



ENEPEX

ENCONTRO DE ENSINO,
PESQUISA E EXTENSÃO

8° ENEPE UFGD • 5° EPEX UEMS

INSETOS COMO BIOINDICADORES E ACUMULADORES DE POLUIÇÃO POR METAIS PESADOS

Débora de F. Brotto, Ellen L. Barbosa Firmino

UEMS, Dourados – MS. E-mail: ellen_barbosa16@hotmail.com.

1 Bolsista do programa de pós-graduação em Recursos Naturais na UEMS.

RESUMO

Atualmente, amplos estudos envolvendo a degradação ambiental tem como foco o uso de organismos que apresentem respostas a estes fatores, os bioindicadores. Dentre estes, estão os insetos. Em geral, mostram respostas significativas frente aos impactos antrópicos nos ecossistemas. Os principais poluentes químicos que afetam os recursos naturais são oriundos de técnicas agrícolas e por ferramentas que geram resíduos. Nesta linha, o presente estudo de revisão visa relacionar, principalmente, os efeitos da poluição dos recursos naturais a partir do uso dos insetos como bioindicadores de traços metálicos.

INTRODUÇÃO

Pesquisas voltadas para mensuração dos impactos de ação antrópica no meio ambiente estão sendo amplamente relatadas (STAHL, 1991; BAIRD, 2002; SORVARI et al., 2007). Dentre estes, é demonstrado que organismos bióticos apresentam-se como bons substratos nestes estudos, pois mostram os reflexos da degradação dos recursos naturais e, por conseguinte, poluição dos mesmos (CABRINI et al., 2013). Alguns organismos usados nestas investigações estão distribuídos nos reinos Animalia e Plantae. No primeiro reino, estudos dos resultados de impactos ambientais foram monitorados a partir de inúmeros organismos, dentre eles os insetos, com relativa abundância de publicações no âmbito. Para o reino seguinte tem-se o uso dos organismos vegetais de áreas antropizadas, visando também encontrar dados que reflitam um levantamento da situação do ambiente.

Os ambientes são afetados, em sua maioria, pelo desmatamento e por despejo de compostos no ambiente, resultantes das atividades industriais providas de amplas práticas antrópicas (SORVARI et al., 2007). Os principais poluentes químicos que passam a afetar os recursos naturais são oriundos de técnicas agrícolas/industriais e por ferramentas que geram resíduos, afetando nocivamente o desenvolvimento e sobrevivência da fauna (TORO et al., 2010). Nesta linha, o presente estudo de revisão visa relacionar, principalmente, os efeitos da poluição dos recursos naturais tendo os insetos como bioindicadores de traços metálicos.

METAIS PESADOS

Os metais desempenham amplos processos que regulação dos sistemas biológicos, detendo alta afinidade por diversas moléculas biológicas (DNA, enzimas, proteínas, polipeptídios, aminoácidos) de extrema importância para vida, permitindo que os íons sejam captados e absorvidos pelas células animais e vegetais (VAN ELDINAK, 1999; BENITE et al., 2007). Os organismos vivos necessitam destes componentes em mínimas quantidades para sobrevivência e funcionamento normal dos processos bioquímicos. Assim, estes metais são denominados traços ou oligoelementos, pois em pequenas doses, obtidas de fontes alimentícias, desempenham papéis benéficos no funcionamento normal do organismo. Nesta classe estão: alumínio III (Al), arsênio III (As), boro III (B), cobalto III (Co), cromo III, IV e V (Cr), cobre II (Cu), ferro II (Fe), flúor (F), manganês II (Mn), zinco II (Zn), molibdênio IV, V e VI (Mo) etc (GUILHERME et al., 2005; BASTOS & CARVALHO, 2004; BARAN, 2005; BENITE et al., 2007).

Em algumas condições os metais podem atuar de maneira nociva, apresentando níveis tóxicos (Tabela 1) (VAITSMAN & VAITSMAN, 2006). Estes casos podem ocorrer quando há excesso de traços e para elementos que não desempenham funções biológicas principalmente, não essenciais (SPIRO & STIGLIANI, 2009). Neste contexto temos acúmulo de metais pesados nos organismos, podendo afetar diretamente a biodisponibilidade de outros elementos, alterando processos bioquímicos, membranas celulares e organelas (JASSEN et al., 2000).

