

# MODELO CONCEPTUAL DA OCORRÊNCIA HIDROMINERAL DO GERÊS

## FUNDAMENTOS SOBRE A DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE RECARGA DO SISTEMA HIDROTHERMAL

Alberto LIMA

Universidade do Minho, [aslima@dct.uminho.pt](mailto:aslima@dct.uminho.pt)

### RESUMO

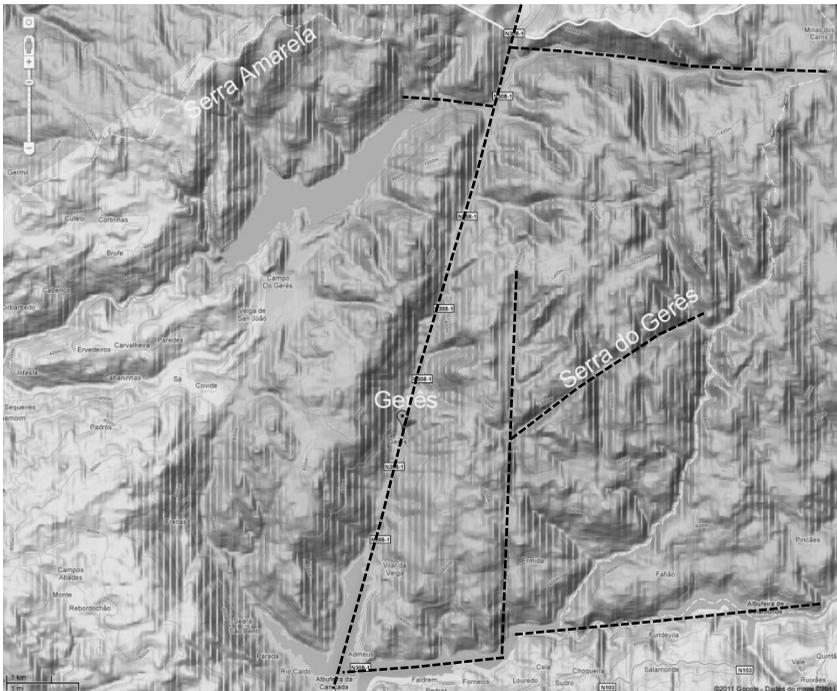
A ocorrência hidromineral do Gerês localiza-se na freguesia de Vilar da Veiga, concelho de Terras de Bouro, distrito de Braga. Está associada ao acidente Gerês – Lobios, a porção intermédia de uma megaestrutura que se prolonga desde Lugo (Espanha) até Vila da Feira (Portugal), seguindo uma orientação geral N17°E. O acidente Gerês – Lobios originou um vale de fractura profundamente encaixado, que recorta o maciço granítico da Serra do Gerês. É na vertente oriental deste vale que se situam as emergências termais, aproveitando fracturas paralelas e transversais à falha principal.

Tratando-se de um fluido de origem meteórica, a conceptualização do funcionamento hidrogeológico do sistema hidrotermal do Gerês pressupõe, à partida, a identificação e a delimitação da respectiva área de recarga. Com base no gradiente isotópico altimétrico regional, estima-se que a altitude média de recarga do sistema hidrotermal é de 1300 m, admitindo-se que as áreas situadas a altitudes superiores a 1100 m podem estar envolvidas na recarga do sistema. Estas áreas localizam-se predominantemente no sector Este da vale de fractura associado do acidente Gerês – Lobios. No entanto, as assinaturas isotópicas de águas superficiais e subterrâneas de áreas situadas a cotas inferiores sugerem que a área de recarga é de âmbito mais alargado, incluindo o vale de fractura do Rio Gerês. Assim, com base em critérios de natureza isotópica, geomorfológica e estrutural, admite-se que a área de recarga do sistema hidrotermal está circunscrita às bacias hidrográficas do Rio Homem e do Rio Gerês, a montante da Portela do Homem e das emergências termais, respectivamente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Gerês, modelo conceptual, área de recarga, isótopos.

