

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SAÚDE E  
DESENVOLVIMENTO NA REGIÃO CENTRO-OESTE**

**AVALIAÇÃO DE POSSÍVEIS IMPACTOS NA SAÚDE HUMANA DEVIDO A  
PRESENÇA DE METAIS PESADOS EM EXCREMENTOS DE CAPIVARAS  
(*Hydrochoerus hydrochaeris*)**

**FELIPE ZAMPIERI VIEIRA BATISTA**

Orientador: Prof. Dr. Valter Aragão do Nascimento

**Campo Grande – MS  
2023**

**FELIPE ZAMPIERI VIEIRA BATISTA**

**AVALIAÇÃO DE POSSÍVEIS IMPACTOS NA SAÚDE HUMANA DEVIDO A  
PRESENÇA DE METAIS PESADOS EM EXCREMENTOS DE CAPIVARAS  
(*Hydrochoerus hydrochaeris*)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Saúde e Desenvolvimento na Região Centro-Oeste, da Faculdade de Medicina da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Saúde e Desenvolvimento na Região Centro Oeste. Linha de pesquisa: Tecnologia em Saúde.

Prof. Dr. Valter Aragão do Nascimento

**Campo Grande -MS  
2023**

**“A persistência é o menor caminho do êxito”.**

**Charles Chaplin**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pelas oportunidades que me foram concedidas..

Aos meus familiares, agradeço pela, compreensão e auxílio nos momentos difíceis durante a realização dessa dissertação.

Aos colegas do curso de mestrado em Saúde e Desenvolvimento na Região Centro-Oeste, da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, agradeço pelos companheirismo ao longo do curso.

Ao Prof. Dr. Valter Aragão do Nascimento pela oportunidade em me ajudar quando precisei de orientação e finalização do meu mestrado.

Aos professores do curso de mestrado, agradeço por compartilharem seus conhecimentos, contribuindo com a minha formação.

Aos servidores do curso de mestrado, agradeço pelo auxílio e atenção.

## RESUMO

Os seres humanos podem ser expostos a metais pesados provenientes de fezes de animais, principalmente em comunidades onde os animais vivem próximos aos humanos. Portanto, existem impactos à saúde humana devido a exposição a fezes de animais mal manejadas transmitidas por vias oral involuntária, inalatória e dérmica. O objetivo deste estudo foi quantificar metais, metaloides e não metais nos excrementos de capivara (*Hydrochoerus hydrochaeris*) que vivem em locais como Parque Ecológico Anhanduí, Parque Ecológico Sóter, Parque Ecológico Prosa e Lago do amor, localizados próximos à região central da cidade de Campo Grande/MS. A quantificação de elementos nas amostras de excrementos dos animais foram obtidas após digestão ácida e utilizando um espectrômetro de emissão óptica por plasma acoplado indutivamente (ICP OES). De acordo com os resultados obtidos, existem concentrações significativas de 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 excrementos destes animais. Não existem diferenças estatísticas entre as medianas de concentrações de metais no excremento dos animais de diferentes locais. Entretanto, maiores valores médios de concentrações em mg/Kg de Al (140,322), As (0,010041), Cd (1,042), Cr (26,866), Co (1,946), Cu (50,764), Mn (291,469), Mo (3,634), Ni (5,475), Zn (100,027) e Pb (8,762) foram quantificadas nos excrementos de animais que vivem próximos ao Lago do Amor. De acordo com os cálculos de riscos, potenciais riscos à saúde de adultos e crianças podem ocorrer devido a presença Al, Cd, Co, As, Cu e Mn através da ingestão oral involuntária de excrementos, via inalatório e dérmico. O índice de risco devido a ingestão oral foi  $HI > 1$  para adultos e crianças. As concentrações de Cr, Cu e Pb nos excrementos das capivaras são maiores que aqueles de outras espécies de animais como o veado. A partir destes resultados, acredita-se que as fezes destes animais podem ser consideradas como um bioindicador de poluição ambiental. Entretanto, pesquisas considerando a alimentação, assim como a quantificação de metais no plasma sanguíneo, vegetação da qual os animais se alimentam em diferentes estações de ano e diferentes locais devem ser realizados. Estudos devem ser realizados considerando populações destes animais que vivem mais afastados da região central de Campo Grande, MS.

**Palavras-chaves:** Metais pesados. Capivara. *Hydrochoerus hydrochaeris*. Locais públicos. Contaminação.

## ABSTRACT

Humans can be exposed to heavy metals from animal feces, particularly in communities where animals live in close proximity to humans. Therefore, there are impacts on human health due to exposure to poorly managed animal feces transmitted by involuntary oral, inhalation and dermal routes. The aim of this study was to quantify metals, metalloids and non-metals in the excrements of capivara (*Hydrochoerus hydrochaeris*) that live in places like Parque Ecológico Anhandui, Parque Ecológico Sóter, Parque Ecológico Prosa and Lago do Amor, located close to the central region of the city of Campo Grande /MS. The quantification of elements in the excrement samples of the animals were obtained after acid digestion and using an inductively coupled plasma optical emission spectrometer (ICP OES). According to the results, there are significant concentrations of arsenic (As) lead (Pb), cobalt (Co), chromium (Cr), aluminum (Al) cadmium (Cd), nickel (Ni), cobalt (Co), iron (Fe), zinc (Zn), manganese (Mn), magnesium (Mg), selenium (Se), phosphorus (P) and molybdenum (Mo) in the excrements of these animals. There are no statistical differences between the median concentrations of metals in the excrement of animals from different locations. However, higher mean concentrations in mg/Kg of Al (140.322), As (0.010041), Cd (1.042), Cr (26.866), Co (1.946), Cu (50.764), Mn (291.469), Mo (3.634), Ni (5.475), Zn (100.027) and Pb (8.762) were quantified in the excrements of animals living near Lago do Amor. According to the risk assessment, potential risks to the health of adults and children may occur due to the presence of Al, Cd, Co, As, Cu and Mn through involuntary oral ingestion of excrement, via inhalation and dermal. The hazard index due to oral ingestion was  $HI > 1$  for adults and children. Cr, Cu and Pb concentrations in capybara excrement are greater than those of other species such as deer. From these results, it is believed that the feces of these animals can be considered as a bioindicator of environmental pollution. However, research considering feeding, as well as the quantification of metals in blood plasma, vegetation on which animals feed in different seasons of the year and locations must be carried out. Studies should be carried out considering populations of these animals that live further away from the Central region of Campo Grande, MS.

**Keywords:** Heavy metals. Capybara. *Hydrochoerus hydrochaeris*. Public places. Contamination.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ciclo de contaminação por metais pesados: o excremento animal pode ser um dos possíveis contaminantes de água, solo e alimentos para humanos.....	<b>24</b>
<b>Figura 2.</b> Capivara ( <i>Hydrochoerus hydrochaeris</i> ).....	<b>28</b>
<b>Figura 3.</b> Esboço da coleta em zigue-zague de excrementos da capivara realizada próximos aos riachos e lagos provenientes dos Parque ecológico Anhanduí, Parque Ecológico Sóter, Parque Ecológico Prosa e Lago do amor.....	<b>29</b>
<b>Figura 4.</b> Matrix plot: valores de concentrações de elementos quantificados nos excrementos dos animais em função de cada local.....	<b>38</b>
<b>Figura 5.</b> Lago do Amor, localizado dentro do Campus de Campo Grande, MS da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.....	<b>39</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Programa de aquecimento para digestão por micro-ondas de amostras de excrementos.....	<b>31</b>
<b>Tabela 2.</b> Concentração de elementos químicos quantificados nos excrementos de capivaras.....	<b>39</b>
<b>Tabela 3.</b> Dose diária de macro e microelementos (mg/Kg.dia) por via de exposição oral (solo/excremento), inalatória e contato dérmico de crianças devido o contato com excrementos de capivaras, comparados com o MRLs/ATSDR (2023).....	<b>47</b>
<b>Tabela 4.</b> Dose diária de macro e microelementos (mg/Kg.dia) por via de exposição oral (solo/excremento), inalatória e contato dérmico de adultos devido o contato com excrementos de capivaras, comparados com o MRLs/ATSDR (2023).....	<b>49</b>
<b>Tabela 5.</b> Cálculo de THQ devido a ingestão acidental de solo, inalação e contato dérmico de crianças devido o contato com excrementos de capivaras.....	<b>51</b>
<b>Tabela 6.</b> Cálculo de THQ devido a ingestão acidental de solo, inalatório e dérmico para adultos.....	<b>53</b>

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>10</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>14</b>
2.1. O uso de animais em pesquisa experimental.....	14
2.2 Metodologias alternativas para o monitoramento de metais pesados.....	15
2.3 Excrementos de animais como contaminantes de metais pesados.....	21
<b>3. OBJETIVOS.....</b>	<b>26</b>
3.1 Geral.....	26
3.2 Específicos.....	26
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>27</b>
4.1 Locais de coletas.....	27
4.2 Critérios éticos e legais.....	27
4.3 Coleta de excrementos.....	28
4.4 Procedimento de digestão ácida via micro-ondas.....	29
4.5 Análise utilizando ICP OES.....	30
4.6 Quantificação de macro e micro elementos utilizando ICP OES.....	30
4.7 Análise estatística.....	31
4.8 Avaliação de risco à saúde humana.....	31
4.8.1. Cálculo de dose de ingestão acidental de solo/excremento.....	31
4.8.2 Inalação de partículas contaminadas: Cálculo da Dose.....	32
4.8.3 Contato dérmico com solo contaminado: Cálculo da dose.....	32
4.8.4 Quociente de perigo alvo (THQ).....	33
<b>5.0 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>35</b>
5.1 Quantificação de macro e microelementos em excrementos.....	35
5.2 Avaliação de risco à saúde humana.....	42
<b>6. CONCLUSÃO.....</b>	<b>54</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>55</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo estudos, a poluição fecal comumente presente em esgoto não tratado ou menos tratado pode causar problemas de saúde pública (por exemplo, doenças transmitidas pela água e disseminação de resistência a antibióticos), questões ecológicas (por exemplo, liberação de gases nocivos na compostagem de lodo fecal, crescimento proliferativo de bactérias/algas devido ao alto cargas de nutrientes) e perdas econômicas (por exemplo, colheita reduzida em fazendas aquáticas), pois pode estar associada à liberação de patógenos, organismos resistentes a antibióticos, altas cargas de nutrientes e emissão de gases nocivos (GLASSMEYER et al., 2005; KARKMAN et al., 2019).

As áreas comumente afetadas incluem solo, sedimentos, terras agrícolas, estações de tratamento de águas residuais e muitos corpos d'água, como fontes de água potável, águas recreativas e águas subterrâneas (ANDERSON, et al., 2005; ABD-ELHAMID et al., 2021). A poluição fecal pode ocorrer a partir de esgoto não tratado, como ocorre em países em desenvolvimento, onde o esgoto não tratado às vezes é descarregado diretamente em corpos d'água de superfície (REHMAN et al., 2020). Neste caso, a água poluída pode se infiltrar no solo, tornando as águas subterrâneas inseguras para consumo e fins agrícolas (ABD-ELHAMID et al., 202x). Segundo a OMS, pelo menos 2 bilhões de pessoas em todo o mundo utilizaram uma fonte de água potável não segura poluída com fezes em 2017 (WHO, 2017), causando doenças como diarreia, febre tifoide, cólera e disenteria. Em 2016, as doenças diarreicas foram classificadas como a 8ª principal causa de mortalidade entre todas as idades (mais de 1,6 milhão de mortes) e a 5ª principal causa de morte entre crianças menores de 5 anos (cerca de 0,45 milhão de mortes, principalmente no sul da Ásia e na África) em todo o mundo (TROEGER et al., 2018).

As questões ecológicas associadas à poluição fecal são perceptíveis. Os resíduos fecais são ricos em matéria orgânica e nutrientes como amônia, sulfato, fosfato e potássio (ANDREEV et al., 2017). Portanto, sua descarga no meio ambiente pode ser vista como carga de nutrientes, o que pode aliviar a limitação de nutrientes e estimular a reciclagem de nutrientes, mas às vezes causa eutrofização e emissão de gases nocivos como  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  e  $\text{CH}_4$  (SHEN et al., 2011). As aves também podem impactar fortemente os sistemas de água, a defecação de corvos-marinhos por exemplo em ecossistemas de águas rasas pode levar à formação de proliferação de algas (PETKUVIENE et al., 2019). A defecação de uma pequena população de corvos-marinhos pode não ter um impacto significativo, mas um grupo que vive em grandes colônias torna suas fezes quantitativamente relevantes como entrada de nutrientes.

Da mesma forma, os peixes também podem contribuir para a hiperfloração de cianobactérias através do consumo intensivo de zooplâncton herbívoro, embora alguns peixes, como a tilápia, possam digerir completamente as cianobactérias (WANG et al., 2016)

O lodo fecal é amplamente utilizado como fertilizante com ou sem tratamento na agricultura devido à sua alta carga de nutrientes. A aplicação de lodo fecal pode aumentar a fertilidade do solo, especialmente em relação à retenção de carbono, mas a retenção de fósforo e nitrogênio biodisponível pode ser baixa. Além disso, o lodo fecal não tratado apresenta riscos às lavouras por causa de patógenos, metais pesados e níveis tóxicos de amônia e nitrito. Além disso, as intensas atividades de fermentação dentro do lodo fecal não tratado podem resultar em hipóxia na rizosfera (PRADHAN et al., 2019; BARTELME et al., 2018). Resíduos de metais pesados em estrumes podem ser acumulados em solos superficiais como resultado do uso agrícola de longo prazo. O acúmulo de metais pesados pode não apenas afetar a fertilidade do solo e a qualidade do produto (GUAN et al., 2011), mas também promover a migração de metais por meio de lixiviação e escoamento superficial (WANG et al., 2011; AZEEZ et al., 2009). Portanto, devido aos riscos potenciais de poluição por metais pesados, os resíduos de metais pesados no esterco animal receberam nos últimos anos grande atenção científica. Doravante, para evitar esses riscos, é necessário o tratamento do lodo fecal ou das águas residuárias antes de sua reutilização agrícola, além disso, a compostagem, a mineralização aeróbica e termofilia de matéria orgânica, é um tratamento padrão de lodo fecal (PETKUVIENE et al., 2019).

Além dos solos e águas contaminadas, os seres humanos e os animais em cativeiro também são afetados pela presença de metais pesados. Existem muitos efeitos nocivos dos metais pesados quando ultrapassam os limites bio-recomendados (BRIFFA et al., 2020). A exposição de animais em cativeiros à concentrações de Pb têm sido observada em mamíferos próximos a área urbana e com tráfego intenso, como também aqueles que estão próximos a minas e fundições de metais (GUPTA, 2013). Vários estudos têm relatado e destacado resultados sobre a concentração de metais em tecidos de mamíferos selvagens que vivem em áreas altamente contaminadas e próximas de diferentes áreas (POKORNY; RIBARIC, 2000; ROUX; 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 que envolve o sofrimento animal é com certeza eticamente infundado já que cada vez mais espécies de animais silvestres tem diminuído em vários países. Por outro lado, pesquisas utilizando animais de laboratório para fins científicos tem aumentado, experimentos em animais conduzidos em todo o mundo contribuem para descobertas e avanços significativos

na compreensão dos mecanismos subjacentes de várias doenças, trazendo à tona intervenções clínicas apropriadas. No entanto, seu valor preditivo geralmente é baixo, levando a falhas translacionais (SINGH et al., 2016)

Diante da preocupação com a perda de vidas de animais para investigação científica e a escassez de várias espécies no planeta, estudos têm se empenhado em estudar e considerar novos meios de avaliação, neste caso, os excrementos de várias espécies têm sido foco de interesse de pesquisadores. Conforme alguns autores afirmam, através dos excrementos de animais, é possível além de monitorarmos a saúde dos mesmos, também inferir no nível de poluição ambiental. Desta forma, vários animais como cobras, algumas espécies de aves, pinguins têm sido utilizados para monitorar as variações de metais no meio ambiente (WAY e SCHRODER, 1982; REIDINGER JR., 1972; SILEO et al., 1985; GUPTA, 2013; FROSSARD, 2019).

Apesar das investigações utilizando diferentes espécies de animais, 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 pode vir a ser um excelente candidato para tornar-se um indicativo de poluição devido a presença de metais pesados no meio ambiente. 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 são escassos estudos que monitoram a concentração de metais no plasma sanguíneo, pelos e principalmente excrementos de mamíferos como a capivara.

Independente se o excremento de animais possa ou não ser utilizado como um bioindicador de poluição, os seres humanos podem ser expostos a patógenos de fezes e concentração de metais pesados provenientes de excrementos de animais silvestres ou domésticos, particularmente em comunidades onde os animais vivem próximos aos seres humanos (BIANCO et al., 2020; PENAKALAPATI et al., 2017). Segundo estudos realizados no nordeste da China, o esterco animal é uma importante fonte de metais pesados para o meio ambiente (ZHANG et al., 2012).

Diante do exposto, uma vez que as fezes, sangue ou penas de aves são considerados como bioindicadores de poluição em decorrência da presença de metais e metaloides, nesta dissertação de mestrado, temos como hipótese que os excrementos de capivaras podem ser um bioindicador de contaminação por metais pesados em mamíferos selvagens que vivem próximos a áreas ambientais de Campo Grande, MS. Portanto, 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 excrementos de capivaras que vivem em locais como Parque Ecológico Anhandui, Parque Ecológico Sóter, Parque Ecológico Prosa e Lago do amor, localizados próximos à região central da cidade de Campo Grande,MS. Além disso, temos como objetivo, buscar encontrar um padrão de ocorrência de cada metal nas amostras dos excrementos analisados com a distância da região central de Campo Grande/MS, visando obter informações e agregar conhecimento sobre a expansão da contaminação com poluentes químicos com esta espécie de mamífero ocorrente na cidade de Campo Grande, MS, Brasil.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. O uso de animais em pesquisa experimental

Embora exista pesquisas envolvendo seres *in vivo*, assim como *in vitro*, é interessante averiguarmos qual a importância e influência deste tipo de estudos na saúde humana. A comunidade científica, assim como o público em geral, possui uma grande expectativa da eficácia da pesquisa com animais, uma vez que sabem que tais modelos experimentais são necessários para prever a segurança e eficácia dos medicamentos antes de testar em ensaios clínicos. No entanto, para autores como Green (2015), falta transparência dos pesquisadores quanto aos dados e resultados obtidos, má prática na metodologia de pesquisa e análise de dados, além da dificuldade de correlação entre espécies (GREEN, 2015).

Apesar da existência de dúvidas quanto à eficácia do uso de animais como animais experimentais, tais vieses na pesquisa precisa ser abordados profundamente, uma vez que a pesquisa médica e a tomada de decisões em saúde humana possam ser prejudicadas. O financiamento da pesquisa pode ser mal direcionado ao estudo de “mecanismos de doença” em animais que não podem ser replicados fora de condições laboratoriais rigidamente controladas e, sem avaliação crítica suficiente, a pesquisa animal pode deturpar o objetivo da pesquisa em humanos. O potencial de dano aos pacientes e voluntários do estudo devido à dependência de dados de animais tendenciosos requer medidas para melhorar sua conduta, regulamentação e análise (KOUSHOLT et al., 2022).

Nas últimas duas décadas, houve um aumento da conscientização sobre as repercussões negativas de falhas no planejamento, condução e notificação de pesquisas pré-clínicas envolvendo animais experimentais (VAN NORMAN, 2019). Várias iniciativas têm como objetivo aumentar a transparência e a validade interna dos estudos pré-clínicos, principalmente publicando o consenso e a experiência de especialistas. Embora muitos dos pontos levantados nessas várias diretrizes sejam idênticos ou semelhantes, eles diferem em detalhes e rigor. A maioria deles se concentra em relatórios, apenas alguns deles abrangem o planejamento e a condução de estudos (VOLLERT et al., 2020).

Apesar da suposição de que os modelos animais predizem com precisão a toxicidade humana, mesmo um exame superficial de concordância de testes em animais e humanos levanta preocupações (FOMCHENKO e HOLLAND, 2006). De fato, uma pesquisa de revisão realizada no ano de 2006 constatou que de 76 estudos envolvendo animais, aproximadamente 20% foram contrariados em humanos e apenas 37% foram replicados em

humanos (HACKAM e REDELMEIER 2006). Além disso, um artigo de revisão envolvendo 221 experimentos com animais encontrou 50% de concordância entre estudos com humanos (PEREL et al., 2007). De acordo com o Programa Nacional de Toxicologia dos EUA, algumas toxicidades além da carcinogênese não são reproduzíveis entre ratos e camundongos, entre sexos ou comparadas com animais de controle histórico (WANG e GRAY, 2015).

