

PROBABILIDADES E PROBABILIDADES CONDICIONAIS EM HIDROGEOLOGIA

Luís RIBEIRO¹

RESUMO

Nos problemas de poluição de águas subterrâneas, interessa mais a detecção dos valores anormais e o estudo da sua conectividade do que a avaliação da poluição média existente.

Neste estudo são apresentadas um corpo de técnicas geoestatísticas que permitem detectar e modelar os padrões da dependência espacial dos atributos assim como avaliar o risco associado, com base no arranjo mútuo das indicatrizes previamente construídas.

Os mapas e gráficos resultantes da aplicação desta metodologia estocástica permitem responder às seguintes questões de grande importância em estudos de risco ambiental:

1 - Qual é a probabilidade de, num certo local desconhecido, a concentração do poluente exceder o Valor Máximo Admissível ?

2 - Qual é a probabilidade de encontrar a uma distância h , no domínio de valores $\geq z_1$, um valor $\geq z_2$?

3 - Qual é a probabilidade de encontrar a uma distância h , no domínio de valores $< z_2$, um valor $< z_1$?

Palavras-chave: Hidrogeologia, Poluição, Geoestatística, Variograma

¹ Prof. Auxiliar, CVRM / Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais, 1096 Lisboa

1 - INTRODUÇÃO

Cada vez mais o Planeamento e a Gestão dos Recursos Hídricos Subterrâneos necessitam de ferramentas robustas que permitam retirar o máximo de informação dos dados recolhidos em inventários realizados no âmbito de projectos de investigação hidrogeológica.

Por outro lado, desde há muito que a cartografia convencional, efectuada na base de métodos clássicos de estimação tem sido preterida a favor de representações cartográficas onde na base das interpolações efectuadas está o modelo estrutural espacial e/ou temporal da variável hidrogeológica.

Para quantificar a incerteza subjacente ao fenómeno hidrogeológico, a Geoestatística criou um corpo de técnicas probabilísticas que permite detectar e modelar os padrões da dependência espacial dos atributos assim como avaliar o risco associado.

Nos problemas de poluição de águas subterrâneas, contudo, interessa mais a detecção dos valores extremos (leia-se anormais) e o estudo da sua conectividade do que a avaliação da poluição média existente.

Nestes casos específicos os métodos geoestatísticos clássicos, alicerçados no modelo gaussiano tradicional da distribuição dos erros, ao atenuar a realidade, podem conduzir à subavaliação da magnitude da poluição existente, com consequências nefastas ao nível do controlo da qualidade da água subterrânea (JOURNAL,1987).

Por outras palavras, os problemas de planeamento necessitam mais de respostas para perguntas concretas do tipo:

Qual é a probabilidade de, num certo local desconhecido, a concentração do poluente exceder o Valor Máximo Admissível ?

Isto é as decisões devem ser tomadas com base em mapas de risco, de modo a melhor caracterizar as fontes de poluição, possibilitando ao mesmo estabelecer mais adequadamente os planos e as redes de monitorização e simultaneamente architectar as mais adequadas acções de remediação.

2 - PROBABILIDADES

Exemplificar-se-á em seguida tudo o que atrás foi dito, utilizando-se para tal um caso real de contaminação salina identificado no sistema aquífero de Luz-Tavira, na zona da Maragota, Algarve.

O problema foi já apresentado em RIBEIRO *et al.* (1997), nas suas vertentes geológica e hidrogeológica, tendo-se analisado com o auxílio de métodos geoestatísticos a similitude entre as anomalias geofísicas detectadas e as anomalias salinas estimadas.

A variável a estudar é pois a concentração em cloretos.

Pretende-se agora aprofundar a caracterização geoestatística realçando o papel relevante que o corpo probabilístico pode ter nas aplicações práticas.

Numa abordagem obrigatoriamente não paramétrica (cf. RIBEIRO *et al.* 1997), a função de distribuição de probabilidade experimental é discretizada num número de percentis e sobre estes é efectuada uma análise estrutural completa que inclui não só o cálculo dos variogramas simples (mede a correlação espacial entre valores), como também os co-variogramas entre eles (mede a correlação cruzada).