# 1. Introdução

A ocorrência hidromineral do Gerês localiza-se na freguesia de Vilar da Veiga, concelho de Terras de Bouro, distrito de Braga (Figura 1). Está associada ao acidente Gerês – Lobios, a porção intermédia de uma megaestrutura que se prolonga desde Lugo (Espanha) até às Caldas de São Jorge (Portugal), seguindo uma orientação geral N17°E. Esta megaestrutura está, por sua vez, integrada num contexto tectónico mais vasto, relacionado com a orogenia varisca.



**Figura 1** – Localização da ocorrência hidromineral do Gerês. Assinalam-se alguns alinhamentos estruturais, incluindo a falha Gerês-Lobios. Adaptado de Google Maps.

Na parte final da orogenia varisca ocorreram importantes eventos em regime frágil ou dúctil-frágil que fracturaram o Maciço Ibérico, segundo orientações preferenciais, relacionadas com as trajetórias dos campos de tensões.

As direções NNE-SSW a ENE-WSW são as mais frequentes e as mais extensas, podendo atingir várias centenas de quilómetros. Com menor expressão ocorre o sistema NW-SE que, na região em análise, se materializa essencialmente pela zona de cisalhamento de Vigo - Régua. A direção NNE-SSW expressa-se pelos alinhamentos de Lugo - Lobios - Gerês - Vizela - Caldas de S. Jorge (acidente Gerês - Lobios) e Ortigueira - Melgaço - Caldas da Saúde - Leiria. Finalmente, a direção ENE-WSW está bem patente na região, condicionando o traçado dos principais eixos de drenagem fluvial. Estas fracturas foram sucessivamente reativadas, verificando-se um franco desenvolvimento das falhas com orientação ENE-WSW, que se cruzam com outras de direção N-S a NNE-SSW.

Do ponto de vista geomorfológico, o acidente Gerês - Lobios originou um vale de factura profundamente encaixado, que recorta o maciço granítico da Serra do Gerês (Figura 1). É na vertente oriental deste vale que se situam as emergências termais, aproveitando fracturas paralelas e transversais à falha principal.

Como se referiu, as nascentes termais brotam de um maciço granítico, conhecido por granito do Gerês, que corresponde a um granito biotítico, porfiróide de grão grosseiro ou médio a grosseiro. Apresenta globalmente um tom róseo, devido ao enrubescimento dos feldspatos. Esta é, aliás, uma particularidade dos granitóides tardi a pós-orogénicos, incluindo outros maciços, como os de Monção (Portugal) e Porriño (Espanha).

LIMA (2004) propôs um modelo conceptual da ocorrência hidromineral do Gerês segundo o qual a água termal do Gerês é de origem meteórica com infiltração nos pontos culminantes da Serra do Gerês, bem como ao longo da rede hidrográfica. Segundo aquele autor, muitas das linhas de água que constituem os sistemas de drenagem superficial estão associadas a fracturas que promovem a infiltração da água em profundidade. O carácter profundo destes circuitos

subterrâneos favorece a interação água-rocha, conduzindo a um incremento da mineralização das águas e ao aumento da sua temperatura. No seu percurso ascensional, o fluido termal profundo mistura-se com águas de diferentes profundidades e, conseqüentemente, distintas mineralizações, daí resultando um fluido diluído que acaba por emergir em condições hidráulicas favoráveis. Além do controlo da falha Gerês – Lobios, a ascensão da água termal é facilitada pela permeabilidade acrescida devido à presença de filões de quartzo cataclástico transversais ao acidente principal e pela barreira hidrogeológica criada por filões de rocha básica (doleritos) alterados (LIMA, 2004).

Trabalhos mais recentes vieram apoiar o modelo proposto por LIMA (2004), particularmente no que respeita à área de recarga do sistema hidrotermal. A discussão que se segue é dedicada aos fundamentos da delimitação da área de recarga do sistema hidromineral do Gerês.

