



SETAC – Brazil

Desenvolvimento de um Esquema para Avaliação de Risco Ecológico em Ambientes Tropicais: Estudo de Caso da Contaminação por Metais em Santo Amaro da Purificação, Bahia, Brasil

J. C. NIEMEYER,^{1, 2*} E. M. da SILVA² & J. P. SOUSA¹

¹IMAR – Instituto do Mar, Departamento de Zoologia, Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal

²Instituto de Biologia, Universidade Federal da Bahia (UFBA), Salvador, Bahia, Brasil

(Received January 10, 2007; Accepted August 8, 2007)

RESUMO

Este estudo tem por objetivo principal desenvolver um esquema de análise de risco ecológico, dividido em etapas, para sistemas tropicais. O trabalho será desenvolvido numa área contaminada com metais, em Santo Amaro da Purificação (Bahia, Brasil), resultado de remanescentes da escória de uma fundição de chumbo, inativa desde 1993. A avaliação do risco será efetuada associando informação proveniente de três linhas de evidência complementares: química, ecológica e ecotoxicológica. O trabalho inclui o desenvolvimento e a adaptação de ensaios ecotoxicológicos terrestres em ambientes tropicais que, em conjunto com bioensaios com organismos aquáticos, possibilitarão efetuar uma avaliação da capacidade do solo em funcionar como habitat para espécies edáficas e prestador de serviços ecológicos (*habitat function*), e também da sua capacidade em funcionar como sistema tampão para evitar contaminação dos aquíferos (*retention function*). A partir dos dados obtidos, será desenvolvido um esquema de análise de risco ecológico que servirá de base para regiões de clima tropical, com contaminação similar.

Palavras-chave: avaliação de risco, ecotoxicologia, metais, Santo Amaro.

ABSTRACT

Development of a site specific ecological risk assessment scheme for tropical environments: a case study from Santo Amaro da Purificação, Bahia, Brazil

This project aims to further develop and adapt an ecological risk assessment scheme, following a tiered approach, for tropical systems. The study will be conducted in a metal contaminated area at Santo Amaro da Purificação (Bahia, Brasil), resulting from the deposition of remanent metal waste of a lead smelter, inactive since 1993. The ecological risk will be evaluated joining information from three different lines of evidence: chemistry, ecology and ecotoxicology. The study includes the development and adaptation of terrestrial ecotoxicological bioassays for tropical environments that, together with bioassays with aquatic organisms, will allow an integrated assessment of both habitat and retention functions of the impacted soils. The final output of the project will be an environmental risk assessment scheme that will act as a base scheme for tropical environments with similar contamination profile.

Key words: ecotoxicology, metals, risk assessment, Santo Amaro.

INTRODUÇÃO

Avaliação de risco ecológico (ARE) retrospectiva é o processo que visa determinar a probabilidade de ocorrerem efeitos adversos no ambiente como resultado da exposição

a um ou mais agentes perturbadores resultantes de contaminação histórica. A ARE é um instrumento fundamental dos processos de decisão sobre a gestão de locais poluídos, permitindo avaliação mais precisa dos riscos reais para os receptores ecológicos potencialmente afetados pelo(s) contaminante(s)

*Corresponding author: Júlia Carina Niemeyer, e-mail: juliacarina@yahoo.com.br.

(Sousa, 2005). Os esquemas de análise de risco são compostos por diferentes etapas, que, ao seguirem um processo lógico de implementação, permitem a coleta da informação em etapas, aumento do conhecimento do problema em questão e a tomada de decisão entre cada etapa. Muito embora seja fortemente influenciada pela componente de análise de resíduos (particularmente a etapa de varredura, com a comparação das concentrações ambientais com os valores orientadores), qualquer esquema de ARE deve possuir uma forte componente de bioensaios. Estes são fundamentais em todo o processo, pois ao contrário do que ocorre com a comparação com os valores de referência, os ensaios de ecotoxicidade incorporam a interação entre os contaminantes e as propriedades do solo (ou água), os efeitos da mistura de contaminantes e, ainda, o efeito da biodisponibilidade, possibilitando avaliação ecologicamente relevante dos efeitos derivados da exposição.

Os esquemas de análise de risco retrospectiva estão desenvolvidos e são amplamente utilizados em países da América do Norte (Estados Unidos e Canadá) e Europa (ex.: Reino Unido, Alemanha, Holanda). No entanto, em países da América do Sul, como o Brasil, estes procedimentos raramente são utilizados, tanto que todo um trabalho de base em termos de ecotoxicologia (particularmente a terrestre) é ainda muito incipiente, apesar dos esforços desenvolvidos recentemente, nomeadamente em nível da avaliação dos efeitos de agroquímicos (Garcia, 2004; Niemeyer, 2004).