São considerados metais pesados aqueles que apresentam densidade maior que $0,005 \text{ g/cm}^3$ (5 mg/cm^3). Nesta classe estão: alumínio ($2,70 \text{ g/cm}^3$), bário ($3,59$), cádmio ($8,65 \text{ g/cm}^3$), cobre ($8,93 \text{ g/cm}^3$), chumbo ($11,30$ ou $11,34 \text{ g/cm}^3$), mercúrio ($13,55 \text{ g/cm}^3$), níquel ($8,91 \text{ g/cm}^3$), ouro ($19,28 \text{ g/cm}^3$), paládio ($12,00 \text{ g/cm}^3$), platina ($21,45 \text{ g/cm}^3$), prata ($10,50 \text{ g/cm}^3$), zinco ($7,14 \text{ g/cm}^3$), ou seja, a maioria dos metais (ATKINS & JONES, 1992).

Tabela 1. Toxicidade relativa dos elementos em mamíferos, a partir de doses injetadas e dietas alimentares.

| Elemento | Doses agudas letais (LD50) injetados em mamíferos (mg/Kg de peso corporal) | Dose na dieta humana (mg/dia) | |
|----------|--|-------------------------------|-----------|
| | | Tóxica | Letal |
| Ag | 5-60 | 60 | 1,3k-6,2k |
| As | 6 | 5-50 | 50-340 |
| Au | 10 | - | - |
| Ba | 13 | 200 | 3,7k |
| Be | 4,4 | - | - |
| Cd | 1,3 | 3-330 | 1,5k-9k |
| Co | 50 | 500 | - |
| Cr | 90 | 200 | 3k-8k |
| Cs | 1.200 | - | - |
| Cu | - | - | 175-250 |
| Ga | 20 | - | - |
| Ge | 500 | - | - |
| Hg | 1,5 | 0,4 | 150-300 |

| | | | |
|----------------------|---------|-------|-----|
| Mn | 18 | - | - |
| Mo | 140 | - | - |
| Nd | 125 | - | - |
| Ni | 110-220 | - | - |
| Pb | 70 | 1 | 10k |
| Pt | 23 | - | - |
| (²³⁹ Pu) | 1 | - | - |
| Rh | 100 | - | - |
| Sb | 25 | 100 | - |
| Se | 1,3 | 5 | - |
| Sn | 35 | 2.000 | - |
| Te | 25 | - | 2k |
| Th | 18 | - | - |
| Tl | 15 | 600 | - |

(Continua)

(Continuação)

| | | | |
|----|---|---------|----|
| U | 1 | - | - |
| V | - | 18 | - |
| Zn | - | 150-600 | 6k |

Fonte: BROWEN, 1979.

INSETOS

Os insetos devem ser estudados por várias razões. Suas ecologias são incrivelmente variadas, podendo dominar cadeias e teias alimentares tanto em volume quanto em número. Seu habitat pode ser aquático ou terrestre durante todo seu ciclo de vida ou parte dele. O uso de insetos como matrizes de investigação das condições do

meio ambiente se refere, principalmente, a elevada abundância de indivíduos, de maneira que a amostragem não causa perdas de riqueza e também a sua sensibilidade a desequilíbrios ambientais (CABRINI et al., 2013). Além disso, em alguns casos o exoesqueleto, o mecônio e o DNA podem ser usados como estruturas de acumulação de traços metálicos, variando de acordo com a dieta e as pressões ambientais. As espécies de insetos estão distribuídas de maneira desigual entre os grandes grupos taxonômicos chamados de Classe dos Insetos. Seis ordens principais chamam a atenção por sua alta riqueza de espécies: os besouros (Coleoptera), moscas e mosquitos (Diptera), vespas, abelhas e formigas (Hymenoptera), borboletas e mariposas (Lepidoptera), e percevejos (Hemiptera), e gafanhotos ([Orthoptera](#)). Dentre estas ordens, quatro se destacam com estudos relacionados ao acúmulo de metais pesados.

