

Monitoramento de metais, metais pesados e metalóides em fezes de capivaras (*hydrochaeris hydrochaeris*) utilizando espectroscopia de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP- OES)

Dr. Igor Domingos de Souza

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a poluição ambiental tem se tornado um grande problema para os organismos vivos. Assim, vários produtos químicos contendo metais pesados e partículas irrespiráveis estão presentes no meio Ambiente (Syed et al., 2017), causando mudanças na saúde de certas espécies de animais selvagens e principalmente humano. De fato, o aumento da quantidade de metais pesados no ambiente se deve a muitas fontes, dentre elas estão os pesticidas que possuem elementos como Hg, As, Cu, Zn e outros metais pesados também estão poluindo o meio ambiente (Arão et al., 2010). Além disso, o aumento da população e uso de veículos, assim como indústrias tem aumentado o aumento de combustíveis fósseis (Smodis e Heise, 2000).

Além dos humanos, os animais em cativeiro também estão enfrentando os mesmos problemas. Existem muitos efeitos nocivos dos metais pesados quando ultrapassam os limites bio-recomendados (Biffa, et al., 2020; Chao et al., 2014). As exposições de animais em cativeiros a maiores concentrações de Pb foi observada em mamíferos próximos a área urbana e com tráfego intenso, como também estão perto de minas e fundições de metal (Gupta, 2013).

Nos últimos anos, vários estudos tem relatado e destacado resultados sobre as concentrações de metais em mamíferos selvagens que vivem em área altamente contaminada perto de diferentes áreas (Pokorny e Ribaric, 2000; Roux e Marra, 2007; Beyer et al., 2007; Dzugan et al., 2012). A maioria desses estudos envolveram a morte de espécies selvagens como indicadores biológicos para detectar a presença dos elementos tóxicos em seu próprio ecossistema. No entanto, o método de sacrificar ou matar o animal pode parecer mais científico, mas certamente é eticamente infundado uma vez que cada vez mais espécies de animais silvestres tem diminuído em vários países ().

Diante da preocupação com a perda de vidas de animais para investigação científica, e a escassez de várias espécies no planeta Terra, estudos tem sido empenhado em estudar e considerar novos meios de avaliação, neste caso, os excrementos de várias espécies tem sido foco de interesse de pesquisadores. Confronto alguns autores, é possível através dos excrementos de animais, além de monitorar a saúde dos mesmos, também inferir no nível de poluição ambiental. Desta forma, vários animais como cobras, algumas espécies de aves, pinguins e etc tem sido utilizado para monitorar as variações de metais no meio ambiente (WAY; SCHRODER, 1982; REIDINGER JR, 1972; SILEQ, BEYER, 1985; GUPTA; BAKRE, 2012; FROSSARD, 2019).

Apesar da investigação de várias espécies, algumas ainda não foram estudadas para averiguar se possuem um perfil de serem ou não um bom indicador de poluição. Neste sentido, a Capivara (*Hydrochoerus hydrochaeris*) que é uma espécie de mamífero roedor da família Caviidae e subfamília Hydrochoerinae seria um bom animal a ser estudado como indicativo de poluição devido a presença de metais pesados. Esse animal é encontrado em muitos locais como parques e reservas de Mato Grosso do Sul/ MS, e principalmente em fazendas próximas a Campo Grande/ MS. Porém em Mato Grosso do Sul e outras regiões do Brasil não existem estudos que monitorem a concentração de metais no plasma sanguíneo, pelos e principalmente excrementos de mamíferos como a Capivara.

Diante do exposto, uma vez que as fezes, sangue ou penas de vários animais são considerados como bioindicadores de poluição em decorrência da presença de metais e metalóides, neste projeto, pretendemos usar os excrementos das capivaras como bioindicador de contaminação por metais pesados em mamíferos selvagens. O objetivo deste estudo é quantificar elementos químicos como o arsênio (As), o chumbo (Pb), cobalto (Co), Cromo (Cr), alumínio (Al), cádmio (Cd), níquel (Ni), cobalto (Co), ferro (Fe), zinco (Zn), manganês (Mn), magnésio (Mg), Selênio (Se), fósforo (P) e molibdênio (Mo) nos solos e excrementos de várias Capivaras que vivem em locais próximos à cidade de Campo Grande/ MS. A quantificação de elementos nas amostras de solos e excrementos de animais serão obtidas após digestão ácida e utilizando um espectrômetro de emissão óptica por plasma acoplado indutivamente (ICP-OES).

2. METODOLOGIA

2.1 Animais de estudos

O presente estudo realizado nos locais selecionados foi autorizado pelos órgãos responsáveis como a SEMADUR - Secretaria Municipal do Meio Ambiente e Gestão Urbana (Parque ecológico Anhandui), FUNESP – Fundação Nacional de Esportes/ MS (Parque ecológico do Soter), IMASUL- Instituto de meio ambiente de Mato Grosso do Sul (Parque estadual Prosa e Parque estadual Matas do Segredo). O acesso a coleta local ao Lago do Amor (Campus Campo Grande/ MS) foi liberado pelo Prof. Dr. Válder A do Nascimento (Matrícula SI APE 2953598).