Foram então construídas 3 indicatrizes baseadas nos percentis 50% (a mediana), 70% e 90% que correspondem respectivamente os valores limite 185mg/l, 376mg/l e 857mg/l.

Esta codificação implica que o espaço dos teores em cloretos se divida num conjunto de valores acima do valor limite (com o código 1) e abaixo do valor limite (com o código 0).

Os padrões de correlação espacial dessas indicatrizes são identificados pelos seus variogramas simples (ver Fig. 1) e pelos seus variogramas cruzados (ver Fig. 2). Note-se que as funções foram calculadas segundo a direcção NW-SE, que corresponde à direcção melhor estruturada. A análise do andamento das funções mostra claramente uma des-estruturação dos variogramas (a magnitude da amplitude decresce com o aumento do percentil) o que põe em evidência o carácter localizado do fenómeno da poluição.

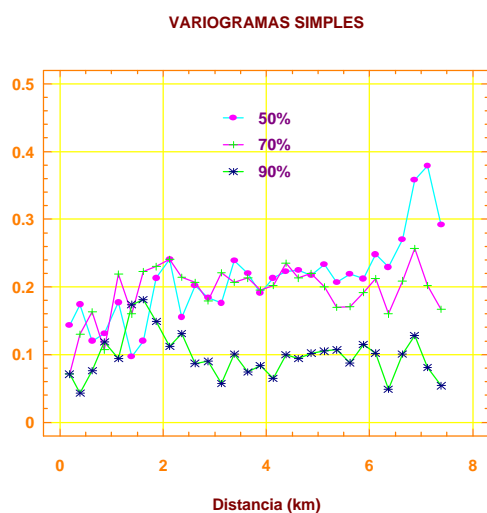


Figura 1 - Variogramas experimentais simples das indicatrizes respeitantes aos percentis 50%, 70% e 90%.

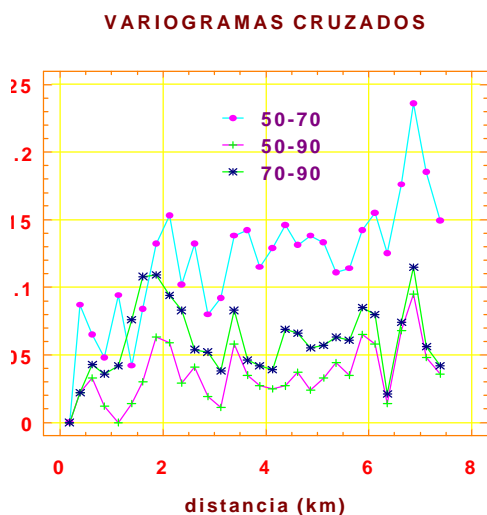


Figura 2 - Co-variogramas experimentais entre as indicatrizes respeitantes aos percentis 50%, 70% e 90%.

Para efeitos de krigagem foram ajustados modelos teóricos do tipo esférico, com efeito de pepita, tendo sido validados com os dados observados.

Os parâmetros de cada um dos modelos bem como os estatísticos de validação estão representados no Quadro 1.

Sobre uma malha quadrada de 100m de lado, sobre-imposta à área em estudo foi realizada a estimação.

Quadro 1

Parâmetros dos modelos esféricos e estatísticos de validação

Indicatrizes	c0	c	A	e.m.	e.r.q.m.
50%	0.1	0.152	6 km	0.0018	1.0246
70%	0.08	0.132	2.2 km	0.044	1.028
90%	0.05	0.045	1.5 km	-0.0023	0.945

Legenda: c0 - efeito de pepita; c - patamar; a - amplitude

e.m. - erro médio e.r.q.m. - erro reduzido quadrático médio

As figuras 3 a 5 mostram os mapas de risco para os percentis 50%, 70% e 90%.

São 3 imagens diferentes do fenómeno de poluição, que podem ser utilizadas a diversos níveis de decisão, consoante os normativos de qualidade adoptados.