Na ordem Coleoptera trabalhos feitos em besouros representantes dos seguintes gêneros: *Carabus*, *Notiophilus*, *Pterostichus*, *Poecilus*, *Agonum*, *Leistus*, *Loricera*, *Notiophilus*, *Calathus*, *Pseudophonus*, *Poecilus*, *Peterostichus*, *Abax*, *Harpalus* (BUTOVSKY, 2011). Para ordem Hymenoptera os seguintes representantes: formigas, abelhas (*Osmiarufa*, *Megachile ligniseca*) (MORON et al., 2012) e vespas. Lepidoptera representados por mariposas. Por fim, Orthoptera representada pelos gafanhotos (*Chorthippus brunneus*) (AUGUSTYNIAK et al., 2014).

Besouros são detentores do maior número de estudos envolvendo a poluição por metais pesados e excretoras potenciais destes, principalmente a família Carabidae. Em geral, apresentam características de elevada acumulação e excreção de taxas de Cd e altos níveis de Pb distribuído entre o corpo e, em maior parcela, no exoesqueleto (BUTOVSKY et al., 1999; ROBERTS & JOHNSON, 1978). Os principais metais caracterizados nestes insetos pela análise da literatura são Zn e Cu, não diferindo em abundância nas espécies onívoras e carnívoras, com limitações quanto ao uso dos mesmos na bioindicação (JELASKA et al., 2007). Em relações gerais, a presença de metais em carabídeos se apresenta com baixas retenções de Pb e Cd, de elevada toxicidade, e maiores níveis de Fe. Tratando-se a nível de espécie, são relatadas sutis diferenças entre as porcentagens dos mesmos traços citados anteriormente, sendo assim faz-se relações homogêneas nesta classificação (ROTH, 1993; BUTOVSKY, 1997). Em análise de insetos com diferentes pesos, verificou-se influência direta na retenção de traços distintos de acordo com este parâmetro. A literatura apresenta independência da massa dos besouros quanto a presença Zn, Pb e Mn na família Carabidae, observando-se distinção específica de acúmulo em organismos de médio e pequeno porte, bioindicando

respectivamente altas concentrações de Fe, no primeiro, Cd e Cu, no segundo. Outros estudos comparativos descritos relacionam as diferenças de concentrações metálicas em animais de sexos opostos, mostrando resultados significativos quanto a distinção de abundância dos elementos tóxicos. Em fêmeas, identifica-se maiores contaminações por Cd e Zn, juntamente com elevadas concentrações de microelementos Na, Mg, K e Ca. Já nos machos verifica-se ocorrência de Pb, Zn, Cd, Cu, Mn, Fe, Co, Ni, Sr, Cr e Al em concentrações elevadas, atuando assim de modo deletério nestes organismos. A última classificação citada é um dado que apresenta variações de acordo com a espécie de besouro analisada (HUNTER et al., 1987; BUTOVSKY, 2001; BUTOVSKY, 2011).

Investigações de poluição por traços em abelhas mostraram grande ameaça a comunidades selvagens e solitárias, ocorrendo impactos de diminuição na riqueza de espécies, perda de diversidade, redução da abundância e mortalidade dos organismos frente a elevação de contaminação do pólen por metais pesados (MORON et al., 2012). Os principais traços relatados nestes estudos foram Cd < Pb < Zn (ZYGMUNT et al., 2006; STEFANOWICZ et al., 2008), sendo transferidos as larvas e demais organismos nos ninhos gerando intoxicação na colmeia, em virtude da presença de metais nos locais de forrageamento, solo e flores, transferindo assim os poluentes até os locais de nidificação (SZCZESNA, 2007). Estudos relatam este fator de impacto ambiental, metais pesados, como principal motivo da perda de espécies de polinizadores (KOSIOR et al., 2007). Algumas medidas são descritas, a fim de contribuir na reabilitação, para minimização dos impactos ambientais e proteção das comunidades de abelhas selvagens em áreas amplamente degradadas (MORON et al., 2012). Em trabalhos com formigas do gênero *Crematogaster* os metais pesados encontrados são Cu, Cd, Ni, Mn, Pb e Zn (GRAMIGNI et al., 2013) as concentrações de metais encontradas podem variar de acordo com o ambiente, sendo ele poluído ou não, por meio de estudos com operárias de formigas do gênero *Formica*, onde os níveis de metais pesados em foi encontrado em maiores concentrações área poluído. (EEVA et al., 2004).

