



## COMPORTAMENTO HIDRÁULICO DE UM MACIÇO CRISTALINO ANISOTRÓPICO COM MÚLTIPLAS TRANSMISSIVIDADES

Fernando A. L. PACHECO<sup>1</sup> e M. R. PORTUGAL FERREIRA<sup>2</sup>

### RESUMO

O presente trabalho combina os resultados de um estudo de alinhamento de nascentes, num terreno metamórfico, com os resultados de um ensaio de bombagem prolongado (10 dias), a caudal constante (3l/s), executado sobre um furo com 110m de profundidade, nesse mesmo terreno. Foi possível associar 44 das 64 nascentes cartografadas na área de estudo com 4 famílias de fracturas; o número de nascentes por quilómetro linear de fractura ( $N_k$ ) é: a) família N10-30E,  $N_k=0.097$ ; b) família N70-80E,  $N_k=0.174$ ; c) família N50E,  $N_k=0.329$ ; d) família N40-50W,  $N_k=0.348$ . A curva de rebaixamentos/tempos do ensaio de bombagem revelou a presença de 4 famílias de fracturas com comportamento hidráulico caracterizado pelas seguintes transmissividades - T ( $m^2/s$ ): família 1,  $T=0.95 \times 10^{-4}$ ; família 2,  $T=2 \times 10^{-4}$ ; família 3,  $T=2.61 \times 10^{-4}$ ; família 4,  $T=7 \times 10^{-4}$ . Com base nestes resultados especulou-se que as famílias 1, 2, 3 e 4 são representativas das transmissividades dos sistemas N10-30E, N70-80E, N50E e N40-50W, respectivamente.

**Palavras chave:** fracturação, nascentes, transmissividade.

<sup>1</sup> Engº Geólogo, Lic. - Assistente Estagiário da Secção de Geologia da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, 5000 Vila Real Portugal.

<sup>2</sup> Geólogo, Lic. M Sc., Doutor, Agregação - Prof. Cat. da Universidade de Coimbra, 3000 Coimbra, Portugal.

## 1 - INTRODUÇÃO

A fracturação de maciços isotrópicos é condicionada, fundamentalmente, pela orientação do campo de tensões, no momento em que essa fracturação ocorre. Em maciços anisotrópicos, a direcção das anisotropias complementa a influência da orientação do campo de tensões, e esta dupla influência torna mais sistemático o padrão da fracturação. Um maciço granítico tem comportamento isotrópico no período que medeia entre consolidação e a primeira fracturação; os maciços de rochas metamórficas são inerentemente anisotrópicos.

O comportamento hidráulico dos maciços cristalinos é determinado, em grande parte, pela fracturação que os afecta. Quanto mais sistemático for o padrão da fracturação, mais sistemático se prevê que seja o comportamento hidráulico do maciço. Daí que, em maciços de rochas metamórficas, se avenge a hipótese de atribuir transmissividades a famílias de fracturas, a partir das curvas de rebaixamentos/tempos de ensaios de bombagem; se os ensaios forem suficientemente prolongados, de tal forma que a bombagem implique a drenagem dos diferentes sistemas de fracturas, as curvas de rebaixamentos/tempos deverão isolar múltiplos troços, que representam as múltiplas transmissividades do aquífero metamórfico. A corroboração desta hipótese constitui objectivo fundamental deste estudo.

## 2 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

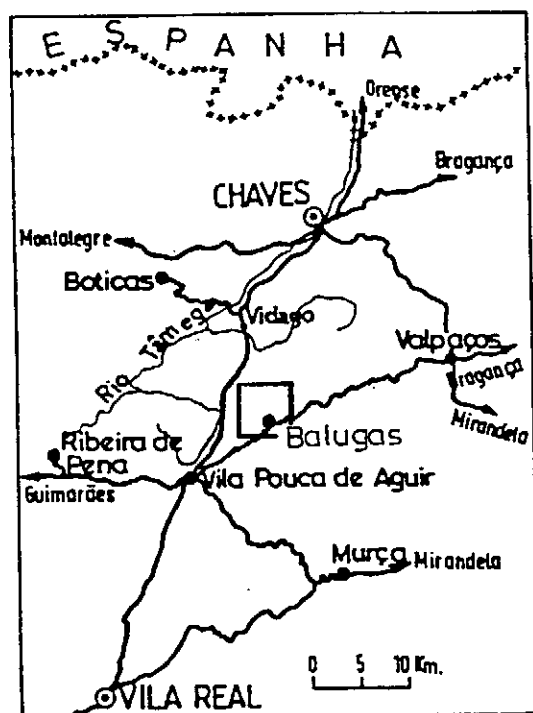


Figura 1: Localização da área de estudo (Balugas - Vila Pouca de Aguiar).