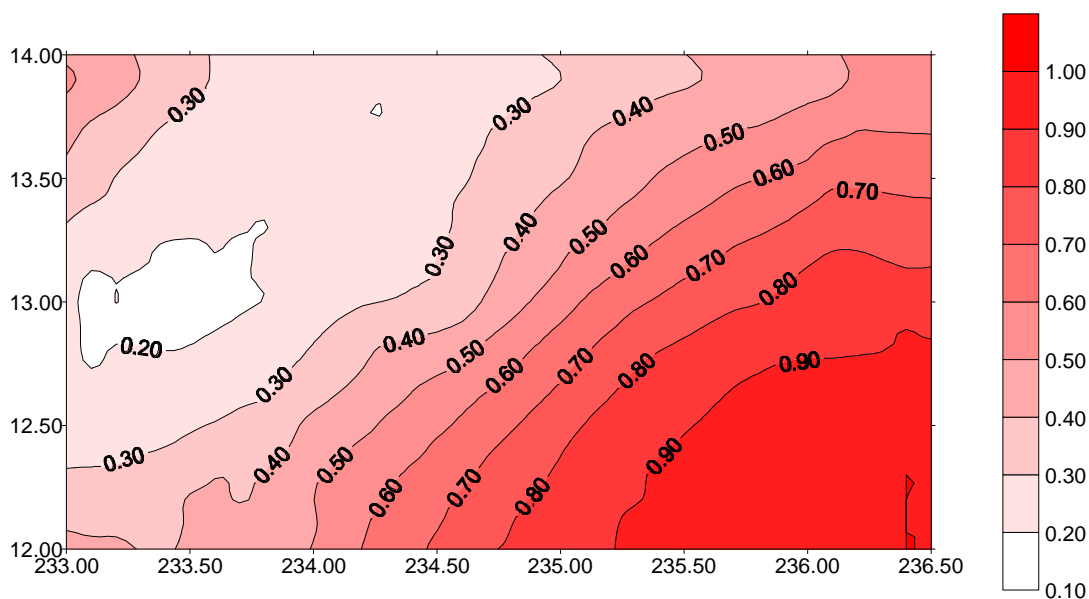


Figura 3 - Mapa de risco I - Iso-probabilidades das concentrações de cloreto excederem 185 mg/l.