Em mariposas estudos feitos em dois locais, um poluído e outro não, revelou uma diferença significativa, indicando que a poluição por metais impediu o inseto de alcançar um crescimento máximo em folhas de bétula. Taxas de crescimento larval de diferentes ninhadas diferiram significativamente entre o local contaminado e local não contaminado. No entanto, o peso de pupas de ninhadas, o que é considerado mais importante para a aptidão do que a taxa de crescimento, em resposta a poluição não foi diferente (OOIK et al., 2006).

Estudos com larvas de gafanhotos, amostrados em locais de nidificação com severos graus de poluição por traços, apresentaram sérios danos no DNA, oriundos do impacto causado pela poluição na integridade da informação genética dos embriões maternos, que após se tornarem adultos transferiram suas expressões genéticas deletérias a seus ovos, diminuindo a estabilidade de seu genoma (DEVKOTA & SCHMIDT, 2000). O principal metal bioacumulado em ovários, com elevadas concentrações, destas populações (*C. brunneus*) foi zinco, em contra partida a reduzidas porções de Cd, Pb e Zn nos mesmos coletados em locais poluídos (AUGUSTYNIAK & MIGULA, 2000; AUGUSTYNIAK et al., 2014). Além disso, verifica-se ríspidos danos em embriões contendo mercúrio, ocorrendo interrupção de desenvolvimento e níveis reduzidos de Pb em larvas que prosperaram (DEVKOTA & SCHMIDT, 1999). A partir da detecção de concentrações de zinco nestes organismos é gerada a instabilidade do genoma, ocorrendo danos, perda de modulação dos genes, diminuição de viabilidade das células e supressão do crescimento (AUGUSTYNIAK et al., 2014). Perante essas informações a literatura descreve o uso destes insetos na bioindicação de poluentes desta natureza e sua relação com estudos citogenéticos.

MECANISMOS DE DESINTOXICAÇÃO

De acordo com a literatura, a eliminação de resíduos contaminantes presentes no organismo dos insetos é realizada por mudanças na distribuição e aumento de energia, provenientes dos lipídios, carboidratos e proteínas no sistema metabólico, a fim de realizar a desintoxicação e excreção de gradientes metálicos (SCOTT-FORDSMAND & WEEKS, 2000). Além destes pontos, tem-se que pela avaliação bioquímica das reservas energéticas de invertebrados, em conjunto com suas massas fecais, resultados quantitativos de traços metálicos processados pelo metabolismo via desintoxicação. (BEDNARSKA et al., 2013). Outro fator metabólico vinculado a desintoxicação é o aumento do metabolismo respiratório quando insetos são expostos durante longos períodos a esta poluição, visando fornecer proteção do DNA, através da formação de subprodutos reativos de alta respiração celular (KRAMARZ & KAFEL, 2003; AUGUSTYNIAK et al., 2008; BEDNARSKA & STACHOWICZ, 2013). Avaliando essas medidas em diferentes organismos é possível estimar a eficiência que espécies apresentam na excreção de metais pesados (BEDNARSKA et al., 2013).

Estudos de desintoxicação envolvendo insetos holometabólicos descrevem este processo por separação e transformação dos metais em formas inativas que pode ser

evitado ou adiado por três mecanismos, os quais podem ocorrer juntos em uma única espécie: comportamento de evitar a absorção; compartimentalização e excreção (HOPKIN, 1989). No caso da compartimentalização podem consistir de acumulação de metal num inócuo formar dentro de órgãos e células (TAYLOR & SIMKISS 1984); por exemplo, em grânulos, em células hepatopâncreas em isópodes (HOPKIN & MARTIN 1982) e metalotioneína em moscas de fruta (MARONI et al., 1987). Já para o último mecanismo, ocorre da seguinte maneira: os metais permanecem armazenados nas glândulas do intestino, sendo posteriormente excretados nas fezes (HOPKIN, 1989; BUTOVSKY, 2011). Este procedimento requer energia, por isso quando a desintoxicação é realizada, durante as fases de desenvolvimento dos insetos, a fonte primária de consumo na reação provém da gordura armazenada (CALOW AND SIBLY, 1990; BUTOVSKY, 2011; AUGUSTYNIAK et al., 2014).

