

# Prioritização da investigação de locais contaminados por aplicação de análise factorial de correspondências

G. Brito<sup>(a,1)</sup>, C. N. Costa<sup>(a,b,2)</sup>, H. Vargas<sup>(a,3)</sup>, P. H. Verdial<sup>(a,4)</sup>, M. Lopes<sup>(a,5)</sup>,  
G. Avillez<sup>(a,6)</sup> & D. Vendas<sup>(a,7)</sup>

a - Centro de Investigação em Geociências Aplicadas (CIGA/ FCT/UNL), Quinta da Torre, Monte de Caparica, 2829-516 Caparica, Portugal

b - Instituto Geológico e Mineiro, Estrada da Portela, Zambujal - Alfragide, Apartado 7586, 2720-866 Amadora

1 - mgb@fct.unl.pt, 2 - carlos.costa@igm.pt; 3 - hugo@ciga.fct.unl.pt; 4 - hasse@ciga.fct.unl.pt,

5 - mlopes@ciga.fct.unl.pt, 6 - goncalo@ciga.fct.unl.pt, 7 - daniel@ciga.fct.unl.pt

## RESUMO

**Palavras-chave:** contaminação de solos; Análise Factorial de Correspondências; mapa de risco; ambiente.

Este estudo surge como uma nova abordagem para a avaliação da contaminação de solos, na sequência de trabalhos anteriores (Costa *et al.*, 2001; Brito *et al.*, 2003), em que a metodologia então seguida incidiu sobre o desenvolvimento de um modelo SIG para a avaliação da contaminação de solos no concelho do Seixal. Nesses trabalhos é adoptado o modelo de contaminação de J. Petts *et al.* (1997) [*Fonte* → *Percurso* → *Receptor*], em que a entidade *fonte* é traduzida por atributos que descrevem o potencial de contaminação do local; o item *percurso* é representado por um conjunto de parâmetros categóricos que descrevem a susceptibilidade do meio biofísico e o item *receptor* é descrito por atributos que traduzem a susceptibilidade do meio antrópico.

A combinação dos factores do sistema assenta na aplicação da análise factorial das correspondências binárias, como algoritmo discriminante para a identificação e hierarquização dos locais que apresentem a situação mais desfavorável do ponto de vista ambiental.

Os locais são ordenados num eixo factorial que traduz, através de um índice, os parâmetros de risco ambiental que os descrevem. A integração dos resultados em SIG permite a obtenção de uma carta de risco, numa fase preliminar de avaliação do estado do ambiente.

## Introdução

Nas ultimas décadas tem-se assistido a uma mudança de atitude face à problemática dos solos contaminados. O reconhecimento da gravidade de algumas situações desastrosas para a saúde humana e para o ambiente conduziram, nos anos 80, a políticas extremas de controlo do risco numa perspectiva local que visava a limpeza desses locais a níveis técnica e financeiramente impraticáveis.

O rápido crescimento demográfico e a necessidade de ocupação de novos espaços conduziu a que a abordagem da problemática dos solos contaminados fosse vista como um sistema integrado *fonte/meio biofísico/meio antrópico*, de forma a promover acções de intervenção ambiental adequadas ao desenvolvimento futuro do espaço.

No seguimento de trabalhos anteriores, (Costa *et al.*, 2001; Brito *et al.*, 2003), apresenta-se uma nova abordagem, com base na Análise Factorial de Correspondências, para a classificação e hierarquização dos locais que apresentam maior risco de contaminação dos solos, numa fase preliminar de diagnóstico do estado do ambiente.

## Metodologia

A abordagem metodológica baseia-se na aplicação da Análise Factorial de Correspondências como algoritmo discriminante (Benzécri, 1980, Greenacre, 1984) de forma a ordenar, sobre um eixo discriminante, aqueles locais (ou indivíduos) que apresentam as características ambientais mais desfavoráveis em termos de risco ambiental.

Foi adoptado o modelo conceptual de contaminação [*Fonte* → *Percurso* → *Receptor*] (Petts *et al.*, 1997), assumido como o binómio *Fonte vs. Receptor*, onde o elemento *Fonte* representa os locais (sítios), que são origem da poluição e *Receptor* compreende os factores do meio biofísico (receptores primários e agentes de transferência da contaminação) e os factores antrópicos (receptores secundários).