A utilização de animais em pesquisas têm sido objeto de discussão e preocupação. Para alguns pesquisadores os experimentos com animais são essenciais para o progresso médico, enquanto outros acreditam que essa prática é antiética e não produz resultados que possam ser traduzidos de forma confiável para seres humanos. Uma gama crescente de técnicas modernas pode substituir o uso de animais e fornecer resultados mais relevantes para pacientes humanos. Estes incluem o uso de células e tecidos humanos e métodos baseados no estudo computacional. Neste sentido, alguns trabalhos exploraram os benefícios sociais de acelerar a substituição de animais com esses novos métodos de pesquisa (HUTCHINSON et al., 2022).

Novas metodologias de abordagem ou novas abordagens científicas que se concentram em processos biológicos humanos tem como objetivos investigar doenças e tratamentos potenciais, usando células humanas, tecidos, órgãos e dados existentes (Alliance for Human Relevant Science, 2020). Tais metodologias incluem o uso de culturas avançadas de células e tecidos humanos, inteligência artificial e tecnologia “*organ-on-a-chip*” (OoC) que são sistemas contendo tecidos em miniatura artificiais ou naturais cultivados dentro de chips micro fluídicos e que tem como função imitar a fisiologia humana. Neste sentido, observamos que existem muitas vantagens, uma delas é que são baseados especificamente em humanos e, portanto, não são prejudicados pela extrapolação de uma espécie para outra, esses métodos fornecem resultados muito mais relevantes para os pacientes (LEUNG et al., 2022). Podemos dizer que a pesquisa no campo de OoC e sistemas micro fisiológicos cresceu exponencialmente, evidenciado por várias publicações (RONALDSON-BOUCHARD e VUNJAK-NOVAKOVIC, 2018; LOW, et al., 2021; BHATIA, et al., 2014).

## **2.2 Metodologias alternativas para o monitoramento de metais pesados**

Ao longo dos anos, vários bioindicadores de ocorrência natural são usados para avaliar a saúde do meio ambiente e também utilizados como uma ferramenta importante para detectar mudanças positivas ou negativas no meio ambiente, assim como seus efeitos subsequentes na sociedade humana. Para autores como Khatri e Tyagi (2015), através da aplicação de

bioindicadores podemos prever o estado natural de uma determinada região ou o nível/grau de contaminação. Podemos destacar dentre as várias vantagens associadas ao uso de bioindicadores, os impactos biológicos que podem ser determinados e associados à saúde animal e humana, monitoramento dos impactos sinérgicos e antagônicos de vários poluentes em um animal, o diagnóstico em estágio inicial, bem como os efeitos nocivos das toxinas para as plantas, assim como para os seres humanos pode ser monitorado. Em adição, prevalência e alternativa economicamente viável quando comparadas com outros sistemas de medição especializados também podem ser estudados ou abordados a partir do monitoramento de espécies.

Dentro desta gama de espécies disponíveis para monitoramento, macrófitas, fitoplâncton, invertebrados e peixes são amplamente utilizados como bioindicadores de poluição por metais pesados (VARDANYAN et al., 2008; BURGER, 2005). Outros animais, que a longo tempo foram e podem ser utilizados como biomarcadores, são os parasitas de peixes, que por sua vez são considerados muito sensíveis à poluição por metais pesados, pois não apenas acumulam substâncias tóxicas em seus tecidos, mas também exercem um efeito resposta fisiológica a ele (DIAMANT, 1989). Neste contexto, os parasitas podem ser usados como indicadores de efeito ou como indicadores de acumulação, devido à variedade de maneiras pelas quais respondem à poluição antrópica (SURES, et al., 2017).

De uma maneira simples podemos classificar como indicadores de acumulação os organismos que podem concentrar metais pesados ou não metais, assim como certas substâncias em seus tecidos a níveis significativamente maiores do que os do ambiente. Neste sentido, parasitas intestinais como os helmintos que afetam os peixes podem também ser utilizados no biomonitoramento da poluição por metais pesados como As, Cd, Hg, Pb, Cu, Mn, Bi Se, Hg e Cr no ambiente aquático (SURES et al., 2017). De fato, parasitas intestinais de peixes como acantocéfalos, conhecidos também como vermes de cabeça espinhosa podem acumular níveis mais elevados de metais pesados do que aqueles acumulados nos tecidos do hospedeiro (DURAL et al., 2006; GOATER; GOATER; ESCH, 2014). Nesse aspecto, helmintos parasitas, especialmente os intestinais (trematódeos, nematódeos, cestóides e acantocéfalos) são utilizados como indicadores biológicos de poluição por metais pesados no ambiente aquático (SURES, et al., 2017). Se por um lado, parasitas podem ser utilizados como bioindicadores de metais pesados, insetos e outros animais maiores também podem ser utilizados (BROWN, 1997; KALISÍNSKA, 2019).

Uma vez que insetos são os animais em grande abundância em vários ecossistemas, os mesmos podem ser usados para avaliar o impacto das mudanças ambientais. Em um estudo experimental realizado na República Checa, foi utilizado moscas carnívoras (*Diptera*,

subfamília Sarcophagidae) para monitoramento em larga escala de diversos grupos de poluentes (metais pesados, fibras respiráveis de amianto, resíduos de pesticidas organoclorados e bifenilos policlorados). Os resultados mostraram que as moscas carnívoras amplamente distribuídas representam uma taxocenose de insetos adequada para o biomonitoramento de poluentes em diferentes tipos de habitats (BARTOSOVA et al., 1997).

Em um estudo realizado no Paquistão, com o objetivo de estudar o acúmulo e a contaminação de metais pesados (Cd, Cr, Cu, Ni e Zn) no solo, ar e água, os pesquisadores escolheram algumas espécies de insetos para serem testadas como indicadores ecológicos, dentre eles as libélulas libellulid (*Crocothemis servilia*), gafanhotos acres (*Oxya hyla hyla*) família Acrididae e borboletas ninfalida (*Danaus chrysippus*). Os insetos foram coletados próximos a uma zona industrial do distrito de Gujrat de Punjab, Paquistão. Segundo resultados, o acúmulo de Cd foi maior em todas as espécies de insetos, seguido por Cu, Cr, Zn e Ni. A análise de agrupamento hierárquico (HACA) foi realizada para estudar o nível de acúmulo de metal em todos os insetos. As análises de correlação e regressão confirmaram as observações do HACA no qual a concentração de metais pesados estava acima dos limites permitidos. Além disso, as concentrações de metais em insetos foram significativamente maiores perto da indústria Gujrat e concentrações relativamente maiores de metais foram encontradas em gafanhotos do que em libélulas e borboletas ninfalida. Nese trabalho as concentrações totais de metais nos insetos foram apontadas significativamente mais altas do que nos locais mais contaminados, enquanto o menor valor foi detectado no local localizado longe da área industrial. Assim os autores concluem que HACA indica que esses grupos de insetos são indicadores potenciais de contaminação por metais e podem ser usados em biomonitoramento (AZAM et al., 2015).

Nas últimas décadas, vários estudos têm relatado concentrações de metais em mamíferos que vivem em área contaminada e próximas de fundições (BEYER et al., 1987), a margens de rodovias de tráfego intenso (CLARK, 1979) e minas ou depósitos de resíduos de minas (ROBERTS e JOHNSON, 1978; ANDREW; JOHNSON; COOKE, 1984). Portanto, vários métodos foram empregados para avaliar e traçar um perfil de concentração de uma variedade de poluentes que podem atingir os habitats da vida selvagem e a vida selvagem em si.

Embora várias espécies de animais possam ser utilizadas para estudar o efeito de contaminantes no ambiente e na saúde humana, alguns estudos possuem limitações como a captura de espécies selvagens, autorização por parte dos órgãos regulamentadores e número de espécies reduzidos. Por outro lado, as vantagens distintas do método de análise de matéria fecal sobre o tecido analisado é que a exposição pode ser medida diariamente, não envolve

matar ou mesmo perturbar os mamíferos selvagens, neste caso, o material fecal representa o metal eliminado que foi incorporado devido à exposição bruta (inalação, ingestão ou exposição dérmica) em uma localidade. Assim, pode-se afirmar que os mamíferos silvestres alojados em determinadas regiões, ou locais nos quais vivem como por exemplo reservas e até mesmo zoológicos estão expostos à poluição metálica, fator este comprovado em estudos realizados em zoológicos da Índia (GUPTA e BAKRE, 2013).

As fezes de aves são comumente usadas para medir os níveis de exposição a metais na dieta em populações selvagens, ou seja, são utilizadas como biomonitores para fornecer informações sobre o estado do meio ambiente fornecendo os níveis de poluição ambiental (SADEGHI et al., 2017; ESPÍN et al., 2016). Nesse sentido, tais métodos de monitoramento também não são destrutivos e são urgentemente necessários para estudos de campo ecotoxicológicos, que às vezes também incluem espécies ameaçadas de extinção (CLAPP et al., 2012; MARTÍNEZ-HARO et al., 2013). As fezes de aves são frequentemente usadas como um substituto para medir os níveis de exposição a contaminantes da dieta. Por exemplo, os níveis de metais não essenciais nas fezes de aves passeriformes refletem bem as cargas de poluição no ambiente e correlacionam-se com os níveis medidos em seus itens alimentares, e, portanto, essa metodologia é amplamente utilizada (EEVA et al., 2020).

Assim como vários animais terrestre, as aves são expostas a metais por meio de alimentos, água, inalação e suas penas. Entretanto, a alimentação é, na maioria dos casos, considerada a rota mais importante na contaminação da vida selvagem (NAM e LEE, 2006; SMITH et al., 2007; SANDERFOOT e HOLLOWAY et al., 2017). Em geral, os metais são facilmente absorvidos, entretanto, as espécies solúveis dos metais, tais como sulfatos e nitratos, são absorvidas sem passarem por modificações químicas. Cabe ressaltar que a proporção absorvida dos alimentos varia, por exemplo, entre os metais e sua forma, biodisponibilidade, espécies de aves e qualidade dos alimentos, é obvio neste caso está envolvido o local que vivem como um dos fatores influenciadores (PEAKALL e BURGER, 2003; ELDER et al., 2015). De acordo com Berglund et al., (2011), as concentrações fecais de elementos essenciais como cobre (Cu) e zinco (Zn) tendem a mostrar correlações mais fracas em relação aos elementos não essenciais mais tóxicos, como arsênico (As) ou chumbo (Pb). Embora exista a absorção dos minerais essenciais, a parte não absorvida será excretada em conjunto com as fezes. As aves destacam-se pela ausência de bexiga urinária, porém, vale destacar que nas aves o excremento consiste em dois componentes: fezes e urina, sendo o maior componente neste último os derivados do ácido úrico ou seus sais (urato) (CLAPP et al., 2012; CROUCH et al., 2019). O ácido úrico contém resíduos nitrogenados, mas também é uma rota para excretar metais da corrente sanguínea, inicialmente absorvidos no intestino

(CASOTTI e BRAUN, 2004). Portanto, quando os excrementos de pássaros são medidos quanto ao seu teor de metal, não está claro o quanto a concentração reflete a parte não absorvida nas fezes, assim como o quanto a rota interna através dos rins para o ácido úrico e através da bile para as fezes (ISHIHARA e MATSUSHIRO, 1986).

Pesquisas envolvendo a avaliação da acumulação de metais pesados em tecidos (fígado e rins) no chacal dourado (*Canis aureus*) como um possível bioindicador em um ambiente agrícola na Bulgária demonstrou que este animal possui alto potencial para acúmulo de metais pesados, implicando assim que esta espécie pode servir como indicador biológico de sua presença nas regiões agrícolas, nas quais habita. As concentrações em mg/Kg dos elementos-alvo (de tecido seco) em amostras de rim foram respectivamente: Cu  $57,62 \pm 10,76$ ; Zn  $141,45 \pm 11,33$ ; Ni  $0,28 \pm 0,19$ ; Co  $0,46 \pm 0,30$ ; Pb  $6,88 \pm 1,67$  e Cd  $0,58 \pm 0,16$  no fígado e Cu  $17,67 \pm 5,01$ ; Zn  $58,28 \pm 10,81$ ; Ni  $0,51 \pm 0,4$ ; Co  $0,52 \pm 0,29$ ; Pb  $4,03 \pm 1,32$  e Cd  $1,41 \pm 0,22$ . De acordo com os autores, as concentrações obtidas revelaram o acúmulo específico desses metais no chacal dourado e fornecem valores dentro dos quais não devem ser esperados efeitos negativos no avanço de suas populações (MARKOV et al., 2016).

Os resultados do estudo realizado por Markov et al., (2016) utilizando o valor da matéria fecal como bioindicador de contaminação por metais pesados apresenta grandes vantagens uma vez que não envolve a eutanásia de animais. Desta forma, a análise de excrementos de animais tem a vantagem de indicar exposição bruta, não envolve perturbar e matar os animais, além de permitir o monitoramento da exposição à contaminação em intervalos de 24 horas ou outros horários. Portanto, o estudo pode ser estendido para animais selvagens de vida livre que estão expostos a contaminantes emitidos por veículos nas estradas dentro das áreas protegidas.

Apesar da sustentabilidade representar o equilíbrio encontrado na exploração dos recursos naturais e a preservação do meio ambiente, os usos de recursos são às vezes restrito às espécies reais (animais ameaçados de extinção) que não fornecem os materiais necessários para a pesquisa. O uso de poucas e limitadas espécies, continuamente removidas do sistema, como substitutos para monitorar as funções do sistema e a diversidade biológica que permitem sua renovação contínua, está cada vez mais em perigo, principalmente em decorrência dos desmatamentos e interferência humana. Além disso, devido ao ciclo de vida dos organismos, estes somente podem fornecer informações sobre sustentabilidade após várias gerações, geralmente anos a décadas (MOSCARDO e HUGHES, 2023).

Se por um lado existem animais que estão ameaçados de extinção ou vivem em locais de difícil acesso, outras espécies são abundantes em várias regiões do país, como é o caso da

capivara, cujo nome científico é *Hydrochoerus hydrochaeris*. Esta espécie habita banhados, margens de rios ou lagoas de fazendas, ou até mesmo locais dentro de regiões urbanas ou reservas, sendo que sua distribuição ocorre na maior parte da América do Sul. Tais animais vivem em grupos, é uma espécie de mamífero roedor da família Caviidae e subfamília Hydrochoerinae e são considerados um dos maiores roedores do mundo, atingindo uma massa de 75 kg. Dorso coberto por pelagem amarronzada com pelos longos e de textura áspera. Cabeça grande, orelhas pequenas e arredondadas. Patas curtas, com membrana interdigital nos dedos e cauda vestigial. Comem gramíneas e vegetação aquática, por ser um animal silvestre, a sua caça é proibida, captura, coleta, abate, transporte e/ou translocação ou manipulação com exceção daqueles atos previstos na legislação e com a devida autorização junto ao órgão ambiental competente. Ou seja, alguns criadouros no Brasil são autorizados a realizarem o abate e comércio da carne e pele, ou pesquisas autorizadas pelos órgãos competentes (FELIX, 2012).

Uma pesquisa realizada na rodovia BR-471 do Rio Grande do Sul, Brasil mostrou que as capivaras por serem animais herbívoros estão sujeitas aos efeitos da bioacumulação de metais devido a ingestão de plantas que podem estar contaminadas por vários elementos. Concentrações significativas de elementos químicos como Ag, Cd, Cu, Pb, e Zn foram quantificadas em diferentes tecidos (fígado, rim, gordura, músculo), pelos e conteúdo estomacal de capivaras mortas por atropelamentos na rodovia (Br-471). As análises de espectrometria ótica de absorção atômica, revelou que a concentração de prata (Ag) foi menor na primavera em relação às outras estações do ano nas amostras, por outro lado, não houve variação significativa na concentração de Cd nas amostras, porém, a concentração de Pb na primavera foi maior em todas as amostras, a concentração de Cu no inverno e no outono foi significativamente menor que o verão e a primavera, a concentração de Zn não teve variação ao longo do ano. Alguns elementos como o Cd, Ag e o Pb não tiveram variação significativa de suas concentrações ao longo do ano, por outro lado, o Cu foi presente no sedimento na primavera, e o Zn foi maior no outono e inverno. Os resultados deste trabalho demonstraram que as capivaras estão contaminadas por metais não essenciais na Estação Ecológica do Taim, Rio Grande do Sul. Portanto, os autores sugerem que existe um potencial da utilização dos pelos destes animais para o monitoramento de contaminação por metais (RAMM, 2015).

Conforme averiguamos nos últimos anos, esta espécie não é considerada ameaçada no Brasil devido à sua ampla densidade populacional e distribuição em áreas verdes rurais ou urbanas associadas à agricultura e a barragens (ALMEIDA et al., 2013; RINALD, 2014). Em várias regiões do Brasil, esta espécie de roedor pode ser vista em parques, reservas próximas

às áreas residenciais, onde se alimentam de vegetação rasteira e plantas ornamentais (TONETTI e BIONDI, 2015).

Existem muitos estudos voltados ao habitat da capivara, mas sem considerar o seu excremento como um bioindicador de metais pesados. Segundo levantamento bibliográfico, tais mamíferos têm sido estudados nas últimas décadas em várias regiões do Brasil. Entretanto, a maioria das pesquisas estão voltadas ao âmbito veterinário e uma proporção menor diz respeito ao conhecimento de aspectos biológico da capivara (RAMM, 2015). Em Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil alguns trabalhos têm abordado a termografia de capivaras em perímetro urbano (SILVA et al., 2019), outros foram realizados na sub-região de Paiaguás, Pantanal do Mato Grosso do Sul, Brasil e envolve o estudo de helmintos gastrintestinais de capivaras (BONUTI et al., 2022), ou envolvendo infecções naturais com nematódeos Filarioidea no Pantanal do Mato Grosso do Sul, Brasil (NASCIMENTO et al., 2000). Estudos voltados a atividade, uso de ambientes, comportamento e densidade de capivara em regiões do pantanal em Miranda, Mato Grosso do Sul, Brasil também têm sido realizados (JACOMASSA, 2010). Entretanto, até a presente data são escassos registros de estudos realizados de acumulação de metais e metaloides em excrementos de capivaras no Mato Grosso do Sul, Brasil.

### **2.3 Excrementos de animais como bioindicador de metais pesados**

O excremento animal é uma das vias de difusão de metais pesados e metaloides no meio ambiente, onde o solo pode acumulá-los. Metais pesados e metaloides podem então ser liberados em fontes de águas subterrâneas, ser absorvidos pelas culturas e entrar na cadeia alimentar com efeitos negativos para a saúde humana e animal (HEJNA et al., 2019). Em outros países, como no nordeste da China, o excremento animal é uma importante fonte de metais pesados (Cu, Zn, Cr, Cd, Pb e As) para o meio ambiente (ZHANG et al., 2012). Além disso, existe a possibilidade de fezes de animais causar impactos na saúde de humanos, uma vez que podem contaminar a água destinada ao abastecimento de água potável (BIANCO et al., 2020). De acordo com Adewole et al. (2016), uma das principais fontes de metais pesados na pecuária suína é representada pela ração, que deve ser controlada para evitar a disseminação excessiva de metais pesados no ambiente. Pesquisas realizadas na China que estudaram os metais pesados em estrume animal, consideram a produção animal intensiva de aves e porcos como um dos principais contaminantes do ambiente (XIONG et al., 2010;

CANG et al., 2004; Li et al., 2007). Geralmente, os teores de metais pesados são maiores nas rações de suínos do que nas rações de frango e gado e, conseqüentemente, o esterco de suíno pode representar um risco maior de poluição por metais pesados nas terras agrícolas do que esterco de galinha e bovinos. Do ponto de vista da proteção ambiental, os aditivos para alimentação animal no nordeste da China devem ser controlados com base nos limites legais relevantes para o país. Um elemento que se faz presentes em estercos de vacas leiteiras e frangos é Cd (XIONG X, et al., 2010), além disso, metais pesados também podem estar presentes em pelos de animais, urina e leite (SU et al., 2017).

Segundo estudos, as amostras de ração para suínos, bovinos, fezes e água coletadas de oito fazendas típicas de criação intensivas de suínos e bovinos localizadas no norte da Itália e analisadas utilizando ICP MS para quantificar elementos como Na, Mg, K, Ca, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Mo, Cd e Pb, revelaram que o teor médio das dietas de bovinos de Zn e Cu não estava acima dos níveis máximos permitidos. Além disso, os dejetos de suínos representaram as fontes de Zn e Cu para o ambiente, entretanto, a concentração de elementos como Zn e o Cu devem ser monitorados estritamente de acordo com os princípios da agroecologia (HEJNA et al, 2019).

Nos últimos anos, várias pesquisas buscam avaliar a concentração de metais pesados e outros minerais em sistemas modernos de criação de animais a fim de desenvolver estratégias eficazes para aumentar a sustentabilidade. De acordo com Penakalapati et al., (2017), alguns estudos avaliaram as medidas de controle, embora exista as intervenções que incluem a coabitação com animais, controle do movimento, criação de segurança, melhoria do atendimento veterinário e promoção da higiene. Ainda segundo os autores, pesquisas futuras devem avaliar o comportamento relacionado aos pontos de contato com fezes de animais, contaminação fecal dos alimentos, cultura e manejo fecal animal, riscos agudo e crônico para a saúde associados à exposição a fezes de animais e fatores que influenciam as concentrações e taxas de excreção de patógenos originários de fezes de animais.