Em relação aos estágios de desenvolvimento dos insetos verifica-se pela literatura que na fase larval há maior acúmulo de metais pesados e sua excreção ocorre por defecação, pois há altas concentrações de traços nestes sólidos (LINDQUIST et al., 1995; CARTER, 1983;). A principal acumulação de metais no organismo dos insetos ocorre nos sítios ativos de enzimas como glutathione-S-transferase e carboxil-esterase, este processo afeta somente fêmeas (STONE et al., 2002).

CONCLUSÃO

Perante aos estudos de bioindicação pode-se observar que os insetos se enquadram como bons substratos para o monitoramento de ambientes impactados. O principal local de acúmulo de traços nas espécies descritas encontra-se no exoesqueleto, por formação de compostos de coordenação de elevada estabilidade. Além disso, é notável a presença de danos ao DNA, corrompendo a integridade das informações genéticas de embriões imaturos maternos, passando essas condições genéticas deletérias a sua futura prole resultando em perdas de modulação dos genes e supressão do crescimento. Alguns fatores de desintoxicação mostram elevada eficiência, visualizada principalmente por altas concentrações de metais em massas fecais, esta adaptação do mecanismo de excreção levou os insetos a sobreviverem mesmo em locais com alta concentração de metais pesados. No entanto, esses processos requerem consumo de energia dos organismos, observados via estudos bioquímicos das vias metabólicas de

excreção de contaminantes. Deste modo, é possível quantificar, pela revisão literária, a boa eficiência dos insetos em excretar metais pesados.

REFERÊNCIAS

ATKINS, P., JONES, L. (1992). **Chemistry: Molecules, Matter, and Change**. W. H. Freeman and Company, 3^a. ed.

AUGUSTYNIAK, M., MIGULA, P. (2000). Chapter 16 Body burden with metals and detoxifying abilities of the grasshopper – *Chorthippus brunneus* (Thunberg) from industrially polluted areas. **Trace Metals in the Environment**.4, 423-454.

AUGUSTYNICK, M., BABCZYNSKA, A., KOZŁOWSKI, M., SAWCZYN, T., AUGUSTYNIAK, M. (2008). The respiration rate of the beet armyworm pupae (*Spodoptera exigua*) after multi-generation intoxication with cadmium and zinc. **J. Insect Physiol.** 54, 41-50.

AUGUSTYNICK, M., ORZECZOWSKA, H., KEDZIORSKI, A., SAWCZYN, T., DOLEZYCH, B. (2014). DNA damage in grasshoppers' larvae – Comet assay in environmental approach. **Chemosphere**.96, 180-187.

BAIRD, C.; (2002). **Química Ambiental**, 2^a ed., Bookman: Porto Alegre.

BARAN, E. J. (2005). Suplementação de elementos traços. **Química Nova na Escola**, 6, 7-12.

BASTOS, A. R. R.; CARVALHO, J. G. (2004). Absorção radicular e redistribuição do boro pelas plantas, e seu papel na parede celular. **Revista Série Ciências da Vida**, 24 (2), 47-66.

BEDNARSKA, A. J., STACHOWICZ, I. KURIANSKA, L.(2013). Research Article: Energy reserves and accumulation of metals in the ground beetle *Pterostichus oblongopunctatus* from two metal-polluted gradients. **Environ. Sci. Pollut. Res.** 20, 390-398.

BEDNARSKA, A. J., STACHOWICZ, I. (2013). Costs of living in metal polluted areas: respiration rate of the ground beetle *Pterostichus oblongopunctatus* from two gradients of metal pollution. **Ecotoxicology**.22 (1), 118-124.

BENITE, A. M. C.; MACHADO, S. P.; BARREIRO, E. J. (2007). Considerações sobre a química bioinorgânica. **Revista eletrônica de Farmácia**, 4, 131-142.

BOWEN, H. J. M. (1979). **The environmental chemistry of the elements**. Londres: Academic Press.

BUTOVSKY, R. O. (1997). Heavy metals and carabids (Coleptera, Carabidae). **Agrohimija**.11, 78-86.

BUTOVSKY, R. O., VERHOEF, S. C., ZAITSEV, A. S., van STRAALLEN, N. M. (1999). Heavy metals in different invertebrate groups as related to soil contamination. In: BUTOVSKY, R. O., VAN STRAALLEN, N. M. (Eds) Pollution-induced changes in soil invertebrate foodwebs. (1999). Report No. D99017. **Vrije Universiteit, Amsterdam**, 117-129.

