



**URBSOIL-LISBON - Geoquímica dos solos urbanos de Lisboa: caracterização e cartografia, suporte para futuros estudos de saúde humana – Resultados Preliminares**

***URBSOIL-LISBON – Lisbon’s urban soil Geochemistry: characterisation and cartography, a support to future health studies – preliminary results***

C. Prazeres<sup>1</sup>, M. J. Batista<sup>1</sup>, C. Patinha<sup>2</sup>, A.P. Reis<sup>2</sup>, A.C.Dias<sup>2</sup>, A. Cachada<sup>3</sup>, E. Ferreira da Silva<sup>3</sup>, A. J. Sousa<sup>4</sup>, R. Figueira<sup>4,5</sup>, C. Sérgio<sup>5</sup>

<sup>1</sup> LNEG, Estrada da Portela, Zambujal, 2720-866 Amadora, Portugal e-mail: [catia.prazeres@ineti.pt](mailto:catia.prazeres@ineti.pt)

<sup>2</sup> GEOBIOTEC- Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro, Campus de Santiago 3810-193 Aveiro Portugal

<sup>3</sup> CESAM - Universidade de Aveiro, Campus de Santiago 3810-193 Aveiro Portugal

<sup>4</sup> Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa, Portugal

<sup>5</sup> Museu, Laboratório e Jardim Botânico da Universidade de Lisboa, Rua Escola Politécnica 58, 1250-102 Lisboa, Portugal

## Resumo

A Geologia, e em especial a Geoquímica em ambiente urbano, têm-se revelado ferramentas essenciais não só no estudo dos materiais naturais neste ambiente, como na ligação entre a Geologia e a acção antrópica. Este estudo, com uma metodologia que usa vários meios de amostragem, pretende avaliar quais os elementos químicos que podem intervir num contexto de interacção em que as crianças são tomadas como alvo principal. Os primeiros resultados sobre concentrações de elementos químicos para os solos urbanos de Lisboa apontam para uma exposição esparsa na cidade de alguns dos elementos químicos inorgânicos, mas havendo por vezes um zonamento por tipologia de local ou de elemento químico. Foram definidos quatro grupos de pontos de amostragem consoante o tipo de uso, e escolhidos para uma análise mais próxima alguns elementos considerados tendencialmente de *input* antrópico e que se relacionam com a saúde humana.

**Palavras-Chave:** solos urbanos de Lisboa, elementos químicos, saúde humana

## Abstract

Geology in urban environment and Geochemistry in particular, have proven to be essential tools to the study of natural materials in this environment, furthermore, to connect Geology and the anthropogenic activities. This study, with its methodology using several sampling means, intends to evaluate which chemical elements may intervene in an interaction context in which children are taken as the main target. The first results on chemical elements for Lisbon’s urban soils point out to a diffuse exposure to some of the inorganic chemical elements in the city even though a zonation some times exists by type of local or chemical element. Four groups of sampling site points were defined by the type of use, and for a closer analysis, some elements were chosen, by its usual anthropogenic origin and relation to human health.

**Key-Words:** Lisbon’s urban soils, chemical elements, human health

## 1. Introdução

A crescente expansão das áreas urbanas é um fenómeno global, pelo adensar dos serviços nas cidades, e consequentemente das áreas habitacionais em seu redor. Segundo dados das Nações Unidas de 2007, 3,2 mil milhões de pessoas viviam em áreas urbanas em 2005, e espera-se que sejam 4,9 mil milhões em 2030, integrando então, 60% da população mundial. Assim, o ambiente urbano é um meio privilegiado para analisar as interacções das pessoas com as condições naturais, e sendo que estão na dependência uma da outra, é natural que a actividade antropogénica que tem vindo a ser exercida, modifique significativamente o ambiente químico das áreas urbanas (Johnson, C., Ander, E.L., 2008).

De facto, em meio urbano, torna-se cada vez mais difícil a obtenção de solo não alterado pelas pessoas, quer pela sua passagem, quer pelo seu uso para diversos fins “práticos” no desenvolvimento de uma cidade.

