

Aplicação de teores em trítio e de carbono-14 como método de diagnóstico e análise de sistemas subterrâneos

**Paula M. Carreira¹, Dina Nunes¹, Pedro Valério¹, Maria Fátima Araújo¹,
José M. Marques², Manuel Antunes da Silva³**

1. Centro de Ciências e Tecnologias Nucleares (C²TN), Instituto Superior Técnico, Estrada Nacional nº10 ao km 139,7, 2695-066 Bobadela LRS. carreira@ctn.ist.utl.pt; dina@ctn.ist.utl.pt; pvalerio@ctn.ist.utl.pt; faraujo@ctn.ist.utl.pt
2. Centro de Recursos Naturais e Ambiente (CERENA), Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa. jose.marques@tecnico.ulisboa.pt
3. UNICER Bebidas, S.A., S. Mamede de Infesta. Antunesda.Silva@unicer.pt



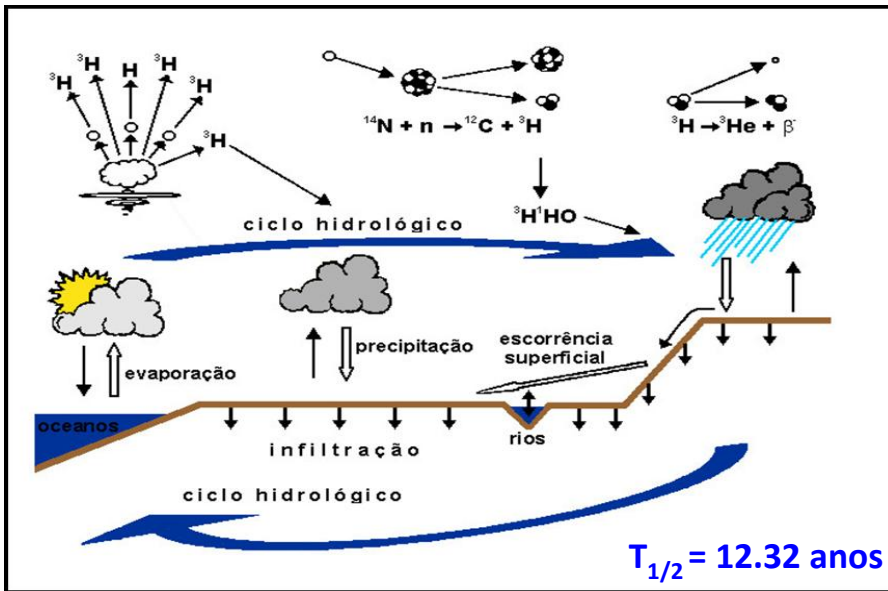
- A Geoquímica Isotópica baseia-se no estudo das variações de concentração de espécies isotópicas estáveis e radioactivas em sistemas naturais.

As espécies isotópicas ambientais radioactivas mais utilizadas em estudos hidrogeológicos são o trítio (^3H) e o carbono-14 (^{14}C).

- A determinação da composição isotópica tem sido decisiva na compreensão de sistemas hidrológicos:
 - identificação de mecanismos de salinização (^2H ; ^{18}O ; ^3H ; ^{14}C);
 - definição de áreas de recarga (^2H ; ^{18}O);
 - Identificação e quantificação de mistura entre unidades aquíferas (^2H ; ^{18}O);
 - dinâmica/datação dos recursos hídricos (tempo de trânsito, definição de linhas de fluxo, etc.) (^2H ; ^{18}O ; ^3H ; ^{14}C);
 - identificação da origem de fontes poluidoras (matéria orgânica e/ou fertilizantes) (^{13}C ; ^{15}N).

Origem e Distribuição de ^3H na Natureza

- O ^3H tem um período de desintegração de **12,32 anos.**, emitindo **radiações β^-** de baixa energia.
- As concentrações em ^3H em águas naturais são normalmente expressas em **Unidades de Trítio (TU)**.
- O ^3H produzido na atmosfera por **processos naturais** e o resultante da **acção do Homem** é oxidado na atmosfera passando a $^1\text{H}^3\text{HO}$.



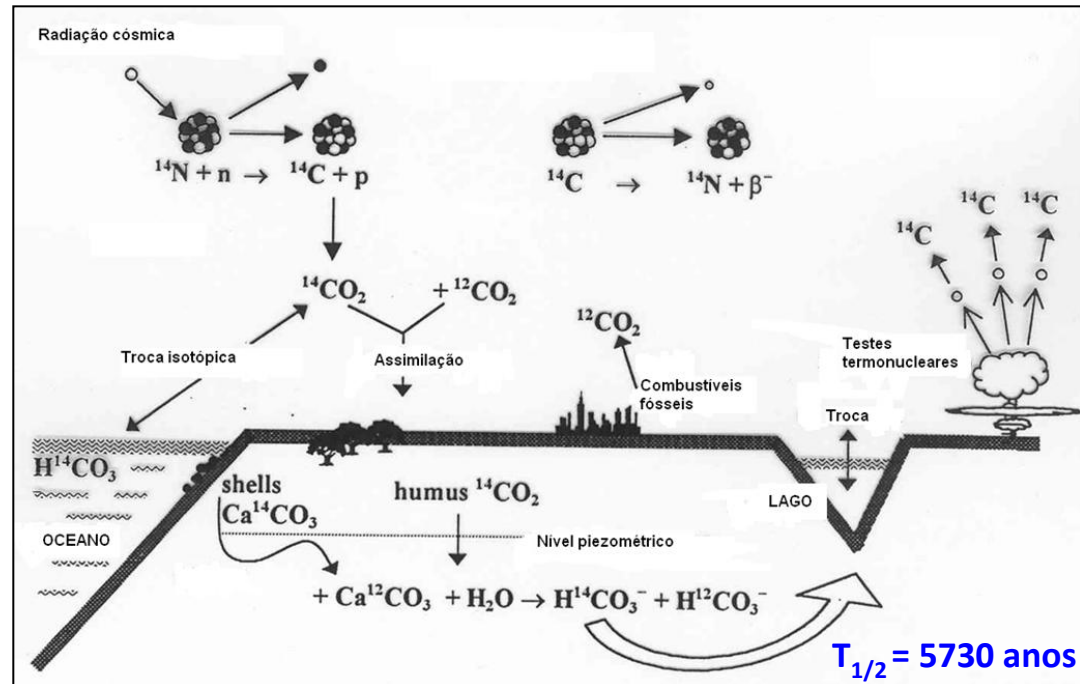
Origem e Distribuição de ^{14}C na Natureza

