

MARTIM PORTUGAL V. FERREIRA
Coordenação

A Geologia de Engenharia e os Recursos Geológicos

VOL. 2 • RECURSOS GEOLÓGICOS E FORMAÇÃO



Coimbra • Imprensa da Universidade

TERMAS DE CHAVES: I – AS BASES TECTÓNICAS E LITOESTRATIGRÁFICAS PARA A MODELAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DO SISTEMA HIDROTÉRMAL

M. PORTUGAL FERREIRA ¹, A. SOUSA OLIVEIRA ² e A. N. TROTA ³

PALAVRAS-CHAVE: águas minerais, geotermia, aquíferos, recarga, descarga, célula hidrotermal, tectónica.

KEY WORDS: mineral waters, geothermics, aquifers, recharge, discharge, hydrothermal cell, tectonics.

RESUMO

Na Província Hidromineral das águas bicarbonatadas sódicas e gasocarbónicas, com expressão na zona geotectónica da Galiza-Trás-os-Montes, as termas de Chaves apresentam alguns valores máximos – caudal, temperatura, flúor, sílica – dentro do conjunto das dezenas de pólos com exsurgências, 18 deles em Portugal. A dependência da neotectónica tem boa expressão no *graben* de Chaves, que ocupa 30 km², e configura um alvéolo rectangular, densamente falhado, com afundimento mínimo de 250 m desde o Miocénico. As exsurgências ficam tendencialmente sobre o lado oeste deste e de outros *grabens* afins; quaisquer exsurgências centrais só se podem expressar por anomalias hidroquímicas e geotérmicas; o bordo leste, com tectónica recente, não apresenta exsurgências. Salienta-se as descargas efectivas e indiciadas ao longo de 5 km sobre a margem oeste de uma “célula de subsidência” alongada segundo NNE-SSW; o vértice sudoeste, no Tabolado de Chaves, com a pluma de maior descarga, fica em “nó tectónico” de intersecção de falhas NNE, ENE, NW e NNW. Um cenário estrutural deste estilo pode ser estendido para outros

¹ Centro de Geociências – Dep. Ciências da Terra, FCTUC, 3000-272 Coimbra.

² Departamento Geologia – UTAD – Apartado 1013, 5000-911, Vila Real.

³ Departamento Geologia – Univ. Açores – Ponta Delgada, S. Miguel.

pólos. Na base litogeoquímica que sustenta a hidroquímica deste sistema discriminam-se como corpos aflorantes ou previstos para o soco do *graben* a) 5 unidades metassedimentares do Silúrico, com realce para os quartzitos e xistos carbonosos, b) granitóides hercínicos. Nestas unidades a) e b) há associações mineralógicas que podem ser envolvidas em reacções água-rocha para libertar os componentes de água mineral. Na cobertura sedimentar alternam corpos lenticulares, desde os argilosos até aos cascalhentos, que marcam o desmantelamento das montanhas e diversos regimes e ambientes de erosão – transporte – deposição e de climas no Cenozóico superior. Esta cobertura terrígena dá a garantia de um aquífero sobreposto com reservas na ordem de $400 \times 10^6 \text{ m}^3$, bastantes para uma recarga sustentada durante centenas de anos.

ABSTRACT: The Chaves spa: I – Tectonic and lithostratigraphic framework for the physical and chemical modelling of the hydrothermal system

The hydromineral province with sodium bicarbonated and CO_2 rich waters shaped on the geotectonic zone of Galicia-Trás-os-Montes is expressed in douzains of sites, 18 of them in Portugal. There, the Chaves spa stands for its maxima on discharge rates, temperatures, fluor and silica. Its clear dependence on Neotectonics is expressed by the associated graben, which is dimensioned of 30 km^2 , shaped as a rectangular alveolus that subsided a minimum of 250 m since the lower Miocene. The exsurgencies prefer the western margin of this one and also of similarly associated grabens. Any other central exsurgencies on the floor of the graben would be limited to be shown as hydrochemical or geothermal anomalies. The eastern border of the graben, with its recently shaped scarp, does not show any hydrothermal exsurgency.

It is to be remarked that the effective, the historical and the prospective discharge spots extend along a belt of 5 km over the western margin of a NNE elongated subsidence cell, whose SW vertex, on the Tabolado of Chaves, holds the major discharge plume. To this vertex converge discrete tectonic faults trending NNE, ENE, NW, NNW.

278

As for the lithogeochemistry that is considered to support the hydrochemical system are here reported, both in cropping massifs and in the telescoped bedrock of the graben a) five Silurian metasedimentary units, comprehending significant quartzites and carbonaceous slates and b) hercynian granitoids. The mineralogical assemblages found in a) and b) are adequate for the water-rock reactions that should be considered to free the chemical species dissolved in the mineral waters.

As for the Ceno-Anthropozoic cover, its lenticular bodies of terrigenous sediments, from clays to gravels, are envisaged for their origin, tectonic markers,

and aquifer capabilities. The volume of the graben terrigenous aquifer is apt to function as a reservoir with 400×10^6 m³ of water. This could sustain a recharge lasting for some centuries.

No fim do programa percorrido no balneário termal, o curista repousa e tranquilamente absorve emanções mal percebidas. Nessas emanções pode estar o registo da origem e a alma da água. Nos emanatórios termais reconstitui-se, com diversas variações gasosas, ou pneumatolíticas, a cela das profecias do templo do santuário de Delfos, que agora se reconhece estar justamente no sítio em que chega à superfície a pluma de intersecção de duas falhas tectónicas activas (as de Delfos e de Kerna). Nessa cela, quedava-se em recolhimento uma donzela virtuosa que depois de inalar o suave perfume dos gases envolventes, o pneuma descrito por Estrabão, entrava em transe. Só então a inspirada Pitonisa transmitia sabedoria e as profecias do oráculo de Delfos. Sabemos agora que ao longo dessa pluma tectónica ascendem quantidades vestigiais de acetileno-etano e de metano, vaporizados dos calcários betuminosos subjacentes ao templo; em doses mínimas, estes hidrocarbonetos que se libertam da água ascendente do aquífero induzem o transe. A inspiração fazia-se na justa medida, pois que em overdoses chegava a induzir loucura e até mesmo provocar a morte. A virtude mágica da água parece estar na composição das rochas por onde ela passa e nas estruturas tectónicas que a conduzem. Cada balneário deverá cuidar da atmosfera do seu emanatório. (Adap.: BOER, J. Z.; HALE, J. R. & CHANTON, J. 2001. New evidence for the geological origins of the ancient Delphic oracle (Greece). *Geology*. Geological Society of América, V. 29, nº 8:707-710.)

