

**Marques da Silva, M. A., Lopes, J. P., Almeida, C.  
(1996)**

**Produtividade de Furos Verticais em Formações  
Cristalinas na Região do Porto**

Geociências, Rev. Univ. Aveiro, vol. II (1 e 2),  
p. 109-120.

## **PRODUTIVIDADE DE FUROS VERTICAIS EM FORMAÇÕES CRISTALINAS NA REGIÃO DO PORTO**

M.A. Marques da Silva (1), J. Pereira Lopes (2) e C. Almeida (3)

**RESUMO** - Com base em dados de produtividade e de profundidade de furos de captação implantados em rochas cristalinas (granitos e xistos) na margem direita do rio Leça, nos arredores da cidade do Porto, fez-se uma caracterização estatística e um estudo comparativo entre as duas litologias.

Foram utilizados os testes de Smirnov e de Cramér-von Mises que permitiram concluir que o comportamento hidrogeológico dos xistos é, em geral, mais favorável que o dos granitos. Também se pode comprovar que não existe correlação entre profundidades e caudais, para os furos em granitos, enquanto que, para os xistos, se verifica um ajuste a um modelo polinomial com um coeficiente de correlação significativo.

### **1- INTRODUÇÃO**

Tem-se verificado nos últimos anos acentuado incremento da exploração hidrogeológica de formações cristalinas. Vários factores conjugados têm contribuído para isso. Um, de índole meramente tecnológica e que advém do uso, hoje vulgarizado, da perfuração por rotoperfuração por ar comprimido com martelo de fundo de furo. Efectivamente este método permite a construção de furos de captação de forma rápida, relativamente barata e eficiente nesse tipo de formações. Outro factor tem a ver com a ocorrência de períodos de seca, como os que recentemente se verificaram. É especialmente em períodos deficitários, inerentes à própria irregularidade do Ciclo Hidrológico, que mais se recorre às águas subterrâneas, dada a sua relativa perenidade e onipresença, em oposição ao escoamento superficial.

Também o facto de mais de 2/3 do país ser constituído, do ponto de vista geológico, por rochas cristalinas, concorre para o actual interesse do seu aproveitamento hidrogeológico. A

---

(1) Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro, 3810 Aveiro, Portugal.

(2) Direcção Regional do Ambiente e Recursos Naturais do Norte. Rua Formosa, 254. 4000 Porto, Portugal.

(3) Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Portugal.

melhoria das condições de vida das populações, principalmente das áreas rurais, sem distribuição da água domiciliária; a tentativa de exploração de águas mais profundas, quase sempre menos contaminadas que as mais superficiais em regiões sem rede de saneamento, são outros factores que justificam também o referido aumento do recurso a formações cristalinas como origem de água subterrânea para abastecimento.

Contudo, não são muito abundantes publicações de carácter hidrogeológico que tratem a problemática do chamado cristalino, apesar de se constatar ultimamente um significativo e louvável incremento neste campo.

Creemos que existe um enorme manancial de dados que urge inventariar e trabalhar, de forma a ser conseguido um melhor conhecimento da hidrogeologia destas formações.

Neste trabalho tratam-se alguns dados relativos a 82 furos executados em xistos e granitos numa área de cerca de 60 km<sup>2</sup> na margem direita do rio Leça, quase toda do concelho da Maia, a Norte da cidade do Porto. Apenas são tratados alguns parâmetros estatísticos relativos a profundidades, produtividades e fitologia, pelo que se deve considerar como um estudo preliminar.

## 2- GEOLOGIA / HIDROLOGIA

No mapa da figura 1 apresenta-se um extracto da folha 9-C da Carta Geológica de Portugal. Do ponto de vista geológico a área é constituída essencialmente por duas unidades: o Complexo Xisto Grauváquico ante-Ordovícico e os chamados Granitos do Porto.

- O Complexo Xisto Grauváquico é constituído principalmente por xistos e grauvaques, mais ou menos metamorfizados, o que originou a ocorrência de outros tipos litológicos como xistos luzentes, micaxistos, gneisses e migmatitos.