A Figura 1 abaixo mostra um exemplar da espécie a ser estudada neste projeto. Conforme o biólogo XXX trata-se da Capivara, cujo nome científico é *Hydrochoerus hydrochaeris*.



Figura 1. Capivara (nome científico: *Hydrochoerus hydrochaeris*): Fonte: autor

2.2 Coleta de solo e procedimento de digestão acida via micro-ondas

As amostras de solo foram coletadas nos seguintes locais: parque ecológico Anhanduí, parque ecológico Soter, parque ecológico Prosa e lago do amor, ambos localizados próximos a perímetros urbano, todas as características dos locais são apresentadas na Tabela 1. As coletas foram realizadas no mês setembro de 2021. Uma quantidade total de 100 g de amostras da superfície do solo foram retiradas entre 0,1 a 0,2 metros de profundidade de cada um dos pontos de amostragem usando uma pá de aço inoxidável. Todas as amostras de solos foram secas ao ar até a obtenção de peso constante, depois moídas e peneiradas em peneira de 2 mm conforme descrito por Mclean et al., (2019) e Rosa (2021).

Para análises da composição mineral, considerou-se uma quantidade de 0,5 g de amostras de solo no qual foi pesada diretamente em recipientes de Teflon DAP60® 9 mL de HCl (35% Merck - Darmstadt, Alemanha) e 3 mL de H₂O₂ (65% Merck - Darmstadt, Alemanha) foram adicionados. As amostras ficaram em repouso para pré-digestão por 18 h como recipiente DAP60® frouxamente tampado para permitir o escape de gases. Após a pré-digestão, as amostras foram digeridas de acordo com as recomendações do método 3051A da USEPA (2007). Posteriormente ao resfriamento, as amostras foram filtradas e transferidas para frascos volumétricos e completadas até atingir 25 mL com água ultrapura.

2.3 Coleta de excrementos e procedimento de digestão via micro-ondas

Para cada coleta de amostras de excrementos de capivara foram utilizadas uma colher de aço inox e acondicionadas em sacos “plásticos estéreis para coleta”. Coletou-se uma quantidade de 400 gramas em vários locais diferentes.

As amostras de excrementos coletadas foram secas em estufa de 45° durante 12 horas. Após secagem em uma quantidade de 0,30 gramas de amostras foi colocada em recipientes de Teflon DAP60® e adicionado 3,0 mL de HNO₃ (65% Merck, Darmstadt, Alemanha), 1,0 mL de água de alta pureza (18 MΩ cm Milli-Q Millipore, Bedford, MA, EUA) e 2,0 mL de H₂O₂ (35% Merck, Darmstadt, Alemanha). O procedimento de digestão usando o sistema de digestão por micro-ondas (Speedwavefour, Berghof, Alemanha) foi realizado de acordo com a Ref. (Souza et al., 2021). Todos os procedimentos foram realizados em triplicata. A programação para a digestão via microondas foi realizado conforme trabalho publicado por Souza et al., 2021.

2.4 Análise utilizando ICP OES

Neste estudo os elementos químicos foram quantificados utilizando Espectrometria de Emissão Óptica por Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES) (iCAP 6300 Duo, Thermo Fisher Scientific, Bremen, Alemanha). Para a quantificação dos elementos utilizou a visão axial, potência de operação de 1250 W; vazão da amostra = 0,35 L/min; vazão de gás de plasma = 12 L/min; tempo de integração = 5 s; tempo de estabilização = 20 s; pressão de nebulização = 20 psi. Além disso, os seguintes comprimentos de onda de emissão (nm) foram configurados e usados pelo ICP OES para análise de cada um dos elementos: Al 309,271 nm As 189,042 nm Cd 228,000 nm Co 228,616 nm Cr 267,716 nm Cu 324,754 nm Fe 259,940 nm Mg 279,553 nm Mn 257,610 nm Mo 202,030 nm N 221,647 nm P 214,914 nm Se 196,00 nm Zn 213,856 nm Pb 220,353 nm