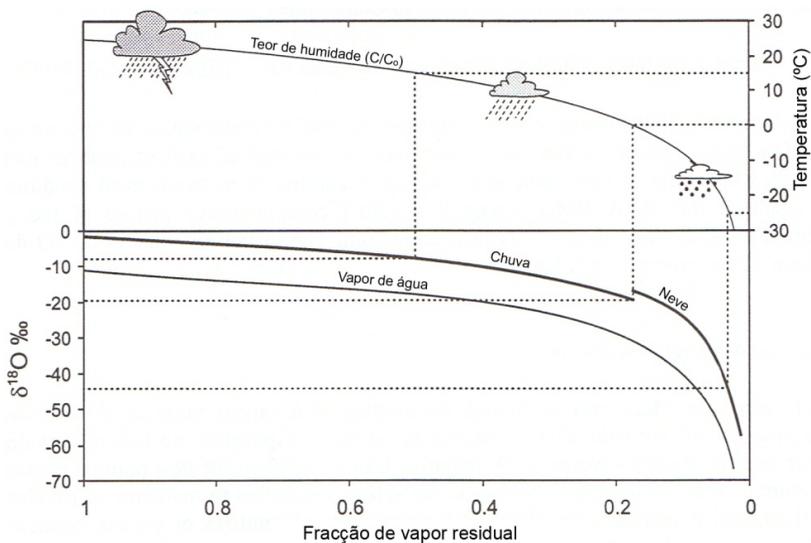
## **2. Fundamentos metodológicos**

Como se referiu anteriormente, a água termal do Gerês é de origem meteórica. Como tal, e tratando-se de uma água subterrânea, há a considerar um circuito, mais ou menos longo e extenso, da água no meio subterrâneo após infiltração das águas meteóricas, com origem na precipitação atmosférica. No ciclo hidrológico, os locais onde a água abandona o meio aéreo e passa para o meio subterrâneo, vindo a atingir os reservatórios de água subterrânea, constituem a chamada área de recarga.

Os isótopos estáveis que constituem a molécula de água têm uma das suas principais aplicações no estudo destas áreas, particularmente na estimativa das respectivas altitudes médias. Os fundamentos desta metodologia relacionam-se com o fenómeno de fraccionamento isotópico, designadamente através do efeito de altitude.

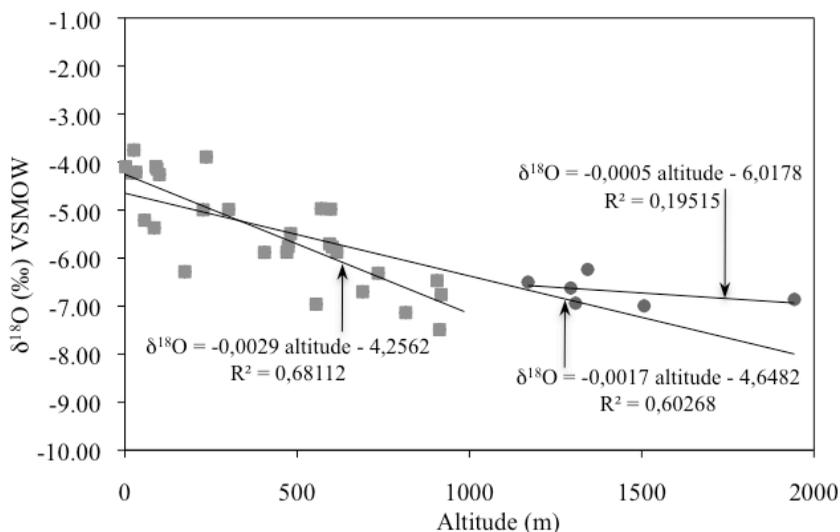
De um modo geral, o padrão de distribuição de  $\delta^{18}\text{O}$  e  $\delta^2\text{H}$  na precipitação reproduz a topografia. De facto, em regiões montanhosas, a diminuição da temperatura com a altitude promove a condensação do vapor de água, conduzindo à depleção de isótopos pesados na

