

ESTUDO DE AVALIAÇÃO DE RISCO ECOLÓGICO APLICADO À MINERAÇÃO

Hairton Costa Ferreira, Hidrogeo Engenharia e Gestão de projetos,
Flávio Vasconcelos, Hidrogeo Engenharia e Gestão de projetos,
flavio.vasconcelos@hidrogeoeng.com.br
Marcos Rogério Palma, Pilar de Goiás Desenvolvimento Mineral/Equinox Gold
Denner Dias Ribeiro, Pilar de Goiás Desenvolvimento Mineral/Equinox Gold
Augusto César Fonseca Saraiva, Hidrogeo Engenharia e Gestão de projetos
Marcelo Pereira Queiroz, Hidrogeo Engenharia e Gestão de projetos
Rafael Oliveira, Hidrogeo Engenharia e Gestão de projetos

RESUMO

Amostras de peixes, plantas, solo e água foram coletadas na região de Pilar de Goiás com o objetivo de determinar se a atividade de mineração na região oferece risco ecológico para a fauna e flora local. Os parâmetros que apresentaram valores acima do permitido pela legislação vigente foram As, Al, Cr, Mn e Ni; sendo essas portanto, as substâncias químicas de interesse (SQI) do estudo. Concentrações de *background* de alguns parâmetros foram determinadas e os valores de referência de toxicidade de instituições de pesquisa foram utilizados para a determinação do risco das espécies alvos. Valores conservadores foram utilizados na determinação do risco, a fim de evitar que ele fosse subestimado. Concluiu-se que, as SQI analisadas não apresentaram risco para as espécies alvos do estudo, não sendo assim, necessária, nenhuma ação de gestão ambiental nesta região.

Palavras-chave: análise de risco ecológico; mineração; toxicidade.

ABSTRACT

Samples of fish, plants, soil, and water were collected in the region of Pilar de Goiás to determine whether mining activity in the region offers ecological risk to the local fauna and flora. The parameters that showed values above that allowed by the current legislation were As, Al, Cr, Mn, and Ni; these being, therefore, the chemical substances of interest (SQI) of the study. Background concentrations of some parameters were determined, and the toxicity reference values of research institutions were used to determine the risk of the target species. Conservative values were used to determine the risk, to prevent it from being underestimated. It was concluded that the SQI analyzed did not present a risk for the target species of the study, therefore, it is not necessary, any environmental management action in this region.

Key words: ecological risk assessment, mining, toxicity.

INTRODUÇÃO

A atividade mineradora extrai das rochas os recursos naturais. Esses recursos são utilizados para a produção de diversos materiais com valores agregados a si, do ponto de vista econômico. Essa atividade gera um impacto visual, físico e químico no local de sua atividade principal. A partir da década de 70, a preocupação ambiental começou a crescer em todo o mundo e legislações foram desenvolvidas a fim de minimizar os impactos causados pela atividade antrópica [1]. Esses impactos podem oferecer risco tanto à saúde humana quanto à saúde de seres vivos do meio ambiente em geral. A fim de melhor avaliar a exposição desses receptores a substâncias químicas, foi desenvolvido nos EUA, uma metodologia de determinação do risco.

O estudo de Avaliação de Risco Ecológico (ARE) tem por objetivo determinar o risco associado a um determinado cenário de exposição da fauna e flora, considerando-se certa concentração de uma substância de interesse ambiental. Para tanto, é necessária a identificação das substâncias químicas de interesse (SQI), assim como as possíveis vias de exposição e os potenciais receptores.[2]

A metodologia de ARE utiliza valores de referência de toxicidade de cada SQI e compara com as doses suportáveis que os receptores podem vir a entrar em contato, sem implicar em danos fisiológicos ao organismo em questão. Dessa forma, a ARE é conservadora por definição e fundamentada cientificamente. Assim, a partir da utilização desta metodologia é possível definir com muito mais celeridade situações de potencial risco à saúde de uma população em função de uma fonte de contaminação, via de exposição e caracterização de receptores, e consequentemente, promover ações para reduzir e até anular o risco ambiental caracterizado.