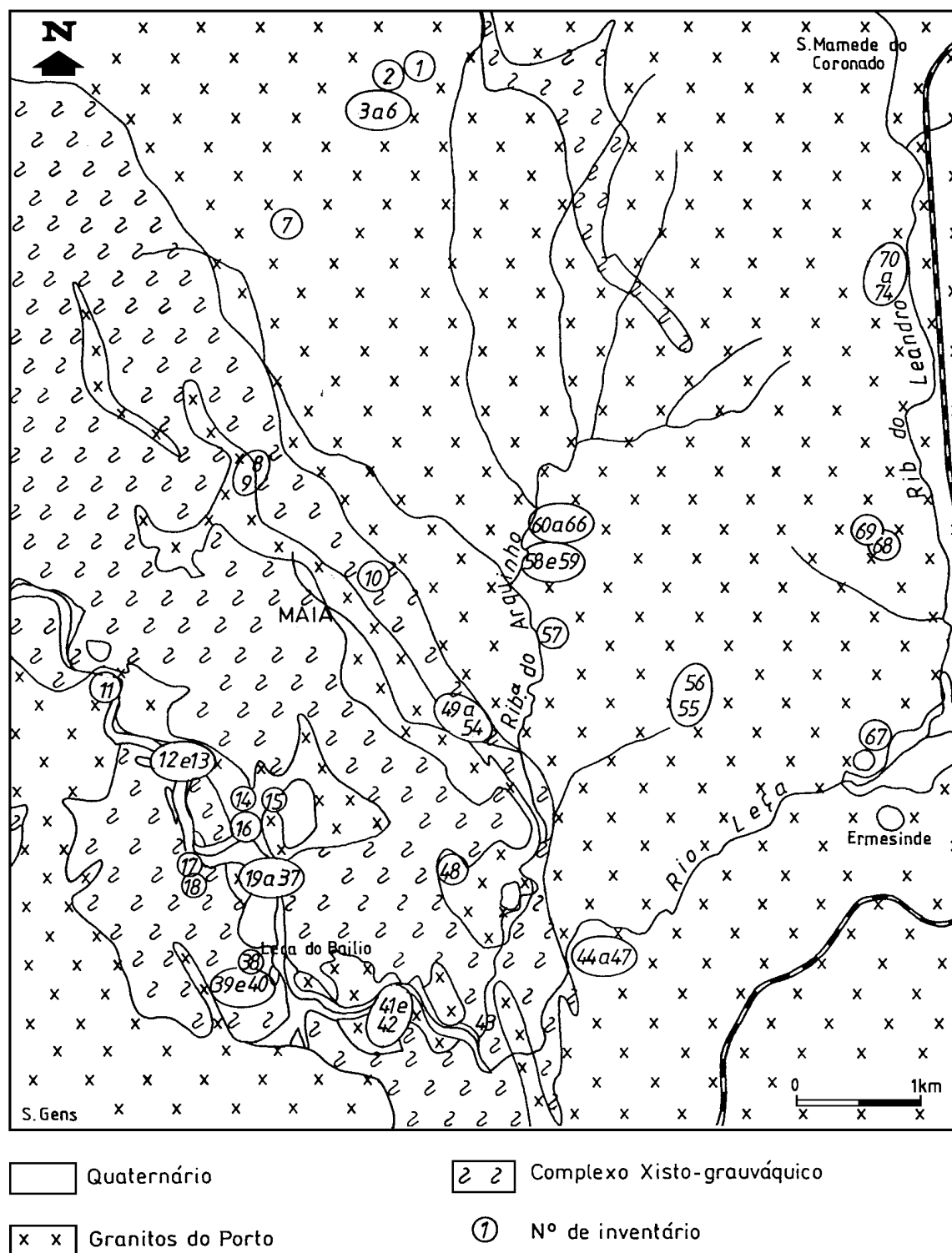
- Os Granitos do Porto são granitos alcalinos, de grão médio a grosseiro, leucocratas, de duas micas. Apresentam-se na região com elevado grau de alteração, tectonizados e cortados por apertada rede de diaclases, o que facilita os fenómenos de infiltração (Carrington da Costa et al., 1957).

Geomorfologicamente a área em estudo corresponde a extensa superfície de aplanção onde o rio Leça e seus afluentes se instalaram.

O rio Leça, que nesta área é muito sinuoso, recebe na sua margem direita os afluentes Ribeira do Arquinho e Ribeira do Leandro. As duas sub-bacias têm, respectivamente, 33,3 km<sup>2</sup> e 19,7 km<sup>2</sup> de área e os comprimentos axiais são de 11 km e 9 km. As duas ribeiras são perenes quase todo o ano, devido às boas condições hidroclimatológicas reinantes na região.