1. INTRODUÇÃO

O pólo de Chaves pode ser encarado como uma manifestação discreta de um dos sistemas hidrominerais característicos da Província hidromineral das águas bicarbonatadas sódicas, gasocarbónicas (PORTUGAL FERREIRA & SOUSA OLIVEIRA, 1996) que é correlativa com os terrenos do clássico domínio geotectónico Peritransmontano da Zona da Galiza Trás-os-Montes (fig. 1). Nestas águas minerais destacam-se as espécies iónicas sódio (por vezes também cálcio) e bicarbonato, os valores elevados em TDS, CO₂ livre e SiO₂, e pH relativamente ácido, cuja origem encontra suporte nos elementos de natureza litoestrutural e geotectónica enquadrantes.

No sector português discretizam-se as águas de Melgaço, Vilarelho da Raia, Chaves, grupo de Vidago, grupo de Pedras Salgadas, Sandim, Segirei e Bem-Saúde.

O sistema hidromineral de Chaves é condicionado pela convergência de: a) Zona de Falha de Penacova-Régua-Verin, megaestrutura com orientação NNE-SSW, onde se verifica a existência de hidrotermalismo activo numa extensão com cerca

de 200 km, desde S. Pedro do Sul até Tui (Espanha), que se pode associar a uma tectónica de fracturação sismicamente activa até profundidades que podem exceder os 5 km, b) falha-cavalgamento Chaves-Faiões, com rumo ENE, c) falha-cavalgamento do Caneiro, com rumo NW. As águas termominerais de Chaves exsurgem ($Q > 15 \text{ l/s}$) em falhas marginais localizadas no bordo oeste do *graben* ($10 \times 3 \text{ km}^2$) através de “canais” discretos, ou plumas, que estão mais densamente fracturados devido a fracturas transversas. Em Chaves, apresentam acrescida favorabilidade hidráulica de onde resulta temperaturas de emergência da ordem dos $73 \text{ }^\circ\text{C}$, única registada ao longo da megaestrutura e na província hidromineral referidos, sendo que de todas as outras gasocarbónicas associadas apresentam temperaturas de emergência inferior a $20 \text{ }^\circ\text{C}$ (Vilarelho da Raia, grupo de Vidago e grupo de Pedras Salgadas). A recarga é assegurada através de fracturas profundas e sustentada principalmente pelo aquífero poroso sobreposto, caracterizado por depósitos sedimentares cenozóicos a recentes, de enchimento do *graben*. O contexto de evolução climática e a interpretação de dados de natureza química de elementos maiores e isotópicos e de hidrogeologia física e estrutural permitem especular tempos de residência da ordem dos 10 000 anos (SOUSA OLIVEIRA, 2001).

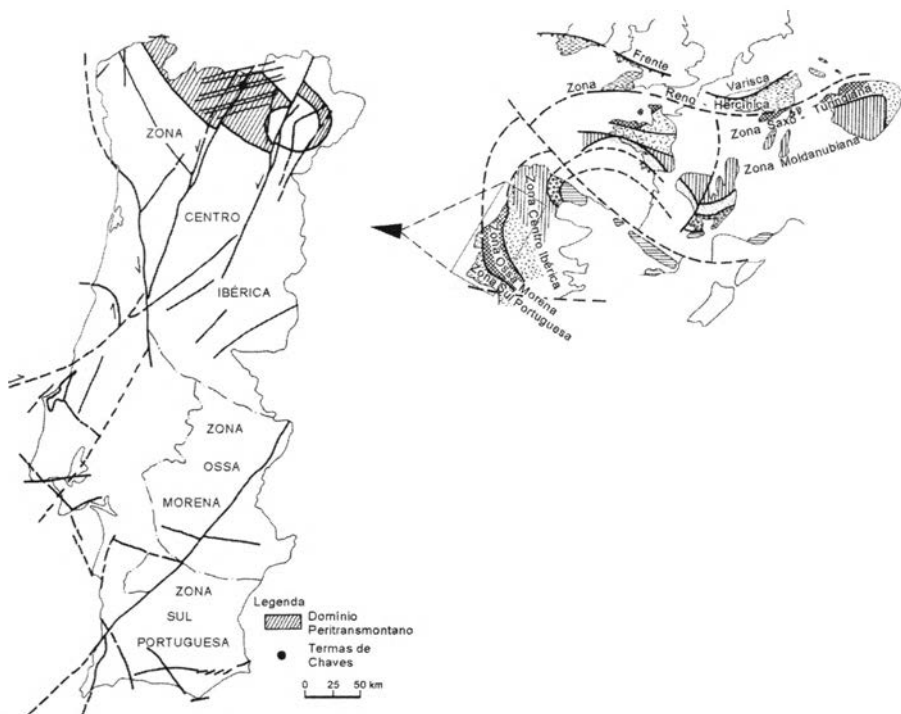


Fig. 1 – A zona geotectónica Galiza Trás-os-Montes no quadro hercínico da Europa.

Dado que a compreensão das propriedades físico-químicas da água mineral, da tipologia do sistema hidromineral e da exploração sustentada deste recurso assenta nas características líticas e estruturais do domínio, faz-se aqui uma inserção dentro desta perspectiva, que até hoje não foi percorrida. Ficam expressas as bases para os trabalhos de âmbito hidrogeológico mais específico.