Os solos urbanos em particular na Europa são complexos e em muitas grandes cidades, o resultado de uma herança industrial longa. Os solos urbanos que se encontram em parques, muitas vezes pouco têm a ver com o local onde se encontram sendo que a variação natural nestes casos tem pouco significado. Estudo efectuado na cidade de Uppsala, a quarta maior cidade da Suécia (Ljung *et al.*, 2006) mostra que os parques infantis antigos dentro da cidade, e por acumulação progressiva dos metais, apresentam concentrações muito elevadas originando elevadas concentrações no sangue de crianças que brincam nestes parques e contactam com esse solo. Este estudo demonstrou que mesmo em cidades com poucas fontes actuais de poluição, como Uppsala, as características do solo e o tempo que o mesmo tem sem alterações se tornam factores importantes no aumento das concentrações. Estudos em parques de Sevilha em Espanha (Madrid *et al.*, 2002) e em parques de Pequim na China (Chen *et al.*, 2005) apontam também para que a idade do parque, as características do solo e a localização são os factores que mais contribuem para as elevadas concentrações de metais nos solos. Por outro lado, o tráfego pode ser uma fonte importante de poluição difusa contribuído para o aumento das concentrações de metais pesados dos solos como é o caso de Palermo na Sicília (Manta *et al.*, 2002). A observação dos resultados destes e outros estudos sobre as concentrações de elementos químicos metálicos levaram a elaboração do presente estudo que tem como objectivo ver quais as concentrações de metais pesados potencialmente prejudiciais à saúde, em especial de crianças que brincam nos parques de Lisboa, em escolas e em parques em geral, no perímetro urbano da cidade.

## 2. Área de estudo

### 2.1 Enquadramento Geográfico

A cidade de Lisboa está localizada no bordo Oeste de Portugal continental, numa posição aproximadamente Centro-Sul, delimitada a Sul pelo nível de base do rio Tejo. Com 556.797 habitantes (Censos 2001), é a maior cidade portuguesa. O concelho ocupa cerca de 84 Km<sup>2</sup> em topografia irregular, e onde o clima é tipicamente mediterrâneo.

### 2.2 Enquadramento Geológico

A área de Lisboa integra-se na Bacia Lusitânia, associada às primeiras fases da abertura do Atlântico Norte durante o Triássico, evoluindo por várias fases de rifting. Especificamente, o concelho de Lisboa situa-se no vale do baixo Tejo, que terá começado a sua individualização no Paleogénico, reflectindo as várias oscilações do nível do mar que esta zona sofreu durante o Terciário. Por conseguinte, a área de Lisboa assenta sobre um substrato geológico variado, onde se consideram essencialmente areias marinhas e continentais, argilas e carbonatos com alto conteúdo fossilífero do Miocénico, um complexo vulcânico neocretácico que assenta em discordância sobre um complexo carbonatado Cenomaniano, também ele fossilífero (Carta Geológica do concelho de Lisboa, 1/10 000, Almeida, F. M., 1986).

Os depósitos superficiais são depósitos de vertente do Holocénico, constituídos por material originado da erosão de outros tipos litológicos; aluvião, sempre relacionado com linhas de água e vales; e aterros, material não compactado formando um depósito artificial, que é um testemunho da ocupação humana (desde os Romanos), composto por restos de material de construção, etc., e reflexo dos vários sismos, de fraca magnitude, no geral, a que está sujeita a cidade (Carta Geológica de Portugal, 1/50 000, folha 34-D, Pais, J. *et al.*, 2006).

Todas estas formações sofreram litificação, de intensidade variável, originando solos com diferentes graus de consolidação.

### 3. Materiais e Métodos

A ênfase deste estudo é posta na relação entre contaminação e saúde pública, pelo que a selecção dos locais a amostrar inclui critérios específicos de provável exposição aos contaminantes, em especial pelas crianças, visto serem elas quem estão mais exposta ao contacto directo com os solos enquanto brincam em jardins e parques públicos, pela ingestão de componentes dos solos.

