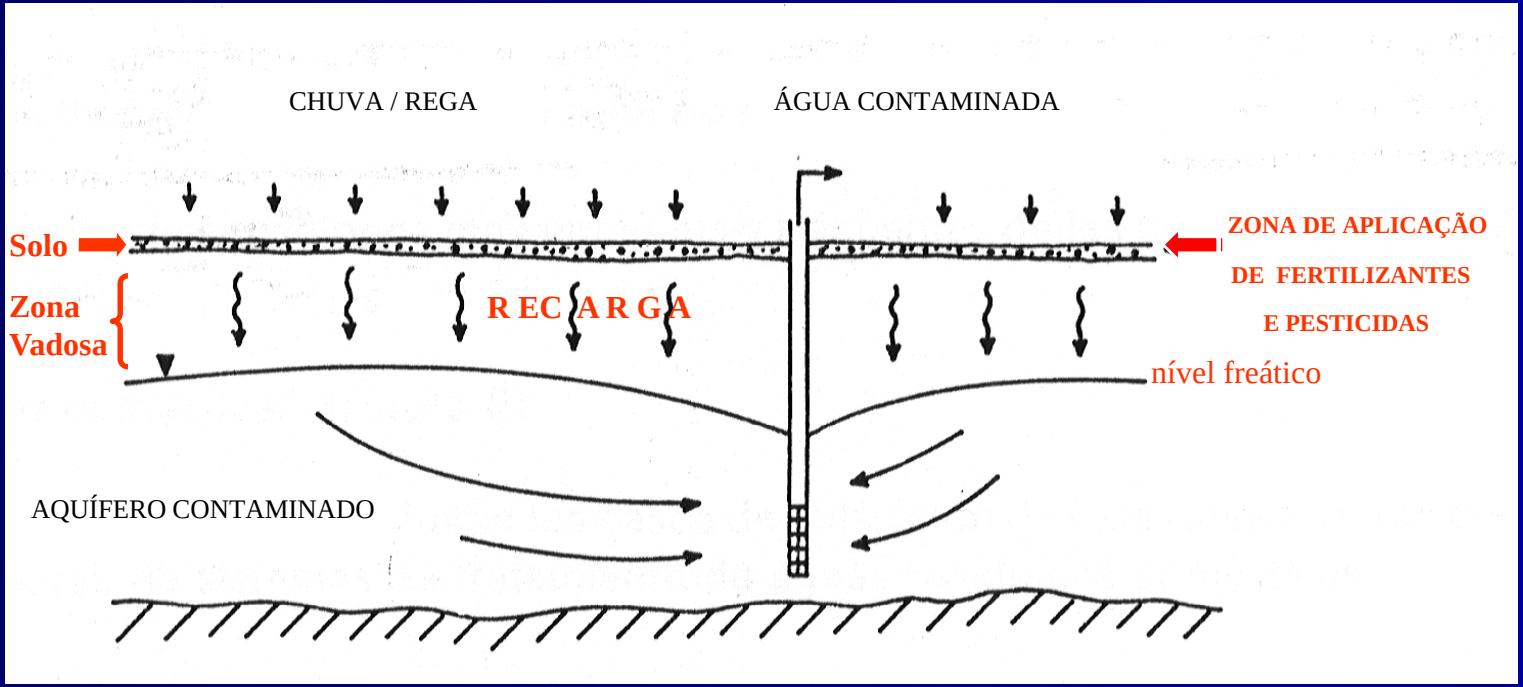
•PARALTA, E.; OLIVEIRA, M.; LUBCZYNSKI, M. & RIBEIRO, L. (2003) ***– Avaliação da recarga do Sistema Aquífero dos Gabros de Beja segundo critérios múltiplos – disponibilidades hídricas e implicações agro-ambientais.*** VI SILUSBA. Cabo-Verde.

•PARALTA, E.; FRANCÉS, A.; NUNES, L & RIBEIRO, L. (2004) - ***Optimização de Redes de Monitorização de Águas Subterrâneas em Áreas Agrícolas***. 7º Congresso da Água, Lisboa.

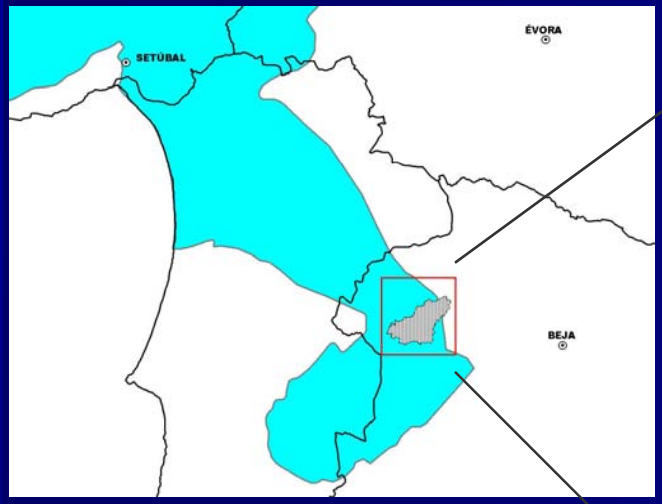
•PARALTA, E. & OLIVEIRA, M. (2005) – ***Assessing and modelling hard rock aquifer recharge . Case study in the "Gabbros of Beja" Aquifer System***. 2 nd Workshop of the Iberian Regional Working Group on Hardrock Hydrogeology. Évora.

•PARALTA, E.; FRANCÉS, A. & RIBEIRO, L. (2006) – ***Modelação da recarga do aquífero livre miocénico da Bacia de Alvalade e implicações ao nível da contaminação agrícola (caso de estudo na Infrea-estrutura 12)***. 5º Congresso Ibérico, Faro.