No Brasil, não há metodologia específica para a ARE, portanto, a metodologia foi adaptada da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (do inglês - *United States Environmental Protection Agency US EPA*) [3]. Segundo essa metodologia, a ARE é composta basicamente por três fases: 1) Formulação do problema, 2) Análise e 3) Caracterização do risco. A Figura 1 apresenta a estrutura para a ARE.

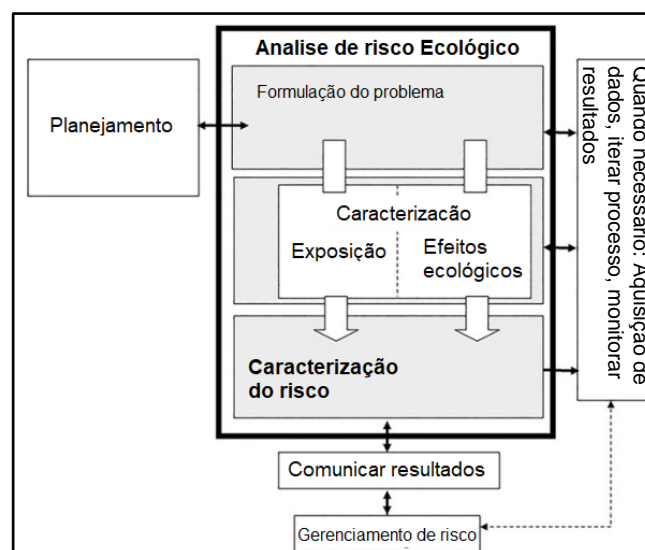


Figura 1 - A estrutura para avaliação de riscos ecológicos.

Durante a formulação do problema os seguintes aspectos do estudo devem ser caracterizados:

- Identificação da possível contaminação;
- Usos da área (rural, urbana, industrial, entre outros);
- Seleção dos receptores ecológicos (animais terrestres e/ou aquáticos e plantas);
- Seleção dos compostos químicos de interesse;
- Seleção das vias de exposição;
- Elaboração do modelo conceitual.

Na seleção dos receptores ecológicos deve-se levar em consideração a importância do receptor para a região além da sua representatividade para a área estudada.

Na análise dos efeitos são compiladas todas as informações toxicológicas disponíveis sobre os SQI em questão. Posteriormente, a análise de exposição é realizada em função do cotidiano da utilização da área, ou seja, deve ser desenvolvida uma avaliação das características do uso da área e da exposição dos receptores ecológicos às SQI. Já na caracterização do risco, as doses de exposição dos receptores (em mg de SQI/kg.dia) são comparadas com os valores de referência de toxicidade disponíveis nas bases de dados [4].

No entanto, a concentração de um metal não reflete necessariamente sua toxicidade para a biota terrestre ou aquática, uma vez que vários processos ocorrem nestes ambientes que resultam na distribuição e especiação destes elementos. Além disso, os testes realizados para estabelecer os padrões de qualidade são geralmente realizados em condições que não são representativas do ambiente natural, e muitas vezes superestimam a toxicidade dos metais.

Outro aspecto importante que deve ser levado em consideração diz respeito à toxicidade do metal monitorando que está em função da concentração das suas formas iônicas, especialmente o íon livre, que interage com sítios de ação fisiologicamente ativos no ligante biótico (biota aquática), levando à formação de um complexo tóxico metal-ligante biótico (Figura 2). No entanto, como já foi mencionado acima, esta toxicidade pode ser mitigada por diversos processos que ocorrem na água, como a complexação dos metais com a matéria orgânica dissolvida ou compostos inorgânicos e a competição dos metais com outros cátions pelos sítios de ligação no ligante biótico [4].