São definidos os critérios que melhor descrevem o sistema, face ao potencial de contaminação de cada local (*fonte*), à susceptibilidade do meio biofísico (*receptor/ agente de mobilidade do meio biofísico*) e à susceptibilidade do meio antrópico (*receptor antrópico*).

Cada entidade (fontes e receptores) é avaliada e categorizada segundo os critérios definidos e, para cada elemento do sistema (fontes e receptores), construída uma matriz de dados  $Q_{nxq}$ , em que  $n$  corresponde ao numero de indivíduos (locais em análise) e  $q$  as propriedades de cada indivíduo desdobradas em  $nc$  classes (nominais, ordinais e/ou booleanas), que descrevem a situação mais favorável/desfavorável do ponto de vista ambiental.

A situação mais desfavorável resulta da combinação das propriedades nas classes mais penalizantes e, inversamente, a situação mais favorável resulta da combinação das classes opostas.

A AFC é aplicada à matriz  $Q_{2 \times q}$ , apenas para 2 vectores, definidos *a priori*, que traduzem as situações extremas do estado do ambiente. Os restantes elementos da matriz são projectados em suplementar (Pereira *et al.*, 1993), sobre o eixo factorial criado e as respectivas coordenadas da projecção representam, em termos quantitativos o estado de cada local, face aos critérios ambientais definidos. A projecção dos elementos em suplementar sobre o eixo factorial é dada pela equação 1.

$$f(i) = \frac{1}{\sqrt{\lambda q}} \sum_{j=nc(k-1)+1}^{nc(k)} x(i, j) p(j) \quad (1)$$

onde:

- $f(i)$  valor da coordenada do elemento  $i$ , na escala dos valores extremos definidos
- $\lambda$  valor próprio associado ao eixo discriminante
- $q$  número de atributos
- $nc(k)$  categorias do atributo  $k$
- $x(i, j)$  elemento da matriz linha  $i$ , categoria  $j$
- $p(j)$  projecção da categoria  $j$  no eixo discriminante

### Aplicação às áreas industriais do concelho do Seixal

O concelho do Seixal ocupa uma área de 94.6km<sup>2</sup>, localiza-se no distrito de Setúbal, margem sul do rio Tejo e faz fronteira com os concelhos de Almada, de Sesimbra e do Barreiro.

Foram utilizados para o estudo aqueles locais que, pela sua actividade económica e histórico, foram considerados como potenciais fontes de poluição no concelho. Os locais foram codificados em classes de favorabilidade/susceptibilidade, segundo critérios ambientais pré-definidos (Costa, 2001 *et al.*; Brito *et al.*, 2003). A título ilustrativo, apresentam-se alguns dos critérios utilizados para a caracterização dos locais, codificados por classes, por ordem crescente de favorabilidade/adequabilidade: (i) variável *con* - conhecimento do grau de contaminação - classe 5 – estado de contaminação provado; classe 4 – identificado; classe 3 – provável; classe 2 – expectável, classe 1 não expectável; (ii) variável *act* – classifica o local quanto ao estado de actividade, da pior situação para a melhor: abandonado ou clandestino – classe 4; reconvertido urbano – classe 3; reconvertido industrial – classe 2 e em actividade – classe 1; (iii) variável *loc* – classifica o local quanto à adequabilidade de localização do local: em meio urbano/sub-urbano – classe 3, em meio rural – classe 2, num parque industrial – classe 1; (iv) variável *are*: classifica o local em termos da sua área de implantação (dimensão); classe 5 – área maior do que 200ha, classe 4 - 20 <área <= 200ha, classe 3 – entre 2 e 20 ha, classe 2 – entre 2000m<sup>2</sup> e 2ha, classe 1 – área < 2000m<sup>2</sup>.

O Quadro I exemplifica a recodificação dos dados para a AFC numa matriz disjuntiva completa  $Q_{n \times q}$ . Os vectores BOM e MAU traduzem, respectivamente, as situações extremas traduzidas pela ocorrência das características mais favoráveis (ausência de risco) e mais desfavoráveis (risco elevado), do ponto de vista do risco ambiental.

Quadro I – Quadro de entrada para AFC - Recodificação dos dados numa matriz disjuntiva.

n x p	con1	con2	con3	con4	con5	act1	act2	act3	act4	are1	are2	are3	are4	are5	loc1	loc2	loc3	... q
1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	...
2	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	...
...	n	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...nxq
BOM	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	...
MAU	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	...

Nas figuras 1 e 2 ilustram-se os resultados do modelo aplicados aos locais inventariados, classificados em classes de Risco. Os locais com classe de risco elevada serão aqueles com maior *prioridade de intervenção*.