Com dados de 29 anos de observações da estação de S. Gens, situada no canto inferior esquerdo da área, Mendes et al. (1980) elaboraram o balanço climatológico de água no solo, pelo método de Thornthwaite que se apresenta no Quadro I.

A sua análise revela que a área é francamente excedentária (total anual de 533 mm) no período correspondente aos meses de Novembro a Maio. O período deficitário vai de Junho a Setembro, embora as reservas do período excedentário sejam suficientes para garantir a perenidade do escoamento durante praticamente todo o ano.



**Figura 1 – Carta Geológica da área estudada (extracto da Folha 9-C da Carta Geológica de Portugal, escala 1:50 000 e inventário dos furos produtivos.**

**Quadro I – Balanço climatológico de água no solo.**  
**Método de Thornthwaite.**  
**Porto / S. Gens – Período de 29 anos de observação.**  
 Altura de água utilizável pelas plantas: 100 mm

Mês	Temp.	ETP	R	R-ETP	PA	AS	ETR	D	ESC
			Precipitação		Perda de água	Água solo		défice	escoamento
	(°C)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
JAN	9,0	24	155	131		100	24	0	131
FEV	9,6	26	103	77		100	26	0	77
MAR	11,8	44	145	101		100	44	0	101
ABR	13,6	58	82	24		100	58	0	24
MAI	15,0	75	85	10		100	75	0	10
JUN	17,8	96	41	-55	-55	58	83	13	0
JUL	19,4	110	19	-91	-146	23	54	56	0
AGO	18,8	98	25	-73	-219	11	37	61	0
SET	18,3	83	51	-32	-251	8	54	29	0
OUT	15,7	61	105	44		52	61	0	0
NOV	12,2	36	139	103		100	36	0	55
DEZ	9,6	25	160	135		100	25	0	135
ANO	14,2	736	1110				577	159	533

*(Segundo Mendes et al., 1980)*

Estas características hidroclimatológicas, associadas às condições geomorfológicas (região mais ou menos aplanada), e litológicas (rochas alteradas, tectonizadas e diaclasadas), permitem a existência de um ambiente hidrogeológico favorável à exploração de águas subterrâneas. Esta riqueza aquífera já era posta em relevo na Notícia Explicativa da referida folha 9-C da Carta Geológica de Portugal (Carrington da Costa et al., 1957).

### 3. INVENTÁRIO DE FUROS E CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS

Para este estudo servimo-nos de dados de 82 furos inventariados na área, dos quais 8 se revelaram improdutivos, 5 em granitos e 3 em xistos. No Quadro II apresenta-se o inventário dos 74 furos produtivos cuja localização se indica no mapa da figura 1. Destinam-se a abastecimentos domésticos, industriais e agrícolas.

Todos os furos foram executados pelo método de rotopercussão por ar comprimido, com sondas equipadas com martelo de fundo de furo. Os diâmetros de furação foram de 8,5" e de 6,5".

No Quadro II são indicadas as profundidades a que foram detectadas as principais zonas produtivas segundo as observações dos sondadores.

Os caudais indicados referem-se ao chamado caudal "air-lift" e foram obtidos depois das operações de limpeza e desenvolvimento realizadas por injeção de ar comprimido.

Deverá referir-se que na área considerada neste estudo existem muitos outros furos de captação pelo que a produtividade global da área não pode ser avaliada pelos caudais indicados no Quadro II. Deve ainda acrescentar-se que apenas se têm em conta furos verticais; outro tipo de captações, nomeadamente com drenagem na horizontal (muitas vezes de maior produtividade) não são aqui consideradas.