Esta abordagem inclui três tipos de amostragem em cada ponto: solos, poeiras colhidas ao nível do chão e musgos usados para a biomonitorização aérea colocados numa árvore na proximidade do ponto de amostragem. Assim, a escolha dos locais tem em consideração, além do tráfego de pessoas, a existência de solo exposto, a existência de superfícies de deposição de particulado e uma árvore adequada na imediação dos locais destas colheitas onde colocar o biomonitor. Assim, foram escolhidos 51 locais, e a amostragem foi levada a cabo durante o mês de Novembro de 2008, tendo os biomonitores ficado no local durante 4 meses. Neste estudo são apresentados os resultados do caso dos solos.

Para os solos, optou-se por uma colheita superficial, nos primeiros 5 cm, por ser a camada do solo com maior probabilidade de ser ingerida, e privilegiando assim a componente antrópica em coerência com a realidade de um ambiente urbano. Foram evitadas as áreas com coberto vegetal e tapetes de relva. Na cidade de Lisboa, todos os parques infantis em jardins públicos (um dos grandes alvos da campanha de amostragem) viram o seu chão substituído da tradicional areia para piso artificial de "tartan". Deste modo, nos locais onde tal era o caso, as amostras de solo foram colhidas o mais junto possível destes locais de afluência de crianças.

As amostras de solo destinadas à análise química de elementos inorgânicos foram colhidas com uma pá de aço e mantidos em sacos de plástico devidamente identificadas, enquanto as amostras colhidas para a análise dos compostos orgânicos foram cuidadosamente envolvidas em papel de alumínio, de modo a evitar contaminação, e conservadas no frio. A amostragem foi executada em amostras compósitas de 3 sub-amostras (para atenuar o efeito da variabilidade local), e foi colhido um duplicado por cada 10 amostras. Foram ainda colhidas amostras *side-by-side* para avaliar a variabilidade lateral na dispersão dos contaminantes. Estas amostras consistem em amostras compósitas semelhantes às anteriormente referidas, mas colhidas a uma determinada distância das primeiras.

#### 3.1. Métodos de Análise

Os solos foram sujeitos à análise de vários parâmetros, não só o conteúdo em metais e outros elementos inorgânicos, como compostos orgânicos (PAH's e PCB's), e propriedades dos solos como: pH, condutividade, Eh, capacidade de troca iónica (CEC), textura e conteúdo em matéria orgânica. Esta fase iniciou-se com a secagem das amostras de solo em estufa a temperatura não superior a 40°C e crivagem na fracção <2mm. Os elementos traço e elementos das terras raras foram extraídos pelo método "*Ultratrace 2 - Aqua Regia - ICP e ICP/MS*" do ActLabs (*Activation Laboratories, Canadá*), em que 0,5 g de amostra é digerida em *aqua regia* a 90°C num bloco de digestão controlado por microprocessador durante 2 horas. A solução é diluída e analisada por ICP-MS. Alguns elementos (Ti, P e S) são analisados por ICP-OES. É feito um controlo interno por cada 33 amostras, e após cada 15 amostras é analisada uma réplica de digestão. São analisados materiais de referência certificados no início e no fim de cada pacote de amostras. São ainda analisados padrões de controle internos por cada 10 amostras e é feito um duplicado também entre cada 10 amostras. Esta digestão não é completa e não dissolve silicatos, alguns óxidos e minerais resistentes, se existirem (por exemplo, zircão, monazite e esfena).

Foram determinados dois parâmetros estatísticos que são: a média geométrica para obter uma medida de tendência central robusta mas que por outro lado tivesse em consideração todos os indivíduos da população e o percentil 90 para ter um nível de referência para comparar com alguma legislação de solos existente para outros países. Foi ainda feita uma análise multivariada através de Análise em Componentes Principais no sentido de tentar obter variáveis (factores) com significado conhecido, e que sintetizassem a informação proveniente de muitos elementos químicos.