precipitação, de acordo com gradientes que variam entre  $-0,15\text{‰}$  e  $-0,50\text{‰}/100\text{ m}$ , no caso do  $\delta^{18}\text{O}$ , e entre  $-1\text{‰}$  e  $-4\text{‰}/100\text{ m}$ , para o  $\delta^2\text{H}$  (CLARK e FRITZ, 1997). Considera-se que o efeito de altitude resulta de um processo contínuo de destilação de Rayleigh durante o esvaziamento do reservatório de vapor atmosférico (Figura 2), provocado pelo arrefecimento decorrente da expansão adiabática das massas de ar à medida que progridem em altitude, devido à diminuição da pressão. Durante este processo, tanto a água condensada (que dará origem à precipitação), como o vapor remanescente ficam progressivamente empobrecidos em isótopos pesados. Desta forma, à medida que as massas de ar húmidas se elevam na atmosfera ficam com menor quantidade de vapor de água, o qual, em processos de condensação subsequentes, dará origem a precipitações gradualmente mais “leves” (Figura 2).



**Figura 2** - Variação do teor de  $\delta^{18}\text{O}$  na precipitação de acordo com um modelo de destilação de Rayleigh, partindo de um teor inicial de  $\delta^{18}\text{O}_{\text{vapor}} = -11\text{‰}$ , à temperatura de  $25\text{ °C}$ . As linhas a tracejado estabelecem a ligação entre a composição isotópica da precipitação e as respectivas temperaturas de condensação. Adaptado de CLARK e FRITZ (1997).

Num estudo sobre a composição isotópica da precipitação no noroeste da Península Ibérica, OLIVEIRA e LIMA (2008) analisaram os principais factores que intervêm na variabilidade isotópica da precipitação regional, tendo determinado um gradiente isotópico altimétrico médio que se traduz por uma depleção de  $-0,17\%$  de  $\delta^{18}\text{O}$  por 100 m de incremento na elevação (Figura 3). Verifica-se, no entanto, que este valor médio é o resultado de duas situações distintas. Assim, para cotas inferiores a 1 000 m, o efeito de altitude expressa-se por um empobrecimento em isótopo pesado de  $-0,29\%$  de  $\delta^{18}\text{O}/100$  m. Pelo contrário, para altitudes superiores a 1 000 m, a composição isotópica da precipitação mostra-se praticamente independente da altitude (Figura 3), facto que poderá ser explicado pelas características peculiares do relevo das áreas mais elevadas, que poderão produzir trajetórias anómalas das massas de ar (LONGINELLI e SELMO, 2003).



**Figura 3** - Variação da composição isotópica da precipitação do noroeste da Península Ibérica em função da altitude dos locais de amostragem. Dados obtidos em OLIVEIRA e LIMA (2007).

### 3. Área de recarga

LIMA (2001) havia já sugerido que a área de recarga do sistema hidrotermal do Gerês ocorreria a uma altitude média de 1300 m. Altitudes idênticas e superiores a este valor são atingidas apenas na Serra do Gerês, no sector Este do vale de fractura onde corre o rio Gerês. Como tal, aquele autor considera que a recarga ocorre essencialmente nos planaltos culminantes da Serra do Gerês, sendo o escoamento veiculado por fracturas ENE-WSW (bastante frequentes) e conduzido à estrutura colectora que corresponde, provavelmente, à falha Gerês - Lobios. Uma vez nesta estrutura, a água segue o ramo SSW da falha, em direcção ao Gerês.