Diante do exposto, a relevância social da execução deste tipo de projeto impacta diretamente no compromisso e efeito da interferência do homem ao meio ambiente, possibilitando novas políticas ambientais por partes de gestores e até mesmo culturais. Por outro lado, quanto a relevância econômica, é importante sabermos o quanto de metais pesados os pelos destes animais podem ou não acumular, o que pode refletir na valorização da sua carne quando comercializada por empresas competentes (EMBRAPA, 2003; ALHO, 1986). Vale destacar que o impacto social está voltado ao fato que meio ambiente e saúde humana são indissociáveis. De fato, a saúde ambiental engloba aspectos da saúde humana, incluindo a qualidade de vida, que estão determinados por fatores físicos, químicos, biológicos, e

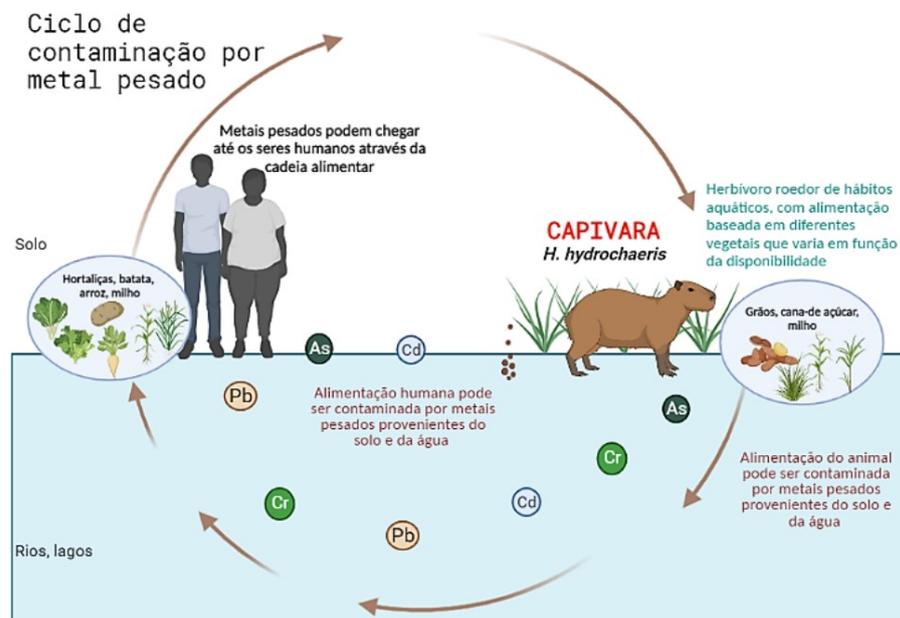
principalmente sociais e psicológicos no meio ambiente. Ademais, o conhecimento básico sobre o perfil de metais pesados em um sistema biológico tem potencial de valorizar, corrigir, controlar e evitar aqueles fatores do meio ambiente que, potencialmente, possam prejudicar a saúde da população (WHO, 1992).

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (WHO, 1992), os cinco principais riscos ambientais para a saúde são água insegura, saneamento e higiene, além da fumaça de combustíveis sólidos, exposição ao Pb, poluição do ar urbano ao ar livre e mudanças climáticas globais. Portanto, se animais silvestres estão sendo contaminados devido a ingestão de plantas e água, nós também estamos expostos a tais metais, uma vez que 1,1 bilhão de pessoas não têm acesso a água potável segura, enquanto 2,6 bilhões de pessoas carecem de saneamento adequado (WHO, 2010). Em todo o mundo, cerca de 1,5 milhão de mortes por ano por doenças diarreicas são atribuíveis a fatores ambientais de água contaminada, falta de saneamento e falta de higiene. Outros 1,5 milhão de mortes anuais por infecções respiratórias são atribuíveis principalmente à poluição do ar interno e externo (PRÜSS-ÜSTÜN e CORVALAN, 2006).

Como descrito anteriormente, fezes de animais podem contaminar o solo e água, neste sentido, além de patógenos fecal-oral que são transmitidos das fezes para novos hospedeiros por meio de vias complexas e mediadas pelo ambiente, existem também a contaminação com metais pesados. Animais como a capivara alimenta-se de gramíneas, capim, grama e até mesmo de plantas aquáticas e grãos (Figura 1). Entretanto, plantas podem acumular metais pesados em alta concentração devido a presença de elementos como o As, Cd, Cr e Pb no solo ou até mesmo na água. De fato, na pesquisa de Souza et al., (2021), folhas das plantas de *Eleusine indica* (capim conhecido popularmente como pé de galinha) apresentaram altas concentrações de elementos como K, Na, Mg, P, Fe, Al, Mn, Zn, Cu e Ni.

Se fezes de animais como a capivara podem servir de um bom bioindicador de poluição, elas também podem contaminar ainda mais o solo, água de rios e lagos, causando assim possíveis danos à saúde humana. Um esboço do cenário no qual a capivara está inserida é apresentado na Figura 1, onde grupos destes animais podem alimentar-se de plantas terrestres e aquáticas e defecar próximo as margens de lagoas urbanas ou riachos, contaminando o solo e água onde vivem e até mesmo humano que por sua vez utilizam esta água para irrigação de verduras e vegetais, utilizam para recreação ou podem contaminar-se através da ingestão de alimentos irrigados com tais águas contaminadas, mas também de fezes de animais. O reuso de águas residuais na irrigação de culturas agrícolas é uma prática comum em várias partes do mundo, principalmente em regiões áridas e semiáridas (AL HAMED I et al., 2023), e em cerca de cinquenta países (KHALID et al., 2018). Curiosamente,

a área irrigada total preparada para uso direto de águas residuais brutas ou tratadas é estimada em 8,4 milhões de hectares em 42 países (FAO, 2018). Devemos deixar claro que o uso de águas residuais na irrigação é uma prática comum em países em desenvolvimento, como por exemplo Jordânia, Brasil, Argentina e Paraguai como uma estratégia de adaptação para sustentar os recursos hídricos (RADINGOANA; DUBE; MAZVIMAVI, 2020; AL-MEFLEH e OTHMAN, 2021). A maioria das abordagens de conservação e transportes de água são caras, e alguns casos chegam a ser ineficazes e pode exigir investimento governamental.



**Figura 1.** Ciclo de contaminação por metais pesados: o excremento animal pode ser uma das fontes de contaminantes da água, solo e alimentos para humanos. Fonte: O autor (2023).

Em muitos países o reaproveitamento de águas residuais na irrigação reduz o custo de produção das culturas e auxilia na liberação de recursos de capital para mais investimentos em projetos agrícolas, além de contribuir nos custos do município na busca de fontes alternativas de água através da adoção de meios mais desenvolvidos (QURESHI, 2020). Neste sentido, desenvolver políticas de investimento atraentes e mecanismos de financiamento acessíveis que visam fornecer capital para prevenir a poluição e outros riscos à saúde associados às águas residuais usadas na irrigação são essenciais. Considerando os recursos hídricos limitados devido às mudanças climáticas e o aumento exponencial do crescimento populacional, a adoção de águas residuais para irrigação de culturas alimentares e a conservação sustentável da água em regiões áridas é inevitável (MORANTE-CARBALLO et

al., 2022), entretanto um monitoramento de resíduos químicos (metais pesados, agrotóxicos, adubos, pesticidas etc.) constante é necessário.

Uma vez que não existem estudos voltados para a quantificação de metais pesados nas fezes de capivaras com o objetivo de propor tal animal como um indicador de poluição, é justificável a realização de pesquisas com esta finalidade. Além disso, a partir dos resultados espera-se contribuir sobre os níveis de contaminação por metais em mamíferos relacionados ao ambiente aquático, em sua maioria afetada pelo processo de bioacumulação.

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1 Geral

Avaliar os possíveis impactos na saúde humana devido a metais pesados presentes em excrementos de capivaras (*Hydrochoerus hydrochaeris*) localizadas em parques urbanos de Campo Grande, MS, Brasil.

#### 3.2 Específicos

- Quantificar os níveis de contaminação por metais como o chumbo (Pb), cádmio (Cd), níquel (Ni), cobalto (Co), ferro (Fe), zinco (Zn), crômio (Cr), arsênio (As) nas fezes de capivaras;
- Comparar os níveis de metais pesados quantificados nos excrementos de capivaras com dados disponíveis na literatura;
- Comparar as concentrações de metais nos excrementos de capivaras de diferentes locais de coleta e relacioná-las com fatores antropogênicos, e outros estudos quando encontrados na literatura;
- Propor através dos resultados comprobatórios que as fezes de capivaras podem ser consideradas um bom bioindicador ambiental;
- Avaliar o potencial impacto dos excrementos destes animais no ambiente e saúde humana.

## **4.0 MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1 Locais de coletas**

Quatro locais para a realização desta pesquisa foram selecionados, dentro dos quais todos estão localizados na região urbana da cidade de Campo Grande, MS. Mais informações sobre os locais de coletas podem ser visualizadas como segue:

Parque Ecológico Anhandui: Encontra-se localizado na confluência do córrego Bandeira com o rio Anhandui, na região de planejamento do Anhanduizinho, região sul da cidade de Campo Grande, MS (coordenadas -2050653, -5464299).

Parque Ecológico Sóter: este parque tem como nascente o córrego Sóter, e está localizado em Campo Grande/MS (coordenadas -2042934, -5457655).

Parque Ecológico Prosa: Regado pelas águas dos córregos Joaquim Português e Desbarrancado. Situa-se no Planalto da Serra de Maracaju, dentro do perímetro urbano de Campo Grande, MS. 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 (coordenadas -2045021, -5456084).

Lago do Amor: trata-se de um reservatório artificial, porém abastecido pelos córregos Cabaça e Bandeira, os quais formam a bacia do Bandeira, parte integrante da bacia do Rio Paraná. Localizado dentro da área da cidade Universitária da UFMS em Campo Grande/MS (coordenadas -20.503133, -54.618797).

### **4.2 Critérios éticos e legais**

A execução deste projeto foi realizada com a devida permissão e autorização da autoridade competente como a SEMADUR - Secretaria Municipal do Meio Ambiente e Gestão Urbana (Parque Ecológico Anhandui), FUNESP – Fundação Nacional de Esportes/MS (Parque ecológico Sóter), IMASUL- Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul (Parque estadual Prosa e Parque estadual Matas do Segredo). O acesso a coleta e local ao Lago do Amor (Campus Campo Grande/MS) foi realizado junto com o servidor Prof. Dr. Valter Aragão do Nascimento (Matrícula SIAPE 2953598). A Figura 2 abaixo mostra um exemplar da espécie estuda neste trabalho.



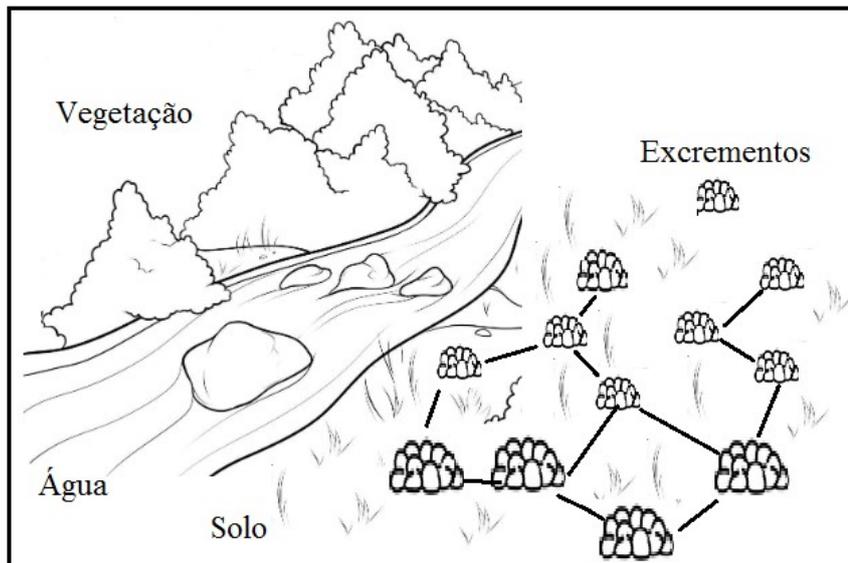
**Figura 2.** Capivara (*Hydrochoerus hydrochaeris*). Fonte: O autor (2023).

### 4.3 Coleta de excrementos

A coleta de amostras de fezes foram realizadas conforme explícito na Figura 3, ou seja, coletas em zigue-zague em locais próximos aos corpos d'água e as nascentes dos Parque Ecológico Anhanduí, Parque Ecológico Soter, Parque Ecológico Prosa E Lago do Amor, localizados dentro do perímetro urbano de Campo Grande, MS.

Uma quantidade de 550 g de excrementos de cada local foram coletas utilizando uma colher grande de inox de 12,5 cm e luvas cirúrgicas para evitar qualquer contaminação. As coletas foram realizadas no período da manhã e somente a parte interna das fezes foram coletadas e armazenadas em saco plástico zip lock PE 10x14-80. No ato da coleta, evitou-se aquelas amostras que estavam em contato direto com o solo. As coletas foram realizadas no mês setembro de 2021.

As amostras foram conduzida para o Laboratório de Metabolismo Mineral e Biomateriais da Faculdade de Medicina da UFMS, para serem analisadas.



**Figura 3.** Esboço da coleta em zigue-zague de excrementos de capivara realizada próximos aos riachos e lagos provenientes do Parque Ecológico Anhanduí, Parque Ecológico Sóter, Parque Ecológico Prosa e Lago do amor. Fonte: O autor (2023).

#### 4.4 Procedimento de digestão ácida via micro-ondas

As amostras de excrementos das capivaras foram colocadas em estufa e submetidas a um processo de secagem a 40 °C por 10 h até atingir peso constante. As amostras secas foram trituradas separadamente utilizando um liquidificador industrial com lâminas de aço inoxidável para obter um pó muito fino e depois peneiradas (peneira de aço inoxidável, granulometria 200 µm). Aproximadamente 0,25 g do pó de cada amostra de excrementos provenientes dos diferentes locais foram colocadas em recipientes de Teflon DAP60<sup>®</sup> e adicionados 3,0 mL de HNO<sub>3</sub> (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 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (35%, Merck, Darmstadt, Alemanha). O procedimento de digestão utilizando um digestor assistido por micro-ondas (Speedwavefour, Berghof, Alemanha) foi realizado de acordo com o programa apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1.** Programa de aquecimento para digestão por micro-ondas de amostras de excrementos.

<b>Etapas</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Pressão (bar)</b>	<b>Tempo/Rampa (min)</b>	<b>Tempo/Permanência (min)</b>	<b>Potência (W)</b>
1	160	30	1	5	1120
2	160	30	1	5	1120
3	20	0	1	10	0

#### 4.5 Quantificação de macro e micro elementos utilizando ICP OES

Neste estudo os elementos químicos em amostras de excrementos dos animais 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 foi utilizada a visão axial, potência de operação de 1250 W; vazão da amostra = 0,35 L/mn; vazão de gás de plasma = 12 L/mn; tempo de integração = 5 s; tempo de estabilização = 20 s; pressão de nebulização = 20 psi. Além disso, os seguintes comprimentos de onda de emissão foram configurados e utilizados no 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, Ni 221,647 nm, P 214,914 nm, Se 196,00 nm, Zn 213,856 nm, Pb 220,353 nm.

#### 4.6 Padrões utilizados 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, Ni, P, S, V, Se e Zn). Para a análise quantitativa de macro e microelementos, 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. O procedimento de adição e recuperação foi feita enriquecida com 1 ppm a partir de uma solução estoque de múltiplos elementos de 1000 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 da curva (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 dos LOD de todos os elementos foi de 0,02–0,3 µg/L, e o intervalo dos LOQ de todos os elementos foi de 0,06 a 10 µg/L. A faixa do coeficiente de correlação ( $R^2$ ) foi de 0,9992–0,9995.

#### 4.7 Análise estatística

As médias e desvios padrões das amostras de excrementos, assim como os testes estatísticos para averiguar a distribuição normal, teste não paramétrico teste de Kruskal-Wallis (múltiplas variáveis e independentes), teste de correlação de Spearman e Kendall foram realizados utilizados o software Oring 9.1 (OriginLab's Origin Corporation Viewer 9.1, Northampton, MA, USA.TM).

#### 4.8 Avaliação de risco à saúde humana

O contato com os excrementos pode ocorrer por diferentes vias e estão sendo consideradas neste estudo, o contato mão-a-boca, que representa o contato das mãos sujas com a boca, como pode ocorrer com crianças, contato mão-a-boca com as mãos dos cuidadores, contato objeto-boca, ingestão de alimentos e água contaminados e ingestão direta acidental de fezes. Hipótese também adotada por Kwong et al., (2020) em seu estudo que considerou essas vias de contaminação ou contato com as fezes, especialmente crianças que podem ser mais expostas devido o hábito de brincadeiras em contato com o chão.

##### 4.8.1. Cálculo de dose de ingestão acidental de solo/excremento

$$D_{oral} = \frac{C_s \times IR_{solo} \times EF \times ED \times CF}{BW \times AT} \quad (\text{Eq.1})$$

Onde  $C_s$  (mg/Kg) é a concentração do contaminante no solo/excremento, dessa forma, nesse estudo consideraremos que corresponde a concentração de metais (metaloides) no

excremento das capivaras, neste caso a ingestão pode ocorrer quando a pessoa tem contato com as mãos nos excrementos e leva não intencionalmente a boca, havendo neste caso uma ingestão não intencional, mas será considerado 100%; IR (kg/dia) é a taxa de ingestão acidental de solo/excremento para crianças (1000 mg/dia) e adultos (100 mg/dia); Exposição, EF para crianças e adultos 350 dias/ano. Fator de conversão  $CF = 1,0 \times 10^{-6}$ , em relação a  $AT = ED \times 365 = 5 \times 365 = 1825$  dias para crianças e para adultos  $AT = 40 \times 365 = 14600$  dias. CF é fator de conversão  $1,0 \times 10^{-6}$ . Quando  $AT = EF \times ED$  corresponde a não carcinogênico, porém para efeitos carcinogênicos  $AT = 365 \times 70$  (YANG et al., 2022). BW (Kg) é o peso corporal do indivíduo, neste caso para crianças de 5 anos 32,9 kg e para adultos > 40 anos 70,7 kg (valores adaptados de Health Canada, 2004).

#### 4.8.2 Inalação de partículas de solo/excrementos: Cálculo da Dose

$$D_{inal} = \frac{C_s \times IR_{inal} \times EF \times ED}{BW \times AT \times P_{ar}} \quad (\text{Eq.2})$$

Onde na Eq. 2 temos que  $C_s$  (mg/Kg) é a concentração do contaminante no solo/excremento, quantificadas no excremento das capivaras, nas quais podem ser levadas pelo vento junto a poeira e que possa ser inalado;  $P_{ar}$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) concentração de partículas no ar, nesse estudo será assumido o valor de  $1,36 \times 10^9 \text{ Kg}/\text{m}^3$  para condições típicas conforme USEPA (1992), IR ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) taxa de inalação para crianças  $7,6 \text{ m}^3/\text{dia}$  e para adultos  $20 \text{ m}^3/\text{dia}$  (Van den Berg 1995); frequência de exposição  $EF = 350 \text{ dia}/\text{ano}$  para crianças e adultos. ET é o tempo de exposição, aqui consideraremos 4 horas/dia para crianças e adultos. BW (Peso, Kg) é o peso Corporal do indivíduo, para crianças de 5 anos 32,9 kg, e para adultos com 40 anos 70,7 kg (valores adaptados de Health Canada, 2004). Na Eq. 2, AT Tempo médio para efeitos não carcinogênicos, para crianças temos  $AT = 1825$  dias, para adultos  $AT = 14600$  dias.