2.4 Padrões utilizando no ICP OES

As soluções padrão foram preparadas diluindo uma solução estoque padrão de múltiplos elementos (SpecSol, Quinlab, Brasil) contendo 1000 mg/L de cada elemento (Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Mo, N, P, S, V, Se e Zn). Para a análise quantitativa de solos e excrementos, curvas de calibração externa foram construídas em cinco concentrações diferentes na faixa de 0,01–5,0 mg/L. As condições de otimização foram avaliadas em termos de precisão (por teste de recuperação) e limite de detecção. A solução de spiking foi feita a partir de uma solução estoque de múltiplos elementos de 1000 ppm. Além disso, foi realizado um teste de recuperação; as soluções foram enriquecidas com 1 ppm. O método teve um intervalo de recuperação de 87–110%. Os limites de detecção (LOD) foram calculados como 3 vezes o desvio padrão da média das determinações do branco sing (SB) dividido pela inclinação da curva de calibração (Sp), ou seja: $3 \times SB/Sp$ (Long, 1983). Por outro lado, os limites de quantificação (LOQs) foram calculados da seguinte forma: $LOQ = 10 \times SB/Sp$. O intervalo de todos os elementos LOD foi de 0,02–0,3 µg/L, e o intervalo de todos os elementos LOQ foi de 0,06 a 10 µg/L. A faixa do coeficiente de correlação (R^2) foi de 0,9992–0,9995.

Tabela 1. Informações pertinentes aos locais de coletas, áreas de estudos e tipos de solo

	PARQUE ECOLÓGICO ANHANDUI	PARQUE ECOLÓGICO SÓTER	PARQUE ECOLÓGICO PROSA	LAGO DO AMOR
Localização	Encontra-se localizado na confluência do córrego Bandeira com o rio Anhandui, na região de planejamento do Anhanduizinho, porção sul da cidade de Campo Grande/ MS. O Parque Ecológico do Anhandui é considerada a primeira unidade de conservação urbana municipal.	A nascente do córrego Sóter está localizada no interior de uma voçoroca com afloramento do lençol freático. Localizado em Campo Grande/ MS. O lago do Parque, formado pelo Córrego Sóter, não existe mais, devido ao assoreamento causado pela erosão em uma extensa área bem no meio do Parque.	Regado pelas águas dos córregos Joaquim Português e Desbarrancado, com uma localização constituída pelas Secretarias e Governadorias da capital do Estado de Mato Grosso do Sul. Situa-se no Planalto da Serra de Maracaju, dentro do perímetro urbano da capital do Estado de Mato Grosso do Sul – Campo Grande. Está localizado no domínio dos Cerrados (chapadões recobertos por cerrados e penetrados por florestas galerias) e pertence à Bacia do Paraná, situando-se na região geopolítica do Centro-Oeste.	O reservatório foi construído em 1968, sendo, portanto, um lago artificial. Ele é ainda hoje abastecido pelos córregos Cabaça e Bandeira, os quais formam a bacia do Bandeira, parte integrante da bacia do Rio Paraná. Localizado em Campo Grande/ MS, na UF MS, pertencendo ao campus de Campo Grande/ MS.
AREA	17,6 Hectares	22 Hectares	135 Hectares	16 Hectares
PROXIMIDADE DO PERÍMETRO	Área Urbana	Área Urbana	Área Urbana	Área Urbana
LOCAL DA COLETA	Próximo nascente e área urbana	Próximo nascente e área urbana	Próximo área urbana	Próximo área urbana e lago do amor
TIPO DE SOLO	Tipo 2	Tipo 1	Tipo 3	Tipo 3
Ph CaCl2	5,1	4,6	3,8	5,8

Resultados e discussões

Na tabela 2 consta os valores óbitos a partir da quantificação dos elementos químicos nos solos dos locais Parque ecológico ANHANDUI, Parque ecológico águas do PROSA, Parque ecológico águas do SOTER e Lago do amor. Os valores foram comparados com aqueles publicados pela RESOLUÇÃO Nº 420, DE 28 DE DEZEMBRO DE 2009 Brasil (CONAMA, 2009), que dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Além disso, os valores obtidos em nosso estudo também foram comparados com outras pesquisas realizadas em países como China e USA (Chen et al., 1991).

De acordo com a Tabela 2, constatou-se que a concentração de elementos químicos quantificados no solo do Parque ecológico ANHANDUI decresce na seguinte ordem: $Mn\ 217.971 \pm 0.487 > Mg\ 210.292 \pm 0.803 > Zn\ 208.317 \pm 17.30 > Fe\ 125.333 \pm 4.688 > Cu\ 91.012 \pm 0.271 > Mo\ 31.269 \pm 1.41 > Cr\ 29.479 \pm 0.833 > Pb\ 25.537 \pm 0.645 > Se\ 13.783 \pm 0.586 > Co\ 10.528 \pm 0.148 > N\ 12.593 \pm 0.0374 > P\ 12.344 \pm 2.538 > As\ 10.115 \pm 0.426 > Al\ 5.426 \pm 0.40 > Cd\ 1.188 \pm 0.135$. Por outro lado, no solo do Parque ecológico águas do PROSA, a ordem de elementos químicos decresceu como: $Zn\ 152.088 \pm 2.835 > Mg\ 193.267 \pm 5.867 > Cu\ 190.379 \pm 1.05 > Fe\ 141.859 \pm 1.129 > Mn\ 81.668 \pm 1.801 > Cr\ 29.984 \pm 2.392 > Al\ 24.367 \pm 1.59 > N\ 15.713 \pm 0.488 > Mo\ 15.588 \pm 0.891 > P\ 15.540 \pm 0.689 > Se\ 11.262 \pm 1.240 > As\ 7.189 \pm 0.637 > Pb\ 5.643 \pm 0.447 > Co\ 5.382 \pm 0.444 > Cd\ 0.756 \pm 0.087$.