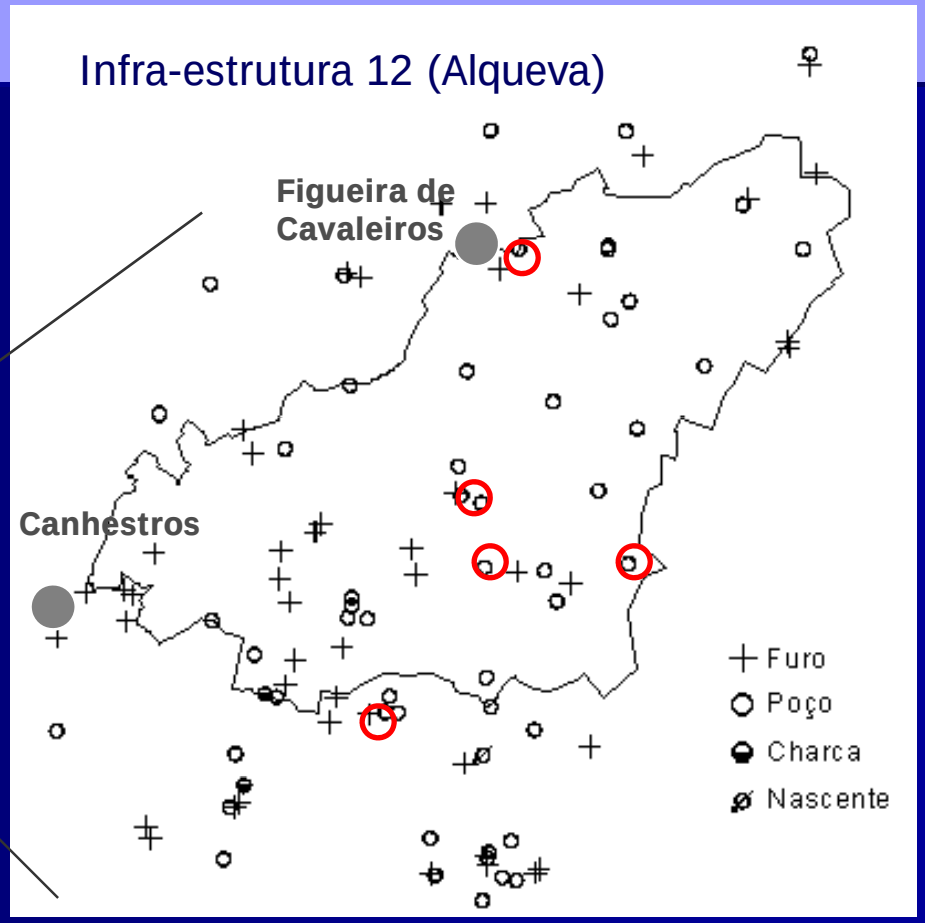
Recarga vs Poluição Difusa



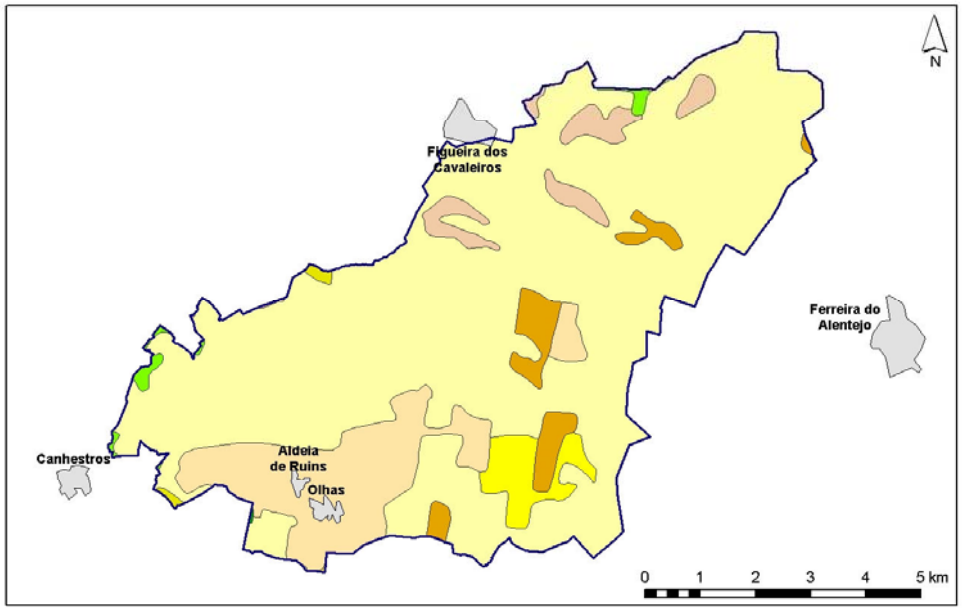
Caso de estudo IF 12



Estão identificadas na área mais de 100 origens de água subterrânea



Ocupação Agrícola IF 12 (Corine 1990)



CORINE (1990)

Zonas com dominância de habitação
- Tecido urbano contínuo

Áreas agrícolas com culturas anuais
- Zonas de utilização agrícola fora dos perímetros florestais
- Perímetros regados
- Arrozais

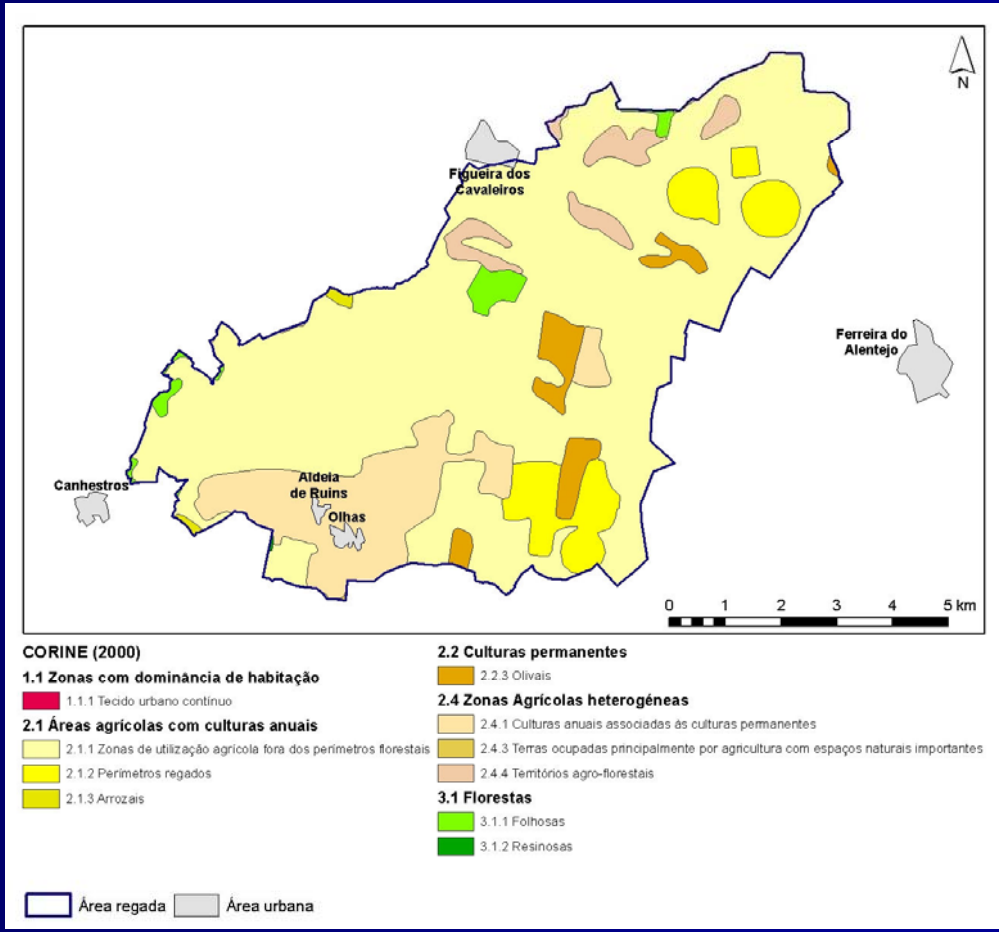
Culturas permanentes
- Olivais

Zonas Agrícolas heterogéneas
- Culturas anuais associadas às culturas permanentes
- Terras ocupadas principalmente por agricultura com espaços naturais importantes
- Territórios agro-florestais

Florestas
- Folhosas
- Resinosas

Área regada Área urbana

Ocupação Agrícola IF 12 (Corine 2000)