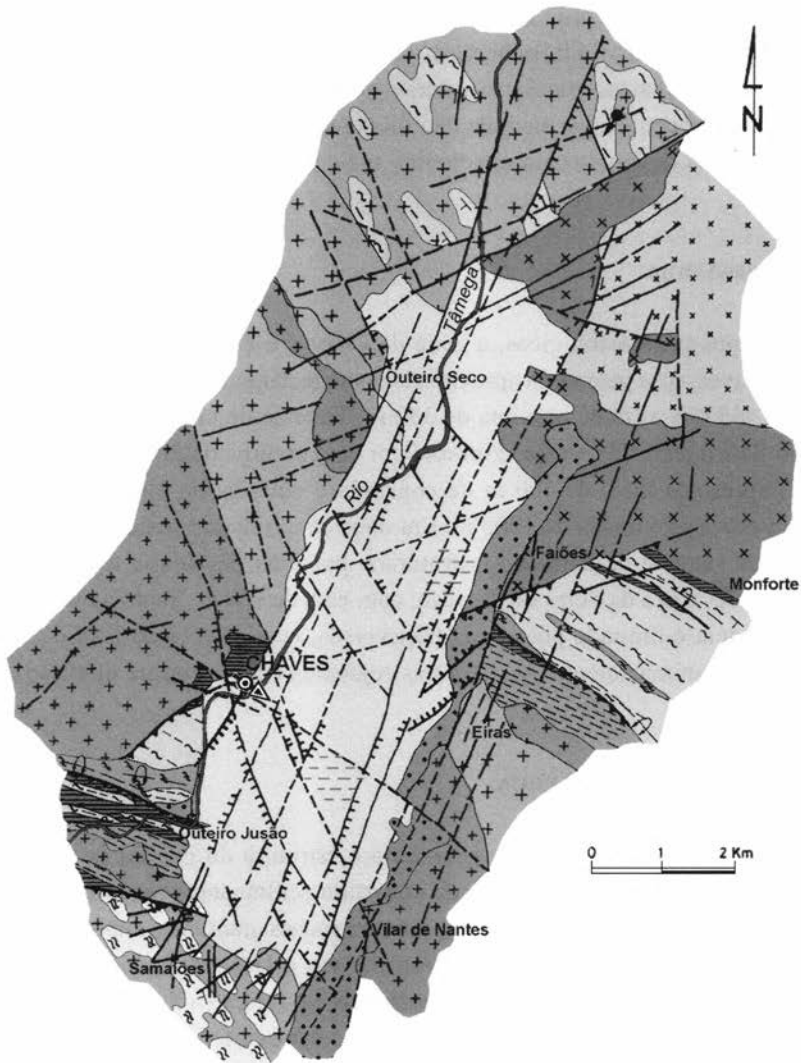
2. GEOMORFOLOGIA

Em termos geomorfológicos, a zona de Chaves é dominada pela designada Bacia de Chaves, com geometria aproximadamente rectangular: 10 km×3 km, orientação NNE-SSW e altitude próxima de 350 m. Trata-se de uma bacia assimétrica em que o flanco leste do *graben*, expresso por uma escarpa de falha relativamente “fresca”, apresenta mais de 400 m de comando e culmina no cimo da Serra da Padrela, à cota aproximada de 1000 m. Em oposição, o flanco oeste apresenta um declive mais suave e descontínuo, estruturado por uma “escadaria tectónica” no sentido das elevações da Serra do Barroso, com cota de 900 m. Tanto a norte como a sul, esta bacia é limitada por *horsts* transversos, cuja orientação ENE-WSW é condicionada tectonicamente por fracturas regionais com a mesma direcção.

3. CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA

No sentido de compreender a geometria e estrutura do *graben* de Chaves é necessário conjugar: 1) os depósitos de cobertura sedimentar cenozóicos com 2) o soco de natureza cristalina. Este é composto por rochas granitóides, nomeadamente granitos alcalinos hercínicos, tardi-tectónicos em relação a F_3 e granodioritos calcoalcalinos, também hercínicos, pós-tectónicos em relação a F_3 , ambos intruídos nas cinco formações metassedimentares silúricas cartografadas na região (fig. 2). As fracturas que estruturam o *graben* e que controlam os circuitos hidrominerais manifestam-se nos dois domínios líticos referidos (depósitos de cobertura e soco) embora com funcionamentos diferentes.

Os trabalhos de campo e de fotointerpretação, desenvolvidos às escalas 1:10 000 e 1:2 000, permitiram caracterizar as principais unidades cristalinas, enquanto que a interpretação de *logs* de sondagens executadas nos depósitos de cobertura sedimentar esclarece a composição-estrutura dos depósitos sobrepostos.



Legenda:

Ceno-Antropozóico

- a) fluviais, lacustres e flúvio-glaciares
 b) vertente

Silúrico

- Lagoas - século XVIII
 Quartzofilitos superiores de Chaves
 Quartzitos de Outeiro Jusão
 Quartzofilitos intermédios de Granginha
 Xistos carbonosos de S. Julião de Montenegro
 Complexo de micaxistos inferiores, blastomilonitos e migmatitos de Samaiões

Hercínico

- Granitos de Faiões \ Monforte
 Granitos de Chaves \ Outeiro Seco

Sinais convencionais

- Falha (observada / provável)
 Carreamento (observado / provável)
 Dobra vergente (sinclinal / anticlinal)
 Falha normal (observada / provável)
 Emergência hidromineral
 Xistossidade

Fig. 2a – Carta geológica simplificada da região de Chaves.

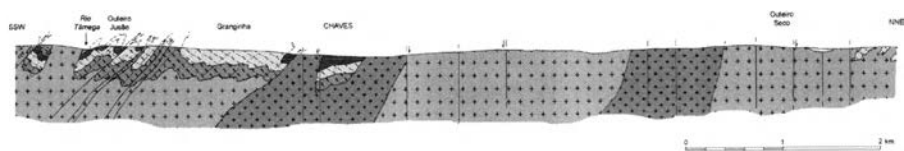


Fig. 2b – Corte geológico simplificado (NNE-SSW) entre Outeiro Jusão e Outeiro Seco; legenda conforme fig. 2a.

3.1. UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS HERCÍNICAS

UNIDADES METASSEDIMENTARES SILÚRICAS

As unidades metassedimentares silúricas afloram nos sectores leste e sudoeste-sul da bacia de Chaves. No primeiro caso, são intruídas por granitos alcalinos, sin-tectónicos, a sul e por granodioritos calcoalcalinos, pós-tectónicos, a norte; no segundo caso, são intruídos pelos granodioritos referidos. A sequência estratigráfica que aqui se propõe compreende, de cima para baixo, as formações seguintes:

- Quartzofilitos superiores de Chaves;
- Quartzitos de Outeiro Jusão;
- Quartzofilitos intermédios de Granjinha;
- Xistos carbonosos de S. Julião de Montenegro;
- Complexo de micaxistos inferiores, blastomilonitos e migmatitos de Samaiões, cujas características gerais se sintetizam seguidamente.

Deixa-se uma referência para salientar a importância da litogeoquímica das 3 Unidades intermédias na assinatura hidroquímica das águas minerais.