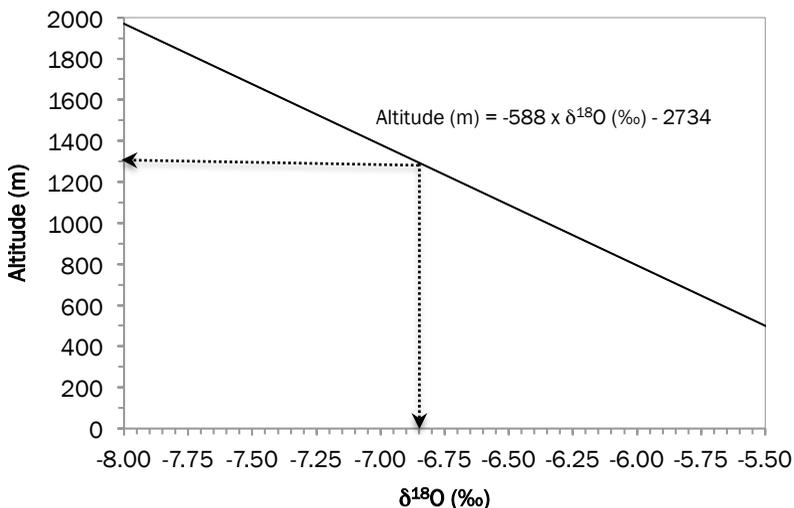
Segundo o mesmo autor, este modelo não exclui, por si, a possibilidade de infiltração directa a partir do escoamento superficial. Com efeito, a composição isotópica do rio Homem ( $\delta^{18}\text{O}=-7,26\%$ ), avaliada junto à Portela do Homem, é compatível com a da água termal do Gerês. O autor faz notar que a nascente do rio Homem se situa a cerca de 1500 metros de altitude, onde a precipitação local se mostra claramente empobrecida em isótopos pesados ( $\delta^{18}\text{O}=-6,98\%$ ).

Admitindo aquela possibilidade, o próprio rio Gerês, cuja nascente se situa na Portela de Leonte, deveria também contribuir para a recarga da emergência do Gerês. No entanto, as altitudes máximas desta bacia de drenagem (à volta de 1200 m) mostram-se insuficientes, por si, para justificar a composição isotópica das águas do Gerês. Todavia, a mistura destas águas com as do rio Homem, daria uma composição isotópica compatível com os registos isotópicos do Gerês (LIMA, 2001).

Considerando a equação que traduz o gradiente altimétrico médio ( $\delta^{18}\text{O}=-0,0017*\text{altitude}-4,65$ ) é possível efetuar uma estimativa da altitude média de recarga da água termal do Gerês. No entanto, é necessário conhecer a assinatura isotópica da água termal. Um estudo recente (PINHEIRO, 2011) mostrou que o teor isotópico desta água apresenta variações sazonais, tendo o autor obtido valores de  $\delta^{18}\text{O}$  a variarem entre  $-6,85\%$  e  $-6,43\%$ . Tratando-se de um fluido de mistura,

a estimativa da altitude média de recarga deverá ser efetuada com base no teor mais leve (-6,85‰).

Assim, com um teor isotópico de  $\delta^{18}\text{O} = -6,85\text{‰}$  VSMOW obtém-se uma altitude média de recarga de 1300 m (Figura 4), valor igual ao determinado por LIMA (2001). No entanto, este valor é muito superior ao estimado por PINHEIRO (2011), que propõe uma altitude máxima de recarga de, aproximadamente, 1000 m. Este autor utilizou um gradiente isotópico altimétrico determinado com base em teores isotópicos de águas subterrâneas, pelo que, como o próprio autor salienta, trata-se de uma estimativa por defeito. Em consequência, considera-se que a altitude média de recarga do sistema hidrotermal do Gerês deverá situar-se em torno dos 1300 m. Importa, contudo, sublinhar de que se trata de uma altitude média, ou seja, não estão excluídas as possibilidades de infiltração a cotas inferiores e superiores a 1300 m, onde os teores isotópicos das águas de infiltração são, respetivamente, superiores e inferiores ao teor isotópico da água termal.



**Figura 4** - Determinação gráfica da altitude média de recarga da água termal do Gerês, estimada com base no teor de  $\delta^{18}\text{O}$ .

A altitude máxima da Serra do Gerês é de cerca de 1500 m, na zona dos Carris. Como tal, não é de admitir a possibilidade das altitudes de recarga serem superiores a este valor. Do mesmo modo, são também de excluir prontamente altitudes de infiltração inferiores a 400 m, que é a cota das emergências termais do Gerês. Parece razoável considerar, portanto, que a área de recarga do sistema hidrotermal se situe acima dos 1100m, ou seja, o limite inferior do intervalo de 400 m imposto pelo diferencial de 200 m entre a altitude média (1300 m) e máxima (1500 m). Desta forma, a assinatura isotópica da água termal do Gerês, contrastada com os teores isotópicos das águas da precipitação regional, leva a admitir que a área de recarga do sistema se situe entre os 1100 m e os 1500 m de altitude. Tal faixa altimétrica não ocorre ao longo do Rio Gerês, já que a cota mais elevada é de 860 m na Portela de Leonte.