#### 4. Resultados Preliminares

Os resultados obtidos para os solos colhidos na cidade de Lisboa no que se refere aos elementos químicos inorgânicos são apresentados previamente a um tratamento estatístico espacial, como concentrações preliminares deste estudo. São definidas tipologias de locais numa primeira aproximação, com base no seu uso mais regular de ocupação, de modo a aferir tendências. São também considerados apenas alguns elementos químicos do conjunto analisado, por se considerar serem estes os que terão maior influência na saúde humana, o principal alvo em estudo. Assim, devido ao seu carácter potencialmente tóxico, sendo portanto comumente estudados em geoquímica urbana (Johnson, C., Ander, E. L., 2008), consideraram-se os seguintes elementos: Cu, Zn, Pb, As, Ni, Cr, Cd e Se. Os locais estudados foram agrupados em quatro grupos: "Jardim com parque infantil"; "Jardim"; "Escola"; e "Outro", sendo que este último alberga todos os locais que não cabem em nenhum dos anteriores grupos segundo a classificação feita, e que reúnem, grosseiramente, pontos que não sendo locais públicos de passagem, constituem lugares de grande afluência de pessoas. Um exemplo de ponto nesta classificação é o local 31 que corresponde ao Castelo de S. Jorge. O primeiro grupo, o "Jardim com Parque Infantil" engloba 14 dos pontos de amostragem, o segundo grupo, "Jardim", engloba 18 pontos, o terceiro grupo "Escola" reúne 5 pontos, e finalmente o último grupo "Outro" refere-se aos restantes 14 locais.