– Quartzofilitos superiores de Chaves – Esta unidade encontra-se bem representada no sector sul-sudoeste dos domínios metassedimentares. Nestes filitos predomina a clivagem de plano axial da segunda fase de dobramento hercínico (F2). São compostos principalmente por quartzo (>55 %) moscovite e biotite; turmalina ocorre frequentemente, relacionando-se com metassomatismo tardio associado a F₃; andaluzite é mineral secundário; podem apresentar cordierite; é frequente aparecer a grafite em fragmentos minúsculos, a qual é a favorável à interpretação de uma sequência sedimentar com componente carbonosa. Esta grafite e protografite é uma fonte possível para o C da água mineral.

– Quartzitos de Outeiro Jusão – Esta unidade é constituída por quartzitos ligeiramente micáceos que apresentam a espessura total na ordem dos 30 m. São pobres em estruturas internas; no entanto, podem ser observadas algumas

estratificações graduadas e também “*gallet mous*”. Devido à variação lateral de fácies, podem ocorrer lenticulas quartzofílicas intercaladas e até com predominio sobre os níveis quartzíticos. A posição desta formação marca uma barreira morfológica que condiciona a geometria do rio Tâmega fazendo-o sair do *graben*, com rumo a oeste. A oeste (e também a leste) da Veiga de Chaves esta formação contacta directamente com os Xistos Carbonosos, o que é explicável por cavalgamento dos quartzitos sobre estes xistos. Os Quartzitos de Outeiro Jusão podem ser interpretados como sendo o flanco normal de um sinclínio de F_1 vergente para NE. Estes quartzitos são cavalgados, a sul, pelo Complexo de micaxistos inferiores, blastomilonitos e migmatitos de Samaiões. Nestes quartzitos há a presença frequente, de grânulos de grafite, alguns fragmentos arredondados de zircão e escamas de biotite e moscovite. Esta formação encontra-se também presente na cidade de Chaves; aqui está mais deformada e tem turmalina mais frequente. Estes quartzitos que são correlativos com os de Outeiro Jusão, são os flancos de um largo anticlinal deitado. No compartimento a leste da Veiga de Chaves, ocorrem em duas faixas estreitas afastadas de 0,5 km. O facto destes quartzitos se cartografarem nos bordos leste e oeste do *graben* sugere a existência de um desligamento esquerdo a afectar o soco cristalino.

– Quartzofilitos intermédios de Granjinha – Esta formação é constituída principalmente por quartzofilitos moscovítico-biotíticos com clara recristalização; expressa-se numa auréola de metamorfismo termal induzido pela implantação dos granitos. Andaluzite + biotite + moscovite constitui normalmente a associação metamórfica sobreposta à paragénese inicial de quartzo + micas + grafite. Nesta formação, a foliação desenvolvida depois do contacto metamórfico é bem marcada. Em alguns níveis, regista-se a existência de granada em quantidade significativa. A estratificação é quase totalmente mascarada pela clivagem de fluxo S_1 ou xistosidade S_2 , e a relação geométrica entre estas constitui um indicador precioso para a reconstrução do dobramento e dos contactos com os quartzitos. Os quartzofilitos do bloco oeste manifestam apenas a associação mineralógica biotite + moscovite + turmalina. A espessura desta formação é da ordem de 250 ± 50 m, mas a espessura aparente e cartográfica pode ser superior a 1 km.

– Xistos carbonosos de S. Julião de Montenegro – Esta formação ocorre 1,5 km a SSW das Termas de Chaves e também a cerca de 1 km a sul de Faiões. A partir deste último local estes xistos prolongam-se até S. Julião de Montenegro através de uma faixa com direcção NW-SE. Nas camadas espessas de xistos carbonosos intercalam-se leitos de lilitos, com espessura inferior a 1m, e mais frequentemente lenticulas de filitos micáceos. Estes xistos carbonosos são constituídos por quartzo (> 90 %), grafite e ainda por minúsculas escamas de biotite e moscovite. Nesta formação registam-se frequentemente pequenos cavalgamentos

internos; nos limites externos expressam-se cavalgamentos de média dimensão – é o que acontece no limite sul da mancha metassedimentar oeste. Esta formação, com espessura total cerca de 200 ± 50 m, representa um excelente guia estratigráfico dentro do Grupo Peritransmontano.

– Complexo de micaxistos inferiores, blastomilonitos e migmatitos de Samaiões
– Esta unidade compreende um complexo de rochas metamórfico-migmatíticas, muito tectonizadas, que afloram a sul de Outeiro Jusão-Samaiões. Este complexo heterogéneo de rochas metamórficas e migmatitos, cujo “leucossoma” é filiado no granito de Outeiro Seco, inclui lentículas discretas de quartzitos e líditos.

O significado da intensa deformação regional manifestado nos retalhos aflorantes é interpretado pelo facto de constituir a base do Grupo Peritransmontano a qual se intensificou durante a fase F_3 da Orogenia Hercínica e com a intrusão dos granitos sin-tectónicos.

Esta Unidade do soco é especialmente permeável para a infiltração profunda.

ROCHAS GRANITÓIDES HERCÍNICAS

O conjunto das rochas granitóides aflorantes na região de Chaves pode conjugar-se em dois grupos principais:

- Pós-tectónico, de tendência granodiorítica calco-alcálico
- Tardi-tectónico, com filiação alcalina

- Granitos pós-tectónicos, de tendência granodiorítica calco-alcálica

– Granito de Faiões – Este granito aflora principalmente no sector a norte de Faiões-Monforte. Trata-se de um granito de grão grosseiro, isotrópico, porfiróide, biotítico e calco-alcálico. A não evidência de foliações ou lineações primárias ou secundárias aponta para um granito pós-tectónico. Os megacristais de microclina micropertítica, com dimensão centimétrica, tem filiação magmática. A diferenciação granítica termina com o discreto e significativo desenvolvimento de diques aplíticos, e de raros pegmatitos. A norte de Faiões, são observáveis frequentes “granitos vermelhos”, por vezes com evolução para episienitos, em zonas de fracturas (principalmente NNE-SSW) extensas, com largura significativa que pode passar a dezena de metros. SOUSA OLIVEIRA (2001) refere a ocorrência frequente destes litotipos na região de Vidago e de Pedras Salgadas, segundo um padrão estrutural idêntico ao de Chaves. Este associa a sua origem e evolução num quadro de fenómenos de interacção água/rocha capaz de explicar a origem das águas minerais existentes na região. A NE de Faiões destaca-se ainda a intensa argilização deste granito, particularmente junto a fracturas extensas com direcção NNE-SSW.