Em função do exposto, parece inevitável admitir que a área de recarga estará circunscrita às cabeceiras da bacia hidrográfica do Rio Homem, uma vez que é neste sector que se atingem as cotas antes referidas. Contudo, não é necessariamente este o caso, como veremos de seguida.

Neste tipo de ambiente hidrogeológico, a infiltração profunda faz-se necessariamente através da rede de fracturas, ou seja, a recarga ocorre na própria rede hidrográfica, cuja alimentação é assegurada pelo escoamento superficial direto e pelo escoamento de base, isto é, a porção subterrânea que contribui para o caudal total das linhas de água. Como tal, o teor isotópico da água superficial (sentido lato) deverá refletir-se na assinatura isotópica da água termal. PINHEIRO (2011) estudou a composição isotópica das águas superficiais e subterrâneas que ocorrem nas bacias hidrográficas do Rio Homem e do Rio Gerês. Os resultados são apresentados na Tabela 1. As amostras foram colhidas nos dias 6 e 7 de Abril de 2010, pelo que os resultados analíticos consubstanciam uma situação limitada no tempo, podendo não representar a composição média das águas destas bacias hidrográficas. No entanto, não deixa de se assinalar a semelhança entre os teores isotópicos da água do Rio Homem (junto à Portela do Homem) referidos por LIMA (2001) e os obtidos por PINHEIRO (2011).

**Tabela 1** – Composição isotópica de águas superficiais e subterrâneas das bacias hidrográficas dos rios Homem e Gerês. Dados obtidos em PINHEIRO (2011).

Bacia hidrográfica	Amostra	Tipo	$\delta^{18}\text{O}$ (‰ VSMOW)	Média
Rio Homem	RH1	Subterrânea	-7,51	<b>-7,37</b>
	RH2	Superficial	-7,64	
	RH3	Superficial	-7,26	
	RH4	Superficial	-7,64	
	RH5	Superficial	-7,64	
	RH6	Superficial	-7,64	
	RH7	Superficial	-7,24	
	RH8	Subterrânea	-7,04	
	RH9	Subterrânea	-6,79	
	RH10	Superficial	-7,32	
Rio Gerês	RG11	Subterrânea	-5,75	<b>-6,23</b>
	RG12	Superficial	-6,20	
	RG13	Subterrânea	-6,51	
	RG14	Superficial	-6,37	
	RG15	Superficial	-6,33	
	RG16	Subterrânea	-6,21	
	RG17	Superficial	-6,26	

Analisando os dados expressos na Tabela 1, verifica-se que, sem exceção, as águas do Rio Homem apresentam teores isotópicos mais leves que as águas do Rio Gerês. De facto, o valor mais elevado obtido no Rio Homem (-6,79‰) é inferior ao teor mais baixo (-6,51‰) registado no Rio Gerês. Do mesmo modo, o teor médio das águas do Rio

Homem (-7,37‰) é significativamente inferior ao teor médio das amostras colhidas no Rio Gerês (-6,23‰).