Um dos grandes desafios na avaliação ecotoxicológica de solos contaminados é a adaptação e validação dos diversos bioensaios (previamente desenvolvidos em solo artificial) aos solos naturais (Van Gestel & Weeks, 2004), já que as propriedades do solo, ao influenciarem a resposta dos organismos (Lock & Janssen, 2001; Scott-Fordsmand *et al.*, 2000), podem impossibilitar a realização de alguns bioensaios em determinados tipos de solo. Esta questão é ainda mais relevante em solos tropicais, onde o número de bioensaios realizados em ecotoxicologia terrestre com solos naturais é reduzido. Além de a toxicidade das diferentes substâncias poder variar entre as regiões temperada e tropical (Abdel-Lateif *et al.*, 1998; Garcia, 2004), a sensibilidade dos organismos-teste de clima tropical pode ser diferente da dos organismos-teste de clima temperado.

Outro desafio relacionado com a avaliação de risco de locais contaminados é o desenvolvimento de bioensaios rápidos que possam ser incorporados na fase inicial de varredura, complementando a informação dada pela análise de resíduos. Estes bioensaios, além de serem rápidos e de baixo custo, permitem uma percepção do grau de contaminação espacial, possibilitando a eliminação de falsos-positivos, logo, a diminuição dos custos de avaliação e possível remediação do local. Dos diferentes ensaios utilizados a este nível, destacam-se os efetuados com elutridos (p.ex.: Microtox), os ensaios agudos (sobrevivência com diferentes organismos) ou, ainda, alguns ensaios microbianos. Mais recentemente, esforços têm sido feitos para a aplicação de ensaios de fuga (*avoidance*) com colêmbolos e oligoquetas

nesta fase inicial da avaliação de risco (Natal da Luz *et al.*, 2004). Ensaios de fuga foram já realizados com isópodos em solos tropicais (Niemeyer, 2006), muito embora haja a necessidade de os adaptar a outras espécies.

OBJETIVOS

O principal objetivo deste estudo é efetuar uma análise de risco ecológico, seguindo um esquema por níveis, numa área contaminada com metais, no município de Santo Amaro da Purificação, Bahia, Brasil. A partir dos dados obtidos, será desenvolvido um esquema de análise de risco ecológico que servirá de base para regiões de clima tropical com o mesmo tipo de contaminação. Os objetivos específicos são:

1. Elaboração do modelo conceitual do local, com identificação dos riscos perceptíveis, dos receptores ecológicos envolvidos e principais processos de transporte e vias de exposição aos contaminantes.
2. Avaliação do potencial ecotoxicológico do solo da área de estudo, pela realização de ensaios ecotoxicológicos em laboratório e *in situ* e tendo por base o modelo conceitual elaborado.
3. Avaliação da relevância ecológica dos ensaios em laboratório com organismos-teste padrão, comparando a sua sensibilidade com as respostas obtidas em ensaios com organismos locais.
4. Avaliação da aplicabilidade de diferentes esquemas de avaliação de risco ecológico (ARE) e de “critérios de suporte à decisão” neste tipo de sistemas tropicais e cenários de contaminação.

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo localiza-se em Santo Amaro da Purificação, na Bahia, a 100 km de Salvador. A área contaminada de Santo Amaro é resultado da deposição de resíduos sólidos da atividade industrial de extração metalúrgica do chumbo, no período entre 1960 e 1993, pela Plumbum Mineração e Metalurgia Ltda. (inicialmente denominada de COBRAC – Companhia Brasileira de Chumbo).

Em Santo Amaro, com população estimada em 61.547 habitantes (IBGE, 2006), cerca de 500 mil toneladas de aparas de chumbo provocaram a contaminação da população e infra-estruturas habitacionais, do solo, de sistemas de água doce (rio Subaé) e do estuário da Baía de Todos os Santos. Vários estudos para avaliação de efeitos em nível ambiental e de saúde humana foram conduzidos em Santo Amaro, entre eles Tavares (1990), Anjos (2003), Carvalho *et al.* (2003) e Machado *et al.* (2004). Em 2003 foi desenvolvido pelo Ministério da Saúde um estudo de avaliação de risco para a saúde humana na localidade, comprovando a exposição da população vizinha e dos ex-trabalhadores da Cobrac/Plumbum (via solo, poeira domiciliar, sedimentos e alimentos) a metais pesados (chumbo, cádmio, zinco, cobre e arsênio). Com base nesses resultados,

o município de Santo Amaro foi identificado pelo Ministério da Saúde brasileiro como uma das áreas prioritárias para a vigilância ambiental relacionada com solos contaminados no país.