BUTOVSKY, R. O. (2001). Tolerance of soil arthropod communities to anthropogenic influences. **Den serebra Publishers**, Moscow, 322 pp.

BUTOVSKY, R. O. (2011). Research Article: Heavy metal in carabids (Coleoptera, Carabidae). **ZooKeys**. 100, 215-222.

CALOW, P., SIBLY, R. M. (1990). A physiological basis of population processes ecotoxicological implications. **Essay Rev. Funct. Ecol.** 4, 283-288.

CARTER, A. (1983). Cadmium, copper and zinc in soil animals and their food in a red clover system. **Canadian Journal of Zoology**.61, 2751-2757.

CABRINI, I., MAICON, D. G. ANDRADE, C. F. S., THYSSEN, P. J. (2013). Richness and composition of Calliphoridae in a Atlantic Forest fragment: implication for the use of dipteran species as bioindicators. **Biodiversity Conserv.** 22, 2635-2643.

DEVKOTA, B., SCHMIDT, G. H. (1999). Effects of heavy metals (Hg^{2+} , Cd^{2+} , Pb^{2+}) during the embryonic development of Acridid grasshoppers (Insecta, Caelifera). **Arch. Environ. Contam. Toxicol.**36, 405-414.

DEVKOTA, B., SCHMIDT, G. H. (2000). Accumulation of heavy metals in food, plants and grasshoppers from the Taigetos Mountains, Greece. **Agri. Ecoys. Environ.**78, 85-91.

EEVA, T., SORVARI, J., KOLVUNEN, V. (2004). Effects of heavy metal pollution on red wood ant (*Formica s. str.*) populations. **Environ. Pollut.** 132, 533-539.

ERNST, W.H.O. (1990). Element allocation and (re)transportation in plants and its impact on representative sampling. In: **Lieth**.

GRAMIGNI, E., CALUSI, S., GELLI, N., GIUNTINI, L., MASSI, M., DELFINO, G., CHELAZZI, G., BARACCHI, D., FRIZZI, F., SANTINI, G. (2013). Ants as bioaccumulators of metals from soils: Body content and tissue-specific distribution of metals in the ant *Crematogaster scutellaris*. **European Journal of Soil Biology**. 58, 24-31.

GUILHERME, L. R. G.; MARQUES, J. J.; PIERANGELI, M. A. P.; ZULIANI, D. Q.; CAMPOS, M. L.; MARCHI, G. (2005). Elementos traço em solos e sistemas aquáticos. **Tópicos em Ciência do Solo**, 4, 345-390.

HOPKIN, P. S. (1989). Ecophysiology of metals in terrestrial invertebrates. **Elsevier Applied Science Publishers Ltd.**, 366 pp.