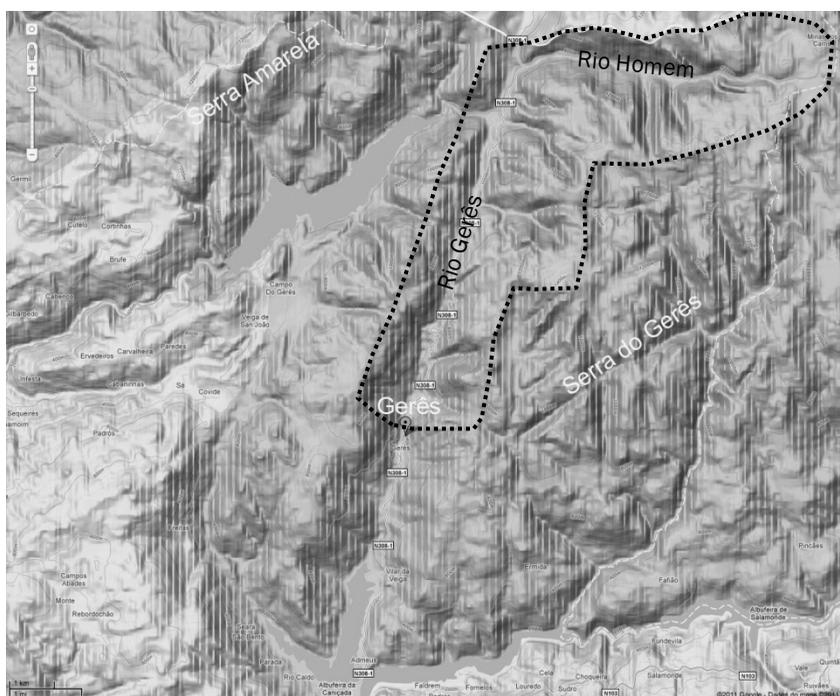
Em função do exposto, conclui-se que a área de recarga do sistema hidrotermal do Gerês não pode circunscrever-se à bacia do Rio Gerês, como se poderia admitir pelo enquadramento estrutural da emergência. De facto, o acidente Gerês – Lobios parece ter um papel fundamental na circulação da água termal do Gerês, mas o âmbito do sistema hidrotermal é seguramente mais vasto.

Por outro lado, a área da bacia hidrográfica do Rio Homem, a montante da Portela do Homem, também não pode, por si, justificar os teores isotópicos da água termal, que se mostra enriquecida em isótopo pesado (-6,85‰) relativamente à média das águas superficiais (-7,37‰).

Excluídas as duas possibilidades, resta admitir que ambas as bacias hidrográficas contribuem para a recarga do sistema hidrotermal. Com efeito, o teor isotópico médio das águas das duas bacias, determinado com base na média isotópica de cada uma das bacias, é de -6,80‰. Este valor é praticamente igual ao teor isotópico mais leve da água termal do Gerês (-6,85‰), o que vem reforçar a hipótese antes colocada.

Desta forma, admite-se que a recarga do sistema hidrotermal do Gerês se faz, essencialmente, através de dois grandes acidentes estruturais: a falha WNW-ESE a E-W, onde se instalou a porção inicial do Rio Homem, e o ramo SW da falha de Gerês-Lobios, por onde corre o Rio Gerês (Figura 1). Como tal, a área de recarga do sistema deverá corresponder à área das bacias hidrográficas do Rio Homem e do Rio Gerês, a montante da Portela do Homem, no primeiro caso, e a montante da emergência termal, no segundo. A Figura 5 mostra a configuração da área de recarga, delimitada com base em critérios isotópicos, geomorfológicos e estruturais. De salientar que tal área poderá ser mais vasta, se admitirmos que a fracturação do maciço granítico da Serra do Gerês fora dos limites da área está em conexão com as fracturas no interior da área, nomeadamente as do Rio Homem e do Rio Gerês.

Finalmente, importa referir que as ilações aduzidas com base na composição isotópica da água termal são apenas válidas se as condições ambientais do passado tiverem sido idênticas às atuais. Com efeito, como se referiu oportunamente, a temperatura é o principal factor envolvido no fraccionamento isotópico. Como tal, os teores isotópicos da precipitação do passado poderão ser distintos dos atuais, se as condições climáticas, particularmente a temperatura, tiverem sido também diferentes.



**Figura 5** - Área de recarga do sistema hidrotermal do Gerês (polígono pontado).

Assim, é necessário determinar a idade da água termal, para verificar as condições climáticas da altura em que a água se infiltrou.

Com efeito, o tempo de permanência destas águas no meio subterrâneo pode ser da ordem dos milhares de anos, como sugere LIMA (2010). Nessa altura, as condições climáticas eram distintas das atuais, pelo que os teores isotópicos das águas meteóricas regionais eram também diferentes. No entanto, em estudo relativo a várias águas termais da região NW de Portugal continental, LIMA (2001) enfatiza a coincidência entre as assinaturas isotópicas dessas águas e os teores isotópicos da precipitação das áreas envolventes, incluindo a água termal do Gerês.