**Quadro II – Inventário de furos produtivos.**

Nº	Proprietário	Formação Geológica	Profundidade dos Furos	Principais Zonas Produtivas interceptadas	Caudal (l/hora)
			(m)	Profundidade (m)	
1	VIDROPOL	Granito	70	22; 36; 52	1.700
2	SERRAL Fte MOURA	Granito	52	17; 25; 40	1.500
3	SOTECAL	Granito	81	37; 46; 66; 73	2.400
4	SOTECAL	Granito	71	39; 51; 62	3.500
5	SOTECAL	Granito	78	15; 25; 64; 71	2.500
6	SOTECAL	Granito	68	26; 29; 33; 49	2.500
7	TOTAL	Granito	61	18; 22; 48	5.000
8	E.P.M.E	Xisto (contacto)	61	26; 37; 42	1.600
9	NEVEPRINTER	Granito (contacto)	142	84; 88	1.500
10	ENG. M. MARQUES	Xisto (contacto)	82	36	1.500
11	BRIEL	Granito	73	54; 60	2.000
12	TINTAS C IN	Xisto (contacto)	139	30; 97	600
13	TINTAS CIN	Xisto (contacto)	88	23; 42; 60	3.500
14	A.A. QUELHAS	Granito	106	22; 80; 97	6.000
15	A. MARQUES	Granito	130	32; 556; 83; 15	3.000
16	ESTAL. VIA NORTE	Granito	160	112; 115; 121; 155	6.000
17	D. VIRGÍNIA	Xisto	180	20; 37; 80; 130; 150; 165	20.000
18	D. VIRGÍNIA	Xisto	200	20; 37; 80; 128; 149; 165; 186	22.500
19	UNICER	Xisto	114	27; 40; 61; 70; 83; 105	11.000
20	UNICER	Xisto	150	25; 55; 58; 68; 80; 120; 135	13.000
21	UNICER	Xisto	150	73; 76; 80; 97; 105; 117; 132	17.000
22	UNICER	Xisto	205	121; 130; 138; 165	9.000
23	UNICER	Xisto	86	25; 58; 72	4.000
24	UNICER	Xisto	82	15; 30; 52; 66	12.000
25	UNICER	Xisto	80	24; 52; 64	6.000
26	UNICER	Xisto	118	50; 65; 80; 102	3.500
27	UNICER	Xisto	134	26; 45; 60; 70; 100; 115	6.000
28	UNICER	Xisto	197	70; 110; 13396; 183	12.000
29	UNICER	Xisto	104	52; 60; 85; 96	9.000

(Continua)

**Quadro II – Inventário de furos produtivos. (Continuação).**

Nº	Proprietário	Formação Geológica	Profundidade dos Furos	Principais Zonas Produtivas intercepatadas	Caudal (l/hora)
			(m)	Profundidade (m)	
30	UNICER	Xisto	115	35; 71; 95; 111	3.800
31	UNICER	Xisto	89	25; 45; 55; 68	10.000
32	UNICER	Xisto	100	40; 75; 87	7.000
33	UNICER	Xisto	100	36; 71; 84	8.000
34	UNICER	Xisto	200	82; 104; 130; 145; 152	9.000
35	UNICER	Xisto	200	43; 67; 97; 124; 133; 142; 181	15.500
36	UNICER	Xisto	200	39; 97; 135; 141; 160; 186	9.000
37	UNICER	Xisto	182	88; 100; 115; 151; 164; 168	18.000
38	C.M. MATOSINHOS	Xisto	127	34; 97; 112; 118	3.000
39	E. BRUNNER	Xisto	75	26; 43; 58	1.800
40	E. BRUNNER	Xisto	80	31; 44; 52; 66	800
41	ALCO	Granito (contacto)	112	18; 22; 34; 67; 70; 107	15.000
42	ALCO	Granito (contacto)	151	21; 64; 67; 91; 126	11.500
43	TINTAMEGA	Xisto (contacto)	100	38; 77	2.500
44	MAITEX	Granito	100	58; 67; 85	5.500
45	MAITEX	Granito	100	58; 64; 73; 79; 85	10.000
46	MAITEX	Granito	100	16; 67	500
47	MAITEX	Granito	67	34; 37; 43; 50	6.000
48	CEPSA	Granito	133	40; 76; 100	2.000
49	VERACA	Xisto (contacto)	75	12; 18; 26; 30; 54	7.000
50	VERACA	Xisto (contacto)	60	8; 12; 18; 30	8.000
51	VERACA	Xisto (contacto)	30	5; 7; 14; 19	7.000
52	VERACA	Xisto (contacto)	70	15; 25; 46; 55	10.000
53	VERACA	Xisto (contacto)	80	10; 15; 34; 64	3.000
54	VERACA	Xisto (contacto)	83	15; 28; 54; 70	3.500
55	VERACA	Granito	50	16; 22; 35	1.000
56	EXPORMÁLHAS	Granito	45	22; 31; 35	3.500
57	ISOGNON	Granito	79	25; 30; 60	1.500
58	MONTANHÊS	Granito	142	60; 112; 127	700
59	FINEX	Granito	154	42; 73; 110	1.200
60	FINEX	Granito	70	16; 37; 58	1.000
61	AVECAR	Granito	121	70; 81; 90; 100; 107	5.000
62	AVECAR	Granito	121	73; 78; 90	3.000
63	AVECAR	Granito	82	70	2.000
64	AVECAR	Granito	151	8; 16; 22; 82; 133	8.000
65	AVECAR	Granito	151	15; 25; 67; 91; 112	6.500
66	AVECAR	Granito	151	76; 94; 123; 131; 139	4.500
67	M. CAVADAS	Granito	109	80; 96	6.000
68	D.C. SOARES	Granito	60	22; 27; 36; 51	20.000
69	R. A. LIMA	Granito	50	16; 21; 26; 46	8.000
70	ARGON S.A.	Granito	88	5; 77	4.800
71	ARGON S.A.	Granito	67	4; 25; 52	1.500
72	ARGON S.A.	Granito	100	6; 40; 90	4.000
73	ARGON S.A.	Granito	100	5; 87	4.500
74	ARGON S.A.	Granito	100	6; 75	3.000