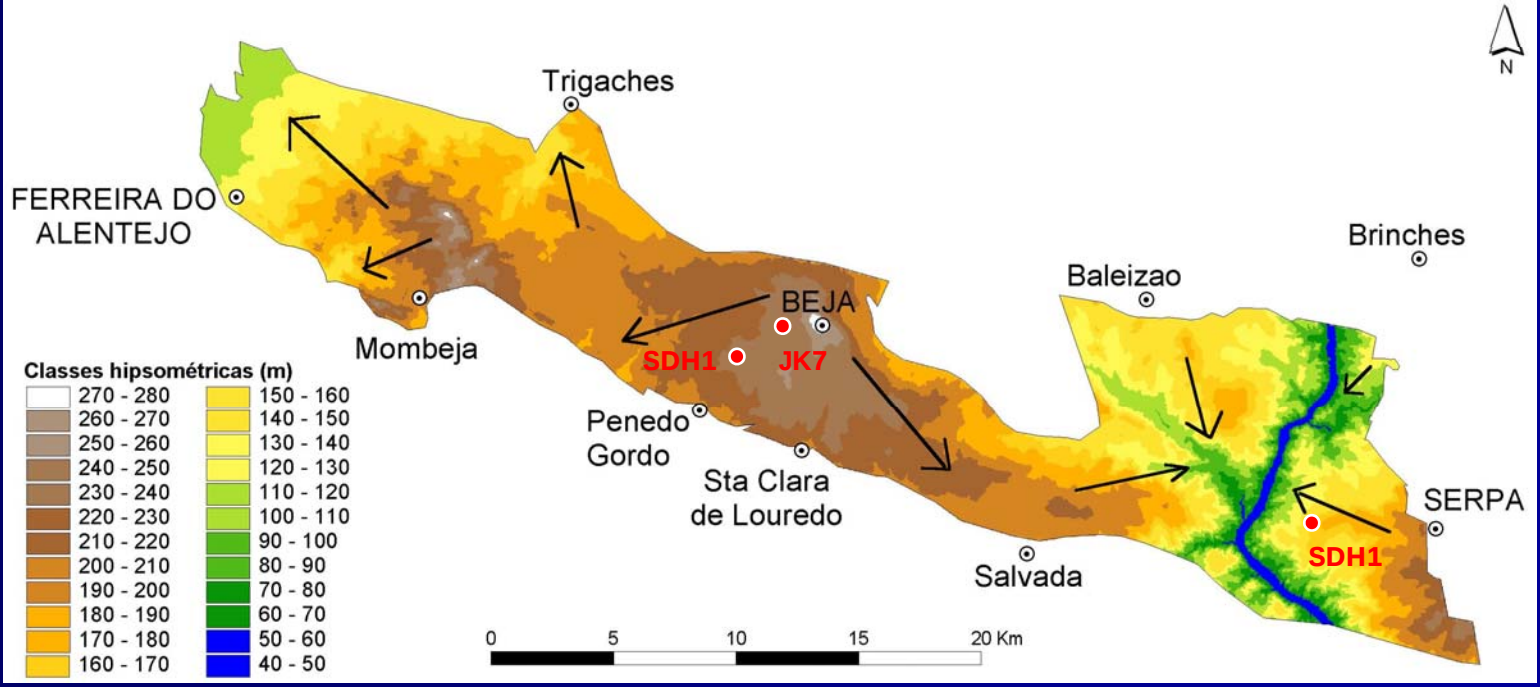


Ocupação Agrícola IF 12 (Landsat 2002)

Abril 2002

Junho 2002

Piezómetros Gabros de Beja



Aquisição de Dados

Recarga (directa)

Volume de água infiltrada que excede a capacidade e retenção do solo e as perdas por evapotranspiração atingindo a zona saturada através de percolação vertical pela zona vadosa.

A recarga aquífera pode ser abordada sob várias metodologias:

Métodos Directos

- Balanço hídrico (formulação empírica);
- Modelos Físicos (balanço entre águas subterrâneas e superficiais);
- Modelos de circulação da zona vadosa (modelos determinísticos);
- Traçadores (químicos, bacteriológicos, orgânicos e isotópicos).

Métodos Indirectos (zona saturada)

- Oscilação Piezométrica;
- Lei Darcy.

Avaliação da Recarga

Modelo EARTH

Van der Lee, J. C. Gehrels & A. Gieske (1989)

- O modelo EARTH é um modelo unidimensional de avaliação da recarga aquífera e transporte de humidade no solo e zona vadosa.

- Está vocacionado para climas secos com precipitações concentradas em determinadas períodos e para aquíferos freáticos ou não confinados, com respostas rápidas aos episódios de recarga.

- Modelação de um vasto conjunto de variáveis agro-hidro-meteorológicas e hidrogeológicas

- Superhávit hídrico;
- Escoamento superficial;
- Teor de humidade do solo e transporte na zona vadosa;
- Evapotranspiração real;
- Recarga de aquíferos;
- Evolução piezométrica.

- Ambiente DOS e utiliza ficheiros de *input* e *output* ASCII.

Avaliação da Recarga

Modelo EARTH

```
                    EARTH
        --- Calculation Program Version 1.2 ---


                 EARTH -1.2-
        Extended model for Aquifer Recharge
and water Transport through the unsaturated Hardrock


                 Developed by:
               J. van der Lee
            A. Gieske, J.C. Gehrels
         Department of Earth Sciences
         Free University of Amsterdam
               The Netherlands
                 (C) 1990


        strike any key to start . . .
```

Avaliação da Recarga

Modelo EARTH

É composto por 4 módulos principais e 1 módulo relativo ao escoamento superficial:

- MAXIL (MAXimum Interception Loss) - Estima o superhavit hídrico;

- SOMOS (SOil MOisture Storage) - Calcula o balanço de massa na zona vadosa e determina o fluxo de percolação profunda;

- SUST (SUrface STorage) - Calcula as perdas por escoamento superficial;

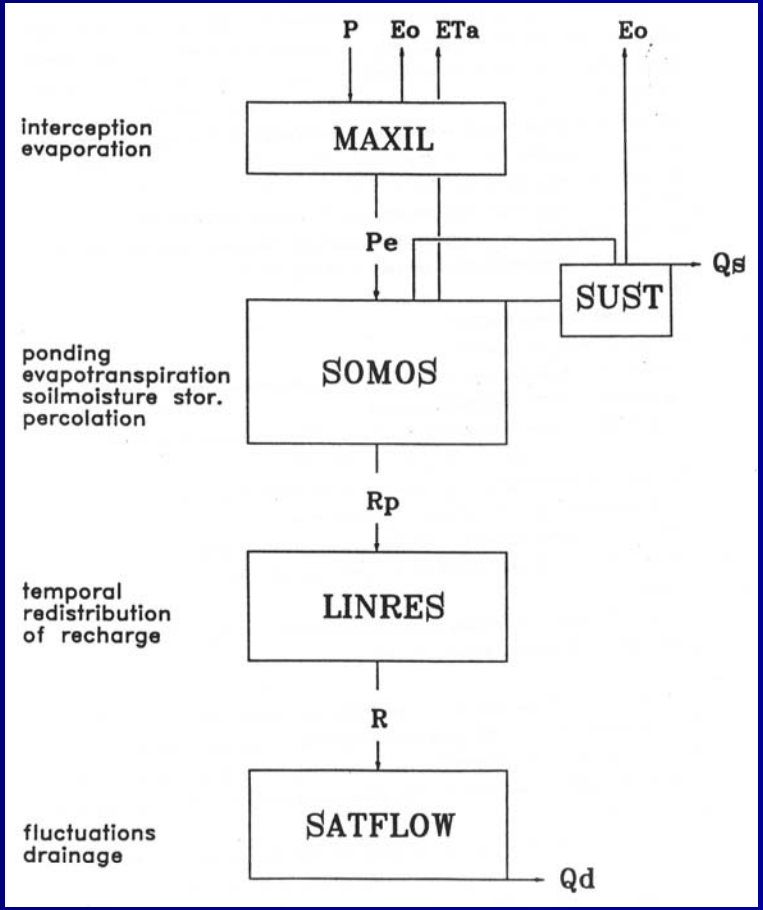
- LINRES (LInear REServoir routing) - Distribui a percolação calculada no módulo SOMOS em função do tempo para a zona não saturada, entre as raízes das plantas e o nível freático;

- SATFLOW (SATurated FLOW model) – modelo unidimensional para o meio saturado que converte a recarga proveniente do modulo LINRES em oscilação piezométrica, conhecido o Coeficiente de armazenamento e o Coeficiente de recessão.