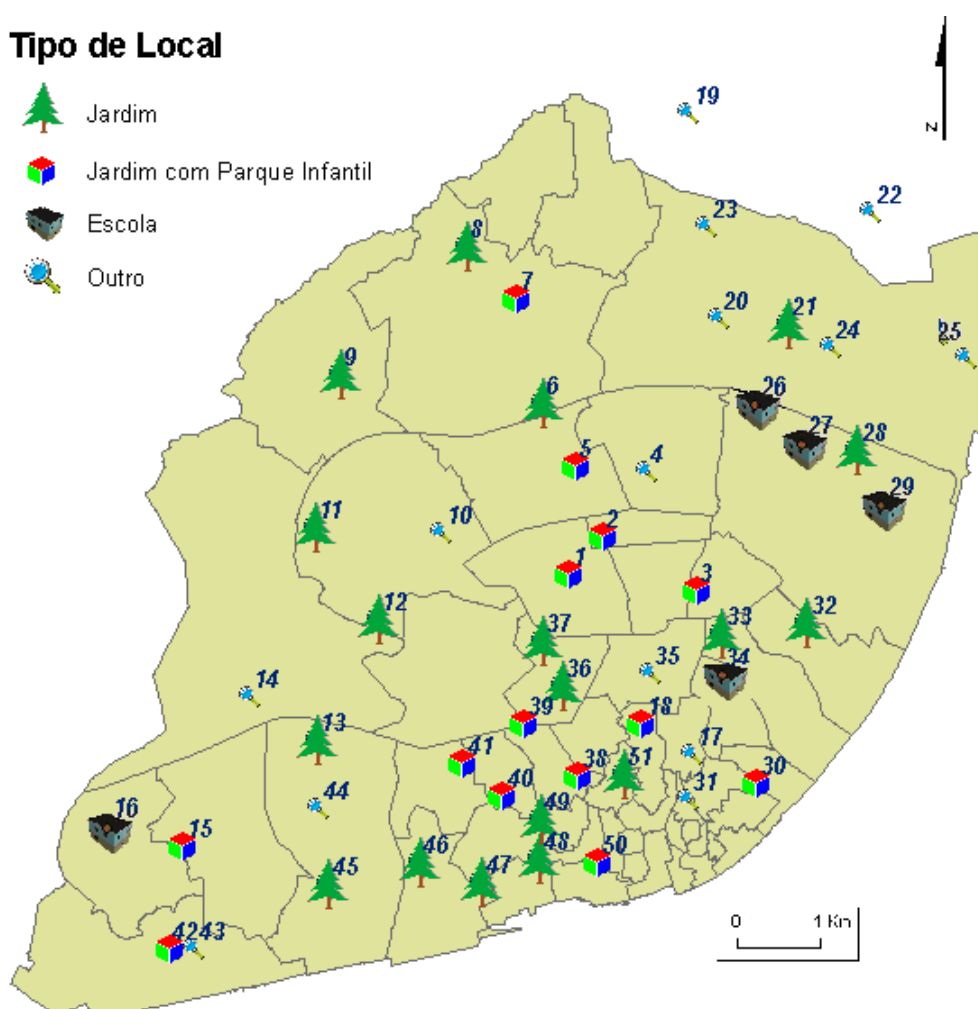


Figura 1 - Concelho de Lisboa com a localização dos pontos de amostragem por tipologia.

São apresentados na tabela 1 algumas observações encontradas.

Tabela 1 - Concentrações médias e percentil 95 dos elementos considerados (em ppm)

	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Pb</b>	<b>As</b>	<b>Ni</b>	<b>Cr</b>	<b>Cd</b>	<b>Se</b>
<b>CCME*</b>	63	200	140	12	50	64	10	3
<b>DRF**</b>	36	140	85	29	35	100	0.8	0.7
<b>DES***</b>	50	150	50	-	30	100	1	-
<b><i>Jardim com Parque Infantil</i></b>								
<b>Média Geométrica</b>	42.93	100.02	80.18	4.19	23.01	29.98	0.12	0.41
<b>Perc 90</b>	87.24	167	211.3	7.76	55.28	72	0.217	0.57
<b><i>Jardim</i></b>								
<b>Média Geométrica</b>	45.59	109.66	61.36	3.57	25.77	32.96	0.12	0.38
<b>Perc 90</b>	127.4	247.1	241.1	8	48.53	63.26	0.34	0.63
<b><i>Escola</i></b>								
<b>Média Geométrica</b>	13.95	41.92	16.09	1.78	11.12	15.31	0.12	-
<b>Perc 90</b>	39.58	278	73.9	4.8	55.5	69.14	0.2	0.3
<b><i>Outro</i></b>								
<b>Média Geométrica</b>	49.35	120.95	63.32	4.89	26.69	36.15	0.16	0.36
<b>Perc 90</b>	84.56	231.30	170.00	6.92	67.78	71.26	0.37	0.50

\* Teores limite em zonas residenciais e parques na legislação Canadana (CCME, 1999)

\*\* Valores de concentrações de background dos solos na norma holandesa (Dutch Reference Framework, VROM, 2000)

\*\*\*Valores limite de concentração de metais pesados em solos na legislação espanhola (Directiva Espanhola de Solos, 1990)

Na ausência de uma norma portuguesa que regule as concentrações de elementos químicos nos solos, e para os diferentes usos, confrontam-se os valores obtidos em Lisboa com valores usados noutros países, em que existem limites regulamentados. Assim, verifica-se que em alguns locais devem ser analisadas em pormenor as condições locais, pois numa primeira abordagem, excederão limites determinados (caso do Cu, Ni, Cr, e Pb e Zn nalguns tipos de local), isto é, é preciso comparar de forma clara o tipo de situação presente, o tipo de colheita, condições de pH e outros, de forma a fazer uma comparação precisa. É de recordar que estes valores estão calculados em relação à zona em estudo, e podem não se referir a qualquer limite de contaminação/remediação, ou outro tipo de risco.