- As concentrações em ^{14}C expressam-se em **percentagem de carbono moderno (pmC ou pM)**:

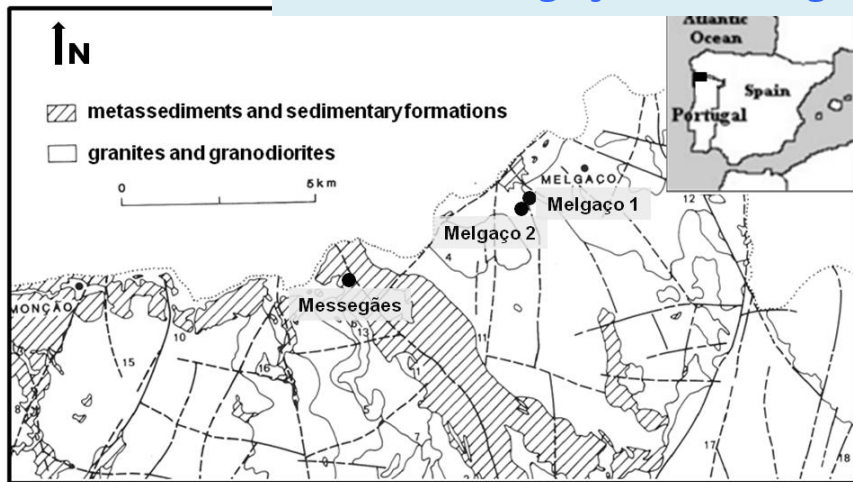
$$\text{pmC} = A_{\text{amostra}} / (A_{\text{ácido oxálico}} e^{\lambda(y-1950)}) \times 100 \%$$

λ - 1/8267 anos

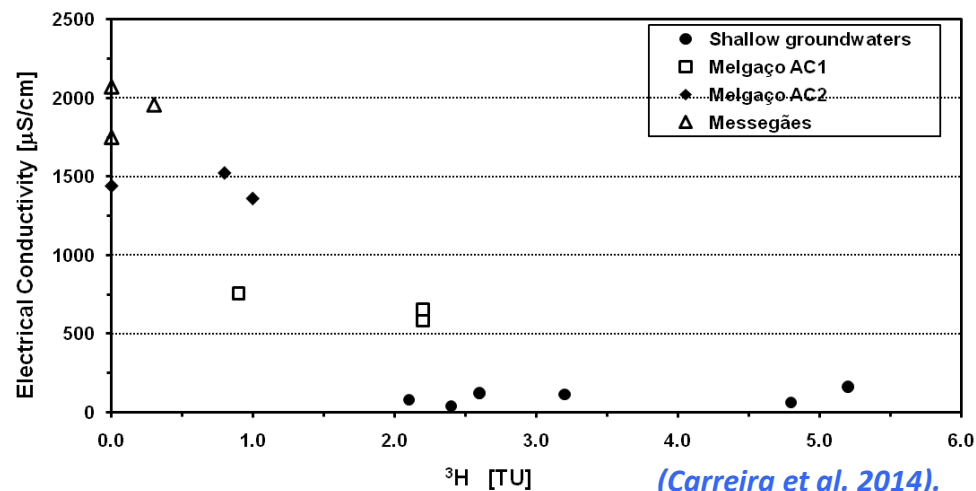
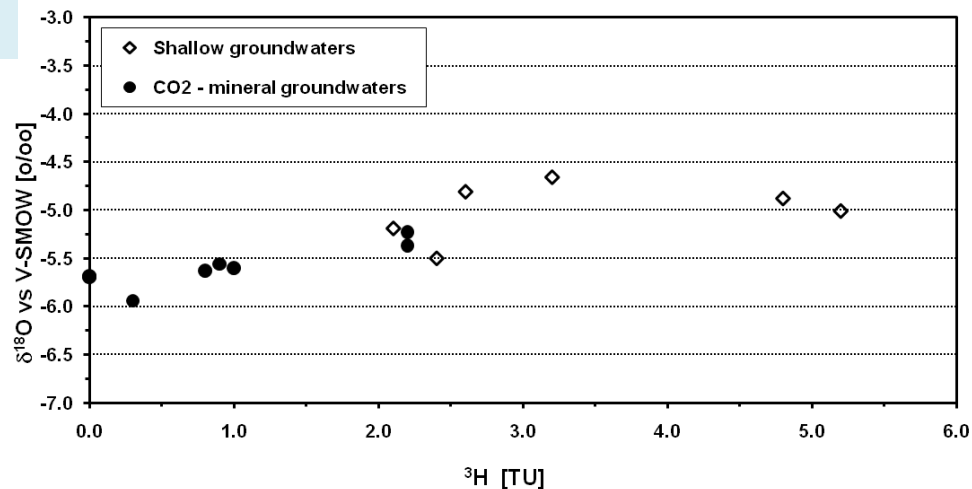
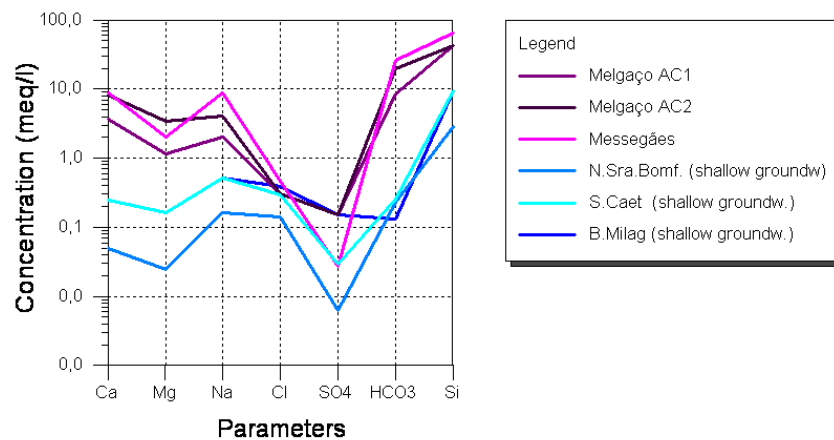
y - ano de contagem do ácido oxálico