Avaliação da Recarga

Modelo EARTH

Fluxograma do modelo EARTH

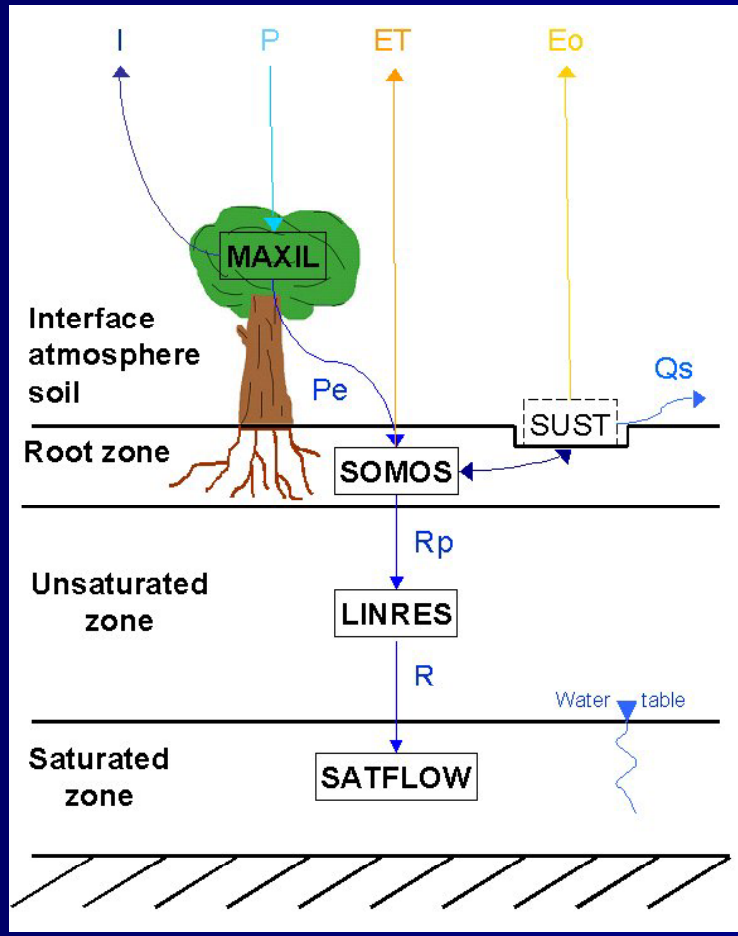


Parâmetros de entrada:

- Max soil moisture content
- Residual soil moisture content
- Field capacity
- Max Surface storage
- Max interception loss
- Sat conductivity
- Unsat. Recession constant
- Number of reservoirs
- Sat recession constant
- Storage coefficient
- Initial GW level
- Local base level

Avaliação da Recarga

Modelo EARTH



FLUXES

P: precipitation
I: interception
Pe: precipitation excess
Eo: surface evaporation
ET: evapotranspiration
Qs: surface runoff
Rp: percolation
R: recharge

RESERVOIRS PARAMETERS

MAXIL (Interception)
maximum interception loss

SOMOS (Soil moisture storage)
max. soil moisture content
residual soil moisture content
initial soil moisture content
soil moisture at field capacity
saturated conductivity
SUST (Surface storage)
maximum surface storage

LINRES (Linear reservoir routing)
unsaturated recession constant
number of reservoirs

SATFLOW (Saturated flow model)
saturated recession constant
storage coefficient
initial groundwater level
local base level

Fluxograma do modelo EARTH

Avaliação da Recarga

Modelo EARTH

A equação que traduz a oscilação piezométrica é a seguinte (Van der Lee & Gehrels, 1990):

$$h = RC \frac{R}{STo} - RC \,.\, (h')$$

em que:
h – nível piezométrico [L]
h`- derivada de h em função do tempo [L.T-1]
RC – coeficiente de recessão [T]
R – recarga [L.T-1]
STo – coeficiente de Armazenamento

Avaliação da Recarga

Modelo EARTH

Esta equação é uma função linear que pode ser resolvida em função do tempo:

$$h_t = h_{t-1} - \frac{TS}{RC} h_k + TS \frac{R}{STo}$$

em que:
k = intervalo de tempo
TS – time step
método explicito (incrementos de tempo negativos): k = t-1
método implicito (incrementos de tempo positivos): k = t

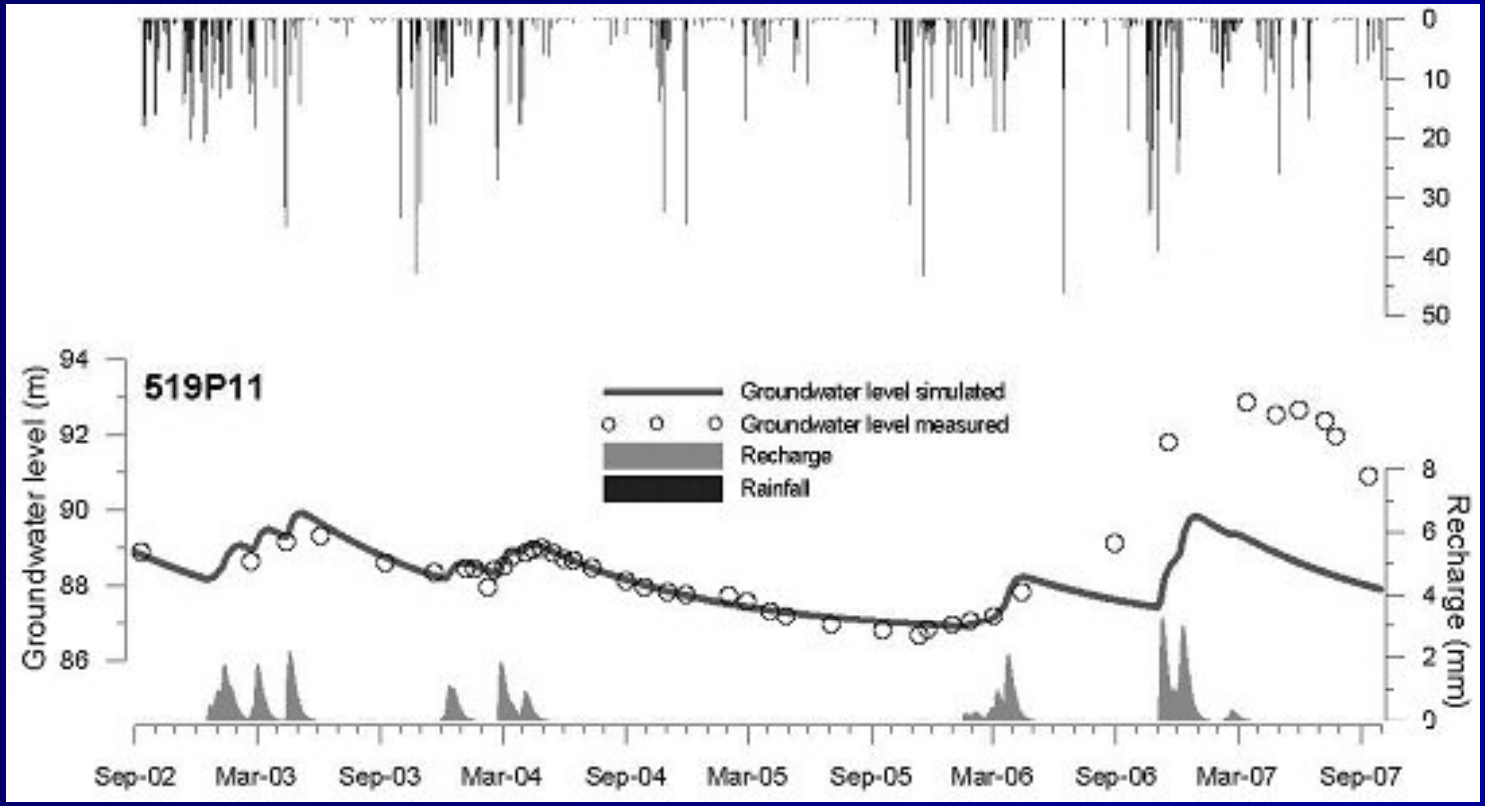
O coeficiente de recessão RC é proporcional ao Coeficiente de armazenamento e à resistência à percolação (DR), podendo ser descrito pela fórmula (Van der Lee, 1989):