## Locais com concentrações acima do percentil 90

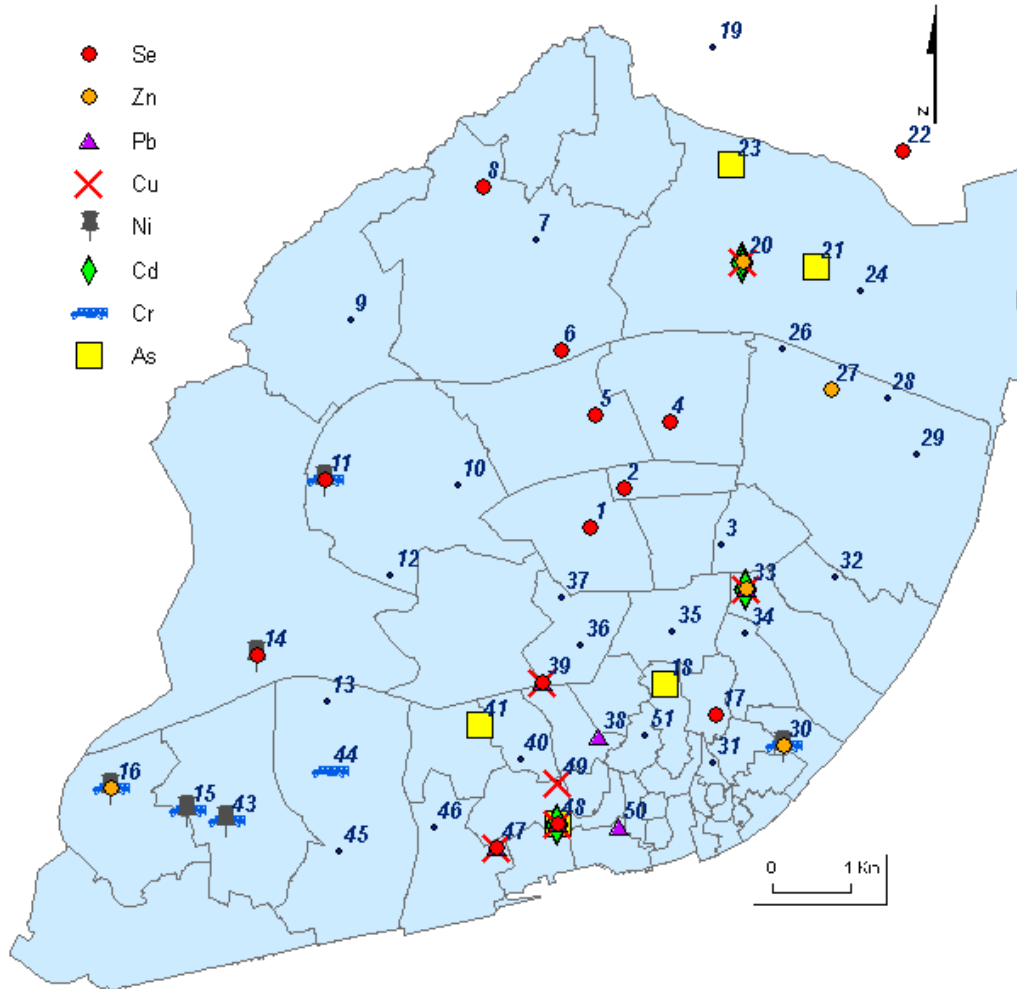


Figura 2 - Distribuição do percentil 90 para os elementos considerados, na área em estudo.

Observa-se ainda uma tendência de comportamento dos elementos Cu, Zn, Pb e Cd por um lado, Ni e Cr por outro e ainda do As e Se. Esta orientação é acentuada pelos pontos 20, 33 e 48 que estão a contribuir para a resposta dos Cu, Zn, Pb e Cd. Ora, nestes pontos encontram-se concentrações elevadas destes elementos, sendo que o ponto 20 é o responsável pelo valor máximo para o Cu, Zn e Cd da região em estudo. Este local corresponde a um dos pontos de amostragem dentro do aeroporto da Portela, em Lisboa, que estará sujeito a um *input* destes metais por via da rotina própria deste local. Ainda assim, as vizinhanças deste ponto oscilam entre valores acima da média da região e valores relativamente baixos nestes elementos. O ponto 48, no grupo "Jardim", que corresponde a um dos jardins municipais na zona ribeirinha, reúne quase todos estes elementos em concentrações acima do percentil 90 (Figura 2). Encontra-se bastante próximo de uma via de tráfego intenso e passagem de pessoas a todas as horas do dia.