A zona estudada compreende o sector da Serra da Padrela entre Tinhela de Baixo e Lagoa (Vila Pouca de Aguiar) e representa-se por um quadrado com 5Km de lado que se estende pelas folhas N° 74 e 75 da Carta Topográfica Militar à escala 1/25000; as coordenadas Gauss dos cantos inferior esquerdo e superior direito desse quadrado são, respectivamente, (M,P) = (245,505) Km e (M,P)=(250,510) Km.

O principal acesso à região é a estrada que liga Vila Pouca de Aguiar a Valpaços (EN206); a zona estudada localiza-se entre os quilómetros 129 e 136. Na Figura 1 mostra-se a localização da área de estudo no território nacional.

## 3 - GEOMORFOLOGIA, CLIMA E OCUPAÇÃO DA TERRA

A geomorfologia da zona de Balugas (aldeia que se localiza no centro da área de estudo) corresponde a um planalto ondulado, no qual se entalha o vale do rio Tâmega; o planalto é bordejado, a Norte, pela escarpa da Padrela; o rio Tâmega nasce em lagoa e

atravessa a região segundo a direcção NE-SW. As altitudes na área de estudo variam entre os 800m e os 1100m, aproximadamente.

O clima da região é caracterizado por invernos frios e prolongados e verões quentes e curtos (zona *Terra Fria de Planalto*); o período de geada vai desde os princípios de Outubro a princípios de Maio. Os parâmetros climáticos mais importantes são: temperatura média anual (1951 -1980) entre os 12°C e os 14°C, variando as máximas entre 16°C e 20°C e sendo a mínima de 7°C. Para o mesmo período, a precipitação anual média oscilou entre os 800 e os 1200 mm (*In Pacheco, 1995*).

A presença humana no planalto é reduzida; os aglomerados populacionais (Tinhela de Baixo, Outeiro, Tinhela de Cima, Balugas e Lagoa) não possuem mais do que 150 pessoas cada, contando com a população emigrante. No que respeita à utilização da terra (*In Pacheco, 1995*), domina a exploração agrícola com base na rotação bienal do centeio e da batata, o aproveitamento do castanheiro em pequenos soutos, a pecuária bovina e caprina de reduzida expressão e a exploração do pinhal bravo com algumas manchas de pinheiro silvestre e videiros. O impacto da actividade humana sobre os recursos hídricos é muito reduzido.

#### 4 - ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO REGIONAL

No contexto geotectónico, a área de estudo enquadra-se na Sub-Zona Galiza Média Trás-os-Montes, que corresponde a um sub-domínio da zona Centro Ibérica (Figura 2)

A geologia regional caracteriza-se, fundamentalmente, por corpos graníticos, de várias fácies e idades, intruídos em formações metassedimentares pertencentes, principalmente, ao Complexo Xistoso do Grupo Peritransmontano definido por Ribeiro (1974). Importa referir, ainda, a ocorrência de depósitos cenozóicos relacionados com o acidente tectónico de Vila Real-Verin; são constituídos, essencialmente, por sedimentos arcósicos, arenosos, argilosos e cascalhentos, correspondentes a depósitos de origem lacustre, fluvial e de vertente. Em associação com a mega-estrutura de Vila Real-Verin, salienta-se a ocorrência de emergências de águas minerais, na região de Pedras Salgadas, Vidago, Chaves e Vilarelho da Raia (*Sousa Oliveiras, 1995*).