#### 4.8.3 Contato dérmico com solo/excremento: Cálculo da dose

$$Dose_{cont-derm} = \frac{C_s \times SA_H \times AF_S \times EF \times ABS \times ED \times CF}{BW \times AT} \quad (\text{Eq.3})$$

Onde na Eq. 2 (ZHENG et al., 2010) temos que  $C_s$  (mg/Kg) é a concentração do contaminante no solo/excremento quantificadas no excremento de capivaras, geralmente

percentil 90 ou máximo;  $SA_H = (\text{cm}^2)$  Área de superfície das mãos, braços e pernas (assume que apenas as mãos, braços e pernas estão expostas, para crianças  $2800 \text{ cm}^2$ , e adultos  $5700 \text{ cm}^2$ ) (USEPA, 2004); AF corresponde ao Fator de aderência cutânea para o solo (para crianças:  $0,2 \text{ mg/cm}^2$ , adultos:  $0,07 \text{ mg/cm}^2$ ) (USEPA, 2004). EF é a frequência de exposição, para crianças  $EF = 350 \text{ dias/ano}$  e para adultos  $EF = 350 \text{ dias/ano}$ . ABS trata-se do Fator de absorção dérmica (adimensional), aqui consideraremos para crianças e adultos  $0,001$ . Duração de exposição, ou seja,  $ED = 5 \text{ anos}$  e  $ED = 40 \text{ anos}$ . BW (Kg) é o peso Corporal do indivíduo, para crianças de 5 anos  $32,9 \text{ kg}$ , e para adultos  $> 40 \text{ anos}$   $70.7 \text{ kg}$  (valores adaptados de Health Canada, 2004). CF é fator de conversão  $1,0 \times 10^{-6}$ . Basta lembrar que  $AT = EF \times ED$  (não carcinogênico) e  $AT = 365 \times 70$  para carcinogênico (YANG et al., 2022). AT para crianças é  $1825 \text{ dias}$ , para adultos  $AT = 14600 \text{ dias}$ .

#### 4.8.4 Quociente de perigo alvo (THQ)

O quociente de perigo alvo (THQ) é o nível de exposição ao elemento tóxico no qual não são esperados efeitos adversos à saúde. O THQ é calculado utilizando a equação da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA, 1989) como mostrado na equação 5.

$$THQ = \frac{Dose_i}{RfD_i} \quad (\text{Eq.5})$$

Aqui na Eq. 5, o subíndice  $i$  = ingestão oral (Eq. 1), inalação (Eq. 2) e contato dérmico (Eq. 3), onde  $RfD_i$  refere-se à dose de referência de não carcinogenicidade do metal (metalóide) (mg/Kg/dia). Neste trabalho será considerado os seguintes valores de dose de referência oral  $RfD_{oral}$ : Al  $1 \text{ mg/Kg/dia}$ , As  $3 \times 10^{-4} \text{ mg/Kg/dia}$ , Cd  $1 \times 10^{-4} \text{ mg/Kg/dia}$ , Co  $3 \times 10^{-4} \text{ mg/Kg/dia}$ , Cr  $1,5 \text{ mg/Kg/dia}$ , Cu  $0,04 \text{ mg/Kg/dia}$ , Fe  $0,7 \text{ mg/Kg/dia}$ , Mg nd (não determinado), Mn  $0,24 \text{ mg/Kg/dia}$ ; Mo  $5 \times 10^{-3} \text{ mg/Kg/dia}$ , Ni  $1,10 \text{ mg/Kg/dia}$ , Zn  $0,3 \text{ mg/Kg/dia}$  (USEPA, 2022), Pb  $3 \times 10^{-3} \text{ mg/Kg/dia}$  (USEPA IRIS, 2022);  $RfD_{inatório} =$  Al  $5 \times 10^{-3} \text{ mg/Kg/dia}$ , As  $1,5 \times 10^{-5} \text{ mg/Kg/dia}$ , Cd  $1,0 \times 10^{-5} \text{ mg/Kg/dia}$ , Co  $6 \times 10^{-6} \text{ mg/Kg/dia}$ , Cr  $2,86 \times 10^{-5} \text{ mg/Kg/dia}$ , Cu  $0,04 \text{ mg/Kg/dia}$ , Fe ND, Mg nd (nao determinado), Mn  $5,0 \times 10^{-5} \text{ mg/Kg/dia}$ ; Mo  $2 \times 10^{-3} \text{ mg/Kg/dia}$ , Ni  $2 \times 10^{-5} \text{ mg/Kg/dia}$ , Zn  $0,3 \text{ mg/Kg/dia}$  (USEPA, 2022), Pb  $2 \times 10^{-4} \text{ mg/Kg/dia}$ ;  $RfD_{dérmico}$  temos, Al  $1 \text{ mg/Kg/dia}$ , As  $3 \times 10^{-4} \text{ mg/Kg/dia}$ , Cd  $1,25 \times 10^{-5} \text{ mg/Kg/dia}$ , Co  $3 \times 10^{-4} \text{ mg/Kg/dia}$ , Cr  $1,95 \times 10^{-2} \text{ mg/Kg/dia}$ , Cu  $0,04 \text{ mg/Kg/dia}$ ,

Fe 0,7 mg/Kg/dia, Mg nd, Mn  $9,6 \times 10^{-4}$  mg/Kg/dia; Mo  $5 \times 10^{-3}$  mg/Kg/dia, Ni  $5,40 \times 10^{-3}$  mg/Kg/dia, Zn 0,3 mg/Kg/dia (USEPA, 2022), Pb 0,04 mg/Kg/dia.

Quando  $THQ < 1$ , não são esperados efeitos não cancerígenos na saúde. Se, no entanto, o  $THQ$  for  $> 1$ , existe a possibilidade de efeitos adversos à saúde. Por outro lado, a soma de todos os  $THQ$ s corresponde ao índice de perigo ( $HI$ ) demonstrado na equação 6. Se o  $HI$  for  $>1$ , existe o potencial de efeitos adversos não cancerígenos para a saúde, onde o quociente de risco ( $THQ$ ) representa um valor adimensional.

$$HI = \sum THQ = \sum \frac{Dose_i}{RfD_i} \quad (\text{Eq. 6})$$

## 5.0 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Quantificação de macro e microelementos em excrementos

As concentrações dos elementos químicos Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Mo, Ni, P, Se, Zn e Pb quantificados nas amostras de excrementos das capivaras provenientes do Parque ecológico Anhandui, Parque ecológico Águas do Prosa, Parque ecológico águas do Sóter e Lago do amor estão apresentadas na Tabela 2. Os valores de concentração de elementos químicos quantificados possuem uma distribuição normal, portanto, análise de Anova de uma via foi utilizada, segundo resultados não existem diferenças entre as médias de concentrações de elementos dos diferentes locais ( $p = 0,805$ ). Além disso, de acordo com o teste de Kruskal-Wallis, não existem diferenças significativas entre as medianas dos grupos. Na Tabela 2, o elemento químico como P não foi determinado e Se está abaixo do limite de detecção.

Ao observamos a ordem de valores de concentrações para cada local estudado (Tabela 2), nota-se que a concentração de elementos quantificados no excremento das capivaras do Parque ecológico Anhandui decresce na seguinte ordem: Fe  $300,369 \pm 0,811$  > Mn  $180,287 \pm 1,98$  > Al  $124,488 \pm 0,763$  > Zn  $87,495 \pm 1,16$  > Cu  $29,946 \pm 1,296$  > Cr  $20,275 \pm 0,970$  > Ni  $4,014 \pm 0,033$  > Mg  $2,470 \pm 0,283$  > Pb  $2,077 \pm 0,157$  > Co  $1,467 \pm 0,130$  > Mo  $1,133 \pm 0,107$  > As  $2,760 \pm 0,155 \times 10^{-3}$  mg/Kg. Além disso, no excremento das capivaras do Parque ecológico Águas do Prosa, a ordem de elementos químicos decresceu como: Fe  $291,713 \pm 1,998$  > Al  $130,443 \pm 2,179$  > Mn  $90,484 \pm 1,152$  > Zn  $76,320 \pm 2,100$  > Cu  $32,632 \pm 0,843$  > Cr  $17,602 \pm 0,827$  > Ni  $4,197 \pm 0,330$  > Pb  $3,3115 \pm 0,316$  > Mn  $2,08 \pm 0,313$  > Mo  $1,560 \pm 0,084$  > Co  $1,019 \pm 0,0399$  > Cd  $0,940 \pm 0,0407$  > As  $4,300 \pm 0,267 \times 10^{-3}$  mg/Kg.

De acordo com a Tabela 2, a concentração de elementos químicos quantificados no excremento das capivaras do Parque ecológico Sóter decresce como segue: Fe  $295,074 \pm 2,666$  > Mn  $281,015 \pm 0,420$  > Al  $139,564 \pm 0,669$  > Zn  $68,889 \pm 0,829$  > Cu  $32,511 \pm 2,042$  > Cr  $21,405 \pm 0,970$  > Pb  $6,016 \pm 0,679$  > Ni  $4,229 \pm 0,230$  > Mo  $2,233 \pm 0,289$  > Mn  $1,964 \pm 0,043$  > Co  $1,776 \pm 0,069$  > Cd  $0,568 \pm 0,053$  > As  $3,691 \pm 0,202 \times 10^{-3}$  mg/Kg. Em relação a concentração de elementos no Lago do Amor, a ordem decrescente de elementos foi de Mn  $291,469 \pm 3,25$  > Fe  $290,366 \pm 0,033$  > Zn  $100,027 \pm 1,267$  > Cu  $50,764 \pm 0,853$  > Cr  $26,866 \pm 1,013$  > Pb  $8,762 \pm 0,282$  > Ni  $5,475 \pm 0,216$  > Mo  $3,634 \pm 0,164$  > Co  $1,946 \pm 0,840$  > Mn  $1,677 \pm 0,506$  > Cd  $1,042 \pm 0,302$  > As  $10,041 \pm 0,193 \times 10^{-3}$  mg/Kg.

A concentração de elementos quantificados nos excrementos das capivaras pertencentes ao Parque ecológico Anhandui decresce como segue: Fe  $300,369 \pm 0,811$  > Mn

180,287 ± 1,98 > Al 124,488 ± 0,763 > Zn 87,495 ± 1,16 > Cu 29,946 ± 1,296 > Cr 20,275 ± 0,970 > Ni 4,014 ± 0,033 > Mg 2,470 ± 0,283 > Pb 2,077 ± 0,157 > Co 1,467 ± 0,130 > Mo 1,133 ± 0,107 > As 2,760 ± 0,155 x10<sup>-3</sup> mg/Kg.

Para uma melhor compreensão dos dados da Tabela 2, os mesmos podem ser interpretados como apresentados na Figura 4 que mostra os valores de concentrações de elementos quantificados nos excrementos dos animais em função de cada local. Cada elemento químico está dentro de uma faixa de valores de intensidade de cores: baixos valores de concentrações (cor azul escura), moderados valores de concentrações (azul claro) e elevadas concentrações de elementos (verde, amarelo e vermelho).

Por outro lado, comparações também podem ser feitas entre elementos químicos quantificados nos excrementos dos animais provenientes de cada local, onde é possível observar que:

- A concentração de Al nos excrementos dos animais pertencentes ao lago do Amor (140,322 ± 1,222 mg/Kg) > Parque ecológico Sóter (139,564 ± 0,669 mg/Kg) > Parque ecológico águas do Prosa (130,443 ± 2,179 mg/Kg) > Parque ecológico Anhandui (124,488 ± 0,763 mg/Kg);

- Em relação ao elemento As temos que os valores de concentrações é maior para o lago do Amor (10,041 ± 0,193 x10<sup>-3</sup> mg/Kg) > Parque ecológico águas do Prosa (4.300 ± 0.267 x10<sup>-3</sup> mg/Kg) > Parque ecológico Sótar (3,691 ± 0,202 x10<sup>-3</sup> mg/Kg) > Parque ecológico Anhandui (2,760 ± 0,155 x10<sup>-3</sup> mg/Kg);

- A concentração de Cd nos excrementos dos animais segue a ordem decrescente de valores: lago do Amor (1,042 ± 0,302 mg/Kg) > Parque ecológico águas do Prosa (0,940 ± 0,0407 mg/Kg) > Parque ecológico Sóter (0,568 ± 0,053 mg/Kg) > Parque ecológico Anhandui (0,4193 ± 0,008 mg/Kg);

- Para o elemento Co temos a ordem decrescente: lago do Amor (1,946 ± 0,840 mg/Kg) > Parque ecológico Sóter (1,776 ± 0,069 mg/Kg) > Parque ecológico Anhandui (1,467 ± 0,130 mg/Kg) > Parque ecológico águas do Prosa (1,019 ± 0,0399 mg/Kg);

- Em relação aos valores de concentrações de Cr nos excrementos dos animais, temos: lago do Amor (26,866 ± 1,013mg/Kg) > Parque ecológico Sóter (21,405 ± 0,970mg/Kg) > Parque ecológico Anhandui (20,275 ± 0,970 mg/Kg) > Parque ecológico águas do Prosa (17,602 ± 0,827mg/Kg);

- Os valores das concentrações de Cu nos excrementos dos animais possuem a seguinte ordem decrescente: Lago do Amor (50,764 ± 0,853 mg/Kg) > Parque ecológico águas do Prosa (32,632 ± 0,843mg/Kg) > Parque ecológico Sóter (32,511 ± 2,042mg/Kg) > Parque ecológico Anhandui (29,946 ± 1,296 mg/Kg);

- Para elementos como Fe, a ordem decrescente de valores de concentração é organizada como segue: Parque ecológico Anhandui ( $300,369 \pm 0,811$  mg/Kg) Parque ecológico Sóter ( $295,074 \pm 2,666$  mg/Kg) > lago do Amor ( $290,366 \pm 0,033$  mg/Kg) > Parque ecológico águas do Prosa ( $291,713 \pm 1,998$  mg/Kg);

- Os valores de concentração de Mg nos excrementos dos animais estão na seguinte ordem decrescente: lago do Amor ( $1,677 \pm 0,506$  mg/Kg) > Parque ecológico Anhandui ( $2,470 \pm 0,283$  mg/Kg) > Parque ecológico águas do Prosa ( $2,08 \pm 0,313$  mg/Kg) > Parque ecológico Sóter ( $1,964 \pm 0,043$  mg/Kg) > lago do Amor ( $1,677 \pm 0,506$  mg/Kg);

- A concentração de Mn nos excrementos dos animais pertencentes ao lago do Amor ( $291,469 \pm 3,25$  mg/Kg) > Parque ecológico Sóter ( $281,015 \pm 0,420$  mg/Kg) > Parque ecológico Anhandui ( $180,287 \pm 1,98$  mg/Kg) > Parque ecológico águas do Prosa ( $90,484 \pm 1,152$  mg/Kg);

- Para os valores de concentrações de Mo nos excrementos dos animais estudados temos a seguinte ordem decrescente para cada local: lago do Amor ( $3,634 \pm 0,164$  mg/Kg) > Parque ecológico Sóter ( $2,233 \pm 0,289$  mg/Kg) > Parque ecológico águas do Prosa ( $1,560 \pm 0,084$  mg/Kg) > Parque ecológico Anhandui ( $1,133 \pm 0,107$  mg/Kg);

- Em relação a concentração de Ni quantificado nos excrementos das capivaras, a ordem decrescente é lago do Amor ( $5,475 \pm 0,216$  mg/Kg) > Parque ecológico Sóter ( $4,229 \pm 0,230$  mg/Kg) > Parque ecológico águas do Prosa ( $4,197 \pm 0,330$  mg/Kg) > Parque ecológico Anhandui ( $4,014 \pm 0,033$  mg/Kg);

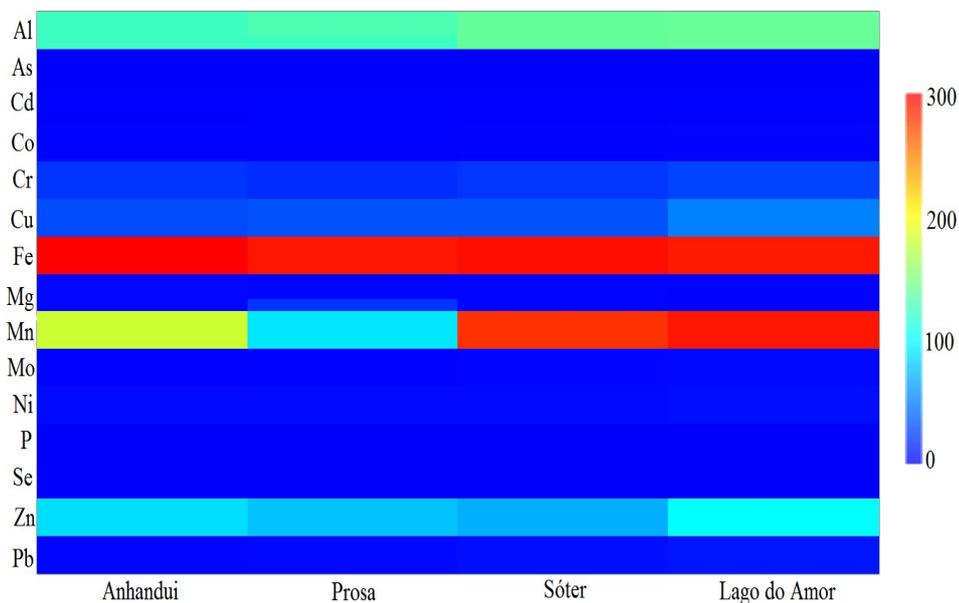
- A concentração de Zn quantificados nos excrementos segue a ordem decrescente de valores: lago do Amor ( $100,027 \pm 1,267$  mg/Kg) > Parque ecológico Sóter ( $68,889 \pm 0,829$  mg/Kg) > Parque ecológico águas do Prosa ( $76,320 \pm 2,100$  mg/Kg) > Parque ecológico Anhandui ( $87,495 \pm 1,16$  mg/Kg);

- Para os valores de concentrações de Pb nos excrementos dos animais estudados temos a seguinte ordem decrescente: lago do Amor ( $8,762 \pm 0,282$  mg/Kg) > Parque ecológico Sóter ( $6,016 \pm 0,679$  mg/Kg) > Parque ecológico águas do Prosa ( $3,3115 \pm 0,316$  mg/Kg) > Parque ecológico Anhandui ( $2,077 \pm 0,157$  mg/Kg).

**Tabela 2.** Concentração de elementos químicos quantificados nos excrementos de capivaras.

Elemento	Macro e microelementos em excrementos de capivaras (mg/Kg)			
	Parque ecológico Anhandui	Parque ecológico Águas do Prosa	Parque ecológico Águas do Sóter	Lago do Amor
Al	124,488 ± 0,763	130,443 ± 2,179	139,564 ± 0,669	140,322 ± 1,222
As	0,002760 ± 0,000155	0,004300 ± 0,000267	0,003691 ± 0,00020	0,010041 ± 0,00019
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
Ni	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

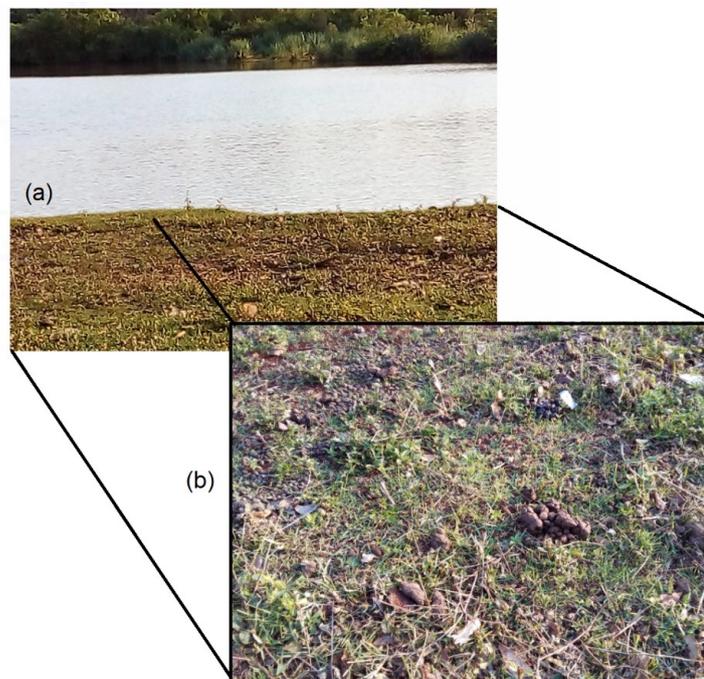
< LOD abaixo do limite de detecção; ND elemento não determinado.



**Figura 4.** Matrix plot: valores de concentrações de elementos quantificados nos excrementos de capivaras em função de cada local de coleta.

A ordem decrescente dos elementos dentro de um mesmo grupo e entre grupos não são iguais. Neste caso, tais diferenças de valores de concentrações de elementos químicos nos excrementos dos animais podem ser explicadas provavelmente devido aos diferentes tipos de vegetação dos diferentes locais. A capivara vive em ambientes como matas ciliares e em áreas abertas ou campos (ROCHA et al., 2017), porém, é um herbívoro que se alimenta de gramíneas e vegetação aquática, e de outros alimentos como milho e cana-de-açúcar (FERRAZ e VERDADE, 2001). Portanto, o tipo de vegetação/alimento disponível em cada Parque ecológico Anhandui, Parque ecológico águas do Prosa, Parque ecológico águas do Sóter e Lago do amor é um dos fatores importantes que podem influenciar nos nossos resultados.

A presença destes animais em parques ecológicos deve ser investigada, uma vez que a vegetação, a água e até mesmo as próprias fezes destes animais contaminam o ambiente, aumentando a presença e disponibilidade de metais pesados e outros elementos tóxicos. Conforme observado na Figura 5, é grande a quantidade de excremento próximo ao lago do Amor, localizado na Cidade Universitária da UFMS em Campo Grande, MS. Assim, a quantificação da bioacumulação e a biomagnificação de metais pesados nesses mamíferos pode ser utilizada para avaliar a saúde e a qualidade dos ambientes terrestres e aquáticos que representam habitats das capivaras (FERREIRA et al., 2010).