#### 4. PARÂMETROS ESTATÍSTICOS

Os dados disponíveis apresentam uma distribuição que segue muito fielmente a distribuição log-normal (Figura 2). O ajuste pode ser avaliado calculando o coeficiente de correlação entre os quantis empíricos e os correspondentes àquela distribuição. Os quantis empíricos foram calculados usando a fórmula proposta por Cunanan:

$$p = (i - 0,4) / (n + 0,2)$$

onde  $i$  é o número de ordem da variável ordenada e  $n$  o tamanho da amostra (Helsel e Hirsch, 1992). O coeficiente de correlação obtido foi 0,965 para os xistos e 0,996 para os granitos. Os valores críticos que permitiram rejeitar a hipótese de ajuste à distribuição proposta são 0,962 ( $\alpha=2.5\%$ ) e ( $\alpha=5\%$ ), respectivamente, de acordo com o teste de Looney e Gulleg (1985).

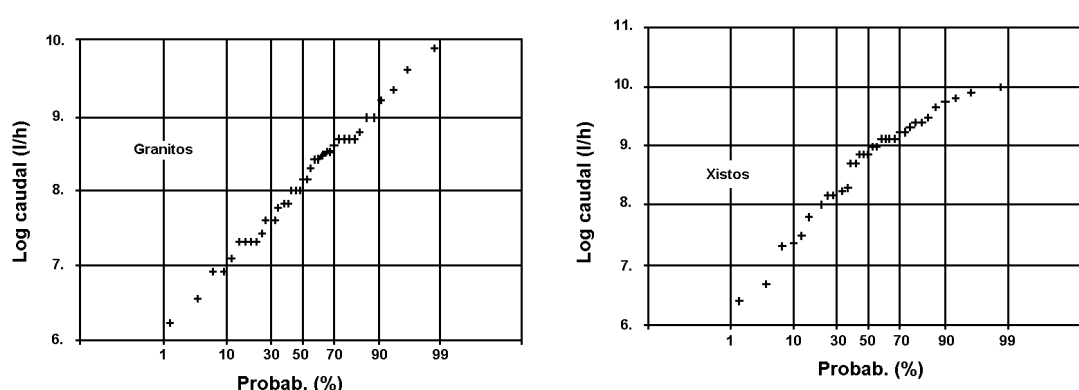


Figura 2 – Distribuição dos caudais dos furos em granitos e xistos.

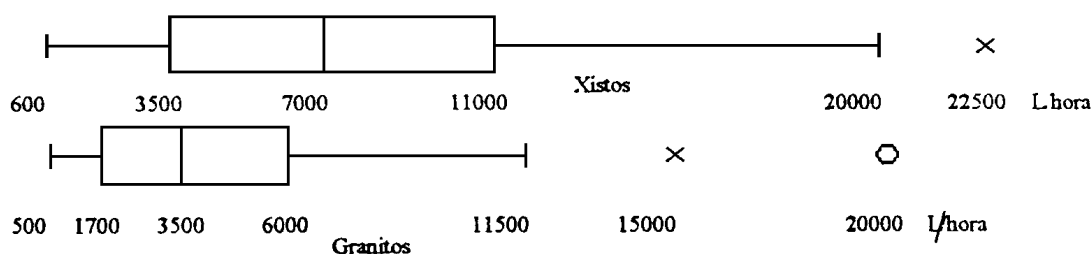


Figura 3 - Diagrama de caixas dos caudais dos furos em granitos e xistos.