A concentração de elementos químicos quantificados no solo do Parque ecológico Soter decresce na seguinte ordem: $Zn\ 189.632 \pm 1.315 > Mn\ 183.124 \pm 2.11 > Mg\ 173.308 \pm 5.874 > Cu\ 84.004 \pm 2.593 > Fe\ 77.641 \pm 1.939 > Mo\ 22.277 \pm 0.307 > Cr\ 20.786 \pm 0.958 > N\ 14.143 \pm 0.156 > Pb\ 10.575 \pm 0.282 > Se\ 9.643 \pm 0.325 > P\ 7.536 \pm 1.176 > Co\ 4.296 \pm 0.286 > Al\ 4.090 \pm 0.203 > As\ 3.136 \pm 0.165 > Cd\ 1.435 \pm 0.481$. Em relação a concentração de elementos no Lago do amor, a ordem decrescente foi de $Mg\ 237.509 \pm 5.575 > Cu\ 205.114 \pm 4.978 > Mn\ 200.629 \pm 0.957 > Fe\ 198.535 \pm 1.59 > Zn\ 172.988 \pm 2.679 > Cr\ 38.825 \pm 0.778 > N\ 35.714 \pm 0.612 > Mo\ 34.443 \pm 0.252 > Pb\ 30.870 \pm 0.099 > Se\ 13.255 \pm 1.55 > As\ 12.788 \pm 0.870 > Al\ 8.423 \pm 0.357 > Co\ 6.388 \pm 0.132 > P\ 5.489 \pm 0.813 > Cd\ 2.392 \pm 0.349$.

Com exceção da concentração de Al no solo do Parque ecológico águas do SOTER, os valores obtidos para este elemento nos solos do Parque ecológico ANHANDUI, Parque ecológico águas do PROSA e Lago do amor estão acima daqueles estipulados pelo CONAMA/ BRASIL, China e USA.

A concentração de As nos solos estudados estão abaixo do valor apresentado pelo CONAMA/ BRASIL. Porém, a concentração deste elemento no solo de Parque ecológico ANHANDUI, Parque ecológico águas do PROSA e Lago do amor é maior do que o valores obtidos em estudo como USA, porém com o solo do Parque ecológico Soter possuindo concentração menor.

A concentração de Cd no solo do Parque ecológico ANHANDUI é menor que o valor estabelecido pelo CONAMA/ BRASIL, porém maior que obtido na China. Apenas

o solo do Parque ecológico águas do PROSA apresenta a concentração de Cd menor que os valores apresentados pelo CONAMA/ BRASIL

Na tabela 2, conforme pode nos constatar, a concentração de Co no solo estudados são menores que os valores apresentados pelo CONAMA/ BRASIL e China. No solo do Parque ecológico águas do SOTER, a concentração de Co está abaixo dos valores apresentados pelo CONAMA/ BRASIL, China e USA. Porém, a concentração de Co no solo do Parque ecológico ANHANDUI é maior que aquelas apresentadas pela China e USA.

A concentração de Cr no solo do Parque ecológico ANHANDUI, Parque ecológico águas do PROSA, Parque ecológico águas do SOTER e Lago do amor são menores que os valores apresentados pela China. Entretanto, apenas a concentração deste elemento no solo do Lago do Amor é maior do que o valor obtido no USA.

A concentração de Cu no lago do amor é maior do que todos os valores apresentados na Tabela 2 (CONAMA/ BRASIL, CHINA e USA), com a concentração deste elemento no solo do Parque ecológico ANHANDUI, Parque ecológico águas do PROSA e Parque ecológico águas do SOTER maiores quando comparado com a China e USA.

A concentração de Fe, Mg, P, Se e Zn em todos os solos estudados são maiores que aqueles apresentados pelo CONAMA/ BRASIL, CHINA e USA, sendo que a concentração de Mn menor que os obtidos pelo CONAMA/ BRASIL, CHINA e USA.

Com exceção da concentração de N no solo do Lago do Amor quando comparada com o CONAMA/ BRASIL, a concentração deste elemento no solo do Parque ecológico ANHANDUI, Parque ecológico águas do PROSA, Parque ecológico águas do SOTER é menor que a estipulado pelo CONAMA/ BRASIL.