Sistema Melgaço – Messegães



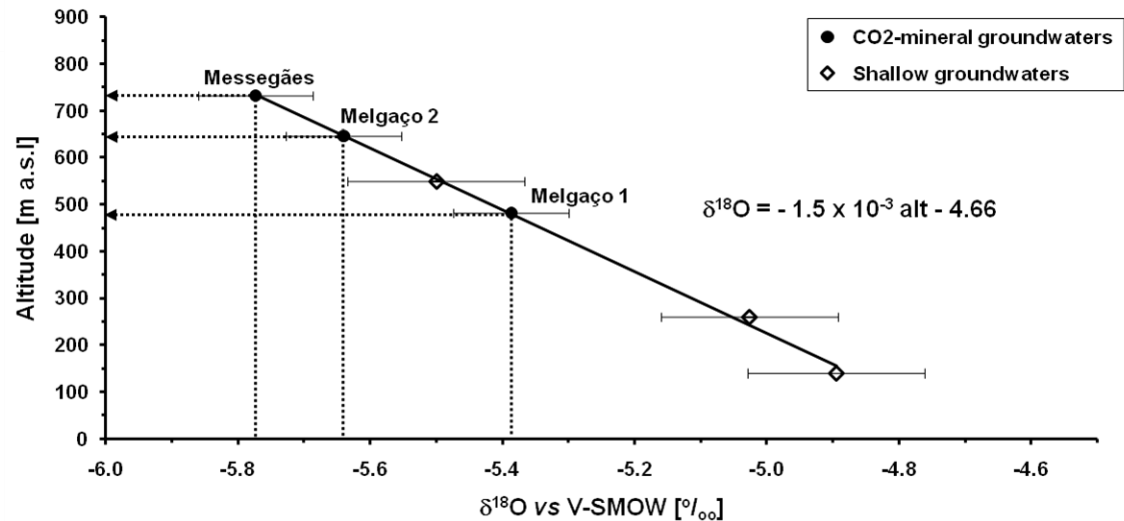
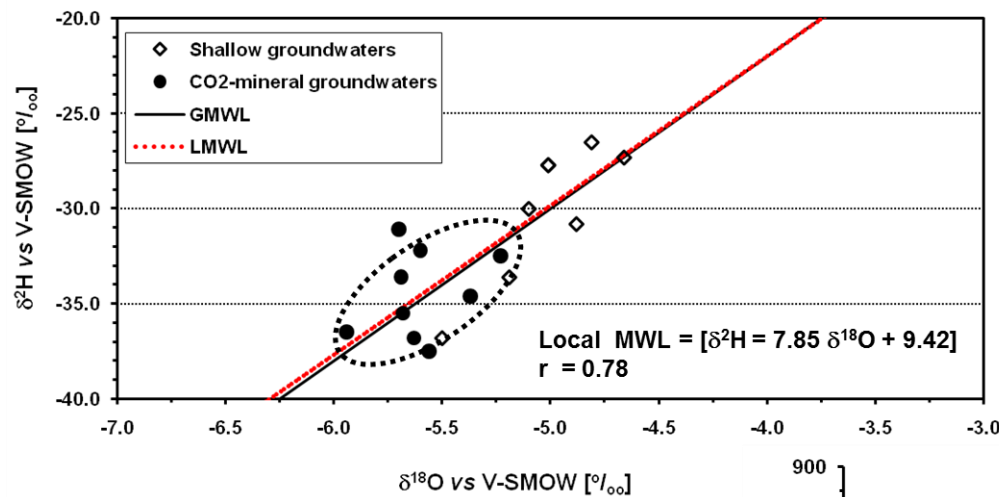
Schoeller Plot