#### 5 - GEOLOGIA DA ZONA DE BALUGAS

Na zona de Balugas pode definir-se uma estrutura em que diversas formações do Sub-Grupo Peritransmontano Inferior (GPT<sub>A</sub>) se apresentam como lâminas tectónicas empilhadas (A, A', e A'', Figura 3), cada uma apresentando as seguintes unidades litostratigráficas (*Portugal Ferreira & Pacheco, 1993ab*):

- Lâmina A : 1) Quartzitos inferiores (Q<sub>1</sub>); 2) Xistos listrados finos, intercalados com xistos carbonosos e filádios quartzosos; 3) Ampelitos e liditos; 4) Quartzitos (Q<sub>2</sub>); 5) Complexo de filádios, grauvaques e quartzitos impuros;
- Lâmina A' : 1) Unidade 5 da lâmina A; 2) Quartzitos (Q<sub>3</sub>); 3) Filádios quartzosos bandados; 4) Quartzitos superiores (Q<sub>4</sub>);
- Lâmina A'' : Unidades 2, 3 e 4 da lâmina A'.

As unidades da lâmina A podem correlacionar-se com as unidades 2 e 3 de Ribeiro (1974) e as unidades das lâminas A' e A'' com a unidade 4; a correlação entre a estratigrafia de Noronha e Ribeiro (1993) e aquela que surge em Balugas é menos evidente

Além das formações metamórficas, existem na zona depósitos sedimentares (aluviões, coluviões, depósitos de terraço e de vertente) e granitos de várias fácies. As formações ígneas são bordejadas por orlas de metamorfismo de contacto, materializadas por corneanas, avermelhadas devido à alteração, em certos locais negras, com elevadas quantidades de biotite.

As feições estruturais mais importantes compreendem (Figuras 3 e 4):

- 1) Os carreamentos que separam as lâminas A, A' e A'' e aqueles que surgem no interior da lâmina A; todos eles apresentam *gossanas* sob a forma de cortinas descontínuas.
- 2) Os dobramentos da Fase Hercínica I (F<sub>I</sub>), com planos axiais pendendo para SW (lâmina A) ou sub-verticais (lâminas A' e A''); os dobramentos F<sub>II</sub>, com distribuição irregular, afectando as superfícies de carreamento;
- 3) A fracturação, que é intensa em toda a área; são importantes as direcções N10-30E, N50E, N70-80E e N40-50W.