Os resultados do modelo podem ser apresentados em SIG sob a forma de um mapa de risco ambiental, expresso por um índice que reflecte, por ordem decrescente de prioridade, a situação mais desfavorável do ponto de vista ambiental.

### Conclusões

A metodologia permitiu resumir, num sistema de classes de prioridade, aqueles locais que traduzem a situação mais desfavorável em relação a um conjunto de critérios e parâmetros ambientais heterogêneos descritores do sistema fonte – trajecto - alvo.

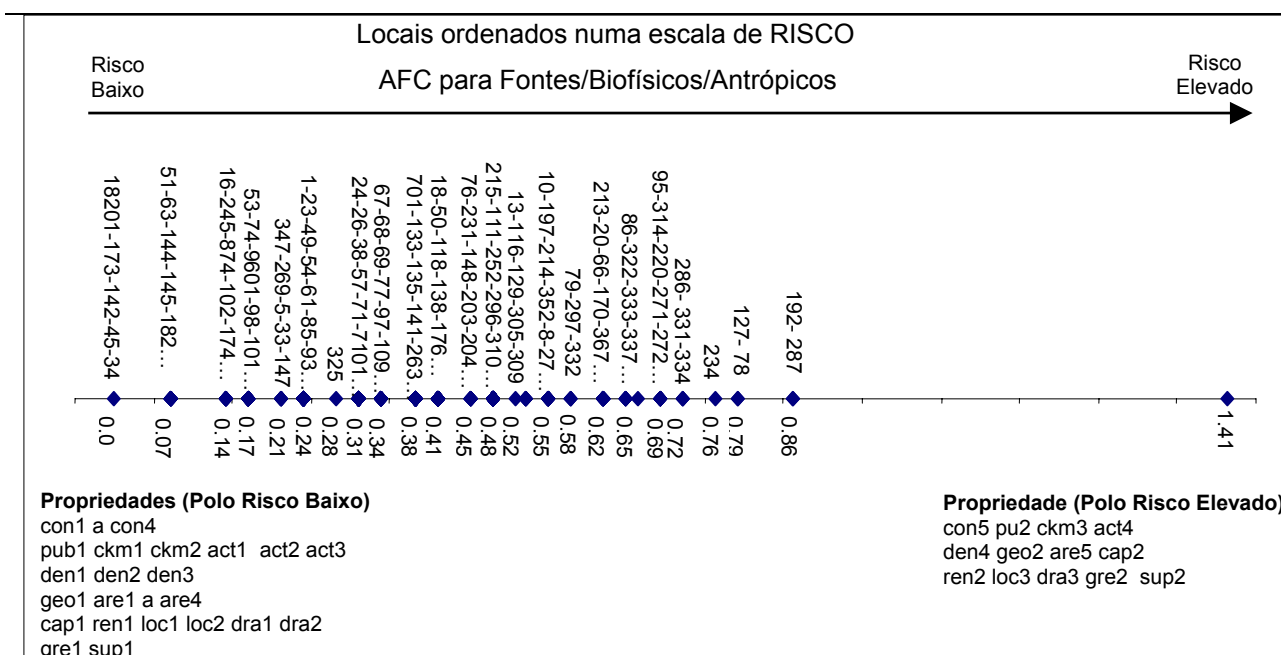


Figura 1 - Locais ordenados por AFC numa escala de Risco.