– Granito de Monforte – Na região cartografada, o Granito de Monforte aflora no bordo leste do *graben* de Chaves, a leste de Outeiro Seco, e é marginado pelo Granito de Faiões através de contactos regulares. Em comparação com o Granito de Faiões é caracterizado por: 1) cristais de quartzo com dimensão significativa (1 a 6 mm); 2) granulidade média, não homogénea; 3) megacristais de feldspato potássico com hábito igual ao do Granito de Faiões, mas claramente mais pequenos (< 1,5 cm); 4) quantidade de moscovite ligeiramente maior; 5) microclina não pertítica. O granito de Monforte é interpretado como representando a fácies interna do plutão pós-tectónico de Faiões-Monforte.

- Granitos tardi-tectónicos, com filiação alcalina

– Granito de Chaves – Estes granitos afloram no compartimento oeste do *graben*, em Chaves e em toda a sua região oeste e ainda a SW de Outeiro Seco segundo uma faixa com direcção aproximada NW-SE. No bordo leste de *graben* ocorre na zona de Vilar de Nantes e a leste de Eiras. O Granito de Chaves é de natureza alcalina, tardi-tectónico, relativamente a F_3 (310 MA), apresenta uma textura com granulometria média a fina e características cataclásticas frequentes. A microclina é escassa e manifesta-se em pequenos fenocristais, a moscovite e a biotite perfazem 10 %-15 %, e denota uma textura orientada segundo $N30^\circ W$, correspondente a uma foliação tectónica subvertical que é enfatizada pelas micas e pelos fenocristais. A textura caracteriza-se ainda pela elevada homogeneidade. Os xenólitos nos afloramentos são muito escassos e de reduzidas dimensões. A fácies externa deste granito, particularmente no contacto com a formação dos micaxistos inferiores, apresenta-se extremamente alterada com o feldspato parcialmente argilizado e a biotite a alterar-se para mica branca. Esta alteração de natureza hidrotermal pode ser induzida por águas minerais quentes. Com efeito, o contacto segue aproximadamente a tendência das fracturas profundas com circulação hidráulica.

– Granito de Outeiro Seco – Estes granitos afloram com particular destaque no bordo oeste do *graben*, a norte de Chaves, também no compartimento leste, junto à localidade de Eiras, e no sector, na zona de Samaiões. Este granito apresenta características idênticas e a mesma filiação magmática que o Granito de Chaves. No entanto, pode ser distinguido pelos seguintes elementos: 1) textura com granulometria ligeiramente mais grosseira; 2) anisotropia mais acentuada e melhor definida; 3) notáveis quantidades de minerais radioactivos inclusos na biotite e apatite; 4) nítida foliação interna $N30^\circ W$. O contacto com o Granito de Chaves segue aproximadamente o andamento da foliação. A ocorrência de xenólitos de micaxistos torna-se mais significativa para norte.

- Filões e massas

Do cortejo filoniano aflorante na região de Chaves sublinha-se a débil representatividade de rochas básicas. Estas limitam-se a segmentos discretos e são principalmente lamprófiros do tipo spessartito-kersantito que se associam a episódios alpinos muito precoces. Estes filões enquadram-se em fracturas profundas com direcção ENE-WSW (PORTUGAL FERREIRA (1965); SOUSA OLIVEIRA (2001)), típicas da região transmontana. Uma importante fractura desta família atravessa a cidade de Chaves.

Os filões de quartzo são os mais frequentes e agrupam-se segundo as principais direcções de fracturação; de acordo com estas direcções destacam-se as seguintes famílias filonianas: 1) N70°E, extremamente importante, em particular quando intersectam filões com outras direcções; 2) N5°E-10°E, mais significativa no bordo leste do *graben*, onde podem atingir espessuras da ordem métrica; 3) N30°E, são particularmente importantes na vizinhança das emergências hidrominerais de Chaves e de Vilarelho da Raia. No sector leste, alguns filões de quartzo com direcção N70°E apresentam sulfuretos. Os filões aplíticos são relativamente raros. As zonas episientizadas derivadas de granitos, com particular incidência em sectores fracturados com direcção NNE-SSW, estão bem expressos a norte de Faiões.

3.2. UNIDADES CENO-ANTROPOZÓICAS – COLUNA LITOESTRATIGRÁFICA DOS DEPÓSITOS SEDIMENTARES DE ENCHIMENTO DO *GRABEN* DE CHAVES

Os sedimentos cenozoicos (pós miocénicos) de enchimento do *graben* compreendem diversas fácies cuja origem se relaciona com ambientes lacustre, aluvial, coluvial-torrencial, de planície de inundação e fluvio-periglacial.

A coluna litoestratigráfica proposta para os depósitos de enchimento (fig. 3) resulta da conjugação de elementos de cartografia geológica e da análises de *logs* de sondagens desenvolvidas na depressão de Chaves (relatório não publicado da Direcção Regional de Agricultura de Trás-os-Montes, 1987-89). Estes *logs* resultaram de um programa de avaliação do potencial de águas subterrâneas para irrigação da Veiga de Chaves. Assim, propõe-se a seguinte coluna litoestratigráfica, de cima para baixo:

- Areias do rio Tâmega e depósitos superficiais cascalhentos de planície de inundação – espessura até 74 m;
- Argilas com finos estratos de areias – espessura até 35 m;
- Complexo de estratos argilosos, arenosos e cascalhentos; argilas cinzentas com lignite – espessura até 54 m;
- Depósito cascalhento intermédio (um bom marcador de inundação interna) – espessura até 66 m;
- Depósitos arcósicos – até 60 m;
- Argilitos intermédios – espessura até 64 m;

- Depósito cascalhento inferior – espessura até 120 m;
- Argilitos inferiores – espessura máxima registada 23 m.

A interpretação dos *logs* de sondagens referidos mostra que é no sector leste do *graben* que se verifica a maior espessura de sedimentos. Esta interpretação é corroborada pelos resultados de trabalhos de prospecção geofísica desenvolvidos na região no âmbito do programa Joule I. A espessura de sedimentos de enchimento do *graben* excede 225 m; este valor corresponde à sondagem de maior profundidade desenvolvida cerca de 2 km a NNE de Chaves. Genericamente, constata-se que a componente argilosa é mais frequente no sector sul do *graben* em detrimento da arenosa que é predominante a norte.