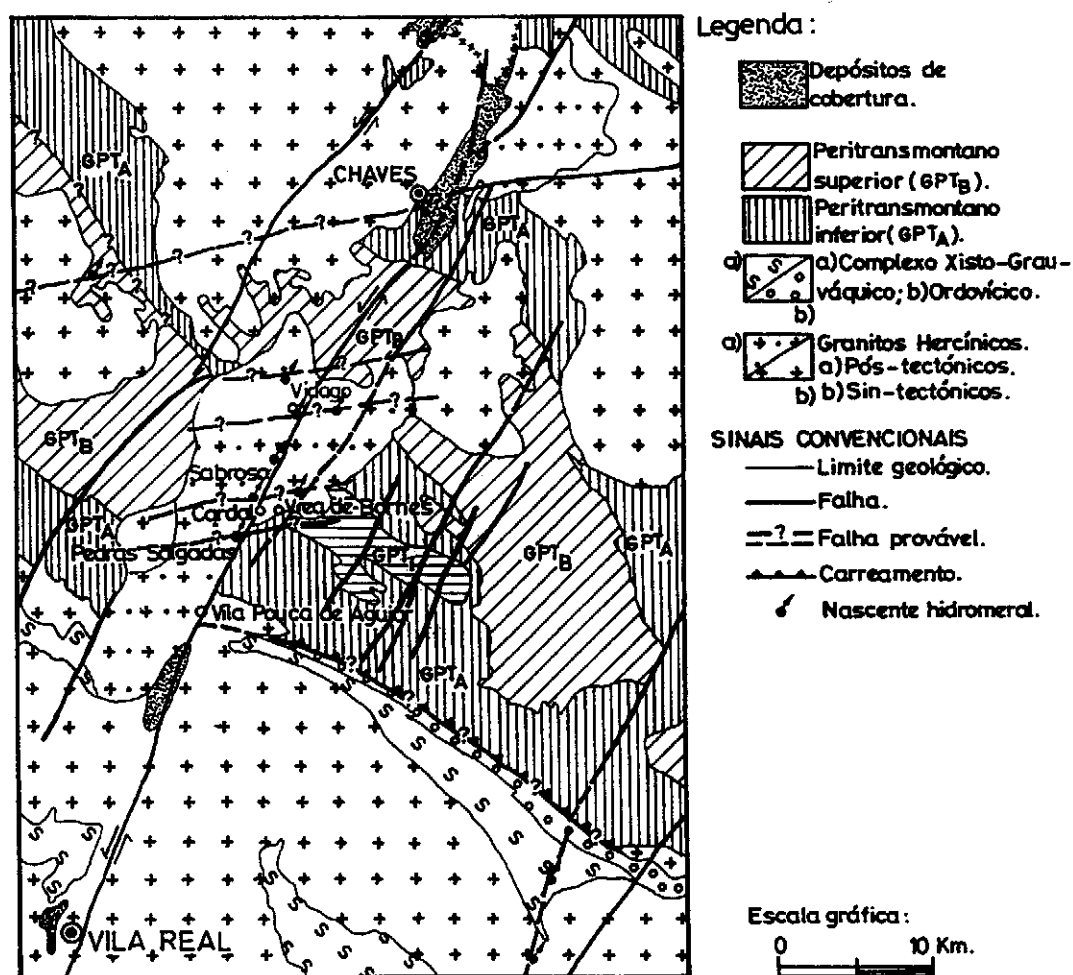
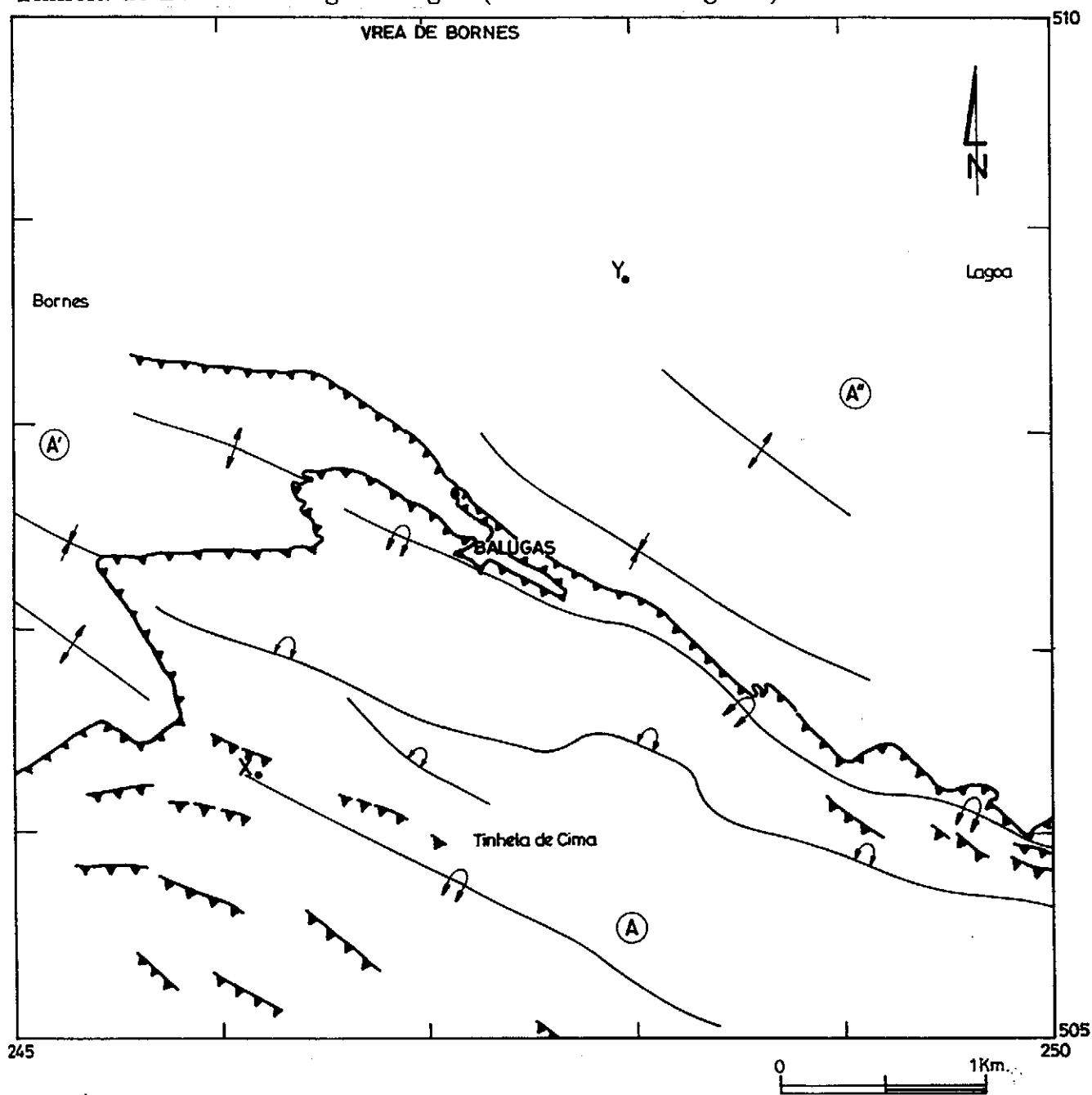