O Pb, também contido neste conjunto de elementos, mostrou naturalmente valores de concentração elevados nos locais referidos para os restantes elementos, tendo, contudo, registado um máximo num local diferente, que corresponde ao grupo de classificação "Jardim com Parque Infantil". É o único máximo dos elementos considerados encontrado neste grupo e encontra-se num local deveras isolado do tráfego automóvel, mas ainda assim, a cerca de 400m de um nó de confluência de várias vias importantes, o que pode explicar esta ocorrência.

Por seu lado, o comportamento do Ni e Cr é marcado pelos pontos 11, 15 e 43. Este último local conta com as concentrações máximas neste dois elementos para a região, facto que vem corroborar a análise das tendências. Este ponto da amostragem pertence um local classificado

de "Outro", que corresponde a um antigo jardim, actualmente abandonado. De acordo com os estudos referidos, nas cidades de Uppsala na Suécia (Ljung *et al.*, 2006), Pequim na China (Chen *et al.*, 2005) e Sevilha em Espanha (Madrid *et al.*, 2002) a permanência de um solo sem qualquer remoção ou transporte durante muito tempo favorece a progressiva deposição de metais por via aérea tornando-se com o tempo um factor importante de origem de elevadas concentrações de metais num determinado sítio, assim, jardins ou parques antigos teriam mais probabilidade de ter concentrações mais elevadas de metais do que parques novos.

Os elementos Ni e Cr seguem um comportamento similar em todo o estudo, e outro aspecto a destacar é o de se comportarem de forma inversa ao As.

O máximo de As observa-se num "Jardim" na parte Este da cidade, não se encontrando valores considerados significativos de As (dentro da região em estudo) nas outras classificações.

O Se atinge os valores mais elevados da região na zona NW da cidade, medidos em amostras do grupo "Jardim" ou "Jardim com Parque Infantil".

Uma abordagem preliminar através de uma Análise em Componentes Principais (Figura 3) evidencia estas observações, verificando-se, por um lado, que Cu, Zn, Pb e Cd seguem uma tendência comportamental, assim como o Ni e Cr mas num *trend* diferente e fortemente correlacionados entre si, enquanto que o Se e o As mostram comportamentos independentes.

Observa-se ainda esta tendência marcada por locais que se destacam de uma disposição de concentrações, contribuindo para a resposta dos Cu, Zn, Pb e Cd, e ainda do par Ni e Cr. No primeiro caso, ao retirar estes locais da análise estatística, a correlação entre o Cu e Zn, que era alta, decresce, e o Zn passa mesmo a mostrar um comportamento distinto ao do Cu.