A actividade neotectónica é evidente nestes depósitos, manifestando-se pelo basculamento dos estratos para oeste e pelo diaclasamento (NNE-SSW) dos depósitos argilosos, manifestações observáveis nos barreiros de Vilar de Nantes. A interpretação dos *logs* das referidas sondagens revela ainda uma tectónica activa, com a transposição da fracturação do soco para estes depósitos sedimentares com o desenvolvimento de um complexo sistema *graben-horst* cruzado que está na origem do “afloramento” dos depósitos argilosos na zona de Vilar de Nantes.

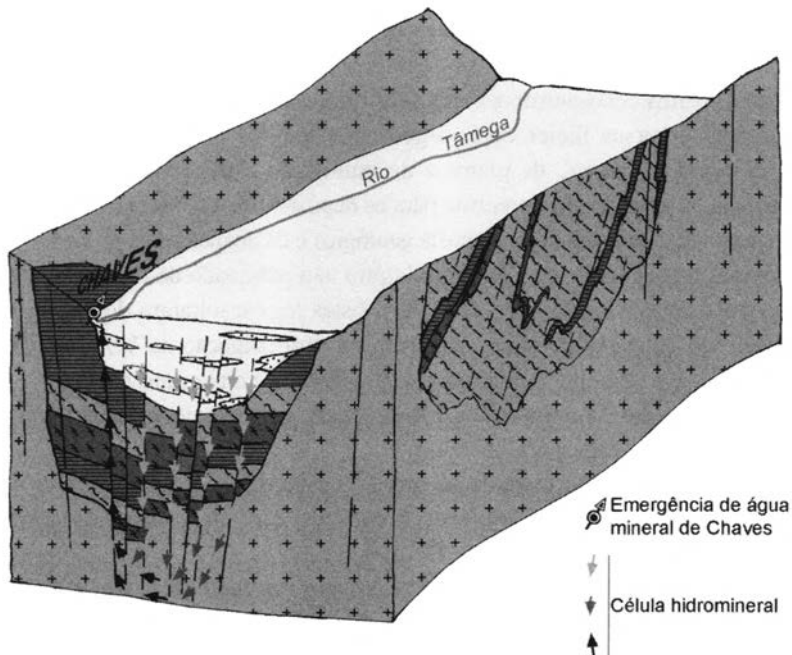


Fig. 3 – Bloco diagrama esquemático para ilustrar o enchimento do *graben* e a estrutura do soco.

3.3. ELEMENTOS ESTRUTURAIS

- Estruturas no soco cristalino

Existe todo um conjunto de elementos tectono-estruturais associados ao soco e aos depósitos sedimentares de cobertura que interessa destacar, porque são determinantes no controlo do sistema hidromineral de Chaves.

Dos elementos hercínicos responsáveis pela moldura geométrica do *soco* sublinham-se: 1) cavalgamentos para NE sobre os flancos normais de dobras – estes cavalgamentos estão presentes a várias escalas e podem ser observados nas zonas de Outeiro Jusão e Faiões; 2) eixos e planos de dobras F1 vergentes para NE – estas dobras, conjugadas com a estruturação imposta por alguns carreamentos F₂ explicam a duplicação das formações silúricas; 3) as fracturas NW-SE funcionaram como elementos controladores para a instalação de granitos tardi-tectónicos; 4) fracturas NNE-SSW e ENE-WSW de desligamento esquerdo são mais efectivas no deslocamento das unidades silúricas e, embora com menor rejeito horizontal, nos granitóides hercínicos tardios. Com efeito, alguns granodioritos pós-tectónicos foram instalados com a ajuda de fracturas ou sistemas de fracturas que passaram a funcionar como extensivas após a fase F₃ da orogenia hercínica. As fracturas da família ENE-WSW estão bem representadas a norte de Chaves, atravessando toda a estrutura do *graben*; são fracturas extensivas onde, em algumas delas, se instalaram filões de lamprófiros do Triássico superior.

A ligação das unidades correlativas aflorantes nos flancos leste e oeste do *graben* é interpretada com a integração de um conjunto de fracturas com direcção NNE-SSW de cujo desligamento esquerdo conjunto resulta o deslocamento de blocos em escadaria dos metassedimentos silúricos, que devem constituir uma parte significativa do chão do *graben*. Esta faixa compósita estende-se em cerca de 5 km, desde Faiões até Outeiro Jusão, e dispõem-se diagonalmente ao *graben*. Sob a cobertura sedimentar, esta faixa corresponde a uma área cerca de 40% (cerca de 8 km²) da sua base localizada na parte central do seu domínio e situando-se provavelmente na parte mais profunda.

A implantação tardi-tectónica do plutão granítico alcalino de Chaves é interpretada através do seu condicionamento à zona axial de uma grande estrutura em anticlinal que corresponde também a uma zona de cisalhamento direito NW-SE.

Algumas das características tectónicas do soco, particularmente a intensidade de brechificação e a geometria dos quartzitos, e ainda o padrão de fracturação, onde um regime extensivo impôs uma densidade de fracturação significativa, qualificam os sectores que oferecem melhor condutividade hidráulica. A litoestratigrafia das unidades silúricas na base da zona de enchimento sedimentar do *graben* deve ser considerada como um elemento fundamental na interpretação dos dados geofísicos e hidrogeológicos. As diferentes respostas electromagnéticas e eléctricas de micaxistos, xistos carbonosos, quartzitos e filitos devem ser tidas em consideração.

As fracturas normais alpinas podem ser agrupadas em 4 famílias principais de acordo com a orientação apresentada: NNE-SSW, ENE-WSW, NW-SE e NNW-SSE. As fracturas do primeiro e segundo grupo são as mais frequentes e são responsáveis pela estrutura em escadaria anteriormente referida e pela estruturação das unidades sedimentares do *graben* num mosaico de blocos limitados por falhas normais.

- Fracturas na cobertura

A deposição da cobertura sedimentar do *graben* de Chaves, com expressão superficial de $3 \times 10 \text{ km}^2$ poderá ter sido iniciada no Miocénico (PORTUGAL FERREIRA *et al.*, 1990-91). Reflecte os efeitos da neotectónica, com reactivação de estruturas, herdadas e propagadas a partir das unidades líticas do soco hercínico. Os trabalhos de campo desenvolvidos na região e a interpretação de *logs* de sondagens efectuados no vale de Chaves testemunham a presença daquelas estruturas nos depósitos de cobertura; num quadro estritamente tectónico seria possível interpretar rejeitos da ordem das dezenas de metros. As fracturas mais expressivas, com direcção NNE-SSW e NW-SE apresentam rejeitos verticais que definem uma série de *grabens* e *horsts* em que os longitudinais (NNE-SSW) são cruzados pelos *grabens* transversos (NW-SW). Estas estruturas compartimentam os depósitos de cobertura em “células” prismáticas losangonais (blocos) cujos limites são definidos pelas fracturas que seguem aqueles andamentos. A movimentação relativa destas “células” integra-se na estruturação geral do *graben* de Chaves.