Figura 2: Enquadramento geológico regional da zona de Balugas (Vila Pouca de Aguiar); adaptado de Sousa Oliveira (1995).

# Tinhela de Baixo - Balugas - Lagoa (Vila Pouca de Aguiar)



## Legenda:

- Anticlinal e Sinclinal invertidos. Fase 1
- Anticlinal e Sinclinal. Fase 1
- Carreamento.

- (A)** Unidade formada por xistos carbonosos + xistos listrados finos + (filádios + grauvaques) ± quartzitos.
- (A')** Unidade formada por filádios quartzosos bandados + quartzitos ± (filádios + grauvaques).
- (A'')** Unidade formada por filádios quartzosos bandados + quartzitos.

X-Y Direção do perfil geológico.

Figura 3: Mapa com a interpretação tectónica da zona de Balugas.

# Tinhela de Baixo - Balugas - Lagoa (Vila Pouca de Aguiar)

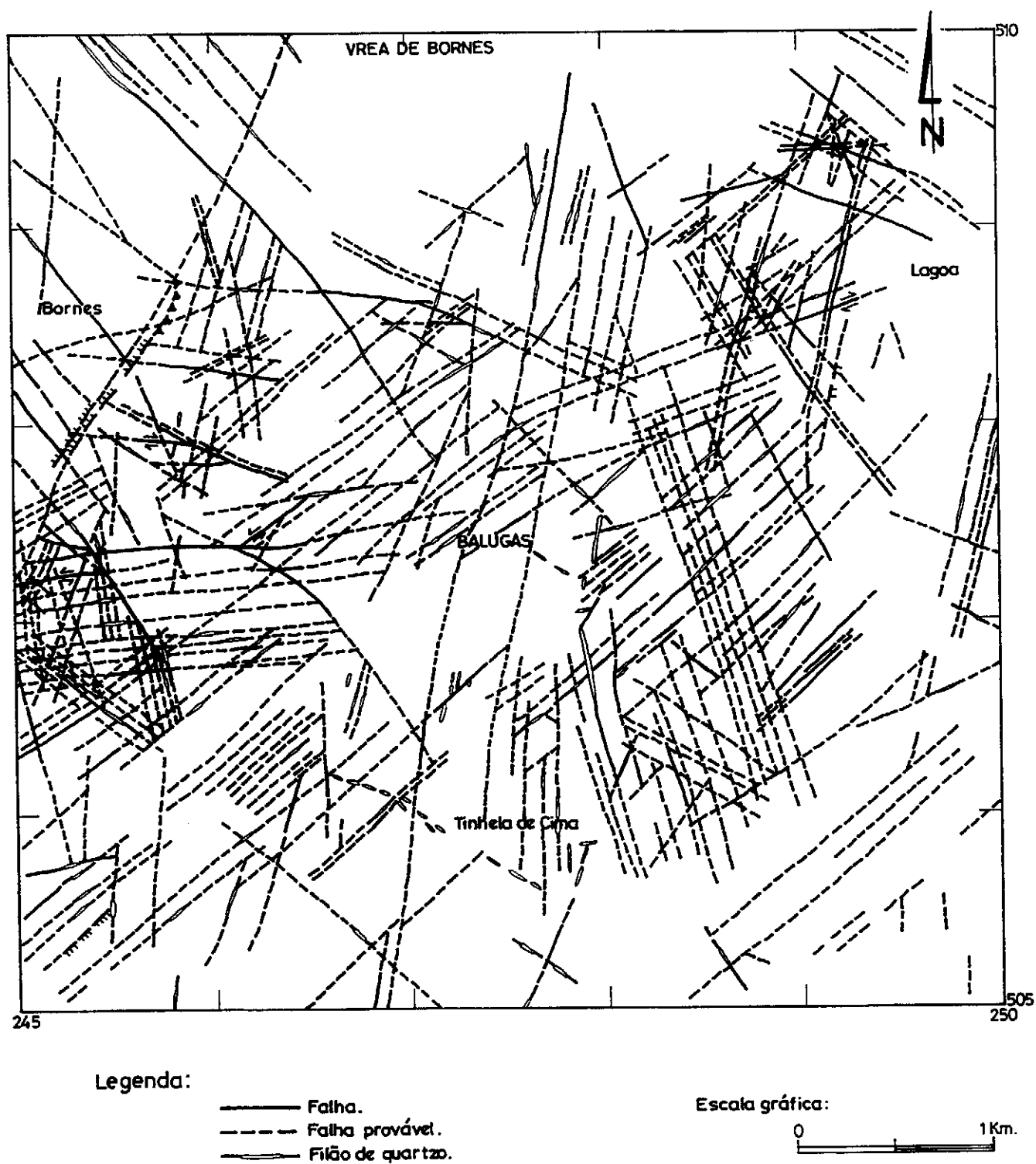


Figura 4: Mapa de fracturação da zona de Balugas.

## 6 - HIDROGEOLOGIA

### 6.1 - Cartografia de emergências

Na Figura 5 mostra-se a localização dos pontos de água e linhas de água perenes que ocorrem na zona de Balugas; a cartografia de emergências foi realizada em Junho de 1993 e repetida em Agosto de 1994, confirmando-se o carácter perene das linhas de água.