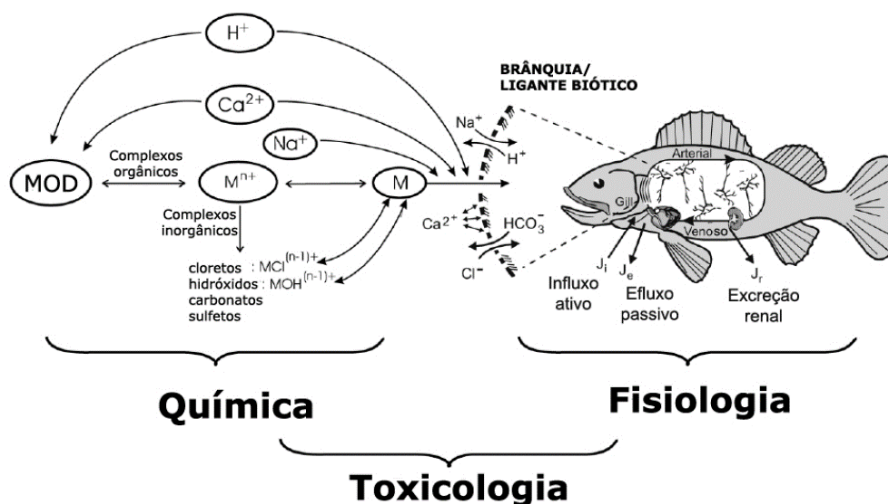


Figura 2 - Representação esquemática do Modelo do Ligante Biótico (BLM) [5].

METODOLOGIA

A unidade da Equinox Gold deste estudo localiza-se no município de Pilar de Goiás, no quadrante NW do Estado de Goiás (Figura 3). O município de Pilar de Goiás está localizado a 250km da capital Goiânia, situada entre as coordenadas 14°47'05" S, 49°34'44" W, e o seu acesso se faz pela rodovia estadual GO-154.

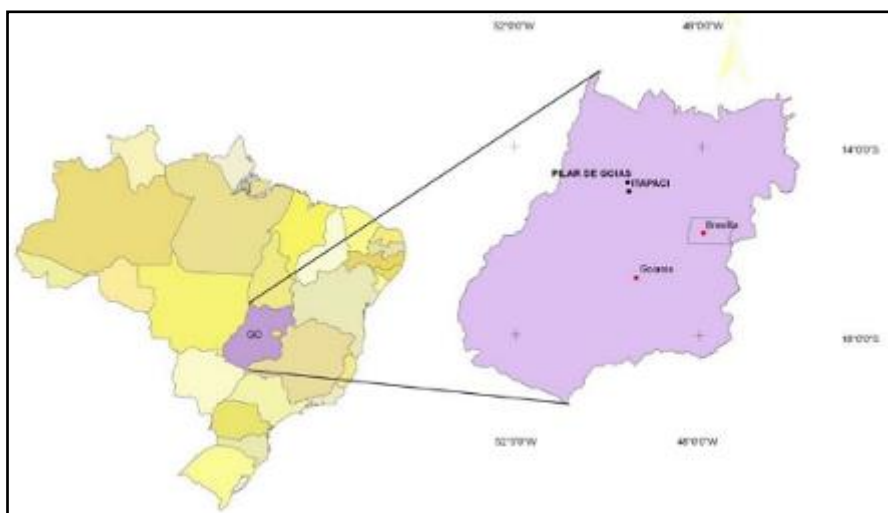


Figura 3 - Mapa com a localização dos municípios de Pilar de Goiás e Itapaci - GO

A ARE foi realizada conforme ao estabelecido no guia da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (do inglês *United States Environmental Protection Agency* – US EPA) [3] Segundo este guia, a primeira fase consiste em definir o modelo conceitual da área, em seguida realiza-se o plano de amostragem e a análise dos dados. Devido aos receptores biológicos presentes na área em investigação, a definição do problema visou avaliar o possível impacto causado pela atividade mineradora à fauna terrestre, aquática e flora terrestre do local.

Para a determinação das substâncias químicas de interesse (SQI) foram coletadas amostras de solo e água superficial conforme as normas específicas. Os resultados foram então comparados com sua respectiva legislação do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), legislação número 420/2009 [6] e legislação número CONAMA 357/2005 [7].

Coleta de solo

Foram coletadas 2.457 amostras em 32 pontos de solo. A amostragem foi realizada conforme ao estabelecido nas normas da ABNT NBR 7250 - Identificação e Classificação de Amostras Obtidas em Sondagem de Simples Reconhecimento dos Solos [8] e ABNT NBR 9603 - Sondagens a Trado [9]. Antes da coleta, a superfície do local a ser amostrado foi limpa, para retirada das camadas superficiais e a amostragem foi realizada com trado holandês.