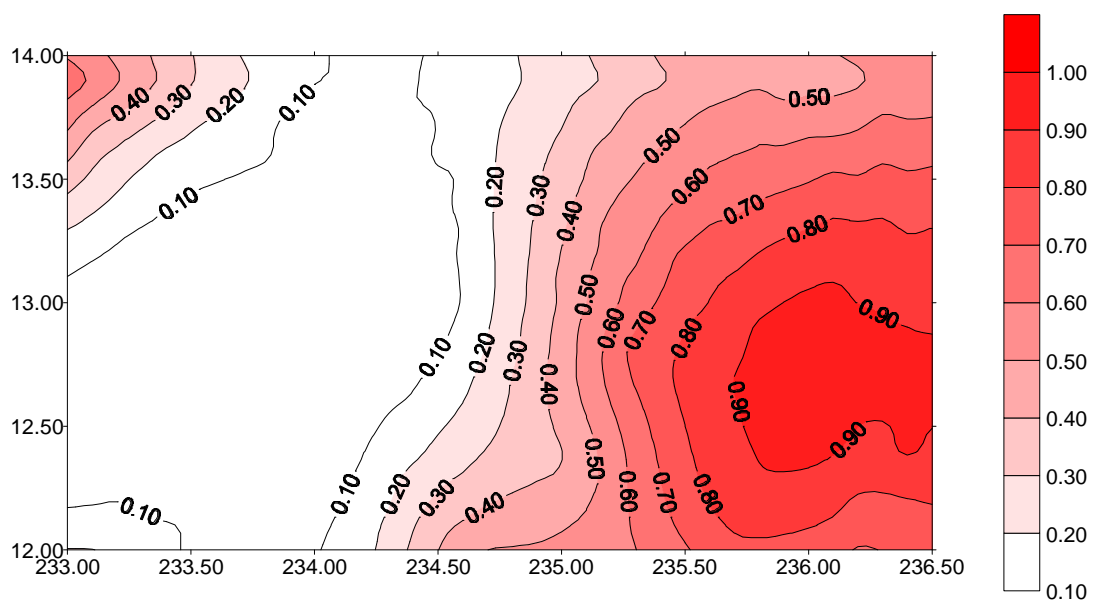


Figura 4 - Mapa de risco II - Iso-probabilidades das concentrações de cloreto excederem 376 mg/l.

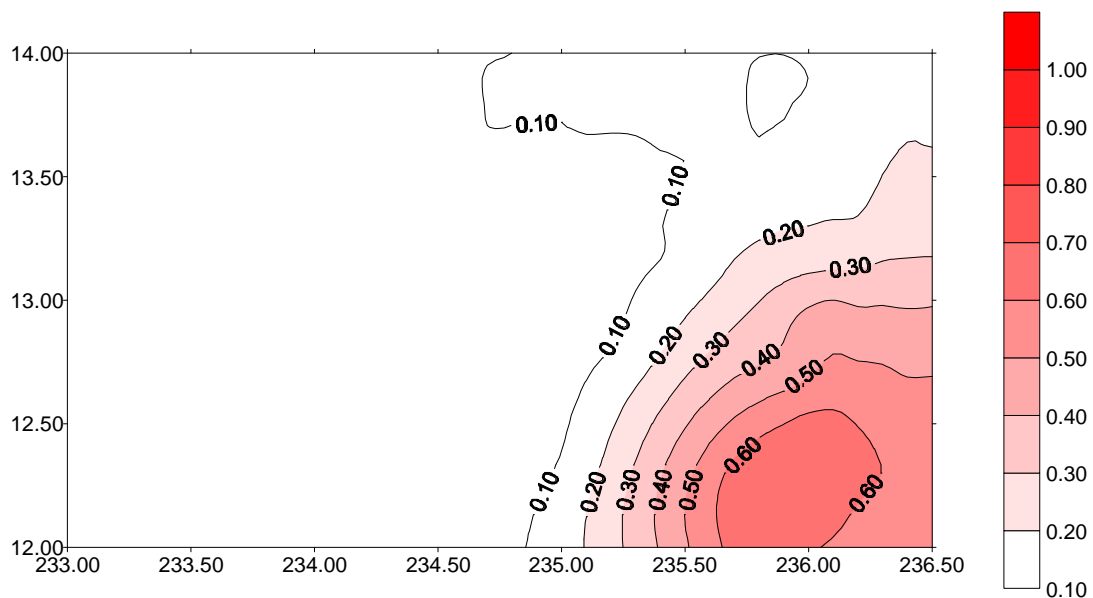


Figura 5 - Mapa de risco III - Iso-probabilidades das concentrações de cloreto excederem 857 mg/l.

3 - PROBABILIDADES CONDICIONAIS

Não menos importantes são os resultados obtidos pelas seguintes expressões :

$$1) \quad P(h) = \frac{g_c(z_1; z_2)}{g(z_1)} \quad ($$

$$2) \quad Q(h) = \frac{g_c(z_1; z_2)}{g(z_2)} \quad ($$

onde $g_c(z_1; z_2)$ é o variograma cruzado entre a indicatriz correspondente ao valor z_1 e a indicatriz correspondente ao valor z_2 , $g(z_1)$ é o variograma simples da indicatriz correspondente ao valor z_1 e $g(z_2)$ é o variograma simples da indicatriz correspondente ao valor z_2 ,

$P(h)$ e $Q(h)$ são probabilidades condicionais em função da distância h e têm o seguinte significado:

$P(h)$ é a probabilidade de encontrar a uma distância h , no domínio de valores $\geq z_1$, um valor $\geq z_2$.

$Q(h)$ é a probabilidade de encontrar a uma distância h , no domínio de valores $< z_2$, um valor $< z_1$.