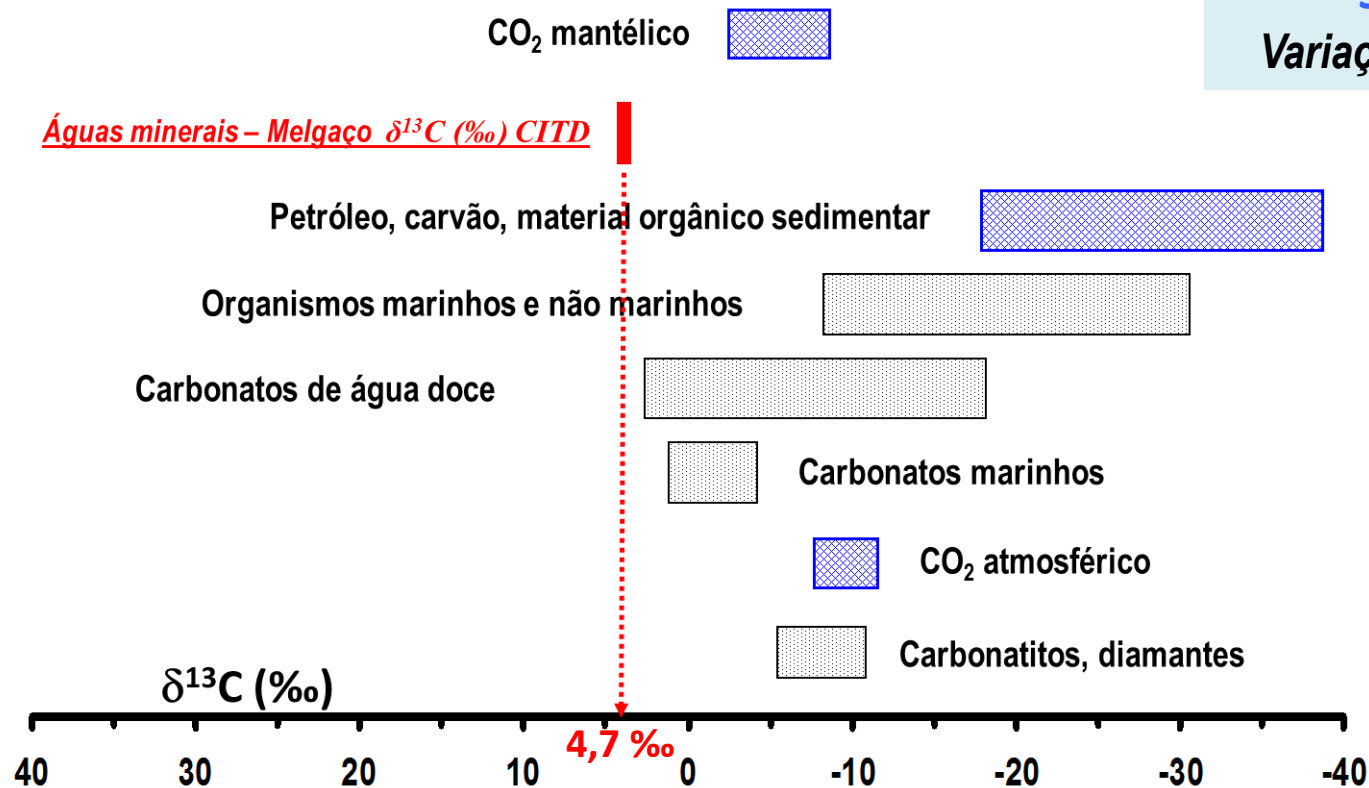
(Carreira et al. 2014).

- Os sistemas aquíferos locais pouco profundos, de baixa mineralização, apresentam teores de ^3H entre $2,1$ a $5,2 \pm 0,6$ TU;
- As águas minerais gasocarbónicas com teores de ^3H entre $0,0$ a $2,2 \pm 0,6$ TU; as concentrações menores foram registadas nas águas com maior mineralização, indicando uma circulação mais longa e um tempo maior para os processos de interacção água-rocha
- O padrão de distribuição ^3H vs. $\delta^{18}\text{O}$ parece estar associado a diferentes altitudes de recarga.