**Figura 5.** Lago do Amor, localizado dentro do Campus de Campo Grande, MS da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Fonte: O autor, 2023.

Embora não exista diferença estatística entre as medianas das concentrações de elementos químicos nas amostras, conforme podemos constatar a partir dos dados da Tabela 2 (ou Figura 4), a maior concentração de alguns elementos como As, As, Cd, Cr, Co, Cu, Mn, Mo, Ni, Zn e Pb 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 pode ser considerada uma fonte de armazenamento de resíduos químicos/produtos provenientes ou trazidos pelas águas de córregos como o Cabaça e Bandeira que por sua vez cortam a cidade de Campo Grande, MS e que podem estar poluídos devido a presença de esgotos, dejetos etc.

De acordo com o trabalho de Ramm (2015), no qual realizou um estudo envolvendo tecidos de capivaras mortas devido a atropelamentos próximas a uma rodovia, existe concentrações de elementos como Ag, Cd, Cu, Pb, e Zn no fígado, rim, gordura e músculo destes animais. E segundo o autor, o acúmulo de tais elementos justifica-se 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 destacado pelo autor é que a concentração de alguns elementos como Ag foi menor na primavera em relação às outras estações do ano. 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, água e plantas.

Os resultados da Tabela 2, 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 da cidade de Ružomberok e regiões montanhosas da cidade Kremnica da Eslováquia (HORT; MIKOLÁŠ; JANIGA, 2017). Embora esses animais sejam de diferentes países e diferentes espécies, é interessante sabermos o quanto os valores apresentados na Tabela 2 difere de outros estudos. Portanto, a partir das comparações constatou-se que a concentração de Cr nos excrementos de capivaras (Tabela 3) é maior que a obtida em 129 amostras de excrementos de veados cujo valor médio foi de 19,6 mg/Kg. Além disso, a concentração de Cu nos excrementos de capivara (Tabela 3) também é maior que os quantificados em 128 amostras de excrementos de veados (Cu 19,2 mg/Kg). Por outro lado, a concentração de Mo (Tabela 3) é menor que a encontrada em 128

amostras de excrementos de veados, cujo valor médio foi de 5,2 mg/Kg. Em relação a concentração de Zinco (Tabela 3), este é menor que aquelas obtidas pelos autores (HORT, MIKOLÁŠ, JANIGA, 2017) para este elemento que foi de 23.1 mg/Kg. Por fim, apenas os excrementos de animais estudados no Lago do amor apresentam valores de concentração de Pb 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, MIKOLÁŠ, JANIGA, 2017), alguns elementos como Cobalto, níquel, selênio, prata e mercúrio também foram analisados, porém, esses elementos não foram quantificados (abaixo do limite de detecção de detecção) em nenhuma das amostras medidas.

Em nosso estudo não foi quantificado o elemento P (Tabela 2), entretanto, os autores quantificaram este elemento em cinco amostras com média de 525,0 mg/Kg em todos os locais de estudo (HORT, MIKOLÁŠ, JANIGA, 2017); 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 2 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 excremento de veado vermelho (8 mg/Kg de Cd) e um de veado (9 mg/Kg de Cd), possuem valores acima dos valores obtidos para excrementos de capivara (Tabela 2).

Os nossos resultados possuem algumas limitações em não considerar a análise do solo, um maior número de amostragem de excrementos de animais e coletadas em diferentes estações do ano. Assim, novas pesquisas devem ser realizadas considerando um maior número de exemplares e 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 em relação os órgãos, tecidos e principalmente excrementos podem estar contaminados por metais pesados ou outros metaloides.

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 a disponibilidade de alimentação. Fato que pode até interferir nas concentrações de elementos quantificados nos excrementos, uma vez que a alimentação diária varia conforme as estações do ano.

## 5.2 Avaliação de risco à saúde humana

Ao longo da apresentação dos resultados, a ingestão involuntária de excrementos será denominada como “solo/excremento”. Tal escolha é justificada em partes baseada no trabalho de Rosas et al. (2011), no qual afirma que principalmente as crianças ingerem poeira e solo contaminado com material fecal de humanos e animais domésticos. Ou seja, os pisos ou tapetes atuam como um coletor de poeira contendo ácaros, bactérias e alérgenos, assim como fezes, todos provenientes principalmente de calçados. No trabalho de Rosas et al. (2011), uma atenção foi dada à inalação ou ingestão desses materiais em áreas urbanas, portanto, eles se tornam uma ameaça à saúde humana. Em adição, uma maior abrangência de humanos expostos a fezes de animais é fornecida no trabalho publicado por Penakalapati et al. (2017).

As fontes mais importantes de poluição fecal que afetam as superfícies do solo urbano são não pontuais (difusas) fontes de resíduos humanos e animais (domésticos e selvagens), relacionadas à falta de esgoto, vazamentos de esgoto, falha de fossa séptica, tanques, disposição inadequada de resíduos e lixo e fecalismo ao ar livre de humanos, cães, animais de estimação e outros animais, pois tudo isso é comum em países em desenvolvimento. Estas fontes originam uma dispersão aleatória de fezes materiais em áreas urbanas.

Os cálculos de dose e quociente de perigo alvo provenientes dos resultados da Tabela 2 são apresentados nas Tabelas 3-6, nos quais foram realizados considerando uma criança de 5 anos e adultos de 40 anos, expostos a pelo menos 350 dias/ano ao solo, poeira contendo excrementos e inalação. As Tabelas 3-4 mostram os resultados obtidos a partir das Eq. 1 (cálculo de dose de ingestão acidental de solo/excremento), Eq. 2 (inalação de partículas contaminadas: cálculo da dose) e Eq. 3 (contato dérmico com solo contaminado: cálculo da dose) aplicados aos dados obtidos da Tabela 2 (Concentração de elementos químicos quantificados nos excrementos de capivaras). Por outro lado, nas Tabelas 5-6 é apresentado os resultados de quociente de perigo alvo provenientes da ingestão, inalação e contato dérmico para crianças e adultos.

Os resultados das Tabelas 3 e 4 foram comparados com os Mínimos de Risco (MRLs) estabelecidos pela ATSDR (Agência para Substâncias Tóxicas e Registro de Doenças, Agency for Toxic Substances and Disease Registry) (ATSDR, 2023), que é uma estimativa da exposição humana diária a uma substância perigosa no meio ambiente que provavelmente não apresenta risco apreciável de efeitos adversos não cancerígenos à saúde durante um período de exposição especificado. Conforme ATSDR para duração, compreende-se como aguda = 1 a 14 dias, intermediária = 15 a 364 dias e crônica = 1 ano ou mais. Não existem valores inalatórios e dérmicos de Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Mo, Ni, Zn e Pb em

substâncias estabelecidos pela ATSDR em unidade de mg/Kg/dia. Diante da ausência de valores de dados inalatórios e dérmicos estabelecidos pela ATSDR, comparações dos dados nas Tabelas 4 e 5 serão realizadas.

Os valores de ingestão oral de Al considerando adultos e crianças nas Tabelas 3-4 são menores que aqueles estabelecidas pela MRLs/ATSDR para este elemento em substâncias perigosas (oral: duração crônica 1 mg/Kg/dia), assim como também são menores que a concentração de As estabelecida pela MRLs/ATSDR (oral: aguda  $5 \times 10^{-5}$  e crônica  $3 \times 10^{-3}$  mg/Kg/dia). Considerando apenas a ingestão oral intermediária, aguda e crônica, quando disponível.

Ao contrário dos valores de ingestão oral de excremento por crianças (Tabela 3) que estão abaixo daqueles estabelecidos pela MRLs/ATSDR para Cd (oral: Intermediário  $5,0 \times 10^{-4}$ , crônico  $1,0 \times 10^{-4}$ ), todos os valores de ingestão de Cd para adultos são maiores que os valores propostos pela MRLs/ATSDR (Tabela 4). Em relação a ingestão de solo/excremento contendo Co, os valores na Tabela 4 para crianças e adultos na Tabela 5 estão abaixo daqueles estabelecidos pela ATSDR (oral crônico  $1 \times 10^{-2}$ ). Quanto ao elemento Cr, os valores de ingestão no solo/excremento por crianças estão abaixo daqueles estabelecidos pela MRLs/ATSDR (oral  $9,0 \times 10^{-4}$ , e intermediário  $5 \times 10^{-3}$  mg/Kg/dia), enquanto para adultos tais valores são maiores que os estabelecidos pela MRLs/ATSDR por via oral.

As ingestões de Cu presente no solo/excremento para crianças são menores que os valores de ingestão oral considerado pela MRLs/ATSDR (crônico e agudo  $1 \times 10^{-2}$ ). Por outro lado, as ingestões deste elemento nas amostras de excrementos provenientes de todos os locais para adultos estão acima do valor estabelecido pela MRLs/ATSDR.

Os valores de ingestão oral de Mo, Ni e Zn em amostras solo/excrementos por crianças estão abaixo daqueles estabelecidos pela MRLs/ATSDR para Mo (0,06 mg/Kg/dia), Ni (Intermediário:  $2 \times 10^{-4}$ ; crônico  $9 \times 10^{-5}$ ) e Zn (Intermediário: e crônico: 0,3 mg/Kg/dia). Além disso, a ingestão para adultos de Zn e Mo são menores que valores de ingestão oral intermediária e crônica estabelecida pela MRLs/ATSDR. O elemento químico Ni apresentou concentração acima dos valores de ingestão oral intermediário e crônico estabelecidos pela MRLs/ATSDR.

Os valores de quociente de perigo devido a ingestão de excrementos contendo Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Mo, Ni, Zn e Pb em todos os locais foram menores que 1 para crianças (Tabela 4). Nos locais como Parque ecológico Anhandui, Parque ecológico águas do Prosa, Parque ecológico águas do Sóter e Lago do amor, Cd, Co e Cu excederam o valor de THQ > 1 para adultos, enquanto no Parque Prosa para Mn, e no Parque ecológico Anhandui para Pb, os valores de THQ < 1 não excederam valores acima de 1 considerando a ingestão de

adultos. Em todas os locais considerados, os valores de THQ foram geralmente mais altos para os adultos do que para as crianças, entretanto, devemos destacar que crianças são as mais vulneráveis devido ao tamanho corporal, especialmente a exposição à metais pesados.

O índice de perigo *HI* é menor que 1 (Tabela 5), não existindo potenciais efeitos adversos não carcinogênicos para a saúde de crianças de 5 anos. Por outro lado, na Tabela 6, o valor de *HI* excede 1, acarretando potenciais efeitos adversos não cancerígenos para a saúde de adultos com idade de 40 anos.

Excrementos de animais possuem metais pesados que podem causar danos a saúde humana através do consumo de água, alimentos e até mesmo contato oral, inalatório e dérmico. Assim, a presença de elementos como Cd, Co e Cu nos excrementos de capivaras é um indicativo de potencial risco à saúde de usuários de parques ou espaço físicos destinados a recreação e prática de atividades físicas (ZHANG et al., 2012). Através do esterco, os íons metálicos podem contaminar as águas residuais de criação de gado, reduzindo drasticamente seu potencial de reciclagem para irrigação. De fato, estudos realizados na China, mostraram que existe um nível significativo dos teores de metais pesados como Cu, Zn, As, Cr, Cd e Pb quantificados em rações e estrumes de animais (total 104 rações e 118 amostras de esterco animal) de diferentes fazendas e tamanhos de rebanho no nordeste da China (HEJNA et al., 2021).

Elementos como Hg, Pb, Cr, Cd e As têm sido os metais pesados mais comuns que induzem intoxicações humanas. Intoxicações agudas ou crônicas podem ocorrer após a exposição através da água, ar e alimentos. A bioacumulação desses metais pesados leva a uma diversidade de efeitos tóxicos em uma variedade de tecidos e órgãos do corpo. Em nosso estudo, devido ao simples fato de uma criança de 5 anos ou adultos de 40 anos levar a mão a boca, ingestões não intencionais de excrementos de animais contendo metais pode ocorrer.

Além da ingestão oral, a via inalatória é outro caminho para ocorrer a contaminação por metais pesados. Estudos considerando a inalação de poeira contendo metais pesados foram realizados por vários autores (HAN et al., 2017; BANERJEE, 2003; AHMED e ISHIGA, 2006) e avaliações de riscos à saúde humana devido a exposição a elevado níveis de Ba, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, V, Zn, As, Hg e Cd em poeiras de parques e praças da China mostraram que os parques são moderadamente poluídos, expondo pessoas a possíveis contaminações por metais pesados (HAN et al., 2017). Outros estudos sugerem que existe uma associação entre a poluição do ar por material particulado e doenças gastrointestinais. Além da deposição direta, o material particulado pode ser depositado indiretamente na orofaringe via depuração mucociliar e na deglutição de saliva e muco (MUTLU et al., 2018). Portanto, outro ponto a ser considerado é a presença de excrementos junto a poeira inalada.

Nesta dissertação devido a escassez de informação de estudos envolvendo a inalação de excrementos de animais, consideramos que excrementos de capivaras podem ser inaladas da mesma forma que partículas de poeiras no ar e sob as condições apresentadas na Eq. 2, para isso, a concentração de excrementos foi considerada igual ao de partículas no ar conforme condições típicas da USEPA (1992). Portanto, a partir dos resultados obtidos constatou-se que existem possíveis riscos à saúde humana de usuários desses espaços devido a ingestão inalatória.

A absorção dérmica (Tabela 5-6) também é um risco subsequente à saúde. De acordo com ZHENG et al., 2010, elementos como Hg, Pb Cd, Zn e Cu quando em contato dérmico através da poeira podem causar danos a saúde (ZHENG et al., 2010). Os valores de concentrações de Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Mo, Ni, Zn e Pb em excremento de animais quando comparados com o contato dérmico para crianças e adultos, possui valores abaixo daqueles para ingestão oral e inalatória. Entretanto, devemos deixar claro que não existem níveis seguros para elementos como As, Cd, Mo, Ni e Pb independente da via de exposição.

Pesquisas futuras devem avaliar comportamentos relacionados a pontos de contato com fezes de animais; contaminação fecal animal com alimentos; comportamentos culturais de manejo fecal dos animais; riscos agudos e crônicos à saúde associados à exposição a fezes de animais e fatores que influenciam as concentrações e taxas de excreção de patógenos originários de fezes de animais.

**Tabela 3.** Dose diária de macro e microelementos (mg/Kg/dia) por via de exposição oral (solo/excremento), inalatória e contato dérmico de crianças devido o contato com excrementos de capivaras, comparados com o MRLs/ATSDR (2023).

Elemento	Parque ecológico Anhandui	Parque ecológico águas do Prosa	Parque ecológico águas do Sóter	Lago do amor	Mínimos de Risco (MRLs)/ ATSDR (mg/Kg/dia)
Al	Doral=3,62x10 <sup>-6</sup> Dinal=2,027x10 <sup>-8</sup> Ddermi=2,03x10 <sup>-12</sup>	Doral=3,80x10 <sup>-6</sup> Dinal=2,12x10 <sup>-8</sup> Ddermi=2,12x10 <sup>-12</sup>	Doral= 4,064x10 <sup>-6</sup> Dinal=2,27x10 <sup>-8</sup> Ddermi=2,27x10 <sup>-12</sup>	Doral=4,08x10 <sup>-6</sup> Dinal=2,28x10 <sup>-8</sup> Ddermi=2,29x10 <sup>-12</sup>	oral: duração crônica 1
As	Doral=7,86x10 <sup>-11</sup> Dinal=4,495x10 <sup>-13</sup> Ddermi=4,50x10 <sup>-17</sup>	Doral=1,25x10 <sup>-10</sup> Dinal=7,0x10 <sup>-13</sup> Ddermi=7,01x10 <sup>-17</sup>	Doral=1,075x10 <sup>-10</sup> Dinal=6,01x10 <sup>-13</sup> Ddermi=6,02x10 <sup>-17</sup>	Doral=2,914x10 <sup>-10</sup> Dinal=1,628x10 <sup>-12</sup> Ddermi=2,29x10 <sup>-12</sup>	oral: aguda 5x10 <sup>-5</sup> e crônica 3x10 <sup>-3</sup>
Cd	Doral=1,22x10 <sup>-8</sup> Dinal=6,82x10 <sup>-11</sup> Ddermi=6,84x10 <sup>-15</sup>	Doral=2,739x10 <sup>-8</sup> Dinal=1,53x10 <sup>-10</sup> Ddermi=1,53x10 <sup>-14</sup>	Doral=1,655x10 <sup>-8</sup> Dinal=9,25x10 <sup>-11</sup> Ddermi=9,27x10 <sup>-15</sup>	Doral=3,03x10 <sup>-8</sup> Dinal=1,69x10 <sup>-10</sup> Ddermi=1,70x10 <sup>-14</sup>	oral: intermediário 5,0x10 <sup>-4</sup> , crônico 1,0x10 <sup>-4</sup>
Co	Doral=4,27x10 <sup>-8</sup> Dinal=2,38x10 <sup>-10</sup> Ddermi=2,39x10 <sup>-14</sup>	Doral=2,96x10 <sup>-8</sup> Dinal=1,65x10 <sup>-10</sup> Ddermi=1,66x10 <sup>-14</sup>	Doral=5,176x10 <sup>-8</sup> Dinal=2,89x10 <sup>-10</sup> Ddermi=2,89x10 <sup>-14</sup>	Doral=5,671x10 <sup>-8</sup> Dinal=3,16x10 <sup>-10</sup> Ddermi=3,17x10 <sup>-14</sup>	oral: crônico 1x10 <sup>-2</sup>
Cr	Doral=5,90x10 <sup>-7</sup> Dinal=3,30x10 <sup>-9</sup> Ddermi=3,30x10 <sup>-13</sup>	Doral=5,13x10 <sup>-7</sup> Dinal=2,86x10 <sup>-9</sup> Ddermi=2,87x10 <sup>-13</sup>	Doral=6,23x10 <sup>-7</sup> Dinal=3,48x10 <sup>-9</sup> Ddermi=3,49x10 <sup>-13</sup>	Doral=7,830x10 <sup>-7</sup> Dinal=4,37x10 <sup>-9</sup> Ddermi=7,38x10 <sup>-13</sup>	oral 9,0x10 <sup>-4</sup> , e intermediário 5x10 <sup>-3</sup>
Cu	Doral=8,72x10 <sup>-7</sup> Dinal=4,87x10 <sup>-9</sup> Ddermi=4,88x10 <sup>-13</sup>	Doral=9,51x10 <sup>-7</sup> Dinal=5,313x10 <sup>-9</sup> Ddermi=5,32x10 <sup>-13</sup>	Doral=9,47x10 <sup>-7</sup> Dinal=5,29x10 <sup>-9</sup> Ddermi=5,30x10 <sup>-13</sup>	Doral=1,47x10 <sup>-6</sup> Dinal=8,26x10 <sup>-9</sup> Ddermi=8,28x10 <sup>-13</sup>	oral: crônico e agudo 1x10 <sup>-2</sup>
Fe	Doral=8,75x10 <sup>-6</sup> Dinal=4,89x10 <sup>-8</sup>	Doral=8,50x10 <sup>-6</sup> Dinal=4,75x10 <sup>-8</sup>	Doral=8,60x10 <sup>-6</sup> Dinal=4,80x10 <sup>-8</sup>	Doral=8,46x10 <sup>-6</sup> Dinal=4,72x10 <sup>-8</sup>	oral: Não estabelecidos valores