As falhas NNE-SSW definem o *graben* principal (de Chaves), que integra dois *grabens* secundários: um localizado no bordo leste, entre Vilar de Nantes e Faiões com prolongamento para NE e outro a oeste, no sector de Outeiro Jusão-Chaves-Outeiro Seco.

As falhas NW-SE definem um *horst* importante no alinhamento de Vilar de Nantes-Chaves com abatimentos para sul e progressivamente para norte até ao paralelo de Faiões mas onde é também possível definir um *horst* no paralelo de Eiras.

As zonas mais abatidas estão localizadas a norte de Chaves, no paralelo situado entre Eiras e Faiões e no paralelo entre Chaves e Eiras. Um outro sector deprimido, mas de menor importância, esboça-se no paralelo entre Outeiro Jusão e Vilar de Nantes.

Outras falhas importantes, embora menos marcadas relativamente às já referidas anteriormente, são as ENE-WSW, (PORTUGAL FERREIRA, 1965), também expressas no soco. É importante a falha Chaves-Faiões, com possível prolongamento para a falha de Bragança, ou pelo menos com o mesmo andamento. Salienta-se também a boa expressão evidenciada na zona de Outeiro Seco.

Anota-se finalmente a falha WNW-ESE, com expressão na zona de Chaves e cujo andamento é aproximado ao dos carregamentos ocorrentes nas unidades paleozóicas.

As falhas associadas a estas 2 últimas direcções revelam um comportamento mais passivo em relação à tectónica recente.

4. CONTROLO LITOESTRUTURAL NA DESCARGA

A análise de linhas de isocondutividade na Veiga de Chaves mostra a existência de alguns pólos com anomalias de elevada condutividade que podem relacionar-se facilmente com manifestações de águas minerais. A distribuição espacial coincide grosso modo com o limite do *graben* onde ocorre enchimento clástico e o seu alinhamento pode arquitectar-se num losango com vértices em Chaves (onde existe a exploração de águas termominerais), Outeiro Seco, Faiões e Vilar de Nantes. Numa interpretação breve refere-se uma “célula” com aquela geometria, provavelmente mais abatida na parte central, sobre um soco com as unidades silúricas, cujos bordos, com cobertura clástica mais débil, são favoráveis à descarga que é obviamente controlada pela associação de fracturas, conforme abaixo se refere.

A relação destes pólos com as falhas definidas na região (fig. 4) pode ser sistematizada da seguinte maneira:

- a) à escala do *graben* – é estreita a associação com os *grabens* marginais localizados a oeste (com maior significados onde os valores de condutividade são mais elevados) e a leste onde os locais favoráveis ou com manifestações termominerais se alinham segundo a direcção das fracturas NNE-SSW e ainda com bordos do *horst*, cujo limite separa falhas menos verticalizadas; é clara a tendência para a localização nas intersecções dos dois *grabens* longitudinais com: 1) os *horsts* transversais ou 2) no domínio transitório do sistema *graben/horst* transversal.
- b) à escala local – é íntima a afinidade existente entre as zonas anómalas com os nós de intersecção do sistema de falhas NNE-SSW e NW-SE, onde os sectores dos ângulos obtusos resultam mais eficazes; a mesma tendência é referida por PORTUGAL FERREIRA e SOUSA OLIVEIRA (1996) no *graben* de Pedras Salgadas.

As falhas ENE-WSW, embora contribuam para um melhoramento das características hidráulicas (permeabilidade) para a descarga, não são tão determinantes quanto as anteriores dada a menor reprodutividade espacial. As situações que merecem referência são as do pólo de Chaves e do pólo situado imediatamente a NE deste.

As mesmas referências podem ser indicadas para a estrutura WSW-ENE, com algum significado no pólo de Chaves.

O controlo na descarga depende fundamentalmente de parâmetros de natureza estrutural. As unidades líticas apresentam uma importância relativamente maior na recarga. Pode contudo referir-se que as ocorrências se manifestam em zonas granitóides, nos limites da zona de enchimento clástico do *graben*, ou no contacto dos granitóides com as unidades metassedimentares como é o caso de Chaves. Salienta-se ainda a importância dos quartzitos quando se lhes associam os nós de fracturas anteriormente referidas.

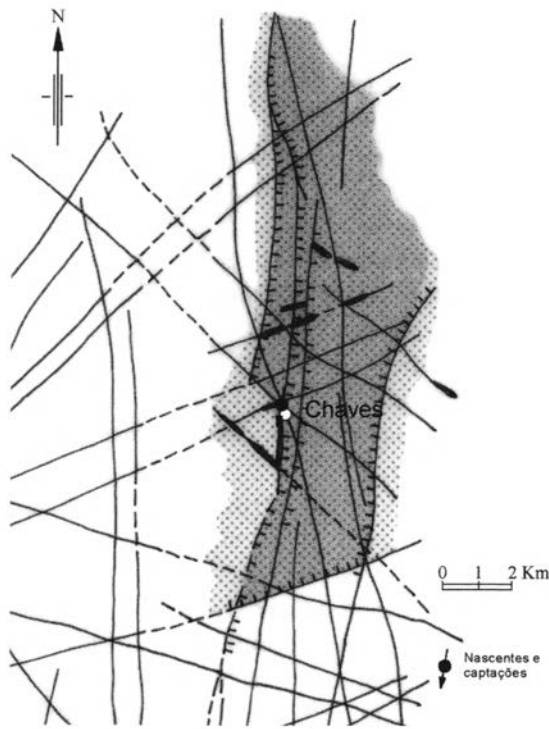


Fig. 4 – Representação simplificada do *graben* de Chaves com células marginais subsidentes, estruturas cruzadas e falhas convergentes na zona das captações.

5. ESCOAMENTO SUBTERRÂNEO

No escoamento subterrâneo dentro do *graben* de Chaves existem dois elementos fundamentais a considerar: 1) um, de carácter estrutural, em que são determinantes as diferentes famílias de fracturas e as respectivas movimentações e encurvamentos da superfície da falha e 2) um outro, de natureza litológica, onde se salientam as unidades paleozóicas e os granitos hercínicos.