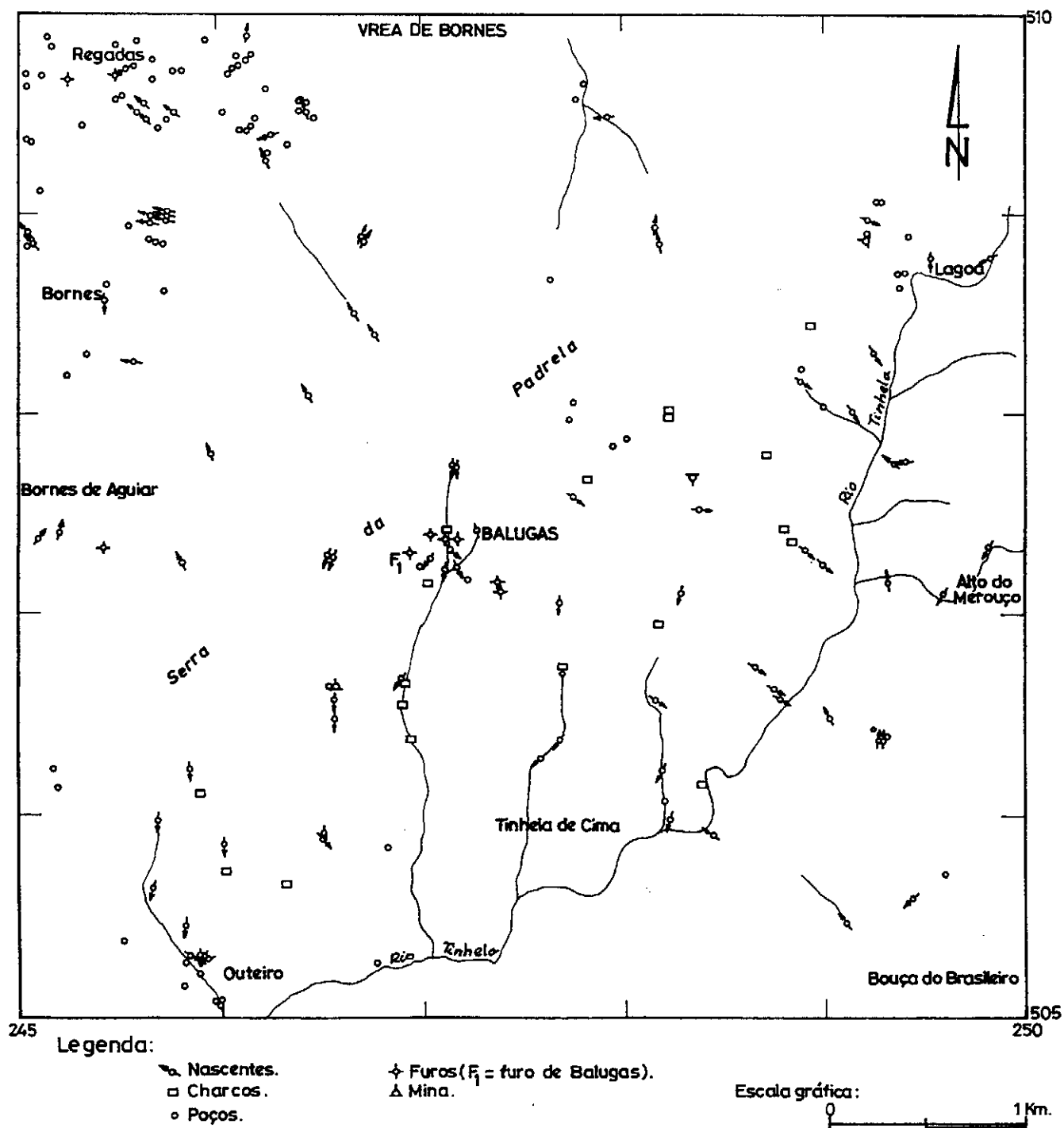


Figura 5: Mapa de emergências da zona de Balugas.

## 6.2 - Ensaios de caudal

Em meados de 1992, a Câmara Municipal de Vila Pouca de Aguiar (CMVPA) construiu um furo de bombagem, na aldeia de Balugas, com cerca de 110m de profundidade (F<sub>1</sub>, Figura 5). Sobre esse furo foram realizados diversos ensaios de bombagem, um dos quais se prolongou por 10 dias. As curvas de rebaixamentos/tempos e recuperações/tempos do ensaio de 10 dias e de um outro ensaio apresentam-se na Figura 6.

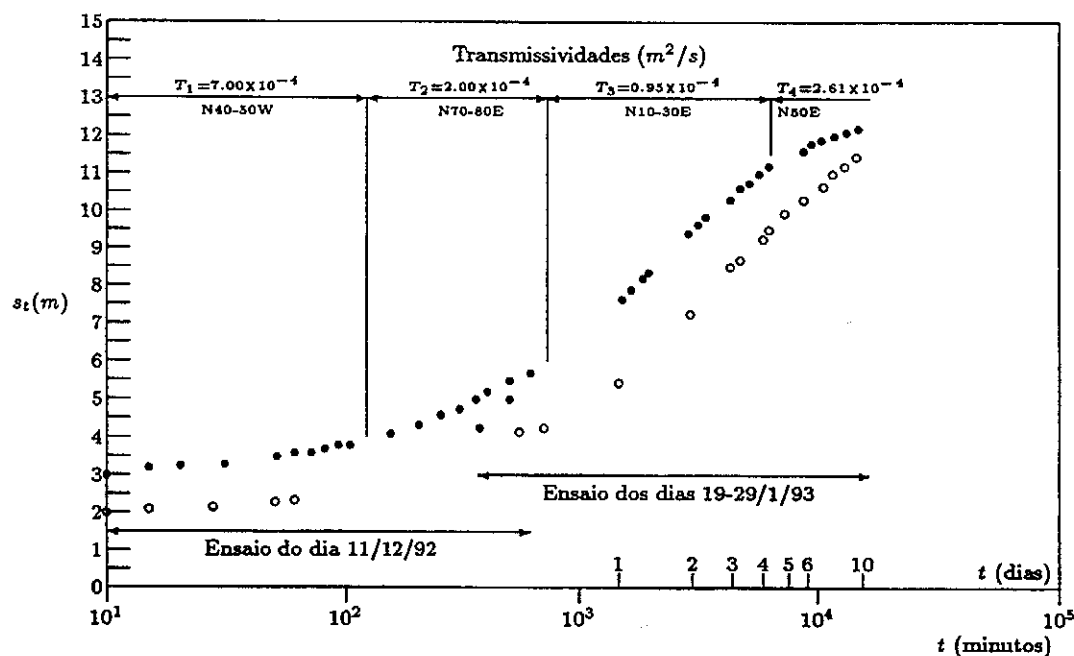


Figura 6: Curvas de rebaixamentos/tempos (●) e recuperações/tempos (○) dos ensaios de bombagem realizados nos dias 11/12/92 e 19-29/1/93; as recuperações são referidas ao nível dinâmico no final da bombagem. Caudal de bombagem para os dois ensaios:  $Q=3l/s$

## 7 - DISCUSSÃO

A determinação de fracturas com circulação de água foi feita através da sobreposição do mapa de fracturação (Figura 4) com o mapa de emergências (Figura 5) e identificação de alinhamentos de nascentes; a circulação de água em algumas das fracturas foi confirmada por observação directa no campo.