As estatísticas relativas aos dois conjuntos apresentam diferenças evidentes não só no que respeita às medidas de tendência central como também às de dispersão (Figura 3). Por exemplo, pode-se verificar que o terceiro quartil referente aos caudais dos furos executados em granitos é inferior à mediana dos caudais dos furos em xistos. No Quadro III apresentam-se os valores dos extremos e das estatísticas mais importantes.

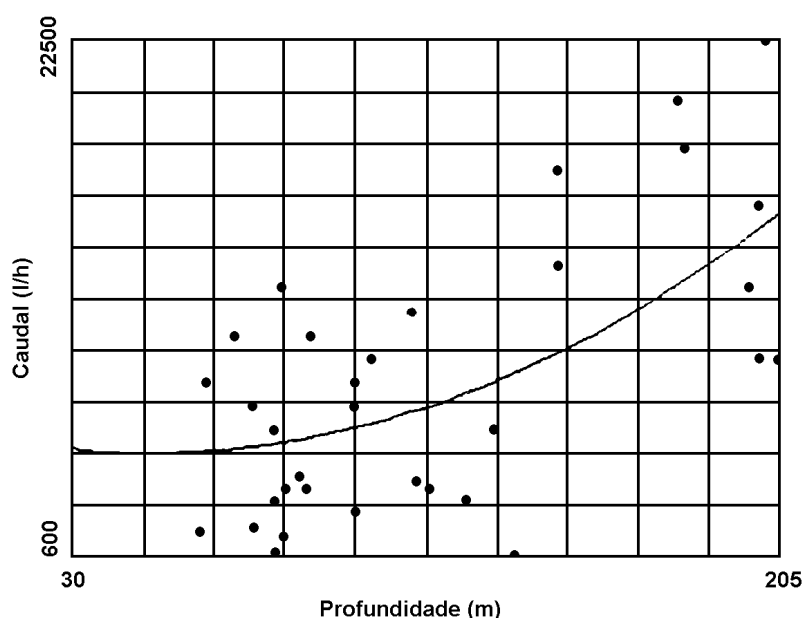


**Quadro III – Extremos e estatísticas principais dos caudais**

	Granitos	Xistos
Nº de furos	44	38
Caudal máximo (l/hora)	20000	22 500
Caudal mínimo (l/hora)	290	590
Média	4 096	7 397
Desvio Padrão	4012	5768
Coefficiente de variação	97.9%	78.0%
1º Quartil	1500	2 875
2º Quartil (mediana)	3000	7000
3º Quartil	5 875	10 250
Amplitude Inter-quartis	4375	7375

Em trabalhos referentes à hidrogeologia de rochas cristalinas é frequente estabelecer-se a correlação entre os caudais e as profundidades. Em grande parte desses trabalhos tem-se verificado a inexistência de uma correlação significativa entre aquelas duas variáveis, o que esteve na base da premissa de que não se justificaria perfurar para além de uma profundidade da ordem dos 40 m a 60 m.

No caso presente também se estabeleceu a correlação entre as profundidades e as produtividades. Os resultados obtidos mostram comportamentos distintos entre as duas litologias

**Figura 4 - Diagrama de dispersão Caudal vs Profundidade e curva correspondente ao polinómio ajustado.**

estudadas. De facto, enquanto que em relação aos granitos não se verifica qualquer correlação significativa, relativamente aos xistos obteve-se um coeficiente de correlação, para o ajuste a um modelo polinomial (Figura 4), relativamente elevado ( $r = 0,624$ ), com equação:

$$Q = 6050 - 42,145 \times P + 0,42195 \times P^2,$$

onde P, é a profundidade em metros e Q o caudal em litros por hora.

Esta última constatação deverá ser tomada com alguma prudência porque poderá ser válida apenas regionalmente. Factores certamente influentes, como a tectonização, estarão provavelmente na base daquela correlação.

## 5- COMPARAÇÃO DOS DADOS

Embora as diferenças entre a distribuição dos caudais dos dois grupos estudados pareçam significativas, logo numa primeira análise, e possam, ainda, ser evidenciadas através de projecção em gráficos apropriados como, por exemplo, um diagrama quantil-quantil (Figura 5), é necessário proceder a testes estatísticos adequados para que tais diferenças possam ser provadas com uma sólida base estatística.