Nas figuras 6 a 11 estão representadas os gráficos $P(h)$ vs h e $Q(h)$ vs h para os percentis seleccionados.

Em todas as figuras nota-se um crescimento da função para os primeiros valores de h a que se segue um estabilização em torno de um patamar Θ cujo valor é o quociente entre a covariância e a variância (conforme eq.(1) e eq.(2)).

Nota-se contudo que a amplitude da função Q é sempre a maior que a de P .

Os gráficos lêem-se da seguinte maneira:

Por exemplo, a figura 7 diz-nos que existe 50% de probabilidade de encontrar a uma distância de 1.2km, no domínio das concentrações de cloreto ≥ 185 mg/l um valor ≥ 376 mg/l.

Por outro lado a figura 11, diz-nos que existe 70% de probabilidade de encontrar, a uma distância 1.8 km no domínio das concentrações de cloreto < 857 mg/l um valor < 376 mg/l.

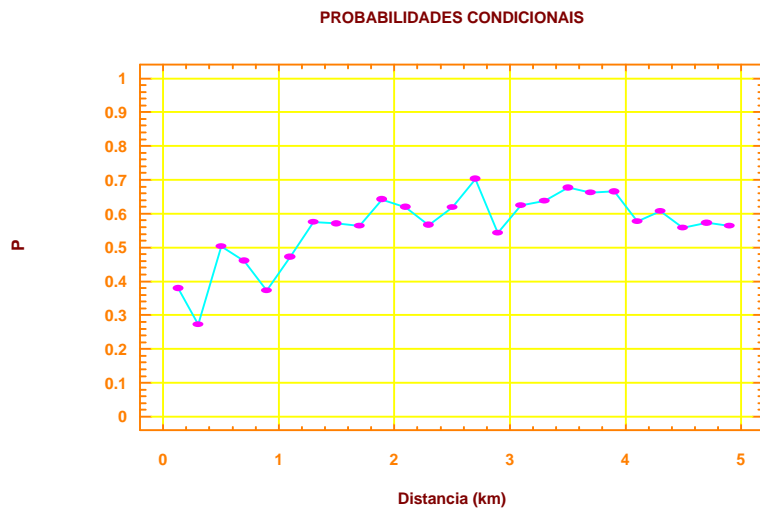


Figura 6 - Gráfico que indica a probabilidade de encontrar, a uma distância h , no domínio de valores ≥ 185 mg/l um valor ≥ 376 mg/l ($\Theta = 0.595$)

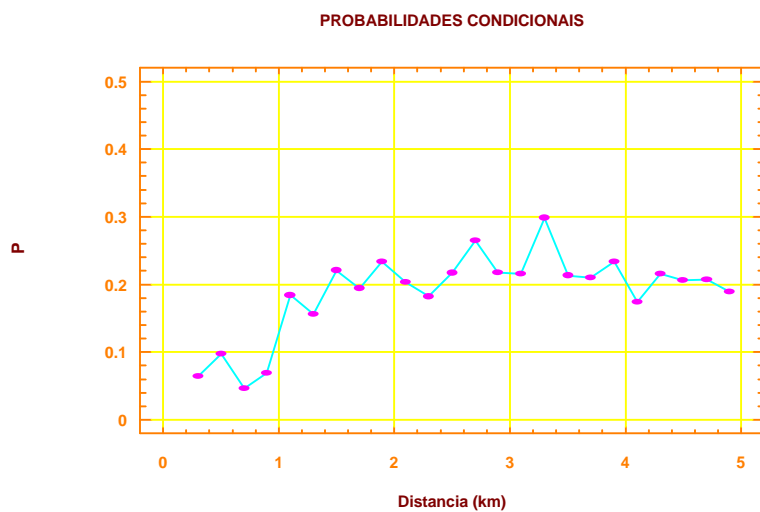


Figura 7 - Gráfico que indica a probabilidade de encontrar, a uma distância h , no domínio de valores ≥ 185 mg/l, um valor ≥ 857 mg/l ($\Theta = 0.206$).