Sistema Melgaço – Messegães



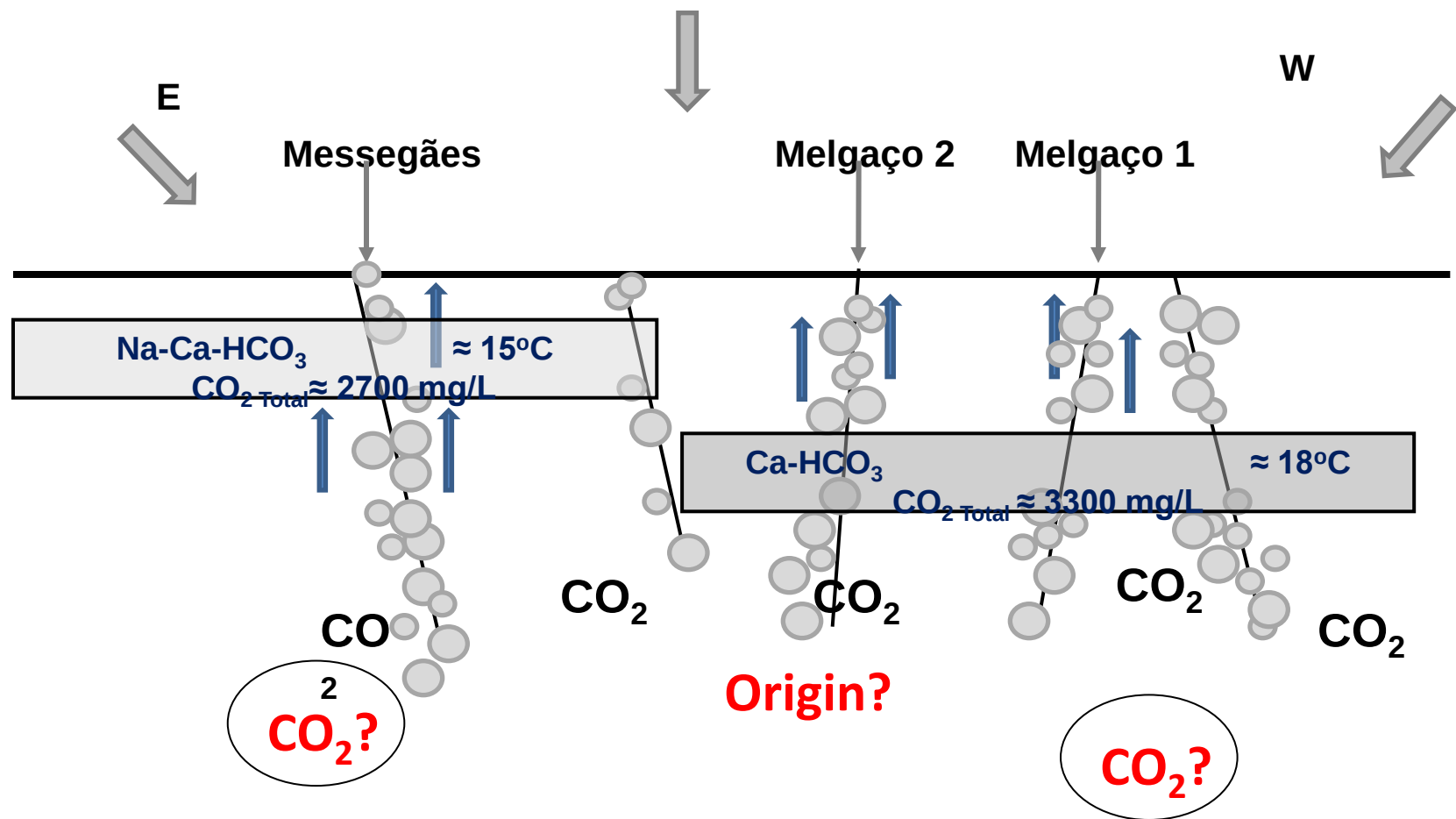
- Nas águas minerais ricas em CO₂, a menor mineralização é acompanhada por teores mais elevados de ³H (baixa altitude de recarga Melgaço1 vs. Melgaço 2), indicando um fluxo subterrâneo mais curto.
- Se considerarmos uma entrada de trítio da mesma ordem de grandeza ao determinado na estação meteorológica do Porto (4,5 TU - média aritmética ponderada) para as águas gasocarbónicas pode-se considerar um tempo de residência, superior a 40 anos.



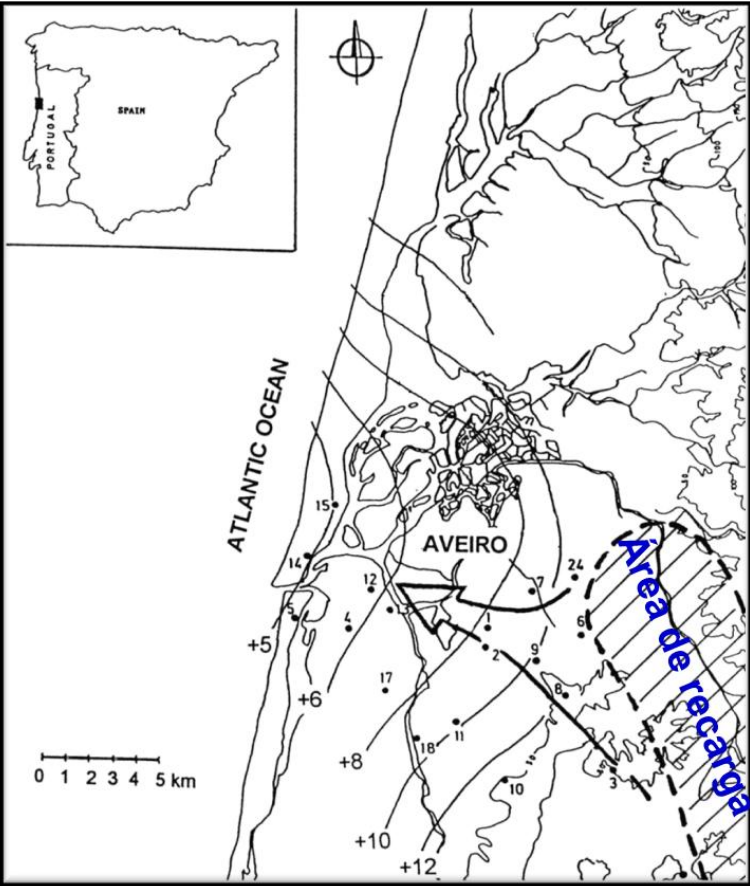
O teor em ^{14}C foi determinado por AMS realizado no Carbono Inorgânico Total Dissolvido (CITD) em amostras de Melgaço1 e Melgaço2.