O número de nascentes que foi possível associar a cada uma das famílias de fracturas apresenta-se no Quadro 1. Nesse quadro mostra-se, ainda, a extensão total, em quilómetros, ocupada por cada sistema de fracturas, e o número de nascentes por quilómetro linear de fractura ( $N_k$  - quociente entre as segunda e a primeira colunas do Quadro 1). O valor de  $N_k$  de uma família de fracturas é usado como uma medida da favorabilidade dessa família à circulação de água subterrânea.

A circulação subterrânea parece estar preferencialmente relacionada com as fracturas N40-50W e N50E, que apresentam, respectivamente, valores de  $N_k$  iguais a 0.348 e 0.329; o sistema N70-80E é de circulação intermédia ( $N_k=0.174$ ); finalmente, as fracturas regionais N10-30E são as que revelam menor favorabilidade à circulação de água subterrânea.



Quadro 1: Favorabilidade das famílias de fracturas à circulação de água subterrânea ( $N_k$ ). S.R. = nascentes sem relação evidente com nenhum sistema de fracturas

Família	Extensão total (Km)	Nº de nascentes associadas	Nascentes por Km ( $N_k$ )
N10-30E	51.2	5	0.097
N50E	66.9	22	0.329
N70-80E	28.8	5	0.174
N40-50W	34.4	12	0.348
S.R.		20	

A curva de rebaixamentos/tempos, representada na Figura 6, põe em evidência a presença de 4 famílias de fracturas com comportamento hidráulico distinto (transmissividades  $T_1$  a  $T_4$ ). Tratando-se da curva de um ensaio prolongado (10 dias), a um caudal considerável (3l/s), pode especular-se que o primeiro troço da Figura 6 (transmissividade mais elevada) é representativo da transmissividade do sistema de fracturas N40-50W (família com o maior número de nascentes associadas por quilómetro linear de fractura). Pelos mesmos motivos, as transmissividades  $T_2$ ,  $T_3$  e  $T_4$  são representativas dos sistemas N70-80E, N10-30E e N50E, respectivamente. Convém salientar que os sistemas de fracturas funcionam em simultâneo durante toda a bombagem, mas nos intervalos correspondentes a cada transmissividade um dos sistemas tem efeito preponderante sobre os rebaixamentos observados.

A individualização de 4 transmissividades deve-se, em nosso entender, ao facto do maciço em estudo ser anisotrópico, predispondo-se, por isso, a apresentar um padrão de fracturação perfeitamente sistemático. A atribuição de transmissividades a famílias de fracturas, pela metodologia que aqui se apresenta, poderá ter resultados mais modestos no caso de maciços graníticos que, sendo inicialmente isotrópicos, apresentam padrões de fracturação com carácter menos sistematizado.

## Referências

- Noronha, F. e Ribeiro, M. A. (1993). Mineralizações em contexto granítico. In IX Semana de Geoquímica e II Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa. Porto. Excursão pós-congresso
- Pacheco, F. (1995). Interação água-rocha em unidades do Grupo Peritransmontano (Serra da Padrela - Vila Pouca de Aguiar). Tese de Mestrado, Universidade de Coimbra, 123p.
- Portugal Ferreira, M.R. & Pacheco, F. , 1993a. Hidrogeologia em quartzitos peritransmontanos carreados da Serra da Padrela: a recarga e a produtividade. In Seminário de Águas Subterrâneas e Ambiente, Associação Portuguesa de Recursos Hídricos (APRH).
- Portugal Ferreira, M. R. & Pacheco, F. , 1993b. Prospecção e pesquisa de água para abastecimento público: zona de Balugas (Vila Pouca de Aguiar) . Relatório interno da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD), referente a um projecto de abastecimento de água encomendado pela Câmara Municipal de Vila Pouca de Aguiar (CMVPA).
- Ribeiro, A. , 1974. Contribuítion à l'étude tectonique de Trás-os-Montes Oriental Serviços Geológicos de Portugal (24).
- Sousa Oliveira , A. , 1995. Hidrogeologia da região de Pedras Salgadas. Provas de Aptidão Pedagógica e Capacidade Científica, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.