	$D_{dermi}=4,90 \times 10^{-12}$	$D_{dermi}=4,76 \times 10^{-12}$	$D_{dermi}=4,81 \times 10^{-12}$	$D_{dermi}=4,739 \times 10^{-12}$	
Mg	Doral= $7,19 \times 10^{-8}$ Dinal= $4,02 \times 10^{-10}$ $D_{dermi}=4,03 \times 10^{-14}$	Doral= $6,06 \times 10^{-6}$ Dinal= $3,38 \times 10^{-10}$ $D_{dermi}=3,39 \times 10^{-14}$	Doral= $5,72 \times 10^{-8}$ Dinal= $3,19 \times 10^{-10}$ $D_{dermi}=3,20 \times 10^{-14}$	Doral= $4,88 \times 10^{-8}$ Dinal= $2,731 \times 10^{-10}$ $D_{dermi}=2,73 \times 10^{-14}$	oral: Não estabelecidos valores
Mn	Doral= $5,25 \times 10^{-6}$ Dinal= $2,93 \times 10^{-8}$ $D_{dermi}=2,94 \times 10^{-12}$	Doral= $2,63 \times 10^{-6}$ Dinal= $1,473 \times 10^{-8}$ $D_{dermi}=1,47 \times 10^{-12}$	Doral= $8,19 \times 10^{-6}$ Dinal= $4,577 \times 10^{-8}$ $D_{dermi}=4,58 \times 10^{-12}$	Doral= $8,49 \times 10^{-6}$ Dinal= $4,747 \times 10^{-8}$ $D_{dermi}=4,75 \times 10^{-12}$	oral: Não estabelecidos valores
Mo	Doral= $3,30 \times 10^{-8}$ Dinal= $1,84 \times 10^{-10}$ $D_{dermi}=1,84 \times 10^{-14}$	Doral= $4,54 \times 10^{-8}$ Dinal= $2,540 \times 10^{-10}$ $D_{dermi}=2,54 \times 10^{-14}$	Doral= $6,50 \times 10^{-8}$ Dinal= $3,636 \times 10^{-10}$ $D_{dermi}=3,64 \times 10^{-14}$	Doral= $1,05 \times 10^{-7}$ Dinal= $5,91 \times 10^{-10}$ $D_{dermi}=5,93 \times 10^{-14}$	intermediário: 0,06
Ni	Doral= $1,16 \times 10^{-7}$ Dinal= $6,53 \times 10^{-10}$ $D_{dermi}=6,55 \times 10^{-14}$	Doral= $1,22 \times 10^{-7}$ Dinal= $6,83 \times 10^{-10}$ $D_{dermi}=6,85 \times 10^{-14}$	Doral= $1,23 \times 10^{-7}$ Dinal= $6,88 \times 10^{-10}$ $D_{dermi}=6,90 \times 10^{-14}$	Doral= $1,59 \times 10^{-7}$ Dinal= $9,817 \times 10^{-10}$ $D_{dermi}=8,93 \times 10^{-14}$	intermediário: $2 \times 10^{-4}$ ; crônico $9 \times 10^{-5}$
Zn	Doral= $2,55 \times 10^{-6}$ Dinal= $1,425 \times 10^{-8}$ $D_{dermi}=1,42 \times 10^{-12}$	Doral= $2,22 \times 10^{-6}$ Dinal= $1,24 \times 10^{-8}$ $D_{dermi}=1,24 \times 10^{-12}$	Doral= $2,0 \times 10^{-6}$ Dinal= $1,12 \times 10^{-8}$ $D_{dermi}=1,12 \times 10^{-12}$	Doral= $2,91 \times 10^{-6}$ Dinal= $1,62 \times 10^{-8}$ $D_{dermi}=1,63 \times 10^{-12}$	intermediário: e crônico: 0,3
Pb	Doral= $6,05 \times 10^{-8}$ Dinal= $3,38 \times 10^{-10}$ $D_{dermi}=3,39 \times 10^{-14}$	Doral= $9,651 \times 10^{-8}$ Dinal= $5,39 \times 10^{-10}$ $D_{dermi}=5,40 \times 10^{-14}$	Doral= $1,75 \times 10^{-7}$ Dinal= $9,79 \times 10^{-10}$ $D_{dermi}=9,81 \times 10^{-14}$	Doral= $2,55 \times 10^{-7}$ Dinal= $1,42 \times 10^{-9}$ $D_{dermi}=1,43 \times 10^{-13}$	oral: Não estabelecidos valores

**Tabela 4.** Dose diária de macro e microelementos (mg/Kg/dia) por via de exposição oral (solo/excremento), inalatória e contato dérmico de adultos devido o contato com excrementos de capivaras, comparados com o MRLs/ATSDR (2023).

Elemento	Parque ecológico Anhandui	Parque ecológico águas do Prosa	Parque ecológico águas do Sóter	Lago do amor	Mínimos de Risco (MRLs)/ ATSDR (mg/Kg/dia)
Al	Doral=0,168 Dinal= $2,48 \times 10^{-8}$ Ddermi= $6,73 \times 10^{-13}$	Doral=0,177 Dinal= $2,60 \times 10^{-8}$ Ddermi= $7,059 \times 10^{-13}$	Doral=0,189 Dinal= $2,78 \times 10^{-8}$ Ddermi= $7,55 \times 10^{-13}$	Doral=0,190 Dinal= $2,798 \times 10^{-8}$ Ddermi= $7,59 \times 10^{-13}$	oral: duração crônica 1
As	Doral= $3,66 \times 10^{-6}$ Dinal= $5,50 \times 10^{-13}$ Ddermi= $1,46 \times 10^{-17}$	Doral= $5,83 \times 10^{-6}$ Dinal= $8,557 \times 10^{-13}$ Ddermi= $2,23 \times 10^{-17}$	Doral= $5,0 \times 10^{-6}$ Dinal= $7,18 \times 10^{-13}$ Ddermi= $1,94 \times 10^{-17}$	Doral= $1,36 \times 10^{-5}$ Dinal= $1,99 \times 10^{-12}$ Ddermi= $5,41 \times 10^{-17}$	oral: aguda $5 \times 10^{-5}$ e crônica $3 \times 10^{-3}$
Cd	Doral= $5,68 \times 10^{-4}$ Dinal= $8,36 \times 10^{-11}$ Ddermi= $2,26 \times 10^{-15}$	Doral= $1,27 \times 10^{-3}$ Dinal= $1,87 \times 10^{-10}$ Ddermi= $5,08 \times 10^{-15}$	Doral= $7,70 \times 10^{-4}$ Dinal= $1,13 \times 10^{-10}$ Ddermi= $3,07 \times 10^{-15}$	Doral= $1,41 \times 10^{-3}$ Dinal= $2,07 \times 10^{-10}$ Ddermi= $5,63 \times 10^{-15}$	oral: intermediário $5.0 \times 10^{-4}$ , crônico $1.0 \times 10^{-4}$
Co	Doral= $1,98 \times 10^{-3}$ Dinal= $2,92 \times 10^{-10}$ Ddermi= $7,93 \times 10^{-15}$	Doral= $1,38 \times 10^{-3}$ Dinal= $2,03 \times 10^{-10}$ Ddermi= $5,51 \times 10^{-15}$	Doral= $2,40 \times 10^{-3}$ Dinal= $3,54 \times 10^{-10}$ Ddermi= $9,611 \times 10^{-15}$	Doral= $2,63 \times 10^{-3}$ Dinal= $3,88 \times 10^{-10}$ Ddermi= $1,05 \times 10^{-14}$	oral: crônico $1 \times 10^{-2}$
Cr	Doral=0,0270 Dinal= $4,04 \times 10^{-9}$ Ddermi= $1,09 \times 10^{-13}$	Doral=0,0238 Dinal= $3,51 \times 10^{-9}$ Ddermi= $9,52 \times 10^{-14}$	Doral=0,0290 Dinal= $4,26 \times 10^{-9}$ Ddermi= $1,15 \times 10^{-13}$	Doral=0,0364 Dinal= $5,35 \times 10^{-9}$ Ddermi= $1,45 \times 10^{-13}$	oral $9,0 \times 10^{-4}$ , e intermediário $5 \times 10^{-3}$
Cu	Doral=0,0406 Dinal= $5,97 \times 10^{-9}$ Ddermi= $1,62 \times 10^{-13}$	Doral=0,044 Dinal= $6,50 \times 10^{-9}$ Ddermi= $1,75 \times 10^{-13}$	Doral=0,0442 Dinal= $6,48 \times 10^{-9}$ Ddermi= $1,75 \times 10^{-13}$	Doral=0,0688 Dinal= $1,01 \times 10^{-8}$ Ddermi= $2,74 \times 10^{-13}$	oral: crônico e agudo $1 \times 10^{-2}$
Fe	Doral=0,407 Dinal= $5,99 \times 10^{-8}$	Doral=0,395 Dinal= $5,81 \times 10^{-8}$	Doral=0,400 Dinal= $5,88 \times 10^{-8}$	Doral=0,393 Dinal= $5,79 \times 10^{-8}$	oral: não estabelecidos valores

	Ddermi=1,62x10 <sup>-12</sup>	Ddermi=1,57x10 <sup>-12</sup>	Ddermi=1,59x10 <sup>-12</sup>	Ddermi=1,57x10 <sup>-12</sup>	
Mg	Doral=3,35x10 <sup>-3</sup>	Doral=2,82x10 <sup>-3</sup>	Doral=2,66x10 <sup>-3</sup>	Doral=2,27x10 <sup>-3</sup>	oral: não estabelecidos valores
	Dinal=4,92x10 <sup>-10</sup>	Dinal=4,14x10 <sup>-10</sup>	Dinal=3,91x10 <sup>-10</sup>	Dinal=3,34x10 <sup>-10</sup>	
	Ddermi=1,33x10 <sup>-14</sup>	Ddermi=1,12x10 <sup>-14</sup>	Ddermi=1,06x10 <sup>-14</sup>	Ddermi=9,07x10 <sup>-15</sup>	
Mn	Doral=0,244	Doral=0,122	Doral=0,381	Doral=0,395	oral: Não estabelecidos valores
	Dinal=3,59x10 <sup>-8</sup>	Dinal=1,80x10 <sup>-8</sup>	Dinal=5,60x10 <sup>-8</sup>	Dinal=5,81x10 <sup>-8</sup>	
	Ddermi=9,75x10 <sup>-13</sup>	Ddermi=4,89x10 <sup>-13</sup>	Ddermi=1,52x10 <sup>-12</sup>	Ddermi=1,57x10 <sup>-12</sup>	
Mo	Doral=1,53x10 <sup>-3</sup>	Doral=2,11x10 <sup>-3</sup>	Doral=3,02x10 <sup>-3</sup>	Doral=4,92x10 <sup>-3</sup>	intermediário: 0,06
	Dinal=2,25x10 <sup>-10</sup>	Dinal=3,11x10 <sup>-10</sup>	Dinal=4,45x10 <sup>-10</sup>	Dinal=7,24x10 <sup>-10</sup>	
	Ddermi=6,13x10 <sup>-15</sup>	Ddermi=8,44x10 <sup>-15</sup>	Ddermi=1,20x10 <sup>-14</sup>	Ddermi=1,966x10 <sup>-14</sup>	
Ni	Doral=5,44x10 <sup>-3</sup>	Doral=5,69x10 <sup>-3</sup>	Doral=5,735x10 <sup>-3</sup>	Doral=7,42x10 <sup>-3</sup>	intermediário: 2x10 <sup>-4</sup> ; crônico 9x10 <sup>-5</sup>
	Dinal=8,0x10 <sup>-10</sup>	Dinal=8,37x10 <sup>-10</sup>	Dinal=8,43x10 <sup>-10</sup>	Dinal=1,09x10 <sup>-9</sup>	
	Ddermi=2,17x10 <sup>-14</sup>	Ddermi=2,29x10 <sup>-14</sup>	Ddermi=2,29x10 <sup>-14</sup>	Ddermi=2,96x10 <sup>-14</sup>	
Zn	Doral=0,118	Doral=0,103	Doral=0,0934	Doral=0,135	intermediário: e crônico: 0,3
	Dinal=1,74x10 <sup>-8</sup>	Dinal=1,52x10 <sup>-8</sup>	Dinal=1,31x10 <sup>-8</sup>	Dinal=1,999x10 <sup>-8</sup>	
	Ddermi=4,73x10 <sup>-13</sup>	Ddermi=4,13x10 <sup>-13</sup>	Ddermi=3,72x10 <sup>-13</sup>	Ddermi=5,41x10 <sup>-13</sup>	
Pb	Doral=2,81x10 <sup>-3</sup>	Doral=4,21x10 <sup>-3</sup>	Doral=8,159x10 <sup>-3</sup>	Doral=0,011	oral: não estabelecidos valores
	Dinal=4,14x10 <sup>-10</sup>	Dinal=6,60x10 <sup>-10</sup>	Dinal=1,19x10 <sup>-9</sup>	Dinal=1,74x10 <sup>-9</sup>	
	Ddermi=1,12x10 <sup>-14</sup>	Ddermi=1,79x10 <sup>-14</sup>	Ddermi=3,25x10 <sup>-14</sup>	Ddermi=4,74x10 <sup>-14</sup>	

**Tabela 5.** Cálculo de THQ devido a ingestão acidental de solo, inalação e contato dérmico de crianças devido o contato com excrementos de capivaras.

<b>Elemento</b>	<b>Parque ecológico Anhandui</b>	<b>Parque ecológico águas do Prosa</b>	<b>Parque ecológico águas do Sóter</b>	<b>Lago do amor</b>
Al	THQDoral=3,62x10 <sup>-6</sup> THQDinal=4,054x10 <sup>-6</sup> THQDdermi=2,03x10 <sup>-12</sup>	THQDoral=3,80x10 <sup>-6</sup> THQDinal=4,24x10 <sup>-6</sup> THQDdermi=2,12x10 <sup>-12</sup>	THQDoral= 4,064x10 <sup>-6</sup> THQDinal=4,54x10 <sup>-6</sup> THQDdermi=2,27x10 <sup>-12</sup>	THQDoral=4,08x10 <sup>-6</sup> THQDinal=4,56x10 <sup>-6</sup> THQDdermi=2,29x10 <sup>-12</sup>
As	THQDoral=2,62x10 <sup>-7</sup> THQDinal=2,99x10 <sup>-8</sup> THQDdermi=1,50x10 <sup>-13</sup>	THQDoral=4,16x10 <sup>-7</sup> THQDinal=4,66x10 <sup>-8</sup> THQDdermi=2,33x10 <sup>-13</sup>	THQDoral=3,58x10 <sup>-7</sup> THQDinal=4,0x10 <sup>-8</sup> THQDdermi=2,0x10 <sup>-13</sup>	THQDoral=9,71x10 <sup>-7</sup> THQDinal=1,08x10 <sup>-7</sup> THQDdermi=7,63x10 <sup>-15</sup>
Cd	THQDoral=1,22x10 <sup>-4</sup> THQDinal=6,82x10 <sup>-6</sup> THQDdermi=5,47x10 <sup>-10</sup>	THQDoral=2,739x10 <sup>-4</sup> THQDinal=1,53x10 <sup>-5</sup> THQDdermi=1,22x10 <sup>-9</sup>	THQDoral=1,655x10 <sup>-4</sup> THQDinal=9,25x10 <sup>-6</sup> THQDdermi=7,41x10 <sup>-10</sup>	THQDoral=3,03x10 <sup>-4</sup> THQDinal=1,69x10 <sup>-5</sup> THQDdermi=1,36x10 <sup>-9</sup>
Co	THQDoral=4,42x10 <sup>-4</sup> THQDinal=3,96x10 <sup>-5</sup> THQDdermi=7,96x10 <sup>-11</sup>	THQDoral=9,86x10 <sup>-5</sup> THQDinal=2,75x10 <sup>-5</sup> THQDdermi=5,53x10 <sup>-11</sup>	THQDoral=1,72x10 <sup>-4</sup> THQDinal=4,81x10 <sup>-5</sup> THQDdermi=9,63x10 <sup>-11</sup>	THQDoral=1,89x10 <sup>-4</sup> THQDinal=5,26x10 <sup>-5</sup> THQDdermi=1,05x10 <sup>-10</sup>
Cr	THQDoral=3,93x10 <sup>-7</sup> THQDinal=1,15x10 <sup>-4</sup> THQDdermi=1,69x10 <sup>-11</sup>	THQDoral=3,42x10 <sup>-7</sup> THQDinal=9,86x10 <sup>-5</sup> THQDdermi=1,47x10 <sup>-11</sup>	THQDoral=4,15x10 <sup>-7</sup> THQDinal=1,21x10 <sup>-4</sup> THQDdermi=1,78x10 <sup>-11</sup>	THQDoral=5,22x10 <sup>-7</sup> THQDinal=1,52x10 <sup>-4</sup> THQDdermi=3,78x10 <sup>-11</sup>
Cu	THQDoral=2,18x10 <sup>-5</sup> THQDinal=121,75 THQDdermi=1,22x10 <sup>-11</sup>	THQDoral=2,37x10 <sup>-5</sup> THQDinal=1,32x10 <sup>-7</sup> THQDdermi=1,33x10 <sup>-11</sup>	THQDoral=2,36x10 <sup>-6</sup> THQDinal=1,32x10 <sup>-7</sup> THQDdermi=1,32x10 <sup>-11</sup>	THQDoral=3,67x10 <sup>-5</sup> THQDinal=2,06x10 <sup>-7</sup> THQDdermi=2,07x10 <sup>-11</sup>
Fe	THQDoral=1,25x10 <sup>-5</sup> Dinal= RfD = 0** THQDdermi=5,75x10 <sup>-14</sup>	THQDoral=1,21x10 <sup>-5</sup> Dinal= RfD = 0** THQDdermi=6,8x10 <sup>-12</sup>	THQDoral=1,22x10 <sup>-5</sup> Dinal= RfD = 0** THQDdermi=6,87x10 <sup>-12</sup>	THQDoral=1,20x10 <sup>-5</sup> Dinal= RfD = 0** THQDdermi=6,77x10 <sup>-12</sup>

Mg	Doral=RfD = 0* Dinal= RfD = 0** Ddermi= RfD = 0***	Doral=RfD = 0* Dinal= RfD = 0** Ddermi= RfD = 0***	Doral=RfD = 0* Dinal= RfD = 0** Ddermi= RfD = 0***	Doral=RfD = 0* Dinal= RfD = 0** Ddermi= RfD = 0***
Mn	THQDoral=2,18x10 <sup>-5</sup> THQDinal=5,86x10 <sup>-4</sup> THQDdermi=3,06x10 <sup>-9</sup>	THQDoral=1,09x10 <sup>-5</sup> THQDinal=2,946x10 <sup>-4</sup> THQDdermi=1,53x10 <sup>-9</sup>	THQDoral=3,41x10 <sup>-5</sup> THQDinal=9,15x10 <sup>-4</sup> THQDdermi=4,77x10 <sup>-9</sup>	THQDoral=3,53,49x10 <sup>-5</sup> THQDinal=9,49x10 <sup>-4</sup> THQDdermi=4,94x10 <sup>-9</sup>
Mo	THQDoral=6,6x10 <sup>-6</sup> THQDinal=9,20x10 <sup>-8</sup> THQDdermi=3,68x10 <sup>-12</sup>	THQDoral=9,08x10 <sup>-6</sup> THQDinal=1,27x10 <sup>-7</sup> THQDdermi=5,08x10 <sup>-12</sup>	THQDoral=1,3x10 <sup>-5</sup> THQDinal=1,81x10 <sup>-7</sup> THQDdermi=7,28x10 <sup>-12</sup>	THQDoral=2,1x10 <sup>-5</sup> THQDinal=2,95x10 <sup>-7</sup> THQDdermi=1,18x10 <sup>-11</sup>
Ni	THQDoral=1,05x10 <sup>-7</sup> THQDinal=3,26x10 <sup>-5</sup> THQDdermi=1,21x10 <sup>-11</sup>	THQDoral=1,10x10 <sup>-7</sup> THQDinal=3,41x10 <sup>-5</sup> THQDdermi=1,26x10 <sup>-11</sup>	THQDoral=1,11x10 <sup>-7</sup> THQDinal=3,44x10 <sup>-5</sup> THQDdermi=1,27x10 <sup>-11</sup>	THQDoral=1,44x10 <sup>-7</sup> THQDinal=4,90x10 <sup>-5</sup> THQDdermi=1,65x10 <sup>-11</sup>
Zn	THQDoral=8,5x10 <sup>-6</sup> THQDinal=4,75x10 <sup>-8</sup> THQDdermi=4,73x10 <sup>-12</sup>	THQDoral=7,4x10 <sup>-6</sup> THQDinal=4,13x10 <sup>-8</sup> THQDdermi=4,13x10 <sup>-12</sup>	THQDoral=6,66x10 <sup>-6</sup> THQDinal=3,73x10 <sup>-8</sup> THQDdermi=3,73x10 <sup>-12</sup>	THQDoral=9,7x10 <sup>-6</sup> THQDinal=5,40x10 <sup>-8</sup> THQDdermi=5,43x10 <sup>-12</sup>
Pb	THQDoral=2,01x10 <sup>-5</sup> THQDinal=1,69x10 <sup>-6</sup> THQDdermi=8,47x10 <sup>-13</sup>	THQDoral=3,21x10 <sup>-5</sup> THQDinal=2,69x10 <sup>-6</sup> THQDdermi=1,35x10 <sup>-12</sup>	THQDoral=5,83x10 <sup>-5</sup> THQDinal=4,89x10 <sup>-6</sup> THQDdermi=2,45x10 <sup>-12</sup>	THQDoral=8,5x10 <sup>-5</sup> THQDinal=7,1x10 <sup>-6</sup> THQDdermi=3,57x10 <sup>-12</sup>
HI	HIoral < 1 HIinal < 1 HIdermi < 1			

Nota: \*Não existem valores de RfD para ingestão oral em unidade de mg/Kg/dia, \*\* Não existem valores de RfD para ingestão inalatória em unidade de mg/Kg/dia; \*\*\* Não existem valores de RfD para exposição dérmica.