Os teores obtidos foram:

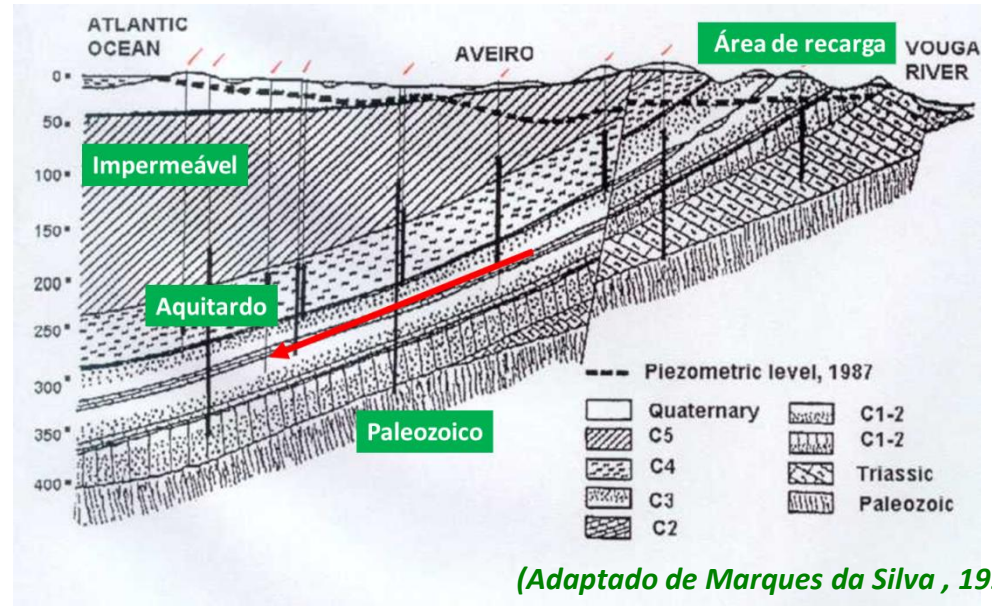
Melgaço 1	$^{14}\text{C} = 2,33 \pm 0,07 \text{ pmC}$	e	$\delta^{13}\text{C} = +4,7 \text{ ‰}$
Melgaço 2	$^{14}\text{C} = 1,01 \pm 0,04 \text{ pmC}$	e	$\delta^{13}\text{C} = +4,7 \text{ ‰}$



- ❑ O enriquecimento em $\delta^{13}\text{C}$ encontrado nas águas minerais de Melgaço pode ser devido à mistura de C do manto superior, embora a hipótese de metanogénese não deva ser excluída (valores de ^{13}C).
- ❑ Os teores em ^{14}C indicam uma fonte de carbono associada à desgaseificação do manto superior com um aporte de C sem ^{14}C e um teor diferente em ^{13}C .

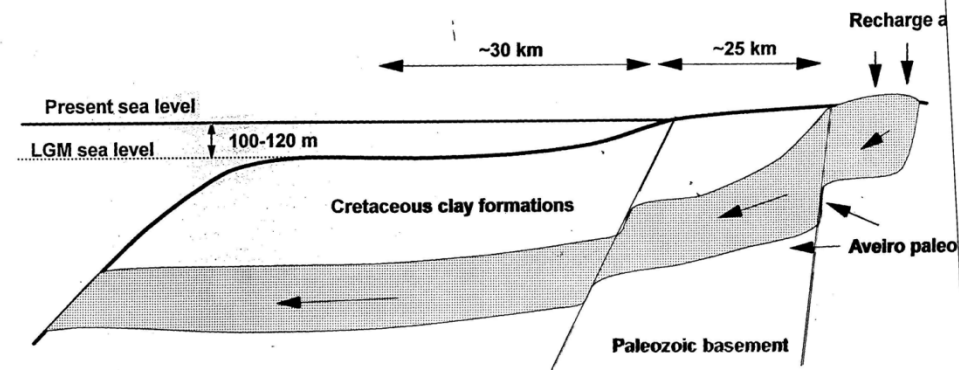


Sistema multiaquífero Cretácico de Aveiro

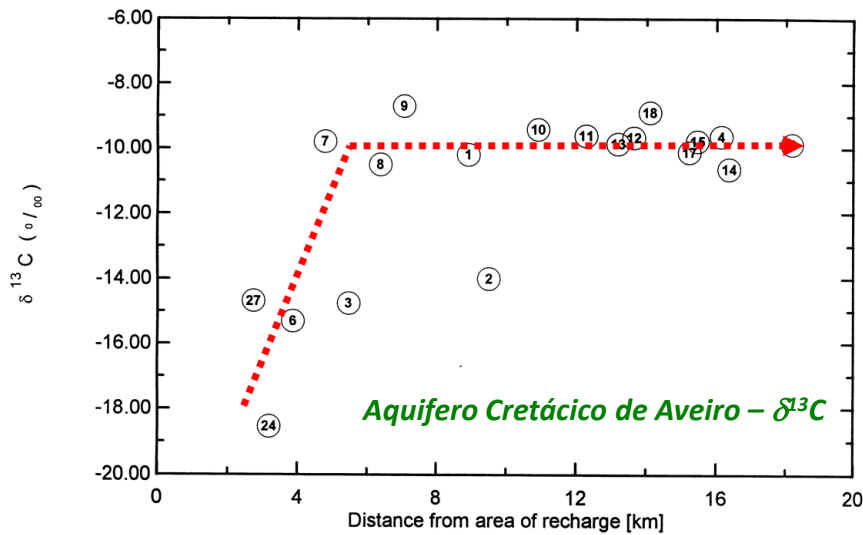


(Adaptado de Marques da Silva, 1990)