$$RC = B \,.\, STo \,.\, DR$$

B – coeficiente de proporcionalidade

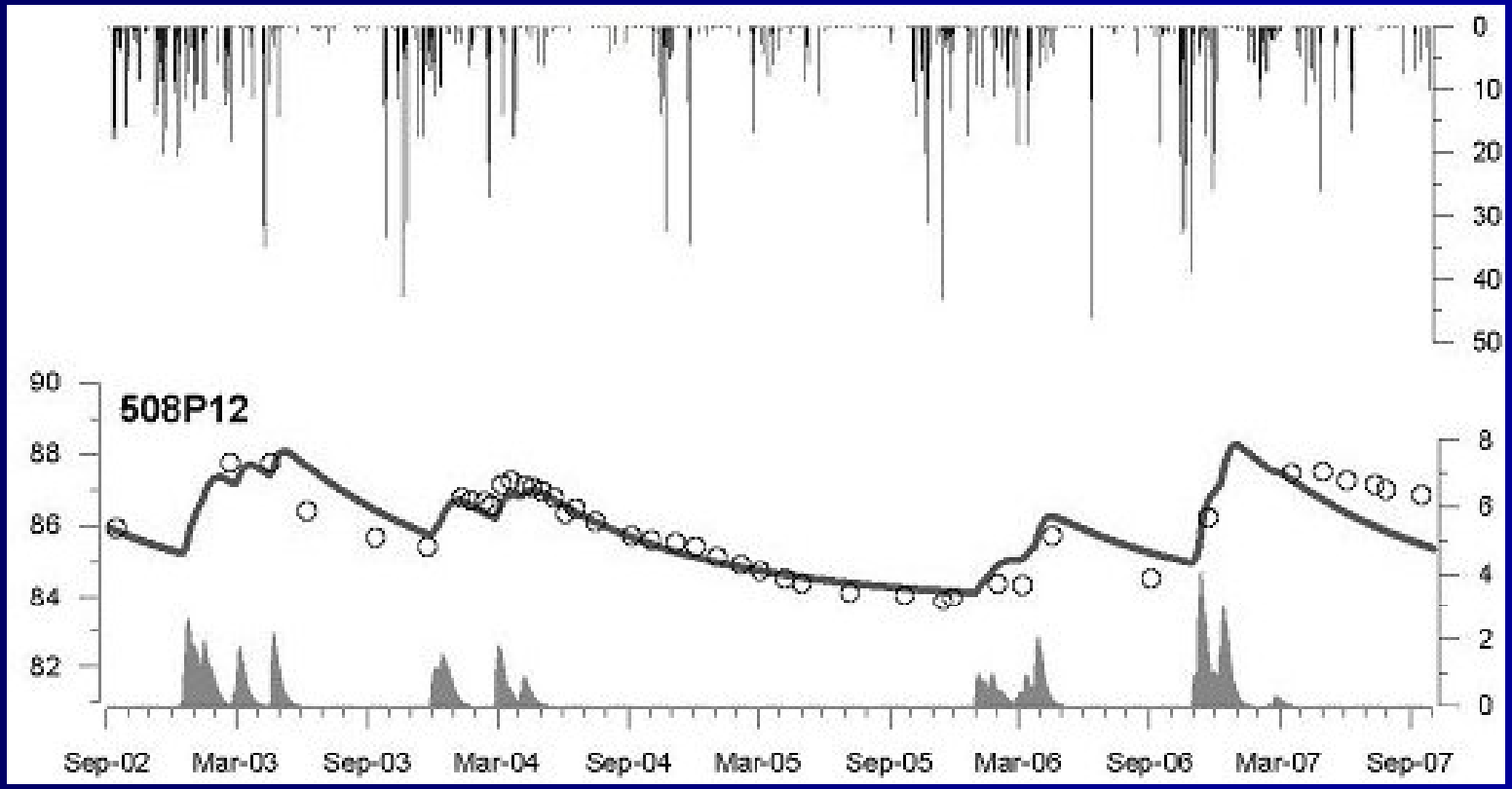
Modelo EARTH

Piez. 519P11 – Modelo teórico (curvas de calibração e recarga calculada)



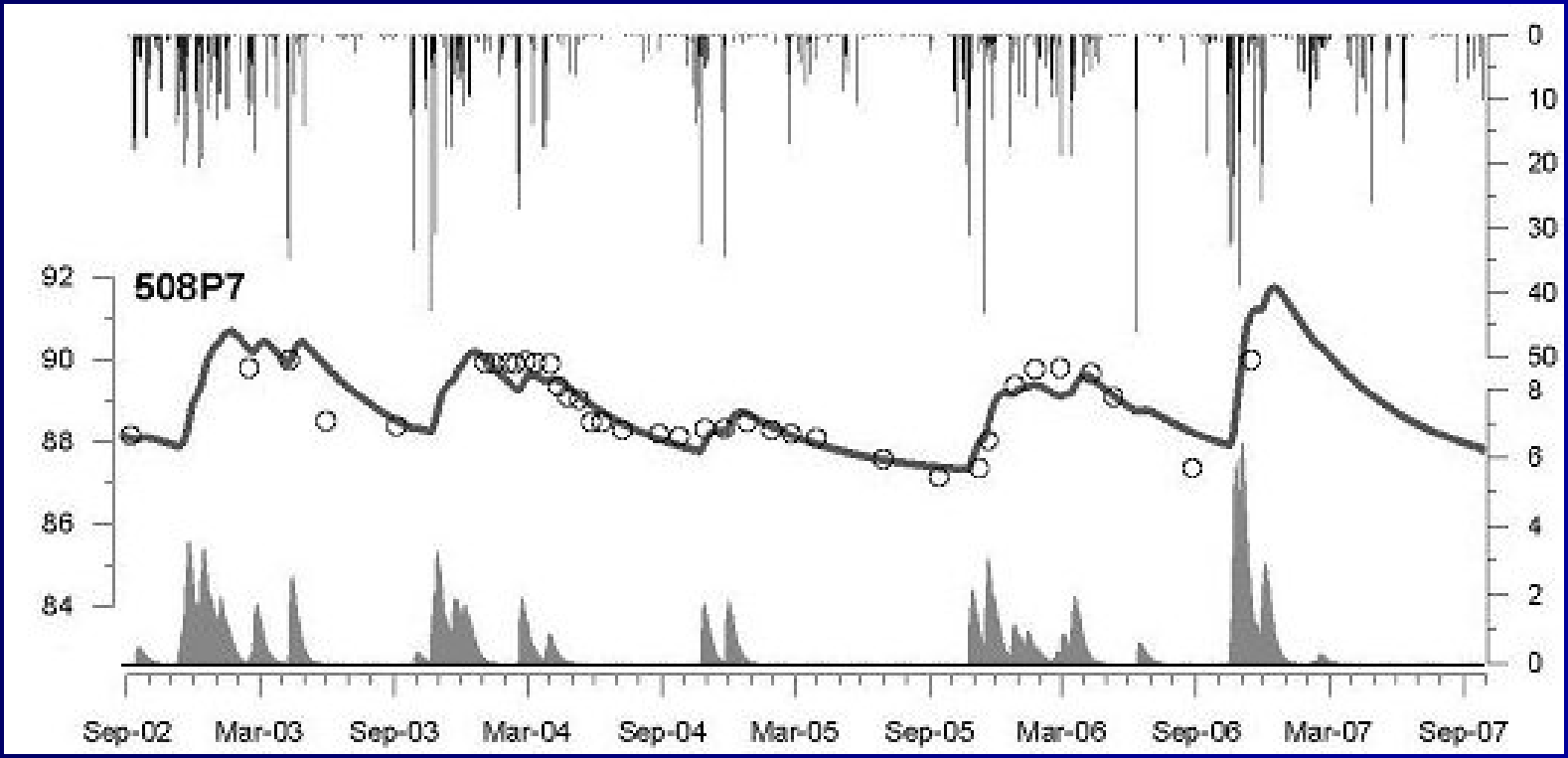
Modelo EARTH

Piez. 508P12 – Modelo teórico (curvas de calibração e recarga calculada)