Apesar dos vários estudos já desenvolvidos em Santo Amaro e da gravidade do evento de contaminação existente, nenhum trabalho abrangeu uma avaliação de risco ecológico incorporando ensaios ecotoxicológicos, limitando-se à determinação da concentração de metais e comparação com valores de referência internacionais.

PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO DO ESTUDO

Neste trabalho será realizada uma avaliação de risco integrada do local, avaliando a exposição e os efeitos da contaminação por metais. Esta será efetuada, complementando a informação ambiental publicada (informação sobre os níveis de contaminação e vias de exposição), com a realização de ensaios ecotoxicológicos em diversos níveis de organização biológica, de acordo com os receptores ecológicos identificados como em risco, e ainda com a obtenção de informações de caráter ecológico obtidas *in situ*. Pretende-se que este estudo se constitua num exemplo da aplicação de esquemas de Avaliação de Risco Ecológico em sistemas tropicais.

Este trabalho será desenvolvido em estreita cooperação entre o grupo de pesquisa MARENBA, da Universidade Federal da Bahia (Brasil), e a Unidade de Ecotoxicologia do Departamento de Zoologia da Universidade de Coimbra (Portugal), e constituirá a base para o desenvolvimento de uma tese de doutorado em Ecologia vinculada ao Departamento de Zoologia da Universidade de Coimbra.

Os ensaios ecotoxicológicos em laboratório serão realizados na Universidade de Coimbra, utilizando o solo superficial coletado no local (*direct toxicity assessment*). A amostragem será realizada em dois transectos, partindo-se de um ponto próximo às antigas construções da fábrica, em pontos a 20, 50, 150, 400, 1000 e 3000 metros de distância do ponto inicial. Além dos pontos contaminados, serão escolhidos solos de referência em áreas distantes do local da fábrica, livres de contaminação e com propriedades semelhantes aos solos contaminados (especialmente textura, matéria orgânica, pH e capacidade de troca catiônica). Cerca de 25 kg de solo serão coletados em cada ponto.

Os testes seguirão normas padronizadas internacionalmente (OCDE e ISO). As fases restantes do trabalho, nomeadamente a caracterização ecológica da área de estudo e todos os ensaios *in situ*, serão efetuadas com o suporte da UFBA. O cumprimento dos objetivos será realizado em quatro etapas (Figura 1):

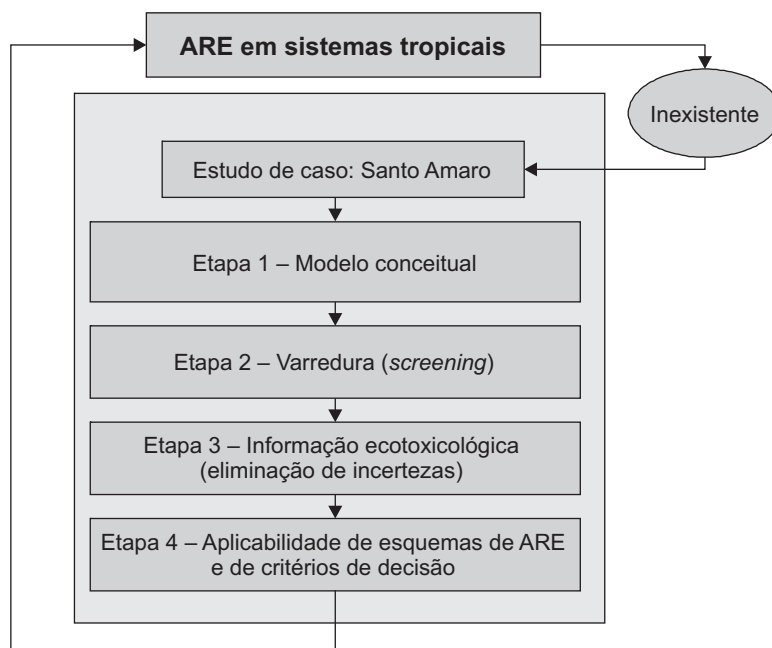


Figura 1 – Etapas da análise de risco ecológico que será desenvolvida em Santo Amaro.