#### **4. Conclusões**

A ocorrência hidromineral do Gerês está, pelo em menos em parte, associada a um grande acidente estrutural de orientação N17°E, que se estende desde Lugo (Espanha) até Vila da Feira (Portugal). O modelo conceptual desta ocorrência pressupõe que o fluido termal é de origem meteórica, sendo a infiltração profunda assegurada por fracturas de extensão regional que recortam o maciço granítico da Serra do Gerês.

Com base no gradiente isotópico altimétrico regional, estima-se que a altitude média de recarga do sistema hidrotermal é de 1300 m, admitindo-se que as áreas situadas a altitudes superiores a 1100 m podem estar envolvidas na recarga do sistema. Estas áreas localizam-se predominantemente no sector Este da vale de fractura associado do acidente Gerês – Lobios. No entanto, as assinaturas isotópicas de águas superficiais e subterrâneas de áreas situadas a cotas inferiores sugerem que a área de recarga é de âmbito mais alargado, incluindo o vale de fractura do Rio Gerês.

Assim, com base em critérios de natureza isotópica, geomorfológica e estrutural, admite-se que a área de recarga do sistema hidrotermal está circunscrita às bacias hidrográficas do Rio Homem e do Rio Gerês. A precipitação nesta área acaba por, direta ou indiretamente, convergir para duas fracturas principais: a falha WNW-ESE a E-W, onde se instalou o Rio Homem, e a falha NNE-SSW, por onde corre o Rio Gerês. É ao

longo destas rupturas profundas que as águas meteóricas atingem profundidades, eventualmente, de ordem quilométrica, aquecendo e adquirindo mineralizações relativamente elevadas no contexto regional. Em condições hidráulicas favoráveis, dá-se a ascensão do fluido profundo, o qual, no seu percurso ascendente, se mistura com águas de circulação mais superficial, originando um fluido diluído com as especificidades composicionais que caracterizam a água termal da ocorrência hidromineral do Gerês.

## Referências

- CLARK, I.; FRITZ, P. (1997) – *Environmental Isotopes in Hydrogeology*. Lewis Publishers, New York, 328 p.
- LIMA, A. S. (2001) – *Hidrogeologia de Terrenos Graníticos (Minho – Portugal)*. Tese de doutoramento, Universidade do Minho, Braga, 451 p.
- LIMA, A. S. (2004) – Thermal Hydrosystem of Gerês Spa (Northwestern Portugal): Proposal of a Conceptual Model. *US EPA/NGWA Fractured Rock Conference: State of the Science and Measuring Success in Remediation*. Publicação digital.
- LIMA, A. S. (2010) – *Composição e Origem das Águas Minerais Naturais: Exemplo de Caldas da Saúde*. Almedina, Coimbra, 246 p.
- LONGINELLI, .; SELMO, E. (2003) - Isotopic Composition of Precipitation in Italy; a First Overall Map. *Journal of Hydrology*, 270: 75-88.
- OLIVEIRA, A. C.; LIMA, A. S. (2007) - *Mineral waters of northwestern of the Iberian Peninsula: estimation of the mean altitude of recharge areas based on isotopic data*. Actas do “XXXV IAH Congress: Groundwater and Ecosystems”; Lisboa, 17-21 de Setembro de 2007, 8 p, publicação em CD-ROM.
- OLIVEIRA, A. C.; LIMA, A. S. (2008) – Spatial Variability in the Stable Isotopes of Modern Precipitation in the Northwest of Ibéria. *Final Programme & Abstract Book of the Joint European Stable Isotope User Meeting: Advances in the Use of Stable Isotopes*: 222.
- PINHEIRO, A. (2011) – *Ocorrências Hidrominerais Associadas ao Acidente Gerês – Lobios: Conceptualização do Funcionamento Hidrogeológico do Sistema Hidrotermal*. Tese de mestrado, Universidade do Minho, Braga, 107 p.