Dado que o soco é de natureza cristalina, a capacidade de armazenamento e a permeabilidade do meio são fortemente determinadas pela intensidade de fracturação. Ao desligamento sinistrógiro escadeado do paleozóico constituinte do fundo *graben* associar-se-á uma forte fracturação e brechificação. Resultam assim boas propriedades hidráulicas e a melhoria nas condições propícias aos fenómenos de interacção água/rocha. A este parâmetro acrescentam-se também os carregamentos internos característicos destas unidades. A natureza destas formações, significativamente quartzíticas, implica a existência de propriedades hidráulicas mais favoráveis.

Da expressão espacial dos terrenos paleozóicos, que constitui mais de 50% da superfície do losango reportado a Chaves-Outeiro Seco-Faiões-Vilar de Nantes-Chaves e das características litoestruturais pode concluir-se da importância fundamental deste nos fenómenos de circulação subterrânea.

Quanto ao maciço granítico a intensidade de fracturação com a respectiva discretização em blocos facilita a circulação subterrânea, sendo contudo mais eficaz nas formações quartíticas referidas anteriormente.

A intercomunicação dos circuitos hidráulicos subterrâneos entre as formações metassedimentares e as ígneas é desenvolvida pela rede de fracturas ocorrentes no substrato. As famílias NNE-SSW, ENE-WSW e NW-SE são as de maior significado se atendermos à relação destas com as zonas de descarga.

A circulação em sectores mais profundos da crosta é condicionada principalmente pelas falhas NNE-SSW atendendo à relação directa do comprimento/profundidade das fracturas.

Na circulação mais superficial as fracturas com direcção NW-SE são mais importantes dada a posição favorável relativamente ao campo de tensões hoje existente.

Na generalidade propõe-se, um modelo em que a circulação no soco começa pelas unidades metassedimentares e passa para os granitos com posterior convergência para as zonas de falha que funcionam como colectoras do escoamento hidromineral profundo.

6. RECARGA/INFILTRAÇÃO

No modelo global que se define para as águas minerais desta província, admite-se que a recarga possa ocorrer em 3 tipos de ambientes:

- 1) *graben*, onde os depósitos de cobertura e os cursos de água funcionam como aquíferos sobreimpostos – corpos hídricos que facilitam a recarga.
- 2) depressões tectónicas, onde existem sectores densamente fracturados/brechificados ou com cavalgamentos aproveitados por cursos de água que podem induzir recarga discretizada e permanente.
- 3) “*plateaux*” marginais, elevados em relação às depressões, havendo então uma recarga mais difusa e mais sazonal.

No caso de Chaves, a recarga poderá acontecer na área correspondente ao *graben*; o aquífero poroso multicamada associado aos depósitos clásticos de enchimento e o rio Tâmega são bons elementos de recarga permanente. A existência de lagoas, mais ou menos extensas, terá sido uma constante sobre este domínio; há referências escritas do século XVIII que as explicitam. A sobreposição e ligação ao soco cristalino, intensamente fracturado, potencia infiltrações para leste mais

significativas que em qualquer outro domínio. A recarga far-se-á especialmente na parte central da “célula”, e com particular ênfase a norte do paralelo de Chaves onde os níveis detríticos são mais arenosos, com descarga nos sectores marginais.

Para o ambiente 2 a recarga funciona de modo estabilizado em canais enquanto que no cenário 3 funciona fundamentalmente durante a época das chuvas.

As zonas densamente fracturadas e brechificadas que são as mais importantes no maciço leste do *graben*, a norte e a leste de Faiões, onde se evidenciam as fracturas NNE-SSW, podem constituir exemplo para o cenário 3. Em relatório interno do programa Joule (PORTUGAL FERREIRA *et al.*, 1990-91) salientou-se a recarga nos “plateaux”, com granitos arenizados, em especial na Serra da Padrela, a leste, com base nesta hipótese e fundamentada em dados isotópicos de δD e $\delta^{18}O$, interpretados para o clima actual, i. é sem correcção para os tempos de glaciação, cujas temperaturas atmosféricas (3 a 5°C) eram significativamente mais baixas. A interpretação com recarga actual é discutível.

BIBLIOGRAFIA

- DIRECÇÃO REGIONAL DE AGRICULTURA DE TRÁS-OS-MONTES. 1987-1988 – *Estudo de viabilidade de rega do vale de Chaves e seus vales secundários e prospecção de águas subterrâneas em algumas zonas de Trás-os-Montes*. Hidroprojecto; Acavaco; Tahal.
- DIRECÇÃO REGIONAL DE AGRICULTURA DE TRÁS-OS-MONTES. 1988-1989 – *Estudo de viabilidade de rega do vale de Chaves e seus vales secundários*. Hidroprojecto; Acavaco; Tahal.
- PORTUGAL FERREIRA, M. 1965 – Geologia e petrologia da região de Rebordelo-Vinhais. Tese de doutoramento. Separata da *Revista da Faculdade de Ciências da Universidade de Coimbra*, Coimbra, Vol. XXXVI, 287p.
- PORTUGAL FERREIRA, M. & SOUSA OLIVEIRA, A. & TROTA, A. N. 1990-91 – *Chaves geothermal pole. Geological survey, I e II*, Joule I program, DGXII, CEE. Relatório interno da UTAD. Vila Real.
- PORTUGAL FERREIRA, M. & SOUSA OLIVEIRA, A. 1996 – The framework of the hydrochemical province of bicarbonated waters in the Hercynian Massif (Portugal). *II workshop on hard rock hydrogeology of the Boemian Massif*: Department of Hydrogeology Institute of Geological Sciences, Wroclaw University, Borowice, Poland.
- PORTUGAL FERREIRA, M. & SOUSA OLIVEIRA, A. 2000 – The protection zones for the thermo-mineral (m-th) aquifer of Chaves (N Portugal): Hard rock and porous rock hydrogeological constraints. *In C-D Abstracts 31st Internacional Geological Congress*, August 6-17, 2000, Rio de Janeiro, Brasil.
- SOUSA OLIVEIRA, A. 2001 – *Hidrogeologia dos sistemas gasocarbónicos da Província Hidromineral Transmontana: Ribeirinha (Mirandela), Sandim (Vinhais), Segirei e Saldadela (Chaves)*. Tese de doutoramento, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 442p.