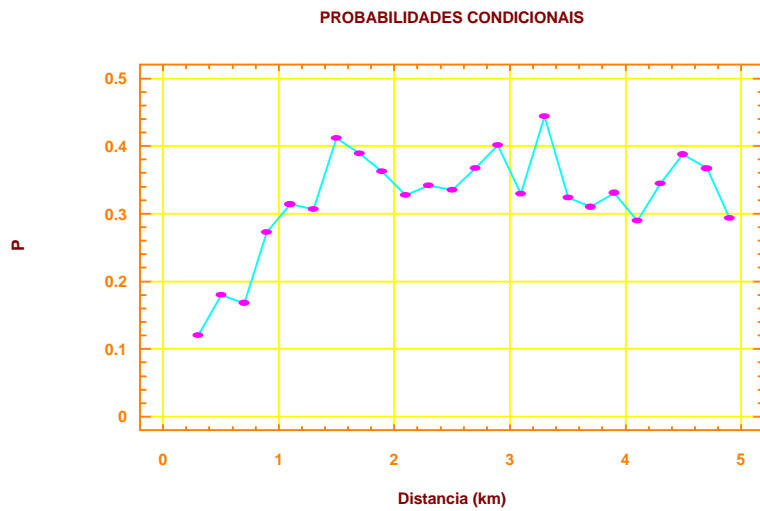


Figura 8 - Gráfico que indica a probabilidade de encontrar, a uma distância h , no domínio de valores ≥ 376 mg/l, um valor ≥ 857 mg/l ($\Theta = 0.349$).

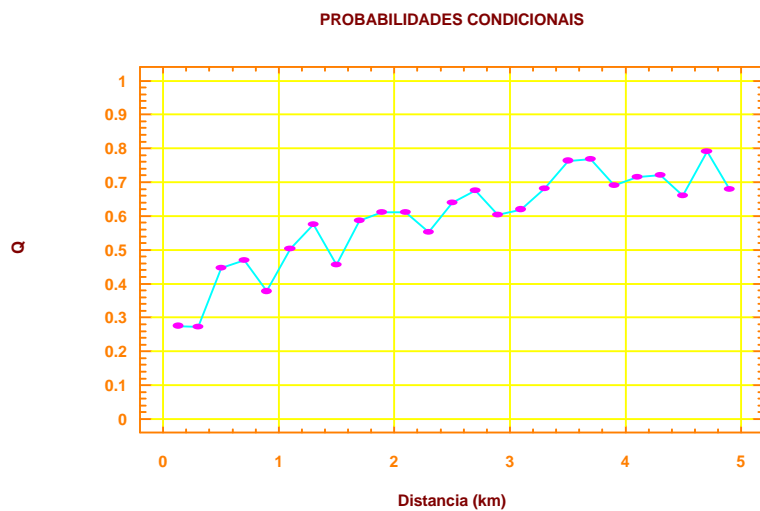


Figura 9 - Gráfico que representa a probabilidade de encontrar, a uma distância h no domínio de valores < 376 mg/l, um valor < 185 mg/l ($\Theta = 0.707$).