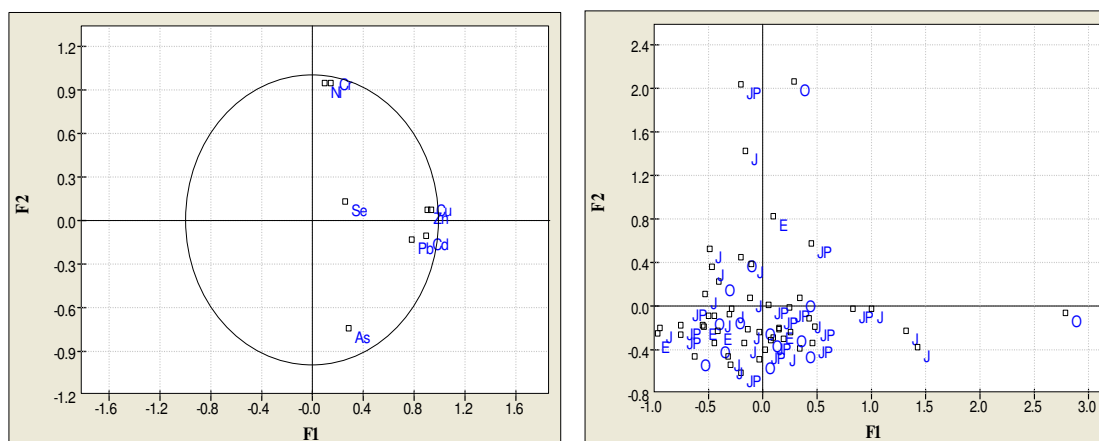


Figura 3 - Análise em Componentes Principais mostrando a distribuição do conjunto de elementos seleccionados e dos pontos de amostragem. JP=Jardim com Parque Infantil; J=Jardim; E=Escola; O=Outro

## 5. Estado Actual do estudo / Continuidade do trabalho

Os resultados vão ser integrados e interpretados no âmbito global do trabalho, isto é, correlacionados com os outros métodos de amostragem usados como poeiras e biomonitorios. Visto que passam pelos principais objectivos do estudo a saúde pública mas também a determinação, sempre que possível, da origem das contaminações, os valores obtidos irão ser objecto de análise em relação à sua distribuição espacial para despistar possíveis influências de usos anteriores dos locais. Uma pesquisa bibliográfica está a ser levada a cabo nesse sentido. É também fundamental que se relacionem os conteúdos encontrados com factores externos, tais como geologia do local, proximidade de focos isolados de poluição, clima, topografia, rede de drenagem e densidade do edificado.

Serão feitas várias análises estatísticas de modo a compreender as relações entre amostras, modelação geostatística, e serão igualmente produzidos mapas geoquímicos para todo o estudo em curso.

## Referências

- Almeida, F. M., 1986. Carta Geológica do Concelho de Lisboa, escala 1/10 000. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa
- Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME), 1999. Canadian Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health. Winnipeg: CCME.
- Censos, 2001, Instituto Nacional de Estatística
- Chen, T.,; Zheng, Y., Lei, M., Huang, Z., Wu, H., Chen, H.,; Fan, K., Yu, K., Wu, X., Tian, Q., 2005. Assessment of heavy metal pollution in surface soils of urban parks in Beijing, China. *Chemosphere* 60. 542-551.
- Johnson, C., Ander, E.L., 2008. Urban geochemical mapping studies: how and why we do them, *Environmental Geochemistry and Health*, 30:511-530
- Ljung, K., Sellinus, O., Ottabong, E., 2006. Metals in soils of children's urban environments in the small northern European city of Uppsala. *Science of Total Environment* 366. 749-759.
- Madrid, L., Díaz-Barrientos, E., Madrid, F., 2002. Distribution of Heavy metal contents of urban soils in parks of Seville. *Chemosphere* 49. 1301-1308.
- Manta, D.S., Angelone, M., Bellanca, A., Neri, R., Sprovieri, M., 2002. Heavy metals in urban soils: a case study from the city of Palermo (Sicily), Italy. *Science of Total Environment* 300. 229-243.
- Pais, J., Moniz, C., Cabral, J., Cardoso, J.L., Legoinha, P., Machado, S., Morais, M.A., Lourenço, C., Ribeiro, L., Henriques, P., Falé, P., 2006. Notícia Explicativa da folha 34-D, Lisboa. Carta Geológica de Portugal, escala 1/50 000
- Real Decreto 1310/1990 de 29 de Outubro da Legislação Espanhola.
- USEPA (United States Environmental Protection Agency), 2000. Method 3500B - Organic extraction and sample preparation. SW 846 Test Methods for Evaluating Solid Wastes, Revision 3.
- VROM, Ministry of housing, spatial planning and the environment, 2000. Annexes Circular on target values and intervention values for soil remediation