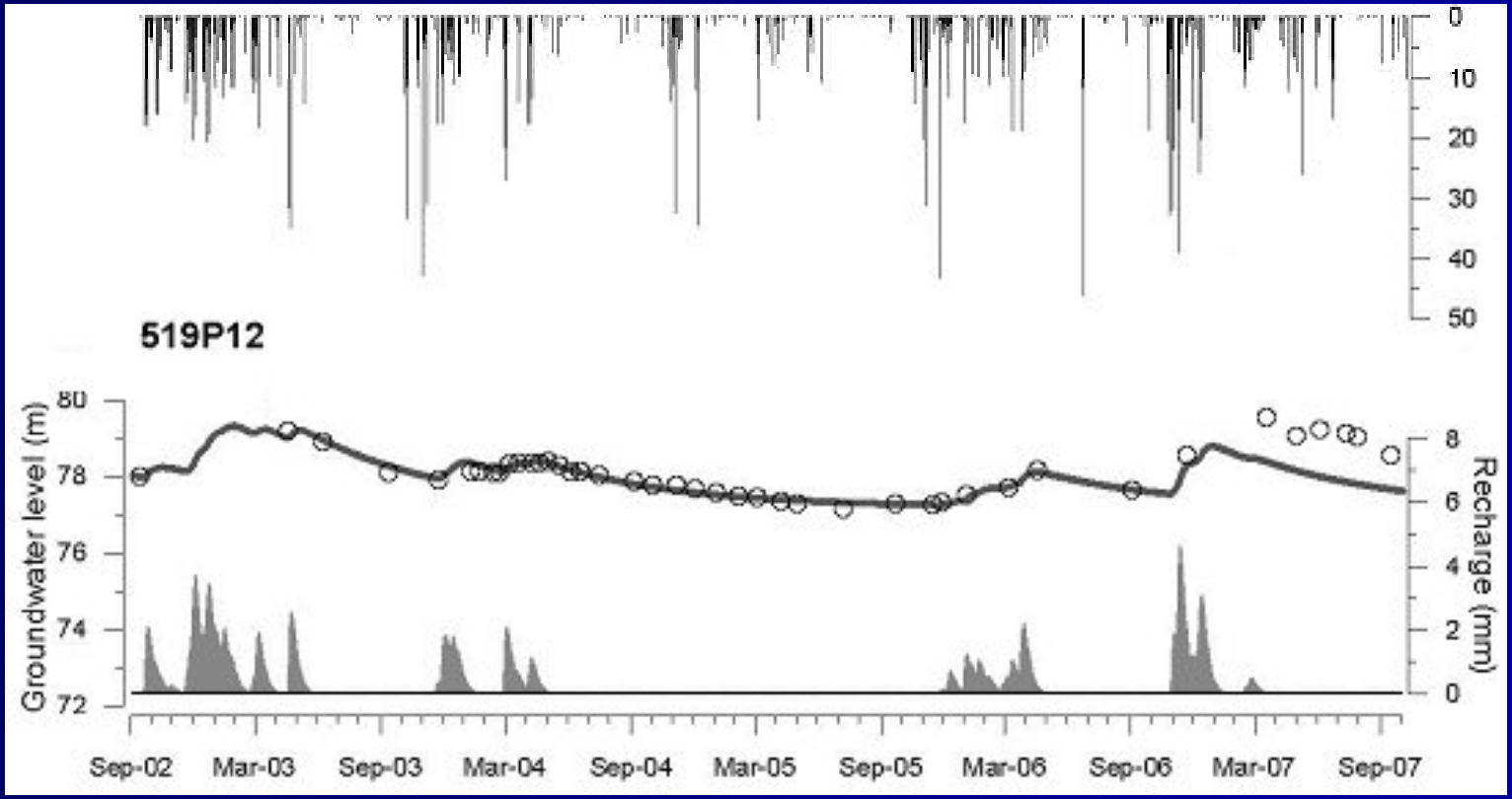
Modelo EARTH

Piez. 508P7 – Modelo teórico (curvas de calibração e recarga calculada)



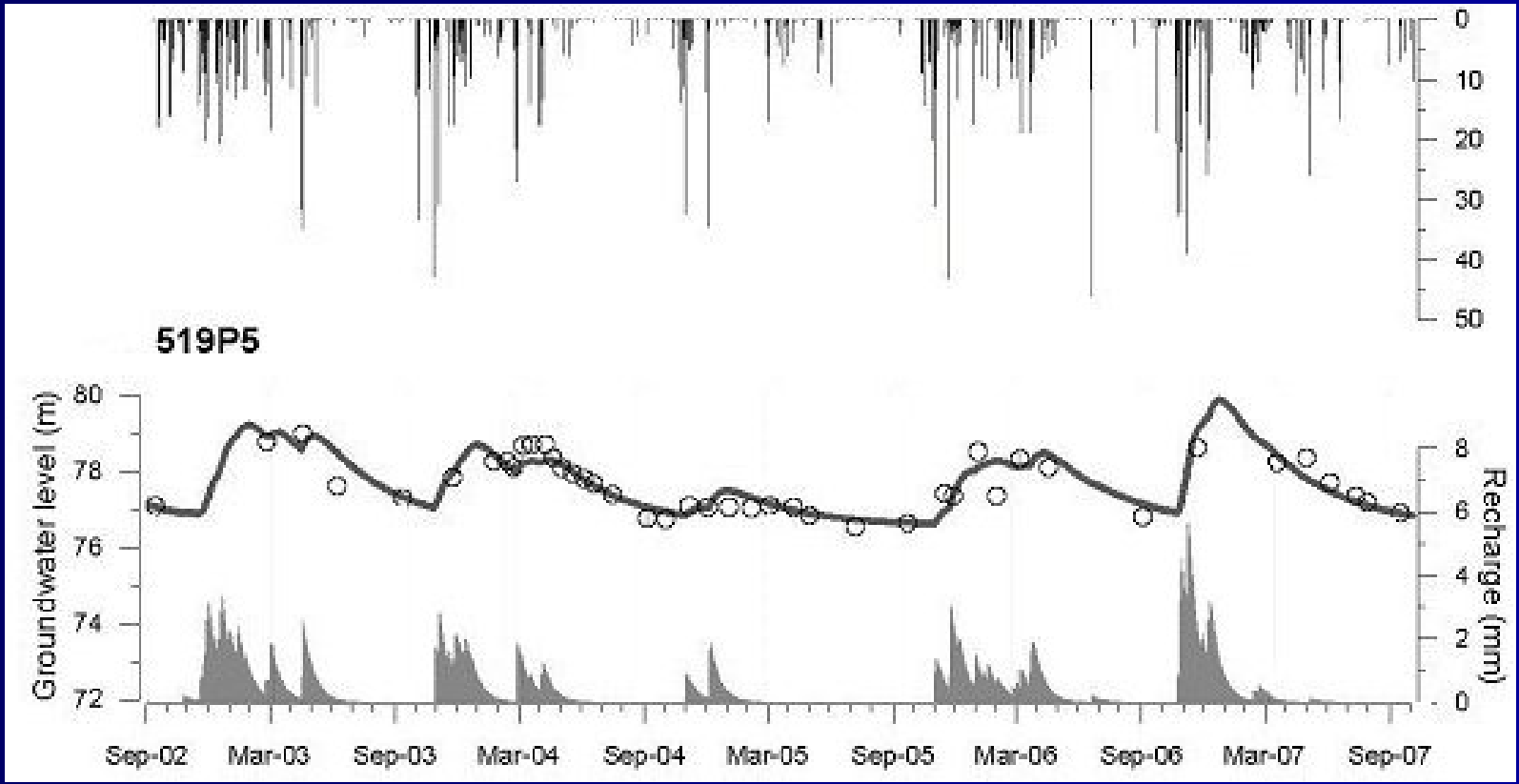
Modelo EARTH

Piez. 519P12 – Modelo teórico (curvas de calibração e recarga calculada)



Modelo EARTH

Piez. 519P5 – Modelo teórico (curvas de calibração e recarga calculada)



Modelo EARTH

Parâmetros de calibração - IF 12 (2002-2007)