Tabela 2 Concentração de elementos químicos quantificados nos solos comparados com valores estipulados pelo Brasil, obtidos pela China e USA

Element	Parque ecológico ANHANDUI	Parque ecológico águas do PROSA	Parque ecológico águas do SOTER	Lago do amor	Cona ma /Brazil (mg/kg)	Chi na (mg/kg)	USA (mg/kg)
	SOLO	SOLO	SOLO	SOLO			
Al	5.426 ± 0.40	24.367 ± 1.59	4.090 ± 0.203	8.423 ± 0.357	*	6.4	4.7
As	10.115 ± 0.426	7.189 ± 0.637	3.136 ± 0.165	12.788 ± 0.870	15	9.2	5.2
Cd	1.188 ± 0.135	0.756 ± 0.087	1.435 ± 0.481	2.392 ± 0.349	1.3	0.07	***
Co	10.528 ± 0.148	5.382 ± 0.444	4.296 ± 0.286	6.388 ± 0.132	35	11	6.7
Cr	29.479 ± 0.833	29.984 ± 2.392	20.786 ± 0.958	38.825 ± 0.778	*	54	37
Cu	91.012 ± 0.271	190.379 ± 1.05	84.004 ± 2.593	205.14 ± 4.978	200	20	17
Fe	125.333 ± 4.688	141.859 ± 1.129	77.641 ± 1.939	198.535 ± 1.59	*	2.8	1.8
Mg	210.292 ± 0.803	193.267 ± 5.867	173.308 ± 5.874	237.509 ± 5.575	*	0.67	0.44
Mn	217.971 ± 0.487	81.668 ± 1.801	183.124 ± 2.11	200.629 ± 0.957	*	432	333
Mo	31.269 ± 1.41	15.588 ± 0.891	22.277 ± 0.307	34.443 ± 0.252	30	1.2	0.59
N	12.593 ± 0.0374	15.713 ± 0.488	14.143 ± 0.156	35.714 ± 0.612	30	23	13
P	12.344 ± 2.538	15.540 ± 0.689	7.536 ± 1.176	5.489 ± 0.813	*	**	0.02
Se	13.783 ± 0.586	11.262 ± 1.240	9.643 ± 0.325	13.255 ± 1.55	*	0.22	0.26
Zn	208.317 ± 17.30	152.088 ± 2.835	189.632 ± 1.315	172.988 ± 2.679	30	23	13
Pb	25.537 ± 0.645	5.643 ± 0.447	10.575 ± 0.282	30.870 ± 0.099	72	24	16

* valores não determinados pelo Cona ma/Brazil; ** valores não determinados pela China; *** valores não determinados pelo EUA

A concentração de elementos químicos quantificados nos excrementos dos animais são apresentados na Tabela 3. Os elementos químicos como P não foi determinado, e Se esta abaixo do limite de detecção. Entretanto, a concentração de elementos nos excrementos quantificados das capivaras pertencentes ao PARQUE ECOLÓGICO ANHANDUI decresce com segue: $\text{Fe } 300.369 \pm 0.811 > \text{Mn } 180.287 \pm 1.98 > \text{Al } 124.488 \pm 0.763 > \text{Zn } 87.495 \pm 1.16 > \text{Cu } 29.946 \pm 1.296 > \text{Gr } 20.275 \pm 0.970 > \text{N } 4.014 \pm 0.033 > \text{Mg } 2.470 \pm 0.283 > \text{Pb } 2.077 \pm 0.157 > \text{Co } 1.467 \pm 0.130 > \text{Mo } 1.133 \pm 0.107 > \text{As}$.

Por outro lado (Tabela 3), a concentração de elementos quantificados nos excrementos de animais pertencentes ao Parque ecológico águas do PROSA decresce conforme a seguinte ordem $\text{Fe } 291.713 \pm 1.998 > \text{Al } 130.443 \pm 2.179 > \text{Mn } 90.484 \pm 1.152 > \text{Zn } 76.320 \pm 2.100 > \text{Cu } 32.632 \pm 0.843 > \text{Gr } 17.602 \pm 0.827 > \text{N } 4.197 \pm 0.330 > \text{Pb } 3.3115 \pm 0.316 > \text{Mn } 2.08 \pm 0.313 > \text{Mo } 1.560 \pm 0.084 > \text{Co } 1.019 \pm 0.0399 > \text{Cd } 0.940 \pm 0.0407 > \text{As}$.

Em relação aos animais do Parque ecológico águas do Sóter (Tabela 3), a concentração de elementos químicos presentes em seus excrementos decresce com segue: $\text{Fe } 295.074 \pm 2.666 > \text{Mn } 281.015 \pm 0.420 > \text{Al } 139.564 \pm 0.669 > \text{Zn } 68.889 \pm 0.829 > \text{Cu } 32.511 \pm 2.042 > \text{Gr } 21.405 \pm 0.970 > \text{Pb } 6.016 \pm 0.679 > \text{N } 4.229 \pm 0.230 > \text{Mo } 2.233 \pm 0.289 > \text{Mn } 1.964 \pm 0.043 > \text{Co } 1.776 \pm 0.069 > \text{Cd } 0.568 \pm 0.053 > \text{As}$.