**Tabela 6.** Cálculo de THQ devido a ingestão acidental de solo, inalação e contato dérmico para adultos devido o contato com excrementos de capivaras.

Elemento	Parque ecológico Anhandui	Parque ecológico águas do Prosa	Parque ecológico águas do Sóter	Lago do amor
Al	THQDoral=0,168 THQDinal=4,96x10 <sup>-6</sup> THQDdermi=6,73x10 <sup>-13</sup>	THQDoral=0,177 THQDinal=5,20x10 <sup>-6</sup> THQDdermi=7,059x10 <sup>-13</sup>	THQDoral=0,189 THQDinal=5,56x10 <sup>-6</sup> THQDdermi=7,55x10 <sup>-13</sup>	THQDoral=0,190 THQDinal=5,59x10 <sup>-6</sup> THQDdermi=7,59x10 <sup>-13</sup>
As	THQDoral=0,0122 THQDinal=3,66x10 <sup>-8</sup> THQDdermi=4,86x10 <sup>-14</sup>	THQDoral=0,019 THQDinal=5,70x10 <sup>-8</sup> THQDdermi=7,43x10 <sup>-14</sup>	THQDoral=0,016 THQDinal=4,78x10 <sup>-8</sup> THQDdermi=6,46x10 <sup>-14</sup>	THQDoral=4,53x10 <sup>-3</sup> THQDinal=1,32x10 <sup>-7</sup> THQDdermi=1,80x10 <sup>-13</sup>
Cd	THQDoral=5,68 THQDinal=8,36x10 <sup>-6</sup> THQDdermi=1,80x10 <sup>-10</sup>	THQDoral=12,7 THQDinal=1,87x10 <sup>-5</sup> THQDdermi=4,06x10 <sup>-10</sup>	THQDoral=7,70 THQDinal=1,13x10 <sup>-5</sup> THQDdermi=2,45x10 <sup>-10</sup>	THQDoral=14,1 THQDinal=2,07x10 <sup>-5</sup> THQDdermi=4,50x10 <sup>-10</sup>
Co	THQDoral=6,60 THQDinal=4,86x10 <sup>-5</sup> THQDdermi=2,64x10 <sup>-11</sup>	THQDoral=4,60 THQDinal=3,38x10 <sup>-5</sup> THQDdermi=1,83x10 <sup>-11</sup>	THQDoral=8,0 THQDinal=5,9x10 <sup>-5</sup> THQDdermi=3,20x10 <sup>-11</sup>	THQDoral=8,66 THQDinal=6,46x10 <sup>-5</sup> THQDdermi=305x10 <sup>-11</sup>
Cr	THQDoral=0,0180 THQDinal=1,41x10 <sup>-4</sup> THQDdermi=5,58x10 <sup>-12</sup>	THQDoral=0,015 THQDinal=1,22x10 <sup>-4</sup> THQDdermi=4,88x10 <sup>-12</sup>	THQDoral=0,019 THQDinal=1,48x10 <sup>-4</sup> THQDdermi=5,89x10 <sup>-12</sup>	THQDoral=0,0242 THQDinal=1,87x10 <sup>-4</sup> THQDdermi=7,43x10 <sup>-12</sup>
Cu	THQDoral=1,015 THQDinal=1,49x10 <sup>-7</sup> Ddermi=1,62x10 <sup>-13</sup>	THQDoral=1,10 THQDinal=1,62x10 <sup>-7</sup> Ddermi=1,75x10 <sup>-13</sup>	THQDoral=1,105 THQDinal=1,62x10 <sup>-7</sup> Ddermi=1,75x10 <sup>-13</sup>	THQDoral=1,72 THQDinal=2,52x10 <sup>-7</sup> Ddermi=2,74x10 <sup>-13</sup>
Fe	THQDoral=0,58 Dinal= RfD = 0**	THQDoral=0,56 Dinal= RfD = 0**	THQDoral=0,57 Dinal= RfD = 0**	THQDoral=0,56 Dinal= RfD = 0**

	THQDdermi=4,05x10 <sup>-12</sup>	THQDdermi=3,92x10 <sup>-11</sup>	THQDdermi=3,97x10 <sup>-11</sup>	THQDdermi=3,92x10 <sup>-11</sup>
Mg	Doral=RfD = 0*	Doral=RfD = 0*	Doral=RfD = 0*	Doral=RfD = 0*
	Dinal= RfD = 0**	Dinal= RfD = 0**	Dinal= RfD = 0**	Dinal= RfD = 0**
	Ddermi= RfD = 0***	Ddermi= RfD = 0***	Ddermi= RfD = 0***	Ddermi= RfD = 0***
Mn	THQDoral=1,01	THQDoral=0,508	THQDoral=1,58	THQDoral=1,64
	THQDinal=7,18x10 <sup>-4</sup>	THQDinal=3,60x10 <sup>-4</sup>	THQDinal=1,12x10 <sup>-3</sup>	THQDinal=1,16x10 <sup>-3</sup>
	THQDdermi=1,01x10 <sup>-9</sup>	THQDdermi=5,09x10 <sup>-10</sup>	THQDdermi=1,58x10 <sup>-9</sup>	THQDdermi=1,63x10 <sup>-9</sup>
Mo	THQDoral=0,306	THQDoral=0,422	THQDoral=0,604	THQDoral=0,984
	THQDinal=1,125x10 <sup>-7</sup>	THQDinal=1,55x10 <sup>-7</sup>	THQDinal=2,22x10 <sup>-7</sup>	THQDinal=3,62x10 <sup>-7</sup>
	THQDdermi=2,44x10 <sup>-10</sup>	THQDdermi=3,36x10 <sup>-10</sup>	THQDdermi=4,80x10 <sup>-10</sup>	THQDdermi=3,93x10 <sup>-12</sup>
Ni	THQDoral=4,94x10 <sup>-3</sup>	THQDoral=5,17x10 <sup>-3</sup>	THQDoral=5,21x10 <sup>-3</sup>	THQDoral=6,74x10 <sup>-3</sup>
	THQDinal=4,0x10 <sup>-5</sup>	THQDinal=4,18x10 <sup>-5</sup>	THQDinal=4,21x10 <sup>-5</sup>	THQDinal=5,45x10 <sup>-5</sup>
	THQDdermi=4,01x10 <sup>-12</sup>	THQDdermi=4,24x10 <sup>-12</sup>	THQDdermi=4,24x10 <sup>-12</sup>	THQDdermi=5,48x10 <sup>-12</sup>
Zn	THQDoral=0,393	THQDoral=0,343	THQDoral=0,31	THQDoral=0,45
	THQDinal=5,8x10 <sup>-8</sup>	THQDinal=5,06x10 <sup>-8</sup>	THQDinal=4,36x10 <sup>-8</sup>	THQDinal=6,63x10 <sup>-8</sup>
	THQDdermi=1,57x10 <sup>-12</sup>	THQDdermi=1,37x10 <sup>-12</sup>	THQDdermi=1,243x10 <sup>-12</sup>	THQDdermi=1,80x10 <sup>-12</sup>
Pb	THQDoral=0,936	THQDoral=1,40	THQDoral=2,71	THQDoral=3,66
	THQDinal=2,07x10 <sup>-6</sup>	THQDinal=3,30x10 <sup>-6</sup>	THQDinal=5,95x10 <sup>-6</sup>	THQDinal=8,7x10 <sup>-6</sup>
	THQDdermi=2,80x10 <sup>-13</sup>	THQDdermi=4,47x10 <sup>-13</sup>	THQDdermi=8,12x10 <sup>-13</sup>	THQDdermi=1,18x10 <sup>-12</sup>
HI	HIoral > 1	HIoral > 1	HIoral > 1	HIoral > 1
	HIinal < 1	HIinal < 1	HIinal < 1	HIinal < 1
	HIdermi < 1	HIdermi < 1	HIdermi < 1	HIdermi < 1

Nota: \*Não existem valores de RfD para ingestão oral em unidade de mg/Kg/dia, \*\* Não existem valores de RfD para ingestão inalatória em unidade de mg/Kg/dia; \*\*\* Não existem valores de RfD para exposição dérmica

## 6. CONCLUSÃO

Os níveis de concentrações de Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Mo, Ni, Zn e Pb foram quantificados em amostras de excrementos de capivaras (*Hydrochaeris hydrochaeris*) que habitam no Parque ecológico Anhandui, Parque ecológico águas do Prosa, Parque ecológico águas do Sóter e Lago do amor, localizados no perímetro urbano em Campo Grande, MS.

Maiores concentrações de As, As, Cd, Cr, Co, Cu, Mn, Mo, Ni, Zn e Pb foram quantificadas nos excrementos dos animais que vivem próximos ao Lago do Amor, fato este explicado devido que o lago é um reservatório e que recebe água de córregos locais possivelmente poluídos devido a interferências antropogênicas. Alguns elementos químicos quantificados nos excrementos destes animais estudados possuem concentrações superiores aos encontrados em outras espécies.

Potenciais riscos à saúde de adultos e crianças podem ocorrer devido à presença Al, Cd, Co, As, Cu e Mn através da ingestão oral involuntária de excrementos, via inalatório e dérmico.

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 BIBLIOGRÁFICAS

ABD-ELHAMID, H.F.; ABD-ELMONEEM, S.M.; ABDELAAL, G.M.; ZELENKOVA, M.; VRANAYOVA, Z.; ABD-ELATY, I. Investigating and Managing the Impact of Using Untreated Wastewater for Irrigation on the Groundwater Quality in Arid and Semi-Arid Regions. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2021, 18, 7485

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). MINIMAL RISK LEVELS (MRLs). April 2023. MRLs in draft Toxicological Profiles are provisional. Acesso em: 02 jul. 2023. Disponível em: <https://wwwn.cdc.gov/TSP/MRLS/mrlsListing.aspx>

ADEWOLE, D.I.; KIM, I.H.; NYACHOTI, C.M. 2016. Gut health of pigs: challenge models and response criteria with a critical analysis of the effectiveness of selected feed additives - A Review. *Asian-Australas J Anim Sci.* 29:909–924.

AHMED F., ISHIGA H. Trace metal concentrations in street dusts of Dhaka city, Bangladesh. *Atmos. Environ.* 2006; 40:3835–3844. doi: 10.1016/j.atmosenv.2006.03.004.

ALHO, C.J. R. CRIAÇÃO E MANEJO DE CAPIVARAS EM PEQUENAS PROPRIEDADES RURAIS. Departamento de Difusão de Tecnologia, Brasília, DF 1986.

Alliance for Human Relevant Science Accelerating the Growth of Human Relevant Life Sciences in the United Kingdom. Acesso em: 05 ago 2023. Disponível em: <https://www.humanrelevantscience.org/white-papers/>

AL HAMED, F.H.; KANDHAN, K.; LIU, Y.; REN, M.; JALEEL, A.; ALYAFEI, M.A.M. Wastewater Irrigation: A Promising Way for Future Sustainable Agriculture and Food Security in the United Arab Emirates. *Water* 2023, 15, 2284. <https://doi.org/10.3390/w15122284>

ALMEIDA, A. M. R. et al. Capivaras (*Hydrochoerus hydrochaeris*, Linnaeus, 1766) (Mammalia: Rodentia) em áreas verdes do município de Curitiba (PR). *Estudos de Biologia, Curitiba*, v. 35, n. 84, p. 9-16, 2013.

AL-MEFLEH, N.K.; OTHMAN, Y.A.; TADROS, M.J.; AL-ASSAF, A.; TALOZI, S. An assessment of treated greywater reuse in irrigation on growth and protein content of *Prosopis* and *Albizia*. *Horticulturae* 2021, 7.

ANDERSON, K.L.; WHITLOCK, J.E.; HARWOOD, V.J. Persistence and differential survival of fecal indicator bacteria in subtropical waters and sediments. *Appl. Environ. Microbiol.* 2005, 71, pp. 3041–3048.

ANDREW S.H., JOHNSON M.S. AND COOKE J.A., Cadmium in small mammals from grassland established on metalliferous mine waste, *Environmental Pollution Ser A*, 33, 153-162 (1984).

ANDREEV, N.; RONTELTAP, M.; BOINCEAN, B.; WERNLI, M.; ZUBCOV, E.; BAGRIN, N.; BORODIN, N.; LENS, P.N.L. Lactic acid fermentation of human urine to improve its fertilizing value and reduce odour emissions. **J. Environ. Manag.** 2017, 198, 63–69.

AZAM I, AFSHEEN S, ZIA A, JAVED M, SAEED R, SARWAR MK, MUNIR B. Evaluating Insects as Bioindicators of Heavy Metal Contamination and Accumulation near Industrial Area of Gujrat, Pakistan. *Biomed Res Int.* 2015;2015:942751.

BHATIA, S. N. & INGBER, D. E. Microfluidic organs-on-chips. *Nat. Biotechnol.* **32**, 760–772 (2014).

AZEEZ J.O., ADEKUNLE I.O., ATIKU O.O., AKANDE K.B., JAMIU-AZEEZ S.O. Effect of nine years of animal waste deposition on profile distribution of heavy metals in Abeokuta, South-western Nigeria and its implication for environmental quality. *Waste Manag.* 2009, vol.29, pp.2582–2586.

BANERJEE A.D.K. Heavy metal levels and solid phase speciation in street dusts of Delhi India. *Environ. Pollut.* 2003;123:95–105. doi: 10.1016/S0269-7491(02)00337-8.

BARTELME, R.P.; OYSERMAN, B.O.; BLOM, J.E.; SEPULVEDA-VILLET, O.J.; NEWTON, R.J. Stripping Away the Soil: Plant Growth Promoting Microbiology Opportunities in Aquaponics. **Front. Microbiol.** 2018, vol.9, pp. 8.

BARTOSOVA, M., GLOVINOVA, E.; POVOLNY, D. Use of flesh-flies (Diptera, Sarcophagidae) for ecotoxicological bioindication. *Ekol.-Bratislava*, v. 16, p. 319-322, 1997.

BEYER WN, GASTON G, BRAZZLE R, CONNELL AF AND AUDET DJ. Deer exposed to exceptionally high concentrations of lead near the Continental Mine in Idaho, USA. **Environ. Toxicol. Chem.** 2007, 26, pp.1040-1046.

BIANCO, K.; ALBANO, R. M.; OLIVEIRA, S.S.A.; NASCIMENTO, A.P.A.; THAÍS DOS SANTOS, T.; CLEMENTINO, M.M. Possible health impacts due to animal and human fecal pollution in water intended for drinking water supply of Rio de Janeiro, Brazil. *Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA* 69.1 2020.

BORGES, L.V.; COLARES, I. G. Feeding Habits of Capybaras (*Hydrochoerus hydrochaeris*, Linnaeus 1766), in the Ecological Reserve of Taim (ESEC -Taim) - South of Brazil. *Brazilian archives of biology and technology.* Vol.50, n. 3: pp.409-416 May 2007.

BERGLUND, Å.M.M.; KOIVULA, M.; EEVA, T. Species- and age-related variation in metal exposure and accumulation of two passerine bird species. *Environ. Pollut.* 2011, 159, 2368–2374.

BONUTI, M.R.; NASCIMENTO, A.A.; MAPELLI, A.B.; ARANTES, I.G. Helintos gastrintestinais de capivaras (*Hydrochoerus hydrochaeris*) na sub-região de Paiaguás, Pantanal do Mato Grosso do Sul, Brasil. *Semina: Ciências Agrárias, Londrina*, v. 23, n. 1, p. 57-62, jan./jun. 2002

BRIFFA, J.; SINAGRA, E.; BLUNDELL, 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>.

BROWN, K.S. Diversity, disturbance, and sustainable use of Neotropical forests: insects as indicators for conservation monitoring. **Journal of Insect Conservation** 1, 25–42 (1997). <https://doi.org/10.1023/A:1018422807610>

BRIFFA, J.; SINAGRA, E.; BLUNDELL, 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>.

CANG, L.; WANG, Y.J.; ZHOU, D.M.; DONG, Y.H. Heavy metals pollution in poultry and livestock feeds and manures under intensive farming in Jiangsu Province, **China. J. Environ. Sci.** 2004;**16**:371–374.

CASOTTI, G.; BRAUN, E.J. Protein location and elemental composition of urine spheres in different avian species. *J. Exp. Zool.* 2004, 301, 579–587.

CLAPP, J.B.; BEVAN, R.M.; SINGLETON, I. Avian Urine: Its Potential as a Non-Invasive Biomonitor of Environmental Metal Exposure in Birds. *Water Air Soil Pollut.* 2012, 223, 3923–3938.

CLARK D.R. JR., Lead concentrations: bats vs terrestrial mammals collected near a major highway, *Environmental Science & Technology*, 3, 338-341 (1979).

CROUCH, N.M.A.; LYNCH, V.M.; CLARKE, J.A. A re-evaluation of the chemical composition of avian urinary excreta. *J. Ornithol.* 2019, 161, 17–24.

DIAMANT, A. Ecology of the acanthocephalan *Sclerocollum rubrimaris* Schmidt and Paperna, 1978 (Rhadinorhynchidae: Gorgorhynchinae) from wild populations of rabbitfish (genus *Siganus*) in the northern Red Sea. *J. Fish. Biol.* 1989, 34, 387–397.

DURAL, M.; GÖKSU, M.L.; ÖZAK, A.A.; DERICI, B. Bioaccumulation of some heavy metals in different tissues of *Dicentrarchus labrax* L, 1758, *Sparus aurata* L, 1758 and *Mugil cephalus* L, 1758 from the Camlik lagoon of the eastern coast of mediterranean (turkey). *Environ. Monit. Assess.* 2006, 118, 65–74.

DZUGAN M, ZIELINSKA S, HECLIK J, PIENIAZEK M AND SZOSTEK M. Evaluation of heavy metals environmental contamination based on their concentrations in tissues of wild pheasant (*Phasianus colchicums* L). *J. Microbiol. Biotech. Food Sci.* 2012, 2 (1), pp. 238-245.

EMBRAPA, 2003. Embrapa vende primeiro lote de capivaras adultas para abate no Sul do Brasil. Acesso em: 13 ago. 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/17950202/embrapa-vende-primeiro-lote-de-capivaras-adultas-para-abate-no-sul-do-brasil>.

EEVA T, RAIVIKKO N, ESPÍN S, SÁNCHEZ-VIROSTA P, RUUSKANEN S, SORVARI J, RAINIO M. Bird Feces as Indicators of Metal Pollution: Pitfalls and Solutions. *Toxics*. 2020 Dec 18;8(4):124. doi: 10.3390/toxics8040124

ELDER A., NORDBERG G.F., KLEINMAN M. Chapter 3—Routes of Exposure, Dose, and Toxicokinetics of Metals, *Handbook on the Toxicology of Metals*. 4th ed. Elsevier B.V.; Amsterdam, The Netherlands: 2015. pp. 45–74.

ESPÍN, S.; GARCÍA-FERNÁNDEZ, A.J.; HERZKE, D.; SHORE, R.F.; VAN HATTUM, B.; MARTÍNEZ-LÓPEZ, E.; COEURDASSIER, M.; EULAERS, I.; FRITSCH, C.; GÓMEZ-RAMÍREZ, P.; et al. Tracking pan-continental trends in environmental contamination using sentinel raptors—What types of samples should we use? *Ecotoxicology* 2016, 25, 777–801.

FERRAZ, K. P. M. B; VERDADE, L.M. 2001. *Ecologia Comportamental da Capivara: Bases Biológicas para o Manejo da Espécie*. Sociedade Brasileira de Zootecnia. Estado de São Paulo, p. 589 – 595, 2001.

FERREIRA, A.P.; HORTA, M.A.P.; CUNHA, C.L.N. Avaliação das concentrações de metais pesados no sedimento, na água e nos órgãos de *Nycticorax nycticorax* (Garça-da-noite) na Baía de Sepetiba, RJ, Brasil *Revista da Gestão Costeira Integrada*, 10 (2) (2010), pp. 229-241

FELIX, GISELE APARECIDA. Dissertação de mestrado: COMPORTAMENTO ALIMENTAR E QUALIDADE DE CARNE DE CAPIVARA (*Hydrochoerus hydrochaeris* Linnaeus, 1766) DE VIDA LIVRE, EM ÁREAS AGRÍCOLAS. Dourados/MS, UFGD, 2012, 81f. Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Ibiara Correia de Lima Almeida Paz.

FOMCHENKO EK, HOLLAND EC Modelos de ratos de tumores cerebrais e suas aplicações em ensaios pré-clínicos. *Clin Cancer Res*. 2006; 12 :5288–5297.

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

GOATER, T.M.; GOATER, C.P.; ESCH, G.W. *Parasitism: The Diversity and Ecology of Animal Parasites*; Cambridge University Press: Cambridge, UK, 2014.

GLASSMEYER, S.T.; FURLONG, E.T.; KOLPIN, D.W.; Cahill, J.D.; Zaugg, S.D.; Werner, S.L.; Meyer, M.T.; Kryak, D.D. Transport of chemical and microbial compounds from known wastewater discharges: Potential for use as indicators of human fecal contamination. *Environ. Sci. Technol*. 2005, 39, pp. 5157–5169.