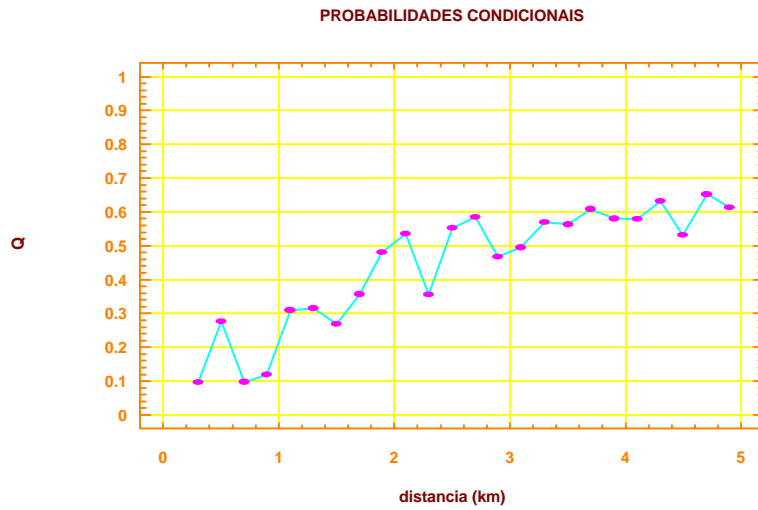


Figura 10 - Gráfico que representa a probabilidade de encontrar, a uma distância h no domínio de valores $< 857 \text{ mg/l}$, um valor $< 185 \text{ mg/l}$ ($\Theta = 0.547$).

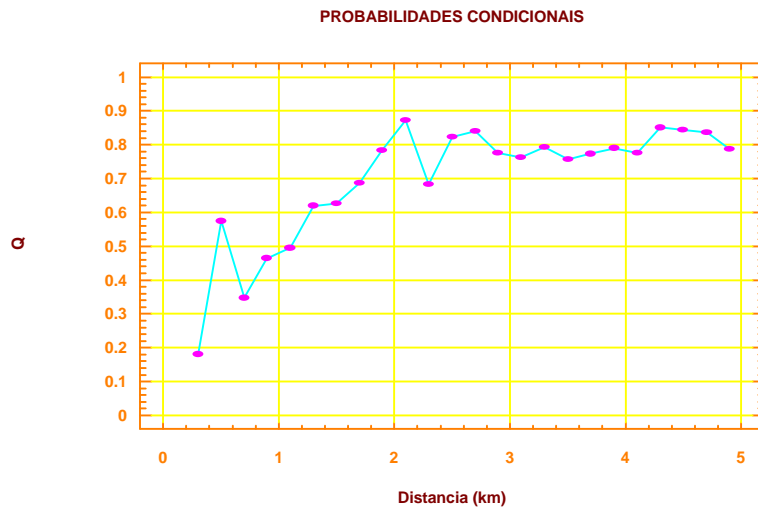


Figura 11 - Gráfico que representa a probabilidade de encontrar, a uma distância h no domínio de valores $< 857 \text{ mg/l}$, um valor $< 376 \text{ mg/l}$ ($\Theta = 0.779$).

4 - CONCLUSÕES

Os mútuos arranjos das indicatrizes (tipo mosaico, tipo difusão ou tipo resíduos) caracterizados pelos padrões espaciais definidos pelos respectivos variogramas e co-variogramas têm ligações óbvias com a geometria da pluma de poluição e com implicações importantes ao nível da selecção do tipo de técnica a aplicar nas operações de estimação: Krigagem simples das indicatrizes, Krigagem dos resíduos das indicatrizes ou Krigagem Disjuntiva (RIVOIRARD,1993).

As técnicas geoestatísticas permitem apresentar outro tipo de mapas também de grande utilidade: Os mapas de risco de má classificação nas áreas potencialmente perigosas ou os mapas dos quantis das concentrações de cloretos respeitantes a probabilidades pré-fixadas.

Por último os mapas de risco podem ser instrumentos fundamentais nos critérios de optimização de redes de monitorização, com base na identificação naquelas zonas onde existe uma rápida passagem de áreas de grande probabilidades para zonas de pequena probabilidade de exceder o valor limite fixado.

BIBLIOGRAFIA

JOURNEL, A. - *Geostatistics for the Environmental Sciences*. EPA Project nº CR 811893, Technical Report, Las Vegas, US EPA,EMS Lab, NV, 1987.

RIBEIRO L. ; SANTOS, A.C.; DIAS da SILVA J. - Caracterização Geoestatística da Contaminação Salina por Dissolução de Evaporitos - Um Caso na Zona da Maragota. Lisboa, 4º Congresso da Água, 1998, 8p.

RIVOIRARD J. - Relations Between the Indicators Related to a Regionalized Variable in A. Soares (ed), *Geostatistics Troia'92*, The Netherlands 1993, Kluwer Acad. Pub., vol.1, 273-284.