A concentração de elementos nos excrementos dos animais pertencentes ao lago do amor, decresce da seguinte forma: $\text{Mn } 291.469 \pm 3.25 > \text{Fe } 290.366 \pm 0.033 > \text{Zn } 100.027 \pm 1.267 > \text{Cu } 50.764 \pm 0.853 > \text{Gr } 26.866 \pm 1.013 > \text{Pb } 8.762 \pm 0.282 > \text{N } 5.475 \pm 0.216 > \text{Mo } 3.634 \pm 0.164 > \text{Co } 1.946 \pm 0.840 > \text{Mn } 1.677 \pm 0.506 > \text{Cd } 1.042 \pm 0.302 > \text{As}$.

Conforme podemos constatar a partir dos dados da Tabela 3, a maior concentração de metais foi quantificada nos excrementos de animais que vivem próximos ao Lago do Amor. Este fato se justifica, uma vez que é uma das áreas que tem grande influência humana e é considerada uma fonte de armazenamento de resíduos químicos/produtos provenientes ou trazidos pelas águas de córregos próximos e canalizações de empresas.

De acordo com o trabalho de Ramm (2015), no qual realizou um estudo envolvendo tecidos de capivaras mortas devido a atropelamentos próximos a uma rodovia, existe concentrações de elementos como Ag, Cd, Cu, Pb, e Zn no fígado, rim, gordura e músculo destes animais. O acúmulo de tais elementos justifica-se segundo o autor devido que nesta região também vem sendo utilizados pesticidas e herbicidas, que podem estar contribuindo com a presença de metais. Entretanto, tais animais estão sujeitos aos efeitos da bioacumulação destes possíveis contaminantes, sedimentos e águas contaminadas e também adquiridos através da ingestão de plantas contaminadas por metais. Um fato a ser destacado pelo autor é que a concentração de alguns elementos como Ag foi menor na primavera em relação às outras estações do ano nas amostras. Ou seja, a época do ano é um fator primordial que influencia na concentração de alguns elementos presentes nos órgãos destes animais, o que pode ser ocasionado pela disponibilidade de certos tipos de alimentos provenientes da respectiva estação de ano (Ramm, 2015). Segundo o autor deve haver um monitoramento constante da concentração de metais nestes animais, que pode ser influenciado diretamente devido ao aumento de metais em solos, águas e plantas.

De fato, em relação a dieta destes animais, segundo os resultados de Borges (2007), as capivaras mostraram um comportamento oportunista no inverno e verão e um comportamento mais seletivo na primavera e outono. Assim as capivaras possuem uma dieta variada de acordo com a época e disponibilidade alimentar.

Tabela 3. Concentração de elementos químicos quantificados nos excrementos dos animais e locais de coletados.

Elemento	Parque ecológico Anhandui	Parque ecológico águas do Prosa	Parque ecológico águas do Sóter	Lago do amor
	FEZES	FEZES	FEZES	FEZES
Al	124.488 ± 0.763	130.443 ± 2.179	139.564 ± 0.669	140.322 ± 1.222
As x10 ⁻³ mg/kg	2.760 ± 0.155	4.300 ± 0.267	3.691 ± 0.202	10.041 ± 0.193
Cd	0.4193 ± 0.008	0.940 ± 0.0407	0.568 ± 0.053	1.042 ± 0.302
Co	1.467 ± 0.130	1.019 ± 0.0399	1.776 ± 0.069	1.946 ± 0.840
Cr	20.275 ± 0.970	17.602 ± 0.827	21.405 ± 0.970	26.866 ± 1.013
Cu	29.946 ± 1.296	32.632 ± 0.843	32.511 ± 2.042	50.764 ± 0.853
Fe	300.369 ± 0.811	291.713 ± 1.998	295.074 ± 2.666	290.366 ± 0.033
Mg	2.470 ± 0.283	2.08 ± 0.313	1.964 ± 0.043	1.677 ± 0.506
Mn	180.287 ± 1.98	90.484 ± 1.152	281.015 ± 0.420	291.469 ± 3.25
Mo	1.133 ± 0.107	1.560 ± 0.084	2.233 ± 0.289	3.634 ± 0.164
N	4.014 ± 0.033	4.197 ± 0.330	4.229 ± 0.230	5.475 ± 0.216
P	ND	ND	ND	ND
Se	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Zn	87.495 ± 1.16	76.320 ± 2.100	68.889 ± 0.829	100.027 ± 1.267
Pb	2.077 ± 0.157	3.3115 ± 0.316	6.016 ± 0.679	8.762 ± 0.282