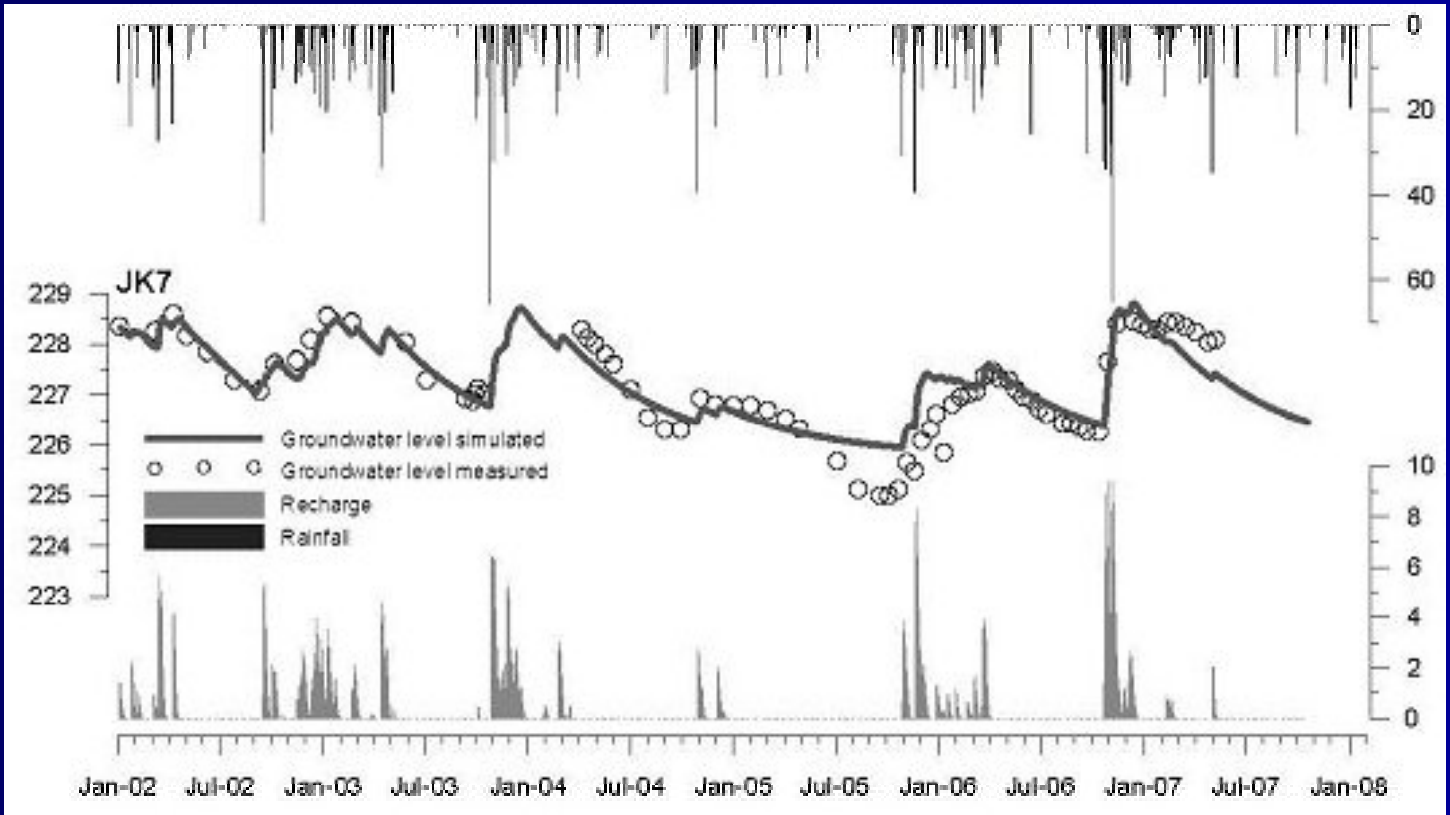
Parâmetros	Mínimo	Máximo
Maximum soil moisture (mm)	163.6	579.3
Residual soil moisture (mm)	14.8	75.4
Initial soil moisture (mm)	37.7	160.7
Soil moisture at field capacity (mm)	107.5	250.7
Maximum surface storage (mm)	100.0	100.0
Maximum interception loss (mm)	1.5	1.5
Saturated conductivity (mm/day)	500.0	500.0
Unsaturated recession constant	5.00	15.00
Number of reservoirs	1.0	2.0
Saturated recession constant (day)	99.8	268.1
Storage coefficient	0.03	0.08

Resultados - IF 12 (2002-2007)

Ano hidrológico	Precipitação (mm)	Recarga (%)				
		508P7	508P12	519P5	519P11	519P12
2002-2003	598.6	35.8	23.6	40.1	18.1	41.0
2003-2004	445.1	35.0	18.8	39.0	15.3	24.6
2004-2005	273.3	19.3	0.0	17.1	0.0	0.0
2005-2006	548.9	30.7	14.4	32.5	10.1	18.6
2006-2007	593.0	33.6	20.9	35.3	18.3	24.9

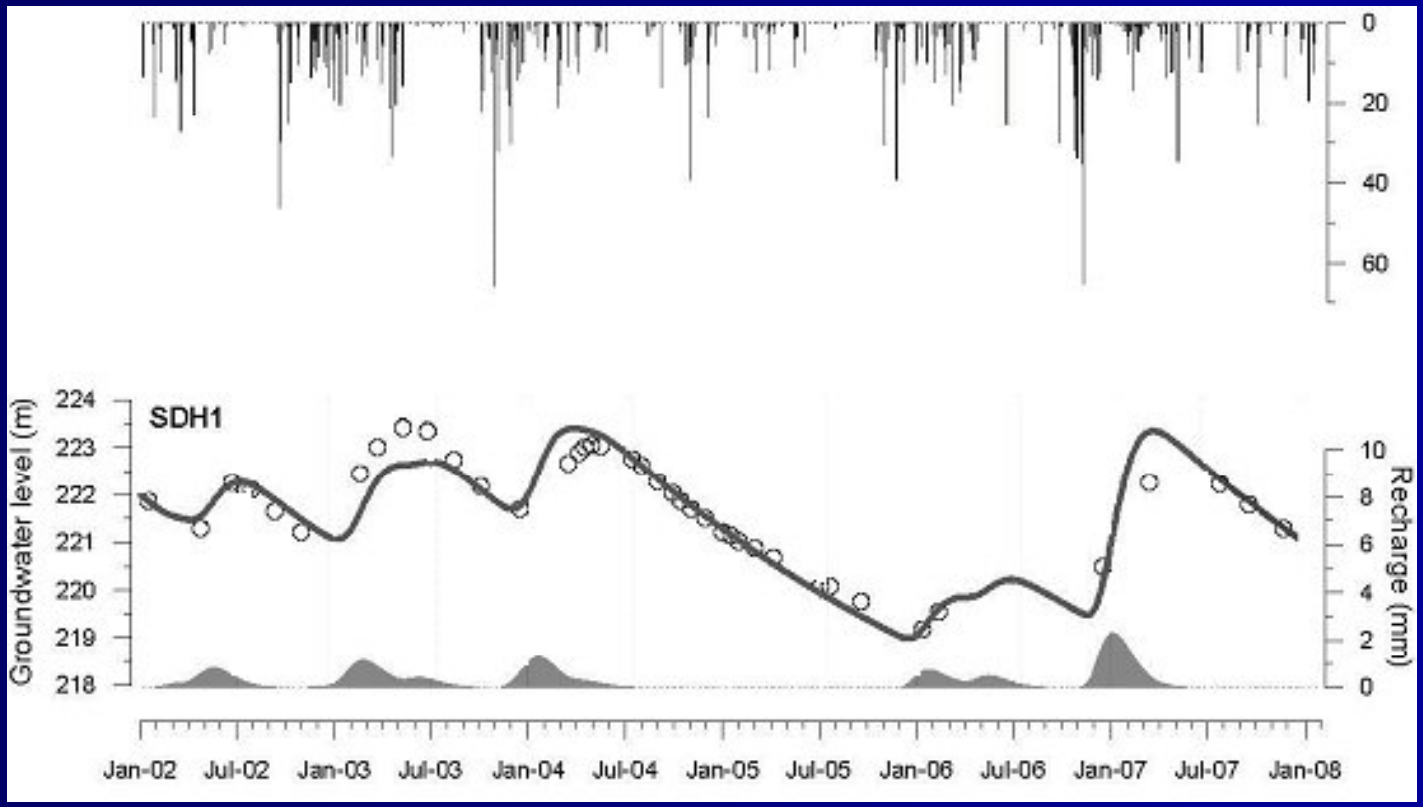
Modelo EARTH

Piez. JK7 Beja – Modelo teórico (curvas de calibração e recarga calculada)