Entre cada estação de coleta, o material foi lavado com água deionizada, a fim de evitar a contaminação cruzada da amostra. Após a coleta, o material foi peneirado em peneira de 2 mm, homogeneizado e pesado. Em seguida, foi devidamente identificado e enviado para laboratório certificado com a ISO/IEC 17.025/2017 para análises dos parâmetros inorgânicos preconizados pela legislação CONAMA 420/2009 [6]. As análises foram realizadas conforme estabelecido no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMEWW)*, 23ª edição [10]. Os resultados após análise foram então comparados com esta norma.

Coleta de água superficial

As amostras de água superficial foram coletadas em 9 pontos, sendo que em um deles, foi coletada uma duplicata como controle de qualidade, totalizando, 10 amostras de água superficial. As amostras foram coletadas conforme estabelecido nas normas ABNT NBR 9898 - Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores [11] e ABNT NBR 9897 – Planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores [12] por técnicos de laboratório acreditados pela ISO/IEC 17.025/2017 com balde de inox de 15 a 30 cm da lâmina de água.

Após a coleta, as amostras foram armazenadas e conservadas, conforme estabelecido na norma ABNT NBR 9898 [11], e, em seguida, enviadas para laboratório para análise conforme norma da SMEWW [10]. Foram determinadas as concentrações dos elementos inorgânicos preconizados pela legislação do CONAMA 357/2005 [7]. Os resultados das análises foram então comparados com esta mesma norma.

Escolha dos receptores ecológicos

A escolha dos receptores ecológicos deve levar em consideração a frequência de exposição, a importância do receptor para a região estudada e sua representatividade do local [4]. Levando em consideração os motivos acima, os receptores ecológicos escolhidos para esse estudo foram:

- Lobo guará (*Chrysocyon brachyurus*): animal mamífero característico do cerrado brasileiro, de hábitos solitários, com alimentação majoritariamente carnívora (pequenos roedores) com peso variando de 20 a 33 kg [13];
- Goiabeira (*Psidium guajava* L.) planta perene, de porte arbustivo ou semi-arbórea, com 3 a 7m de altura muito característica da região [14];
- Pequi (*Caryocar Brasiliense Cambess*) árvore alta, com tronco de 2 m a 5 m de circunferência e altura de 15 m a 20 m. Ocorre mais frequentemente nos estados de Minas Gerais, Goiás, Distrito Federal, São Paulo e Bahia [15];
- Lambari (*Astyanax spp*): peixe de água doce de porte pequeno, tem em média, dez 10 cm de comprimento, chegando a 20 cm. São onívoros, comem de flores, frutos e sementes a pequenos crustáceos, insetos e detritos [16];
- Anhuma (*Anhima cornuta*) Ave símbolo do estado de Goiás, alimenta-se de plantas flutuantes ou de gramíneas em alagados [17].

Para avaliação da concentração de metais nos receptores ecológicos citados acima, foram coletadas amostras de peixes e de plantas. A determinação do risco ecológico dos receptores lobo-guará e anhuma foi calculado teoricamente, seguindo o preconizado no guia da USEPA e valores foram utilizados os dados contidos no portal ECOTOX, do mesmo instituto, para a avaliação do risco. Esse portal é um banco de dados que concentra resultado de análises toxicológicas de diferentes animais e plantas de artigos revisados por pares [18].

Amostragem de peixe

Para avaliação da fauna aquática foram coletadas 30 amostras de peixes do tipo Lambari localizadas em três áreas (montante, área de exploração e jusante) em relação ao empreendimento. A amostragem foi realizada de 15 a 17 de maio de 2020 com rede de pesca. Todas as amostras foram etiquetadas individualmente e mantidas congeladas para encaminhamento a laboratório especializado e acreditado para este tipo de análise.

Os tecidos investigados foram o fígado e o filé, amplamente usados em avaliações desta natureza. Como o termo filé entende-se uma porção muscular isenta de sangue, pele e escamas. A dissecação para a obtenção das amostras foi executada por técnico devidamente habilitado para a tarefa, totalizando 60 Amostras.