- HOPKIN, P. S., MARTIN, M. H. (1982).The distribution of zinc, cadmium,lead and copper within the woodlouse *Oniscusasellus*(CrustaceaIsopoda). **Oecologia**.54, 227-232.
- HUNTER, B.A., HUNTER, L.M., JOHNSON, M.S., THOMPSON, D.J. (1987).Dynamics of metal accumulation in the grasshopper*Chorthippusbrunneus*in contaminated grasslands. **Arch.Environ. Contam. Toxicol.** 16, 711–716.
- JANSSEN, C. R., DE SCHAMPHELAERE, K., HEIJERICK, D., MUYSSSEN, B., LOCK, K., BOSSUYT, B., VANGHELUWE, M., VAN SPRANG, P. (2000).Uncertainties in the environmental risk assessment metals. **Hum. Ecol. Risk Assess.** 6, 1003-1018.
- JELASKA, L. S., BLANUSA, M., DURBESIC, P., JELASKA, S. D. Heavy metal concentrations in ground beetles, leaf litter, and soil of a forest ecosystem. **Ecotoxicology and Environmental Safety.** 2007
- KOSIOR, A., CELARY, W., OLEJNICZAK, P., FIJAL, J., KROL, W., SOLARZ, W., PLOKA, P. (2007).The decline of the bumble bees and cuckoo bees (Hymenoptera: Apidae: Bombini) of Western and Central Europe. **Oryx**.41, 79-88.
- KRAMARZ, P., KAFANEL, A. (2003).The respiration rate of the beet armyworm pupae (*Spodopteraexigua*) after multi-generation intoxication with cadmium and zinc. **Environ. Pollut.**126 (1), 1-3.
- LINDQUIST, L., BLOCK, M., TJALVE, H. (1995).Distribution and excretion of Cd, Hg, methyl-Hg and Zn in the predatory beetle *Pterostichus niger* (*Coleoptera: Carabidae*).**Bulletin of Environmental Toxicology and Chemistry.** 14, 1195-1201.
- MORON, D., GRZES, I. M., SKORKA, P., SZENTGYORGYI, H., LASKOWSKI, R., POTTS, S. G., WOYCIECHOWSKI, M. 2012.Abundance and diversity of wild bees along gradients of heavy metal pollution. **Journal of Applied Ecology.** 49, 118-125.
- MARONI. G., WISE, J., YOUNG, J. E., OTTO, E. (1987).Metallothionein gene duplications and metal tolerance in natural populations of*Drosophila melanogaster*.**Genetics**.117, 739-744.
- ROBERTS, R. D., JOHNSON, M. S. (1978).Dispersal of heavy metals from abandoned mine workings and their transference through terrestrial food chains. **Environmental Pollution.** 16, 293-310.
- ROTH, 1993; BUTOVSKY, R. O. (1997).Heavy metals and carabids (Coleoptera, Carabidae). **Agrohimijs.** 11, 78-86.
- STAHL, R. G. J.; (1991).The Genetic Toxicology of Organic Compounds in Natural Water and Wastewater, **Ecotoxicology and Environmental Safety.**
- SCOTT-FORDSMAND, J. J., WEEKS, J. M. (2000).Biomarkers in earthworms. **Rev. Environ. Contam.** 165, 117-159.

SORVARI, J., RANTALA, L. M., RANTALA, M. J., HAKKARAINEN, H., EEVA, T. (2007). Heavy metal pollution disturbs immune response in wild ant populations. **Environmental Pollution**. 145, 324-328.

SPIRO, T. G., STIGLIANI, W. M. (2009). Química Ambiental. Tradução Soni 2ªed, São Paulo: Pearson Pretice Hall.

STEFANOWICZ, A. M., NIKLINSKA, M., LASKOWSKI, R. (2008). Pollution-induced tolerance of soil bacterial communities in meadow and forest ecosystems polluted with heavy metals. **European Journal of Soil Biology**. 45, 363-369,

STONE, D., JEPSON, P., LASKOWSKI, R. (2002). Trends in detoxification enzymes and heavy metal accumulation in ground beetles (Coleoptera: Carabidae) inhabiting a gradient of pollution. **Comparative Biochemistry and Physiology**. Parte C, 132, 105-112,

SZCZESNA, T. (2007). Concentration of selected elements in honeybee-collected pollen. **Journal of Apicultural Science**. 51, 5-13,

TAYLOR, M. G., SIMKISS, K. (1984). Inorganic deposits in invertebrate tissues. **Environ Chem**. 3, 102-138.

TORO, I. D., FLOYD, K., GARDEA-TORRESDEY, J., BORROK, D. (2010). Heavy metal distribution and bioaccumulation in Chihuahuan Desert Rough Harvester ant (*Pogonomyrmex rugosus*) populations. **Environmental Pollution**. 158 (5), 1281-1287.

VAN, O. T., RANTALA, M. J., SALONIEMI, I. (2006). Diet-mediated effects of heavy metal pollution on growth and immune response in geometrid moth *Epirrita autumnata*. **Environmental Pollution**. 145, 348-354.

VAITSMAN, E. P., VAITSMAN, D. S. (2006). **Química & Meio Ambiente: Ensino Contextualizado**. Rio de Janeiro: Interciência.

VAN ELDIK, R. (1999) Mechanistic studies in coordination chemistry. **Coordination Chemistry Reviews**. 182 (1), 373-410.

ZYGMUNT, P. M. S., MARYANSKI, M., LASKOWSKI, R. (2006). Body mass and caloric value of the ground beetle (*Pterostichus oblongopunctatus*) (Coleoptera, Carabidae) along a gradient of heavy metal pollution. **Environmental Toxicology and Chemistry**. 25, 2709-2714.