ND = Não determinado; <LOD menor que o limite de detecção

Os resultados da Tabela 3, também foram comparados com aqueles obtidos utilizando excrementos de outras espécies de animais ruminantes como veados vermelhos (*Cervus elaphus*) e veados (*Capreolus capreolus*) de áreas poluídas na cidade de Ružomberok e local de controle nas montanhas Kremica (HORT; MKOLÁŠ; JAN GA, 2017). A partir da comparação, constatou-se que a concentração de Cr nos excrementos de capivaras na Tabela 3 é maior que a obtida em 129 amostras de excrementos de veados cujo valor médio foi de 19,6 ng/kg. A concentração de cobre nos excrementos de capivara (Tabela 3) também é maior que os quantificados em 128 amostras de excrementos de veados (19,2 ng/kg). Por outro lado, a concentração de molibdênio na Tabela 3 é menor que a encontrada em 128 amostras de excrementos de veados, cujo valor médio foi de 5,2 ng/kg. A concentração de Zinco na Tabela 3 é menor que aquelas obtidas pelos autores para este elemento que foi de 23.1 ng/kg. Por fim, apenas os excrementos de animais estudados no Lago do amor apresentam valores de concentração de chumbo menores que aqueles quantificados em 122 amostras de excrementos de

veados (valor médio de 8,2 mg/kg). Vale destacar que no trabalho da Ref. (HORT; M KOLÁŠ; JAN GA, 2017), alguns elementos como Cobalto, níquel, selênio, prata e mercúrio também foram medidos, mas esses elementos não foram encontrados (abaixo do limite de detecção de detecção) em nenhuma das amostras medidas.

Em nosso estudo não foi quantificado o elemento P (Tabela 3), entretanto, os autores quantificaram este elemento em cinco amostras com média de 525,0 mg/kg em todos os locais de Ružomberok; duas amostras de veados e três de veados vermelhos. Arsênico nos excrementos destas espécies de veados foi encontrado em sete amostras, com média de 6,9 mg/kg, apresentando valores acima dos quantificados na Tabela 3 para excrementos de capivara. Segundo autores, a comparação deste elemento entre estações ou espécies cinegéticas não apresentou diferenças significativas. Cádmio foi quantificado em duas amostras coletadas no início de fevereiro 2016 na aldeia Jastrabá, uma amostra de excrementos de veado vermelho (8 mg/kg de Cd) e um de veado (9 mg/kg de Cd), possui valores acima dos valores obtidos para excrementos de capivara (Tabela 3).

O presente trabalho apresentado possui algumas limitações quanto ao número de amostras de solos e amostragem de excrementos de animais. Assim, novas pesquisas devem ser realizadas considerando um maior número de exemplares e uma quantidade maior de coletas de solos. Além disso, outras pesquisas devem considerar aqueles animais que vivem afastados das grandes regiões urbanas e distantes de lavouras. Somente assim obteremos um valor comparativo de quanto os órgãos, tecidos e principalmente excrementos podem estar contaminados por metais pesados ou outros metalóides.

Conclusões

Os níveis de elementos como Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Mo, Ni, P, Se, Zn e Pb foram quantificados no solo e excrementos de capivaras (*Hydrochaeris hydrochaeris*).

Os resultados mostraram que alguns elementos químicos possuem concentrações de metais nos solos do Parque ecológico Anhandui, Parque ecológico águas do Prosa, Parque ecológico águas do Soter e Lago do amor acima dos valores estabelecidos pelos órgãos regulamentadores, o que reflete que o solo pode estar contaminado.

Alguns elementos químicos quantificados nos solos e excrementos destes animais estudados neste projeto apresentaram concentrações superiores aos encontrados em outros estudos.

A presença de metais pesados nos excrementos destes animais reflete diretamente o perfil alimentar destes animais. A partir destes estudos, acredita-se que as fezes destes animais podem ser consideradas como um bioindicador de poluição ambiental. Estudos envolvendo a quantificação de metais no plasma sanguíneo, assim como na vegetação na qual os animais se alimentam em diferentes estações de ano e locais devem ser realizados.

Referências

M CLEAN M et al. Metal (Pb, Cu, Cd, and Zn) Transfer along Food Chain and Health Risk Assessment through Raw Milk Consumption from Free-Range Cows. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 16, n. 21, p. 4064, jan. 2019.

ROSA, A C G AVALIAÇÃO DO RISCO DE CONSUMO DE FOLHAS E SEIVA DE PLANTAS MEDICINAIS DO CERRADO SUL-MATO-GROSSENSE EM RELAÇÃO À SUA COMPOSIÇÃO ELEMENTAR. 2021. Tese (Doutorado em Saúde e Desenvolvimento na Região Centro-Oeste) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Orientador: Válder Aragão do Nascimento

SOUZA, I. D.; MELLO, E. S. P.; NASCIMENTO VALDIR, A.; PEREIRA, H. S.; SILVA, K. R. N.; FSPINDOLA, P. R.; TSCHINKEL, P. F. S.; RAMOS, E. M.; REIS, E. J. M.; RAMOS, I. B.; et al. Potential health risks of macro- and microelements in commercial medicinal plants used to treatment of diabetes. *Environ. Mol. Res. Int.* 2021, 2021. Available online: <https://www.hindawi.com/journals/bmri/2021/6678931/> (Accessed on 26 December 2021)

United States Environmental Protection Agency (USEPA) Method 3051A “Microwave assisted acid digestion of sediments, sludge and soils” Revision 1, January 1998. Available online: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-12/documents/3051a.pdf> (Accessed on 10 August 2021).