Amostragem de flora local

Para a análise de presença de metais na flora, elencou-se duas espécies de amplo consumo da população residente na área de influência do estudo, são elas: *Caryocar brasiliense* (Pequi) e *Anacardium humile* (Caju), ambas espécies de tradicional consumo dos habitantes.

A parte vegetativa escolhida para a coleta e posterior análise em laboratório foi a folha, uma vez que é representativa para averiguação da presença de metais. Devido ao fato de o trabalho de campo ter sido realizado fora do período de frutificação dessas espécies, não foi possível efetuar a coleta dos frutos.

Antes de iniciar a coleta das folhas das plantas, foi feita uma avaliação da área de abrangência da mina, com intuito de definir os locais mais representativos para a amostragem da flora. Após a avaliação e análise da área, foram definidos 4 locais para realização da coleta, citados:

- 1º Local: Fora da área de influência da mina;
- 2º Local: À jusante da mina;
- 3º Local: Área da barragem de rejeitos;
- 4º Local: Área da mina.

O trabalho de campo foi realizado no dia 16 de maio de 2020, onde foram coletadas folhas de 8 indivíduos arbóreos, sendo 4 indivíduos de *Caryocar brasiliense* (Pequi) e 4 indivíduos de *Anacardium humile* (Caju). A fim de se ter um controle de qualidade, selecionou-se um indivíduo de Pequi e um indivíduo de Caju como duplicatas, compondo um total de 10 amostras.

Para a coleta das folhas utilizou-se tesoura de poda devidamente higienizada, realizando a poda de galhos contendo folhas, depois realizou-se o acondicionamento destes galhos em sacos plásticos. Foi realizada a coleta de material suficiente para a realização da análise em laboratório e para caso necessário, realizar também uma reanálise.

No momento da coleta, se atentou à preferência de folhas jovens, saudáveis e livres de patógenos, evitando qualquer influência nos resultados da análise foliar. Todo material vegetativo coletado foi encaminhado para o laboratório especializado neste tipo de análise, onde foram realizados todos os procedimentos de limpeza e secagem das folhas para execução das análises pertinentes à identificação de metais pesados.

Vias de exposição

As fontes de exposição principais identificadas foram as pilhas de estéril e a barragem de rejeito, além do rejeitoduto que leva rejeito da planta de beneficiamento até a barragem de rejeito. Esses locais foram escolhidos devidos ao potencial que apresentam de influenciar na concentração das SQI nos receptores ecológicos. A escolha das vias de exposição é de fundamental importância para a elaboração do modelo conceitual.

Modelo conceitual

O modelo conceitual tem por finalidade facilitar a visualização e avaliação do problema. Deve transmitir de forma clara e objetiva diversas informações acerca do objeto estudado. O modelo conceitual pode ser apresentado de diversas formas, sendo as mais comuns desenho e diagramas.

Caracterização do risco

Para estimar o valor de dose potencial (Dpot) a qual o receptor está exposto de uma forma geral para cada SQI pode-se utilizar as Equação 1.

$$D_{pot} = \int C(t) TI(t) dt \quad (1)$$

Onde:

Dpot = Dose potencial.

C = concentração nos itens alimentares ou meio físico em que vive.

TI = taxa de ingestão.

t = tempo.

Ou

$$D = \Sigma (Ck \times FRk \times Tlk) \quad (2)$$

Onde:

D = dose diária média potencial (mg/kg-dia).

Ck = Concentração média do contaminante em um item alimentar K (mg/kg peso úmido).

FRk = Fração ingerida do item alimentar K que tem origem na área contaminada (sem unidade).

Tlk = Normalização da taxa de ingestão de K numa base de peso úmido (kg de comida/kg peso.dia).

N = número de tipos de comidas contaminadas.