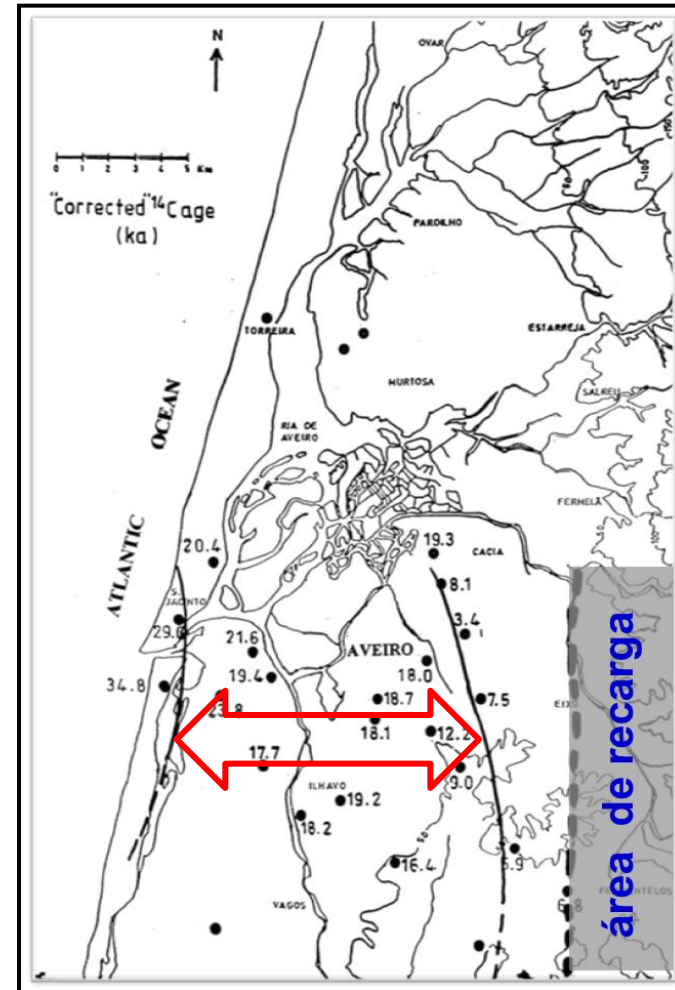
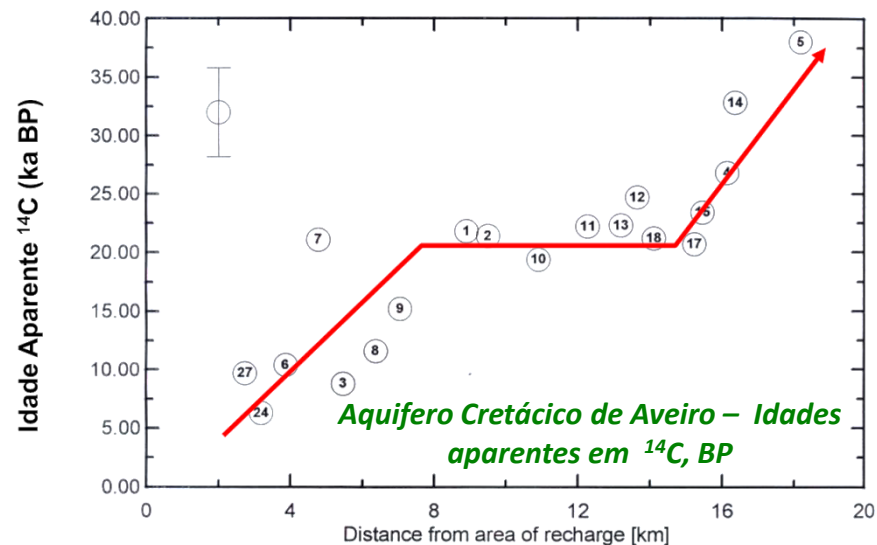
Cross - Section of the Aveiro deep aquifer



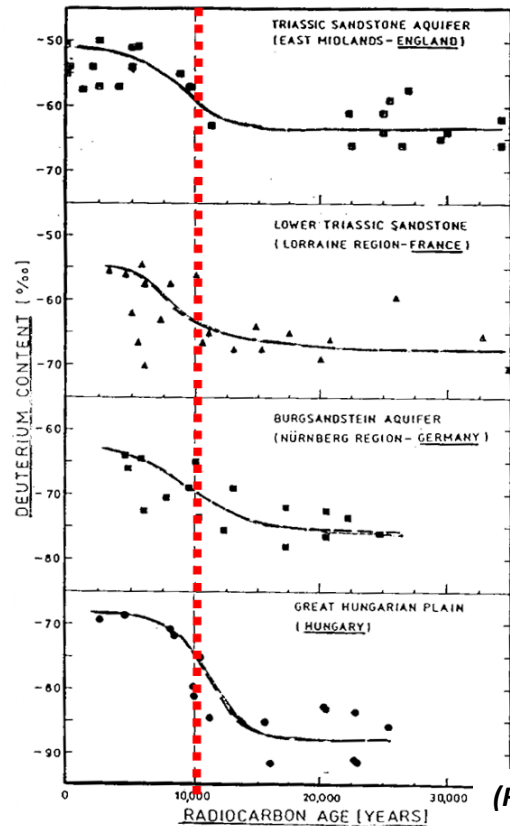
- ☐ Área de recarga bem definida;
- ☐ Aquífero é confinado por um leito argiloso impermeável;
- ☐ Gradiente hidráulico fortemente influenciado pelo nível do mar;
- ☐ Descarga principal do sistema na plataforma.