- **Etapa 1:** Elaboração do modelo conceitual do local

A primeira fase envolverá o levantamento e compilação de toda informação publicada sobre o local em questão (química, geológica e biológica) e ainda a realização de visitas à área contaminada para identificar:

- os contaminantes principais;
- os receptores ambientais potencialmente em risco;
- os mecanismos de transporte dos contaminantes em questão (inclusive o potencial de bioacumulação);
- as possíveis vias de exposição;
- os riscos perceptíveis e a extensão espacial da contaminação.

Esta informação será complementada com uma caracterização do solo e do grau de contaminação por metais. A amostragem será efetuada de modo a possibilitar o mapeamento dos níveis de contaminação.

Toda a informação coletada será utilizada para elaborar o modelo conceitual do local, que servirá de base para o desenvolvimento das fases seguintes. Neste modelo serão também identificados os alvos fisiológicos (*endpoints*) que representam os recursos que se quer proteger (em termos estruturais e/ou de funções do ecossistema) e ainda as falhas de informação relevantes para a avaliação de risco.

- **Etapa 2:** Varredura e avaliação da extensão espacial do risco

Nesta fase, os níveis de contaminação medidos com base nas análises químicas serão comparados com valores de referência existentes nacional e internacionalmente. Com base nestes valores serão calculados os níveis de contaminação integrados (*toxic pressure*) para o local.

Esta avaliação química será ainda complementada pela realização de ensaios ecotoxicológicos rápidos (*fast screening tests*) como uma primeira forma de avaliar a extensão espacial do risco.

Estes ensaios rápidos permitem avaliar os locais dentro da área de estudo onde um risco não aceitável pode ocorrer, minimizando falsos positivos e falsos negativos. Os ensaios serão essencialmente testes de fuga (*avoidance behavior tests*) com diferentes organismos edáficos (isópodos, colêmbolos e oligoquetas) e ainda ensaios de Microtox® e avaliação da atividade da fauna edáfica (ensaio de *bait-lamina in situ*). No caso dos ensaios de fuga, a resposta obtida com espécies-padrão (Collembola: *Folsomia candida*; Oligochaeta: *Eisenia andrei*; Isopoda: *Porcelionides pruinosus*) será comparada com a resposta obtida com espécies locais dos mesmos grupos, que serão selecionadas com base nas espécies existentes no local. Uma das espécies já selecionada é o isópodo *Cubaris murina*, alvo de estudos que vêm sendo desenvolvidos pela UFBA.

Os resultados obtidos nas diferentes linhas de evidência serão integrados num índice de risco para os locais amostrados dentro da área de estudo, recorrendo também à utilização de ferramentas de SIG para avaliar a extensão espacial do risco.

- **Etapa 3:** Diminuição de incertezas – coleta de informação ecotoxicológica

Nesta fase, os locais dentro da área de estudo cujos resultados da fase anterior revelaram a existência de risco potencial para os ecorreceptores envolvidos serão avaliados em maior detalhe. Serão coletadas informações em nível ecológico, pelo estudo dos efeitos em nível da macro e da mesofauna edáficas e vegetação, e em nível ecotoxicológico, pela realização de ensaios ecotoxicológicos crônicos. Com esta última linha de evidência pretende-se avaliar a capacidade do solo de funcionar como habitat para os organismos edáficos (*habitat function*) e ainda a sua capacidade tamponizante, minimizando a contaminação de aquíferos (*retention function*).

Esta fase compreende a realização dos seguintes bioensaios:

- Ensaio de reprodução com colêmbolos, oligoquetas e isópodos, com as espécies-padrão mencionadas na fase anterior e espécies locais (*habitat function*).
- Ensaio de germinação e crescimento de plantas (*habitat function*).
- Ensaio microbianos (*habitat function*).
- Ensaio funcionais *in situ* de decomposição de matéria orgânica (*habitat function*).
- Ensaio com organismos aquáticos, testando elutridos do solo, usando *Daphnia magna* e algas (*Pseudokirchneriella subcapitata*), e ensaios com sedimento, usando *Chironomus riparius* (*retention function*).
- Avaliação do potencial de bioacumulação de metais em oligoquetas, isópodos e plantas (*habitat function*).