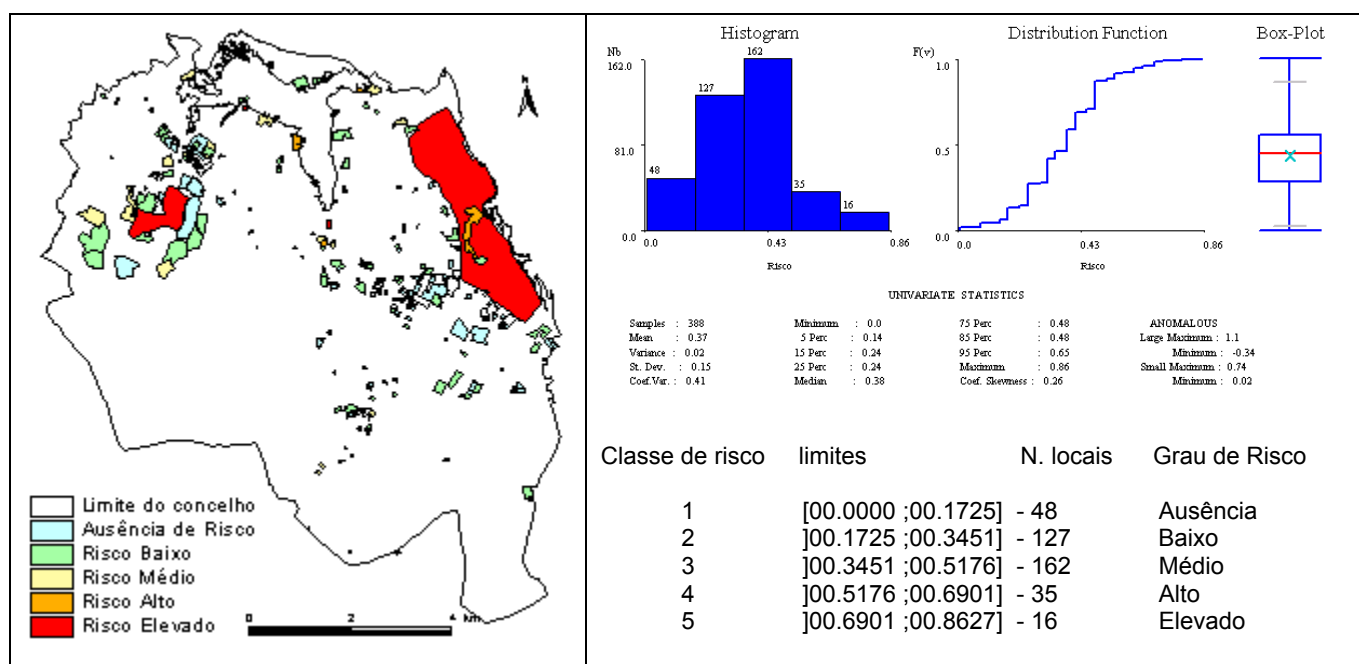


Figura 2a) Mapa de Risco (AFC)

Figura 2b) Estatísticas do índice de risco

Embora não tenham sido atribuídos pesos aos critérios de risco ambiental, os resultados da aplicação da AFC apresentam-se promissores.

É de salientar que, dos locais inventariados, os que se apresentam como locais de elevado risco correspondem aqueles que possuem as características mais desfavoráveis no que respeita ao potencial impacte de contaminação (fontes), à susceptibilidade do meio biofísico e à susceptibilidade do meio antrópico.

Como conclusão importa referir que este estudo apresenta-se ainda numa fase embrionária pelo que se pretende ajustar os parâmetros utilizados através de factores de ponderação em conformidade com o seu nível de importância de forma a obter, não só melhores resultados na validação como também, proceder a uma avaliação da sensibilidade dos parâmetros envolvidos.

Pretende-se com esta metodologia criar uma ferramenta de decisão para a selecção de locais prioritários para intervenção ambiental, de forma a programar futuros trabalhos de investigação e remediação.

## **Agradecimentos**

Os autores agradecem o apoio prestado pela Câmara Municipal do Seixal e pelos seus técnicos.

## **Bibliografia**

- Benzécri, J. P. (1980) – Pratique de l'analyse des données. *Dunod*, Paris, 424 p.
- Brito, G.; Costa, C. N.; Avillez, G.; Lopes, M.; Vendas, D.; Vargas, H. & Verdial, P. H. (2003) – Aplicação de SIG's na avaliação da contaminação dos solos em ambiente urbano-industrial. *Resumo, VI Congresso Nacional Geologia*, Lisboa (neste volume).
- Costa, C. N. & Brito, M. G. (2001) - Plano Estratégico de Avaliação da Contaminação e Reabilitação dos Solos no Concelho do Seixal. *Relatório interno CIGA*, 182 p.
- Greenacre, M. J. (1984) – Theory and Applications of Correspondence Analysis. *Academic Press*, 363 p.
- Pereira, H. G.; Brito, M. G.; Albuquerque, T. & Ribeiro, J. (1993) – Geostatistical estimation of a recovery index for marble quarries. *In: A. Soares (ed.): Geostatistics Troia'92, IV Internacional Geostatistical Congress, Kluwer Academic Publishers*, 2: 1029-1040.
- Petts, J.; Cairney, T. & Smith, M. (1997) – Risk-Based Contaminated Land Investigation and Assessment, *John Wiley & Sons*, N.York, 352 p.