- Valores aproximadamente constantes de $\delta^{13}\text{C}$ (km 10)
- Fraca interacção água - minerais carbonatados

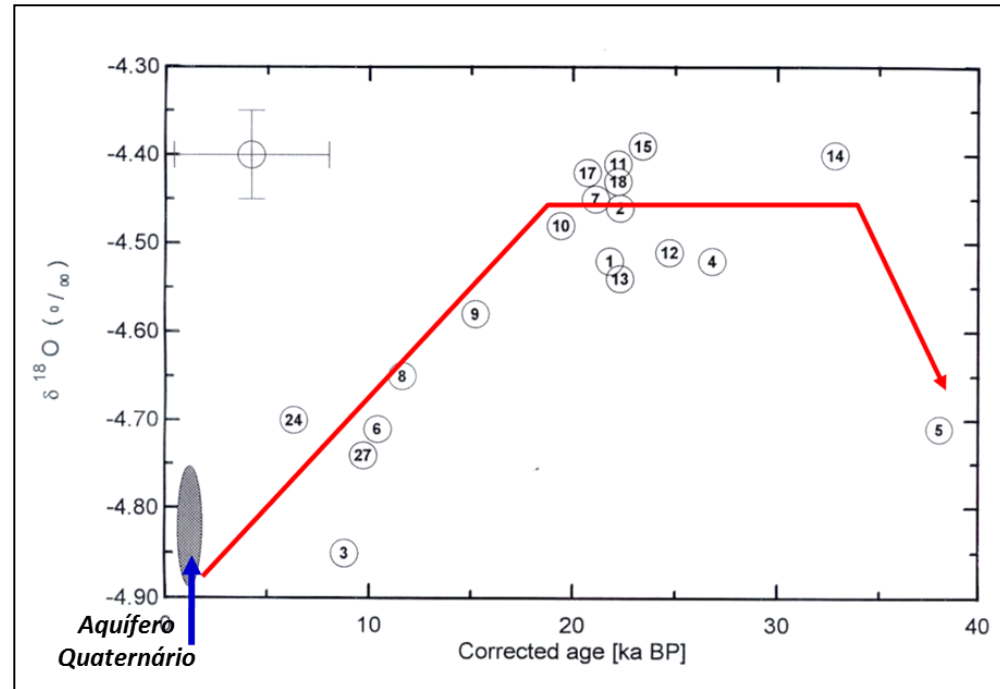


- Distribuição da idade aparente em ^{14}C das águas subterrâneas do aquífero Cretácico de Aveiro.
- Idade em milhares de anos, ka BP.

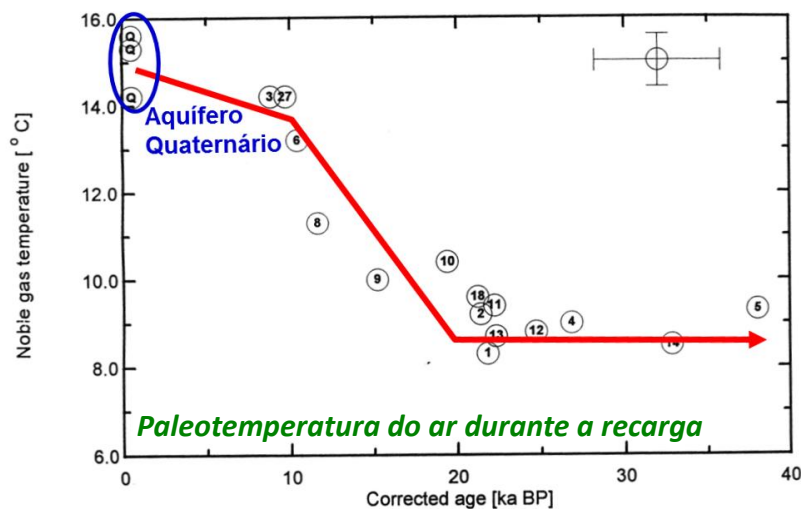


(Rozanski, 1985)

□ Evolução do teor de ^2H com idade aparente em ^{14}C em diversos aquíferos do N da Europa e Europa Central.



□ Evolução dos teores de O-18 no aquífero de Aveiro, com a idade aparente das águas subterrâneas (^{14}C , ka BP)



□ Temperatura de recarga estimada a partir do teor em gases nobres dissolvidos nas águas subterrâneas;

□ As amostras de água de idade Holocénica apresentam temperatura média de recarga $\approx 14^\circ\text{C}$;

□ As amostras de água com idades aparentes em ^{14}C em torno de 18ka BP, apresentam valores médios de temperatura de recarga $\approx 9^\circ\text{C}$.

- ❑ A utilização conjunta de dados isotópicos e geoquímicos tem demonstrado que nas águas subterrâneas funcionam como “ferramenta” e método de diagnóstico e de análise de sistemas aquíferos.
- ❑ O trítio ao fazer parte da molécula de água torna-se num traçador ideal em sistemas hídricos, permitindo a obtenção de informações relativas às condições de recarga, datação de águas subterrâneas e estimativa do tempo de residência ou de trânsito de sistemas de circulação rápida. A presença deste isótopo radioactivo é indicadora de uma componente de água moderna no sistema.
- ❑ Em estudos de impacte ambiental e de poluição de reservas hídricas, a presença de trítio deverá ser encarada como um factor indicativo de áreas de permeabilidade relativamente elevada, por conseguinte, de zonas de risco à acção de agentes externos.
- ❑ Os teores em ^{14}C conjugados com os teores em ^{13}C permitem uma datação de sistemas aquíferos antigos possibilitando a identificação e caracterização da origem do carbono dissolvido nos sistemas aquosos.