- **Etapa 4:** Aplicação de modelos de análise de risco e de critérios de decisão

Nesta fase, pretende-se analisar a aplicabilidade de diferentes esquemas de avaliação de risco ecológico (p. ex., US-EPA, Triade Holandesa) e dos critérios de decisão associados a cada um deles, a este tipo de sistemas tropicais e cenários de contaminação. Os resultados obtidos nas etapas anteriores serão aplicados a diversos esquemas de ARE, e as respostas conseguidas, em termos de grau de risco, serão comparadas. Em face dos resultados obtidos será indicado um esquema preferencial a ser aplicado em sistemas tropicais com esse perfil de contaminação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDEL-LATEIF, H. M., DONKER, M. H. & VAN STRAALLEN, N. M., 1998, Interaction between temperature and cadmium toxicity in the isopod *Porcellio scaber*. *Funct. Ecol.*, 12: 521-527.
- ANJOS, J. A. S. A., 2003, *Avaliação da eficiência de uma zona alagadiça (wetland) no controle da poluição por metais pesados: o caso da Plumbum em Santo Amaro da Purificação/BA*. Tese de doutoramento, EP/USP, São Paulo, SP, Brasil.

- CARVALHO, F. M., SILVANY-NETO, A. M., TAVARES, T. M., COSTA, A. C. A., CHAVES, C. R., NASCIMENTO, L. D. & REIS, M. A., 2003, Chumbo no sangue de crianças e passivo ambiental de uma fundição de chumbo no Brasil. *Rev. Panam. Salud. Publica/Pan. Am. J. Public. Health*, 13(1).
- MINISTÉRIO DA SAÚDE – SVS, 2003, *Avaliação de risco à saúde humana por metais em Santo Amaro da Purificação, Bahia*. http://portal.saude.gov.br/portal/svs/visualizar_texto.cfm?idtxt=24117.
- GARCIA, M. V. B., 2004, *Effects of pesticides on soil fauna: development of ecotoxicological test methods for tropical regions*, Ecology and Development Series No. 19, Zentrum für 17 Entwicklungsforschung, University of Bonn, 281 p.
- IBGE, 2007, *Banco de dados – Cidades*. <http://www.ibge.gov.br>.
- LOCK, K. & JANSSEN, C. R., 2001, Test designs to assess the influence of soil characteristics on the toxicity of copper and lead to the oligochaete *Enchytraeus albidus*. *Ecotoxicology*, 10: 137-144.
- MACHADO, S. L., RIBEIRO, L. D., KIPERSTOK, A., BOTELHO, M. A. B. & CARVALHO, F. M., 2004, Diagnóstico da contaminação por metais pesados em Santo Amaro, BA. *Eng. Sanit. Ambient.*, 9: 140-155.
- NATAL DA LUZ, T., RIBEIRO, R. & SOUSA, J. P., 2004, Avoidance tests with collembola and earthworms as early screening tools for site-specific assessment of polluted soils. *Environ. Toxicol. Chem.*, 23: 2188-2193.
- NIEMEYER, J. C., 2004, *Aspectos biológicos de Cubaris murina Brandt (Crustacea: Isopoda) e seu uso em ecotoxicologia: estudo da sensibilidade ao Glifosato*. Dissertação de mestrado, Instituto de Biologia, Universidade Federal da Bahia, Brasil.
- NIEMEYER, J. C., dos SANTOS, V. C., RODRIGUES, J. M. L. & da SILVA, E. M., 2006, Comportamento de *Cubaris murina* Brandt (Crustacea: Isopoda) em solo com glifosato: testes de fuga em laboratório. *J. Braz. Soc. Ecotoxicol.*, 1: 13-16.
- SCOTT-FORDSMAND, J. J., WEEKS, J. M. & HOPKIN, S. P., 2000, Importance of contamination history for understanding toxicity of copper to earthworm *Eisenia fetida* (Oligochaeta: Annelida), using the neutral-red retention assay. *Environ. Toxicol. Chem.*, 19: 1774-1780.
- SOUSA, J. P., 2005, Avaliação retrospectiva do risco ambiental: esquema de avaliação de risco para solos contaminados. In: I. Abrantes & S. Santos (eds), *Manual Prático para a Gestão Ambiental*. Verlag Dashofer, Lisboa.
- TAVARES, T. M., 1990, *Efeito das emissões de chumbo e cádmio em Santo Amaro da Purificação*. Tese de doutoramento, IQ/USP, São Paulo, SP, Brasil.
- VAN GESTEL, C. A. M. & WEEKS, J. M., 2004, Recommendations of the 3rd International Workshop on Earthworm Ecotoxicology, Aarhus, Denmark, August 2001. *Ecotox. Environ. Safe.*, 57: 100-105.