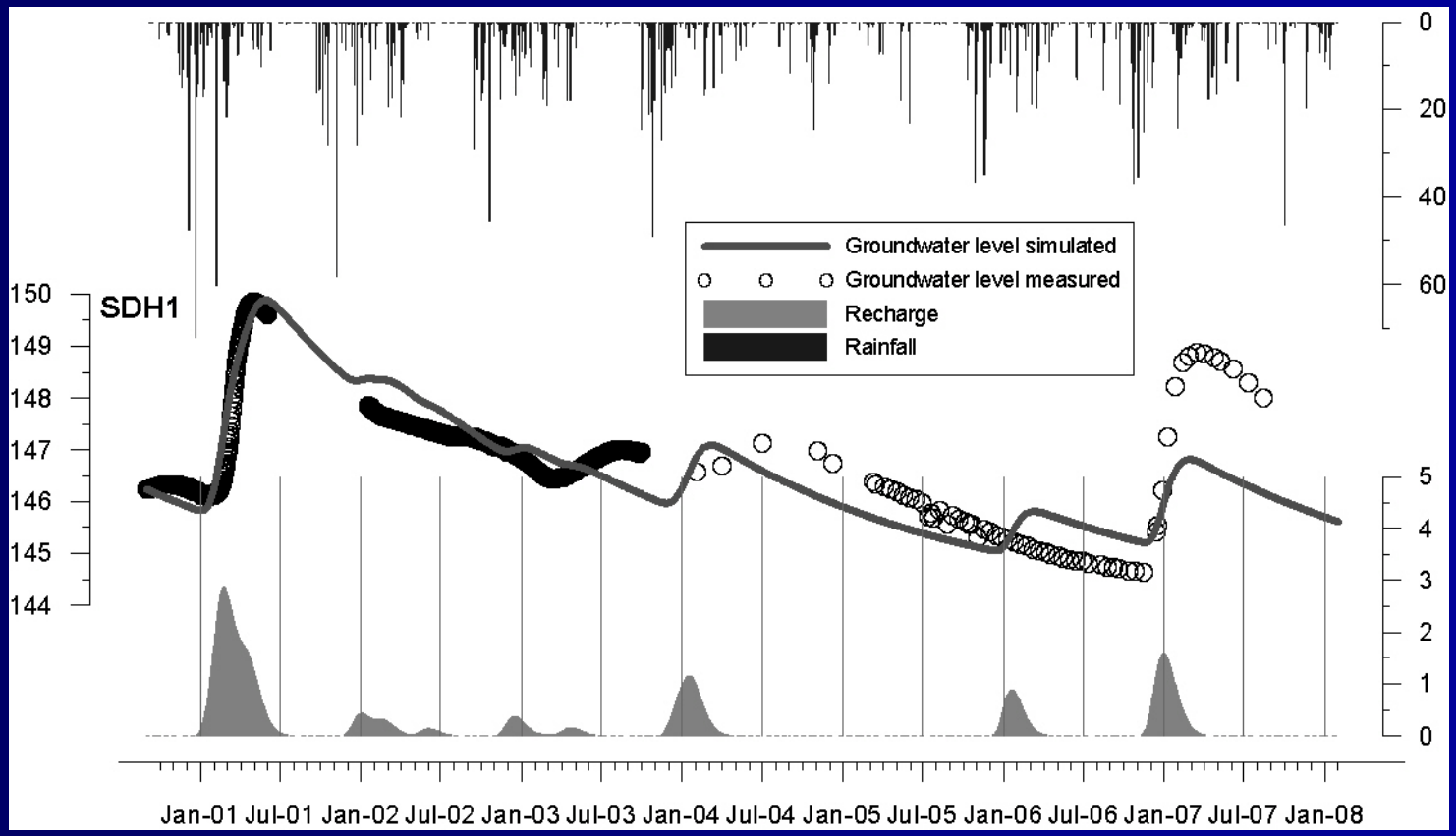
Modelo EARTH

Piez. SDH1 Beja – Modelo teórico (curvas de calibração e recarga calculada)



Modelo EARTH

Piez. SDH1 Serpa – Modelo teórico (curvas de calibração e recarga calculada)



Modelo EARTH

Parâmetros de calibração - Gabros de Beja (2002-2007)

Parâmetros	Mínimo	Máximo
Maximum soil moisture (mm)	400.0	550.0
Residual soil moisture (mm)	310.0	335.0
Initial soil moisture (mm)	370.0	430.0
Soil moisture at field capacity (mm)	370.0	455.0
Maximum surface storage (mm)	250.0	250.0
Maximum interception loss (mm)	1.0	1.0
Saturated conductivity (mm/day)	250	2500
Unsaturated recession constant	0.5	11.0
Number of reservoirs	1	6.0
Saturated recession constant (day)	200	1200
Storage coefficient	0.06	0.04

Resultados - Gabros de Beja (2002-2007)

Zona de Beja

Ano Hidrológico	Precipitação (mm)	Recarga (mm) SDH1		Recarga (mm) JK7	
		(mm)	(%)	(mm)	(%)
2002-2003	571	128	22	181	32
2003-2004	518	120	23	171	33
2004-2005	229	0	0	30	13
2005-2006	535	93	18	153	29
2006-2007	663	181	27	189	28

Zona de Serpa

Ano Hidrológico	Precipitação (mm)	Recarga (mm)	Recarga (%)
2000-2001	702	250	36
2001-2002	515	45	9
2002-2003	485	30	6
2003-2004	492	80	16
2004-2005	209	0	0
2005-2006	509	49	10
2006-2007	528	98	19

Conclusões

- O factor natural do ciclo hidrológico responsável pela percolação dos contaminantes agrícolas até à zona saturada é a recarga – a recarga natural funciona como veículo de transporte de sais em áreas de agricultura intensiva.

- A avaliação da recarga aquífera, sob a forma de modelos em tempo real, permite prever a qualidade da água de recarga, em função da dotação de fertilizantes das culturas de Inverno e do azoto residual no solo … e também a taxa de lixiviação de pesticidas, de acordo com modelos específicos.

Conclusões (cont.)

Bacia de Alvalade

-Os resultados obtidos da modelação da recarga para a Infra-estrutura 12 (58 km^2) são extensíveis à generalidade do sistema aquífero da bacia de Alvalade (700 km^2).

-A recarga do aquífero livre Miocénico da Bacia de Alvalade (700 km^2) deverá situar-se entre 20% a 40% da precipitação em ano médio ou seja, entre 105 e 210 mm/ano.

- Os eventos principais de recarga são escassos e estão associados a precipitação pontual normalmente acima de 20 mm.

Conclusões (cont.)

Gabros de Beja

- A recarga do aquífero dos Gabros de Beja (350 km^2) deverá situar-se em redor de 10% a 20% da precipitação em ano médio ou seja, até 100 mm/ano.

-Nas zonas de recarga preferencial ou em ano húmido pode atingir 30% da precipitação ou seja, 150 mm/ano.

- Os eventos principais de recarga são escassos e estão associados a precipitação pontual normalmente acima de 20 mm.

Agradecimentos

Os autores manifestam o seu agradecimento

- IST (Doutoramento em Ciências de Engenharia)
- INETInovação /Dep. de Hidrogeologia (Instituição de Acolhimento)
- FCT (Bolsa de doutoramento e Projecto POCTI/AGG/47223/2002)
- EDIA
- COTR

Mais informações e artigos …

www.ineti.pt / Departamentos / Hidrogeologia …