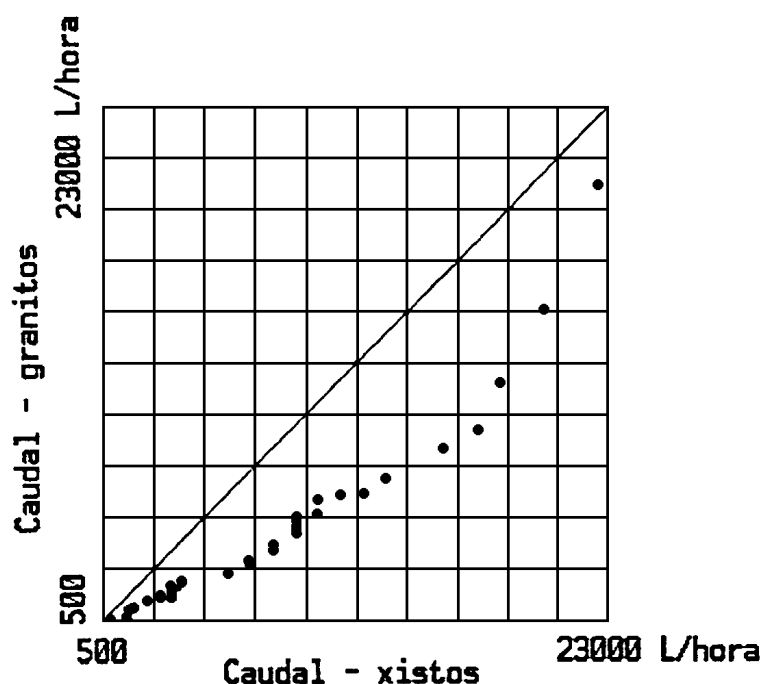


Figura 5 – Diagrama quantil – quantil dos caudais das duas litologias.

Para esse efeito foi dada preferência aos testes não paramétricos de SMIRNOV para duas amostras e de CRAMÈR-von MISES. A razão dessa preferência assenta, entre outras, no facto dos testes paramétricos serem sensíveis a diferenças entre as variâncias dos dois conjuntos que se quer comparar. Os referidos testes aplicam-se a duas amostras aleatórias e independentes onde a escala de medição é, pelo menos, ordinal (CONOVER, 1980).

As hipóteses nula e alternativa podem ser colocadas do seguinte modo:

$$H_0 : F(x) = G(x) \text{ para todos os } x \text{ de } -\infty \text{ a } +\infty$$

$$H_1 : F(x) \neq G(x) \text{ pelo menos para um valor de } x,$$

sendo  $F(x)$  e  $G(x)$  as funções de distribuição correspondentes às duas amostras.

O teste estatístico de Smimov (bilateral) baseia-se na determinação da distância máxima, medida na vertical, entre as duas funções de distribuição empírica.

Considerando-se  $S_1(x)$  e  $S_2(x)$  as funções de distribuição empírica das duas amostras,  $T_1$  é definido como a maior distância vertical entre as duas funções:

$$T_1 = \max_x | S_1(x) - S_2(x) |$$

O teste estatístico de Cramér-von Mises ( $T_2$ ) é representado por:

$$T_2 = \frac{mn}{(m+n)^2} \sum_{x=X_i, x=Y_i} [S_1(x) - S_2(x)]^2$$

onde o somatório do quadrado das diferenças é calculado para cada  $X_i$  e para cada  $Y_i$ . Rejeita-se  $H_0$ , ao nível de significância  $\alpha$ , se a estatística  $T_1$  ou  $T_2$  exceder o quantil  $1-\alpha$ , de acordo com as respectivas tabelas (CONOVER, 1980).

A utilização do teste de Cramér-von Mises, embora semelhante ao teste de Smirnov, permite, segundo alguns autores, fazer uma utilização dos dados mais efectiva.

Os resultados da aplicação dos testes atrás referidos, que se apresentam no Quadro IV, permitem rejeitar a hipótese nula quando se compara a distribuição dos caudais em granitos com os dos xistos.