Global Analysis and Research Trends. *Water* 2022, 14, 2685. <https://doi.org/10.3390/w14172685>

GREEN, S.B. Can animal data translate to innovations necessary for a new era of patient-centred and individualised healthcare? Bias in preclinical animal research. *BMC Med Ethics*. 2015 Jul 28;16:53. doi: 10.1186/s12910-015-0043-7. PMID: 26215508; PMCID: PMC4517563.

GUAN T.X., HE H.B., ZHANG X.D., BAI Z. Cu fractions, mobility and bioavailability in soil-wheat system after Cu-enriched livestock manure applications. *Chemosphere*. 2011;82:215–222. doi: 10.1016/j.chemosphere.2010.10.018.

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

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

HACKAM D.G., REDELMEIER D.A. Translation of research evidence from animals to humans. *JAMA*. 2006;296:1731–1732.

HAN X, LU X; QINGGELETU; WU Y. Health Risks and Contamination Levels of Heavy Metals in Dusts from Parks and Squares of an Industrial City in Semi-Arid Area of China. *Int J Environ Res Public Health*. 2017 Aug 7;14(8):886. doi: 10.3390/ijerph14080886

HEALTH CANADA, 2004, Federal contaminated site risk assessment in Canada: Guidance on human health preliminary quantitative risk assessment (PQRA), version 3.0. 2021, ISBN: 978-0-660-37620-2. <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/environmental-workplace-health/reports-publications/contaminated-sites/federal-contaminated-site-risk-assessment-canada-part-guidance-human-health-preliminary-quantitative-risk-assessment-pqra-version-2-0.html>

Health Canada. 2007 (draft). Federal Contaminated Site Risk Assessment in Canada. Part I: Guidance on Human Health Preliminary Quantitative Risk Assessment. Version 2.0. Table adapted from Health Canada's PQRA model (Health Canada 2004)

HEJNA M, ONELLI E, MOSCATELLI A, BELLOTTO M, CRISTIANI C, STROPPA N, ROSSI L. Heavy-Metal Phytoremediation from Livestock Wastewater and Exploitation of Exhausted Biomass. *Int J Environ Res Public Health*. 2021 Feb 24;18(5):2239. doi: 10.3390/ijerph18052239.

HORT, J.; MIKOLÁŠ P.; JANIGA, 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.

HUTCHINSON I, OWEN C, BAILEY J. Modernizing Medical Research to Benefit People and Animals. *Animals (Basel)*. 2022 May 3;12(9):1173. doi: 10.3390/ani12091173. PMID: 35565599; PMCID: PMC9100373.

ISHIHARA, N.; MATSUSHIRO, T. Biliary and Urinary Excretion of Metals in Humans. *Arch. Environ. Health Int. J.* 1986, 41, 324–330.

HEJNA, M.; MOSCATELLI, A.; ONELLI, E.; BALDI, A.; PILU, S.; ROSSI, L. Evaluation of concentration of heavy metals in animal rearing system, *Italian Journal of Animal Science*, 2019,18, 1, 1372-1384.

JACOMASSA, F.A.F. ATIVIDADE, USO DE AMBIENTES, COMPORTAMENTO E DENSIDADE DE CAPIVARA *HYDROCHOERUS HYDROCHAERIS* (LINNAEUS, 1766) (MAMMALIA: RODENTIA: CAVIIDAE) NO PANTANAL DO MIRANDA, MS. *BIODIVERSIDADE PAMPEANA*. PUCRS, Uruguaiana, 8(1): 46-49, dez. 2010.

KALISÍNSKA, E. *Mammals and Birds as Bioindicators of Trace Element Contaminations in Terrestrial Environments: An Ecotoxicological Assessment of the Northern Hemisphere*; Springer International Publishing: Berlin/Heidelberg, Germany, 2019.

KHATRIN, TYAGI S. 2015. Influences of natural and anthropogenic factors on surface and groundwater quality in rural and urban areas. *Front Life Sci.* 8(1):23–39. doi: 10.1080/21553769.2014.933716

KARKMAN, A.; PÄRNÄNEN, K.; LARSSON, D.J. Fecal pollution can explain antibiotic resistance gene abundances in anthropogenically impacted environments. *Nat. Commun.* 2019, 10, pp. 80

KHALID, S.; SHAHID, M.; NATASHA, I.; SARWAR, T.; SHAH, A.; NIAZI, N. A Review of Environmental Contamination and Health Risk Assessment of Wastewater Use for Crop Irrigation with a Focus on Low and High-Income Countries. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2018, 15, 895

KOUSHOLT, B.S.; PRÆSTEGAARD, K.F.; STONE, J.C.; THOMSEN, A.F.; JOHANSEN, T.T, RITSKES-HOITINGA M, WEGENER G. Reporting quality in preclinical animal experimental research in 2009 and 2018: A nationwide systematic investigation. *PLoS One.* 2022 Nov 3;17(11):e0275962. doi: 10.1371/journal.pone.0275962.

KWONG LH, ERCUMEN A, PICKERING AJ, ARSENAULT JE, ISLAM M, PARVEZ SM, UNICOMB L, RAHMAN M, DAVIS J, LUBY SP. Ingestion of Fecal Bacteria along Multiple Pathways by Young Children in Rural Bangladesh Participating in a Cluster-Randomized Trial of Water, Sanitation, and Hygiene Interventions (WASH Benefits). *Environ Sci Technol.* 2020 Nov 3;54(21):13828-13838. doi: 10.1021/acs.est.0c02606.

LI Y.X., LI W., WU J., XU L.C., SU Q.H., XIONG X. Contribution of additive Cu to its accumulation in pig feces: Study in Beijing and Fuxin of China. *J. Environ. Sci.* 2007;19:610–615. doi: 10.1016/S1001-0742(07)60101-6

LOW, L. A., MUMMERY, C., BERRIDGE, B. R., AUSTIN, C. P. & TAGLE, D. A. Organs-on-chips: into the next decade. *Nat. Rev. Drug. Discov.* 20, 345–361 (2021).

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

LEUNG, C.M., DE HAAN, P., RONALDSON-BOUCHARD, K. et al. A guide to the organ-on-a-chip. *Nat Rev Methods Primers* 2, 33 (2022). <https://doi.org/10.1038/s43586-022-00118-6>

PETKUVIENE, J.; VAICIUTE, D.; KATARZYTE, M.; GECAITE, I.; ROSSATO, G.; VYBERNAITE-LUBIENE, I.; BARTOLI, M. Feces from piscivorous and herbivorous birds stimulate differentially phytoplankton growth. *Water* 2019, vol. 11, pp. 2567

PRADHAN, S.K.; COFIE, O.; NIKIEMA, J.; HEINONEN-TANSKI, H. Fecal sludge derived products as fertilizer for lettuce cultivation in urban agriculture. *Sustainability* 2019, vol. 11, pp. 7101

PRÜSS-ÜSTÜN, A. AND CORVALÁN, C. (2006) Preventing Disease through Health Environments. Towards an Estimate of the Environmental Burden of Disease. WHO, Geneva.

MACLEOD M, MOHAN S. Reproducibility and Rigor in Animal-Based Research. *ILAR J.* 2019 Dec 31;60(1):17-23. doi: 10.1093/ilar/ilz015. PMID: 31687758; PMCID: PMC7275809

MARKOV, G., KOCHEVA, M. & GOSPODINOVA, M. Assessment of Heavy Metal Accumulation in the Golden Jackal (*Canis aureus*) as a Possible Bioindicator in an Agricultural Environment in Bulgaria. *Bull Environ Contam Toxicol* 96, 458–464 (2016). <https://doi.org/10.1007/s00128-016-1754-2>

MARTÍNEZ-HARO, M.; TAGGART, M.A.; LEFRANC, H.; MARTIN-DOIMEADIOS, R.C.; GREEN, A.J.; MATEO, R. Monitoring of Pb exposure in waterfowl ten years after a mine spill through the use of noninvasive sampling. *PLoS ONE* 2013, 8, e57295

MORANTE-CARBALLO, F.; MONTALVÁN-BURBANO, N.; QUIÑONEZ-BARZOLA, X.; JAYA-MONTALVO, M.; CARRIÓN-MERO, P. What Do We Know about Water Scarcity in Semi-Arid Zones? A Global Analysis and Research Trends. *Water* 2022, 14, 2685.

MOSCARDO, G., HUGHES, K. Rethinking Interpretation to Support Sustainable Tourist Experiences in Protected Natural Areas, *Journal of Interpretation Research*, 10.1177/10925872231158988, 28, 1, (76-94), (2023).

MUTLU EA, COMBA IY, CHO T, ENGEN PA, YAZICI C, SOBERANES S, HAMANAKA RB, NIĞDELIOĞLU R, MELITON AY, GHIO AJ, BUDINGER GRS, MUTLU GM. Inhalational exposure to particulate matter air pollution alters the composition of the gut microbiome. *Environ Pollut.* 2018 Sep;240:817-830. doi: 10.1016/j.envpol.2018.04.130

NAM, D.H.; LEE, D.P. Monitoring for Pb and Cd pollution using feral pigeons in rural, urban, and industrial environments of Korea. *Sci. Total Environ.* 2006, 357, 288–295

NASCIMENTO, A.A.; BONUTI, M.R.; TEBALDI, J.H.; MAPELI, E.B.; ARANTES, I.G. Natural infections with filarioidea nematodes in *Hydrochaerus hydrochaeris* in the

floodplain of Mato Grosso do Sul, Brazil. *Basic Sciences*, Braz. J. Vet. Res. Anim. Sci. 37 (2), 2000

PEAKALL, D.; BURGER, J. Methodologies for assessing exposure to metals: Speciation, bioavailability of metals, and ecological host factors. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2003, 56, 110–121.

PENAKALAPATI G, SWARTHOUT J, DELAHOY MJ, MCALILEY L, WODNIK B, LEVY K, FREEMAN MC. Exposure to Animal Feces and Human Health: A Systematic Review and Proposed Research Priorities. *Environ Sci Technol.* 2017 Oct 17;51(20):11537-11552

PEREL, P.; ROBERTS, I.; SENA, E. et al. Comparison of treatment effects between animal experiments and clinical trials: systematic review. *BMJ*, 334 (2007), pp. 197-203

POKORNY B AND RIBARIC LC. 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.* 2000, 64(1): 20-26

QURESHI, A.S. Challenges and Prospects of Using Treated Wastewater to Manage Water Scarcity Crises in the Gulf Cooperation Council (GCC) Countries. *Water* 2020, 12, 1971. <https://doi.org/10.3390/w12071971>

RADINGOANA, M.; DUBE, T.; MAZVIMAVI, D. Progress in greywater reuse for home gardening: Opportunities, perceptions and challenges. *Phys. Chem. Earth* 2020, 116, 102853

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

RINALD, A. R. Ecologia de capivaras (*Hydrochaerus hydrochaeris*, Linnaeus, 1766) em região alterada pela formação de um reservatório hidrelétrico. 203 f. Tese (Doutorado em Ecologia e Conservação) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

ROBERTS R.D. AND JOHNSON M.S., Dispersal of heavy metals from abandoned mine working and their transference through terrestrial food chains, *Environmental Pollution*, 16, 293-310 (1978)

ROCHA, V.J.; SEKIAMA, M.L.; GONÇALVES, D.D.; SAMPIERI, R.; BARBOSA, G.P. ; DIAS, T.C.; ROSSI, H.R.; SOUZA, P.F.P. Capivaras (*Hydrochoerus hydrochaeris*) e a presença do carrapato *Amblyomma sculptum* no campus da UFSCAR-Araras São Paulo. *Cienc. Anim. Bras.*, 8 (2017), pp. 1-15

RONALDSON-BOUCHARD, K.; VUNJAK-NOVAKOVIC, G. Organs-on-a-chip: a fast track for engineered human tissues in drug development. *Cell Stem Cell* 22, 310–324 (2018)

ROUX K.E.; MARRA, P.P. The Presence and Impact of Environmental Lead in Passerine Birds along an Urban to Rural Land Use Gradient. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 2007, 53, pp. 261-268

SANDERFOOT, O.V.; HOLLOWAY, T. Air pollution impacts on avian species via inhalation exposure and associated outcomes. Environ. Res. Lett. 2017, 12, 083002.

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.

REHMAN, F.; SUBYANI, A.M.; CHEEMA, T.; HARBI, H.M.; AZEEM, T.; NASEEM, A.A.; ULLAH, M.F.; RIAZ, O.; UR REHMAN, S. Contribution to the comparative study of treated and untreated wastewater: A case study (Wadi Fatima and Al Misk Lake) in Saudi Arabia. Arab. J. Geosci. 2020, 13, 842

ROSAS, I.; AMA´BILE-CUEVAS, C.F.; CALVA, E.; OSORNIO-VARGAS, A.R. Animal and Human Waste as Components of Urban Dust Pollution: Health Implications, Encyclopedia of Environmental Health, Elsevier,2011 Elsevier B.V. pp. 75-82

SADEGHI, M.; GHASEMPOURI, S.M.; BAHRAMIFAR, N. Xenobiotic and essential metals biomonitoring by feathers: Molting pattern and feather regrowth sequence in four dominant waterfowl. Int. J. Environ. Sci. Technol. 2017, 16, 125–134

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

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

SMITH, P.N.; COBB, G.P.; GODARD-CODDING, C.A.; HOFF, D.; MCMURRY, S.T.; RAINWATER, T.R.; REYNOLDS, K.D. Contaminant exposure in terrestrial vertebrates. Environ. Pollut. 2007, 150, 41–64

SINGH VP, PRATAP K, SINHA J, DESIRAJU K, BAHAL D, KUKRETI R. Critical evaluation of challenges and future use of animals in experimentation for biomedical research. Int J Immunopathol Pharmacol. 2016 Dec;29(4):551-561. doi: 10.1177/0394632016671728. Epub 2016 Sep 30. PMID: 27694614; PMCID: PMC5806838

SU C, ZHANG J, LI Z, ZHAO Q, LIU K, SUN Y, WANG J. Accumulation and Depletion of Cadmium in the Blood, Milk, Hair, Feces, and Urine of Cows During and

After Treatment. *Biol Trace Elem Res.* 2017 Jan;175(1):122-128. doi: 10.1007/s12011-016-0747-7. Epub 2016 May 23. PMID: 27216021

SILVA, L.G.; SIQUEIRA, N.M.C.; GAMA, D.B.F.; MARTINS, J.V.S.; LIMA, R.O.; OLIVEIRA, L.V.; MATEUS, R. G.; RITA, P.H.S. Termografia de capivaras (*Hydrochoerus hydrochaeris*) do perímetro urbano de Campo Grande-MS. v. 13 No. 03 p. 148 (2019)

SHEN, Y.; REN, L.; LI, G.; CHEN, T.; GUO, R. Influence of aeration on CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O and NH<sub>3</sub> emissions during aerobic composting of a chicken manure and high C/N waste mixture. *Waste Manag.* 2011, 31, 33–38

SURES, B., NACHEV, M., SELBACH, C. et al. Parasite responses to pollution: what we know and where we go in ‘Environmental Parasitology’. *Parasites Vectors* 10, 65 (2017). <https://doi.org/10.1186/s13071-017-2001-3>

TONETTI, A. M.; BIONDI, D. Dieta de capivara (*Hydrochoerus hydrochaeris*, Linnaeus, 1766) em ambiente urbano, Parque Municipal Tingui, Curitiba-PR. *Acta Veterinaria Brasilica, Mossoró*, v. 9, n. 4, p. 316-326, 2015.

TROEGER, C.; BLACKER, B.F.; KHALIL, I.A.; RAO, P.C.; CAO, S.; ZIMSEN, S.R.; ALBERTSON, S.B.; STANAWAY, J.D.; DESHPANDE, A.; ABEBE, Z. Estimates of the global, regional, and national morbidity, mortality, and aetiologies of diarrhoea in 195 countries: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016. *Lancet Infect. Dis.* 2018, 18, 1211–1228

USEPA (United States Environmental Protection Agency). Basic Information about Lead Air Pollution . Disponível em: <https://www.epa.gov/lead-air-pollution/basic-information-about-lead-air-pollution#how>, acessado em: 03/10/2022

USEPA (United States Environmental Protection Agency). Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I: Human Health Evaluation Manual (Part E, Supplemental Guidance for Dermal Risk Assessment) Final, Office of Superfund Remediation and Technology Innovation U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC , 2004.

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

USEPA (United States Environmental Protection Agency). 1989 Guidance Manual for Assessing Human Health Risks from Chemically Contaminated Fish and Shellfish.

USEPA (United States Environmental Protection Agency). Guidelines for Exposure Assessment (1992). U.S. Environmental Protection Agency, Risk Assessment Forum, Washington, DC, EPA/600/Z-92/001, 1992.

VAN DEN BERG, R. (1995) Human Exposure to Soil Contamination: A Qualitative

and Quantitative Analysis towards Proposals for Human Toxicological Intervention Values. RIVM Report No. 725201011. National Institute of Public Health and Environmental Protection (RIVM), Bilthoven.

VAN NORMAN, G.A. Limitations of Animal Studies for Predicting Toxicity in Clinical Trials: Is it Time to Rethink Our Current Approach?, *JACC: Basic to Translational Science*, Volume 4, Issue 7, 2019, Pages 845-854, ISSN 2452-302X, <https://doi.org/10.1016/j.jacbts.2019.10.008>

VOLLERT J, SCHENKER E, MACLEOD M, BESPALOV A, WUERBEL H, MICHEL M, DIRNAGL U, POTSCHKA H, WALDRON AM, WEVER K, STECKLER T, VAN DE CASTEELE T, ALTEVOGT B, SIL A, Rice ASC; EQIPD WP3 study group members. Systematic review of guidelines for internal validity in the design, conduct and analysis of preclinical biomedical experiments involving laboratory animals. *BMJ Open Sci.* 2020 Apr 15;4(1):e100046. doi: 10.1136/bmjos-2019-100046. PMID: 35047688; PMCID: PMC8647591.

YANG, Q.; et al. Bioavailability and health risk of toxic heavy metals (As, Hg, Pb and Cd) in urban soils: A Monte Carlo simulation approach. *Environmental Research*, v.214, n. 1, p. 113772, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113772>.

ZHANG F, LI Y, YANG M, LI W. Content of heavy metals in animal feeds and manures from farms of different scales in northeast China. *Int J Environ Res Public Health.* 2012 Aug;9(8):2658-68. doi: 10.3390/ijerph9082658.

ZHENG N, LIU J, WANG Q, LIANG Z. Health risk assessment of heavy metal exposure to street dust in the zinc smelting district, Northeast of China. *Sci Total Environ.* 2010 Jan 15;408(4):726-33.

VARDANYAN, L.; SCHMIEDER, K.; SAYADYAN, H.; HEEGE, T.; HEBLINSKI, J.; AGYEMANG, T.; DE, J.; BREUER, J. Heavy metal accumulation by certain aquatic macrophytes from Lake Sevan (Armenia). In *Proceedings of Taal 2007, the 12th World Lake Conference: 1020–1038*; Sengupta, M., Dalwani, R., Eds.; Ministry of Environment and Forests, Government of India: New Delhi, India, 2008.

WANG B., GRAY G. Concordance of noncarcinogenic endpoints in rodent chemical bioassays. *Risk Anal.* 2015;35:1154–1166.

WANG, Y.; GU, X.; ZENG, Q.; MAO, Z.; WANG, W. Contrasting response of a plankton community to two filter-feeding fish and their feces: An in situ enclosure experiment. *Aquaculture* 2016, 465, pp. 330–340

WANG J.J., ZHANG H.L., SCHRODER J.L., UDEIGWE T.K., ZHANG Z.Q., DODLA S.K., STIETIYA M.H. Reducing potential leaching of phosphorus, heavy metals, and fecal coliform from animal wastes using bauxite residues. *Water Air Soil Poll.* 2011;214:241–252.

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

WHO Consultation on the Development and Use of Environmental Health Indicators in the Management of Environmental Risks to Human Health (1992: Düsseldorf, Germany) & World Health Organization. Division of Environmental Health. (1993).

WHO Consultation on the Development and Use of Environmental Health Indicators in the Management of Environmental Risks to Human Health, Medizinisches Institut für Umwelthygiene, Düsseldorf, Germany, 15-18 December 1992: summary report. World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/59513>

World Health Organization & the United Nations Children's Fund. *Progress on Drinking Water, Sanitation and Hygiene: 2017 Update and SDG Baselines*; WHO: Geneva, Switzerland, 2017; Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO

WHO. *Water global annual assessment of sanitation and drinking-water (GLAAS) 2010: targeting resources for better results*. WHO Library, Switzerland, 2010.

XIONG X., LI Y.X., LI W., LIN C.Y., HAN W. Copper content in animal manures and potential risk of soil copper pollution with animal manure use in agriculture. *Res. Conserv. Recycl.* 2010;**54**:985–990.