Long, G. L.; Wnefordner, J. D. Limit of detection: A closer look at the IUPAC definition. *Anal. Chem.* **1983**, 55, 712a-724a.

CONAMA, 2009, Ministério do meio ambiente, Conselho nacional do meio ambiente. Resolution No 420, de 28 de Dezembro de 2009. Brazil Disponível online: <http://hab.eng.br/wp-content/uploads/2017/09/resolucao-conama-420-2009-gerenciamento-de-acs.pdf> (Accessed on 22 May 2022).

Chen, J.; Wei, F.; Zheng, C.; Wu, Y.; Adriano, D. C. Background concentrations of elements in soils of China. *Water Air Soil Pollut.* 1991, 57, 699–712

Ramm C B Contaminação por metais nas capivaras *Hydrochaeris hydrochaeris* no Sul do Brasil. 2015. Dissertação (Mestrado em Biologia de Ambientes Aquáticos Continentais)-Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande.

Borges, L V; Colares, I. G Feeding Habits of Capybaras (*Hydrochoerus hydrochaeris*, Linnaeus 1766), in the Ecological Reserve of Tai m (ESEC - Tai m) - South of Brazil. BRAZILIAN ARCHIVES OF BIOLOGY AND TECHNOLOGY. Vol. 50, n. 3: pp 409-416 May 2007.

Syed, A; Mazhar, S; Khan, B N; Yasmin R Fecal Matter as a Bio-indicator of Heavy Metal Toxication in Punjab Urial. LGU Journal of LGU Society of LIFE SCIENCES, 2017.

Arao T, Ishikawa S and Murakami M (2010). Heavy metal contamination of agricultural soil and counter measures in Japan. Paddy Water Environ. 8(3): 247-257

Smoldis B, Heise A (2000). Biomonitoring of Atmospheric Pollution, Proceeding of International Workshop on Internationally harmonised approach to biomonitoring trace element atmospheric deposition. 143-150.

Briffa, J.; Snagra, E; Hundell, R Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans, Heliyon, Volume 6, Issue 9, 2020, e04691, ISSN 2405-8440, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04691>.

Shao SU, Jiang L and Zhang W (2014). Review on heavy metal contamination in the soil worldwide: Situation, impact and remediation techniques. Environ. Skep. 3(2): 24-38

Gupta V, Bakre P (2013). Exposure of Captive Wild Mammals to Heavy metals Contamination in Jodhpur Zoological Garden, Rajasthan, India. IOSRJ Environ. Sci. Toxicol. 2(3): 38-42

Pokorny B and Ribarić LC (2000). Lead, cadmium and zinc in tissue of roe deer (*Capreolus capreolus*) near the lead smelter in the Koroska region (northern Slovenia). Bull. Environ. Contam. Toxicol. 64(1): 20-26

Roux KE, Marra PP (2007). The Presence and Impact of Environmental Lead in Passerine Birds along an Urban to Rural Land Use Gradient. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 53: 261-268

Beyer WN, Gaston G, Brazzle R, Connell AF and Audet DJ (2007). Deer exposed to exceptionally high concentrations of lead near the Continental Mine in Idaho, USA. *Environ. Toxicol. Chem* 26: 1040-1046.

Dzuga M, Zielinska S, Heclik J, Heniazek M and Szostek M (2012). Evaluation of heavy metals environmental contamination based on their concentrations in tissues of wild pheasant (*Phasianus colchicus* L). *J. Microbiol. Biotech. Food Sci.* 2 (1): 238-245

WAY, C A; SCHRODER, R Accumulation of lead and cadmium in wild population of the commensal rat, *Rattus norvegicus*. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, v. 11, p 407-417, 1982

REIDINGER JR, R F *Factors influencing Arizona bat population levels*, Ph D Thesis, Univ. Arizona, Tucson, 172, 1972

SILEQ L; BEYER, WN Heavy metals in white-tailed deer living near a zinc smelter in Pennsylvania. *Journal of Wildlife Diseases*, v. 21, p 289-296, 1985

GUPTA, V Feces of captive wild mammal use as bio-indicator of heavy metal pollution in urban air. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, v. 2, Issue 6, June 2013

FROSSARD, A et al. The snake *Bothrops jararaca* (Squamata: Viperidae) is a suitable bioindicator of environmental exposure to cadmium. An experimental study, *Ecological Indicators*, v. 104, p 166-171, 2019

HORT, J.; MKOLÁŠ P.; JAN GA, M Heavy metals and other elements in faeces of wild ruminants in the area of paper mill industry. *Oecologia Montana* v. 26, p 56-62. 2017.