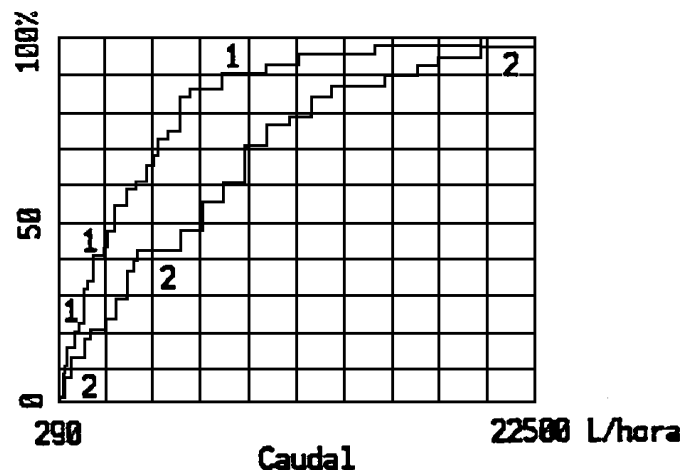


Figura 6 - Curvas cumulativas da distribuição dos caudais dos furos em granitos (1) e xistos (2).

**Quadro IV - Resultados do Teste de Smirnov ( $T_1$ ) e de Cramér-von Mises ( $T_2$ ) na comparação das funções de distribuição dos caudais em granitos e xistos.**

T. Smirnov ( $T_1$ )	0.390
Valor crítico $p/\alpha=5\%$	0.301
Hipótese nula	Rejeitada
T.C.-von Mises ( $T_2$ )	0.826
Valor crítico $p/\alpha=5\%$	0.461
Hipótese nula	Rejeitada

## 6- CONCLUSÕES

A análise estatística de dados de caudais produzidos por furos verticais implantados em granitos e xistos, na margem direita do rio Leça, nos arredores da cidade do Porto, mostrou existirem diferenças significativas, quer quanto às medidas de tendência central, quer quanto à dispersão, embora ambos os conjuntos se ajustem a uma distribuição do tipo log-normal. Na região estudada verifica-se que os furos nos xistos apresentam uma produtividade significativamente mais elevada do que os furos nos granitos. Por outro lado, ao contrário dos granitos onde não se verifica correlação entre os caudais e as profundidades, nos xistos verifica-se um ajuste a um modelo polinomial, embora com uma correlação não muito elevada.

As conclusões que se puderam extrair dos dados, vêm confirmar outras que têm sido referidas recentemente por outros autores, no que respeita ao tipo de distribuição dos valores de caudais e também à comprovada maior produtividade dos xistos (PEREIRA e ALMEIDA, 1994).

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à empresa HIDRONORTE a utilização de dados dos seus arquivos.

## BIBLIOGRAFIA

- CARRINGTON DA COSTA, J.; TEIXEIRA, C. (1957) - Notícia Explicativa da Folha 9-C-Porto. Carta Geológica de Portugal. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- CARVALHO, J. M. (1984) - A metodologia da prospecção e pesquisa de águas subterrâneas em formações cristalinas e cristalofílicas portuguesas. Vol. d'hommage au géologue G. Zbyszewski, Éd. Recherche sur les Civilisations, Paris, pp. 137-153.
- CARVALHO, J. M. (1983) - Ground water exploration in hard rocks for small-scale irrigation in Trás-os-Montes, Portugal. I.A.H. Memoires, vol. XXIV Part 1, Ed. by Sheila and David Banks, p. 1021-1030.
- CHAMBEL, A. A. (1990) - Hidrogeologia da região de Évora. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Geologia Económica e Aplicada, Univ. de Lisboa, 126 pp.

- COSTA, M. R. (1990) - Critérios para a selecção de locais favoráveis á ocorrência de água subterrânea em rochas cristalinas na região de Trás-os-Montes Oriental. Dissertação apresentada para as provas de aptidão científica na Univ. de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 73 pp.
- HELSEL, D. R. e HIRSCH, R. M. (1992) - Statistical Methods in Water Resources. Elsevier.
- LOONEY e GULLEG (1985) - Use of the correlation coefficient with normal probability plots, The American Statistical, 39, pp. 75-79.
- MENDES, J. C. e BETTENCOURT, M. L. (1980) - O Clima de Portugal - Fascículo XXIV. Contribuição para o Estudo do balanço climatológico da água no solo e da classificação climática de Portugal Continental. Inst. Nac. de Meteorol. e Geofísica.
- PEREIRA, M. R. C. (1992) - Importância dos filonetes de quartzo na pesquisa de água subterrânea em rochas cristalinas, Geolis, vol. VI (1 e 2), pp. 46-52.
- PEREIRA, M. R. C. e ALMEIDA, C. (1994) - Captação de água subterrânea em rochas cristalinas: factores que influenciam a produtividade. II Congresso Nacional da Água.