Após estimadas as doses potenciais, é possível comparar os valores obtidos com os valores de referência para cada espécie, o chamado quociente de perigo (HQ), que é calculado como mostrado na Equação 3.

$$HQ = \frac{DOSE}{Referência} \quad \text{OU} \quad HQ = \frac{EEC}{Referência} \quad (3)$$

Sendo dose a quantidade estimada de quanto contaminante é absorvido pelo receptor e EEC é a concentração estimada máxima de contaminante que há no local. Os valores de referência mais comumente usados na ARE são:

- NOAEL (do inglês - *No-observable-adverse-effect-level*): concentração limite na qual valores acima não diferem estatisticamente em efeitos;
- LOAEL (do inglês - *Lowest-observable-adverse-effect-level*): menor concentração na qual se observa efeitos que diferem significativamente dos efeitos causados por doses menores
- LD50: dose letal para 50% dos animais testados
- LC50: concentração letal para 50% dos animais testados

O valor de referência deve condizer com a unidade estimada a qual o receptor está exposto. É importante também analisar criticamente as aproximações realizadas de modo a não subestimar o risco, recomenda-se, portanto, ser conservador na escolha do valor de referência.

Se os valores de HQ forem menores do que 1, não há risco para a espécie analisada. Se HQ > 1, há indícios de possível risco. No caso de HQ > 1, deve-se avaliar as incertezas dos dados

utilizados e verificar se não foram muito conservadores, do contrário, um estudo mais aprofundado deve ser realizado para se determinar se há de fato risco ou não. Para HQ < 1, estudos complementares não são necessários.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Determinação das substâncias químicas de interesse

A determinação das SQI foi realizada em função dos resultados de série histórica de dados de monitoramento ambiental da Equinox Gold Pilar e da avaliação desses resultados em relação à legislação nacional. Em relação a interpretação dos resultados, considerou-se também os valores de concentração natural desses elementos obtidos do estudo de *background* geoquímico ambiental da área realizado pela empresa HIDROGEO [19], em 2020.

As SQI escolhidas e as respectivas concentrações a partir da análise dos dados obtidos estão mostradas na Tabela 1 para cada tipo de amostra.

Tabela 1 - Substâncias químicas de interesse e suas respectivas concentrações nas amostras coletadas em campo.

Água superficial		Solo	
Substância	Concentração mg/L	Substância	Concentração mg/kg
Alumínio	0,885	Alumínio	556,00
Cromo	0,003	Cromo	619,60
Níquel	0,036	Níquel	295,60
Arsênio	0,390	Arsênio	1.280,00
Manganês	0,226	Manganês	905,00

As SQI da Tabela 1 que apresentaram valores acima do VMP nas respectivas referências de qualidade estão destacadas na tabela. Os valores que se encontram acima do VMP foram utilizados para possibilitar o cálculo da dose potencial dessas substâncias nos receptores biológicos em questão.

As localizações dos pontos que apresentaram valores acima do VMP, comparado às respectivas legislações de água superficial e solo estão mostradas, a seguir, respectivamente nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2 - Coordenadas dos pontos de amostragem de água superficial e concentração dos metais que apresentaram resultados acima do VMP.

Pontos	Coord X	Coord Y	Concentração dos metais (mg/L)		
			Alumínio	Manganês	Níquel
AS-01	-49,6113	-14,751842	-	0,166	-
AS-04	-49,5907	-14,772136	-	0,159	-
AS-05	-49,5474	-14,777252	-	0,146	-
AS-06	-49,5767	-14,78457	-	-	0,036
AS-07	-49,5664	-14,782119	-	0,101	-
AS-09	-49,5258	-14,820399	-	0,226	-
AS-10	-49,5758	-14,773178	0,880	-	-

O ponto AS-10 localiza-se logo à montante da entrada da mineração Equinox Gold Pilar e a cerca de 2 Km à jusante da cidade de Pilar de Goiás - GO, considerando a drenagem do rio Vermelho, que corta a cidade. Portanto, essa concentração de alumínio está mais relacionada à área urbana de Pilar do que com a unidade da empresa de mineração.

O ponto AS-01 é o ponto de *background* geoquímico ambiental determinado no estudo da empresa HIDROGEO [19]. Este ponto está localizado à montante da mineração e em local de baixo impacto antrópico. A concentração de manganês pode ser considerada como natural para as águas superficiais da região. Portanto, as concentrações de manganês nos pontos AS-04, AS-05 e AS-07 podem ser consideradas como normais para essa região, visto que são inferiores ao do ponto AS-01.

Já a concentração de manganês no ponto AS-09, localizado à jusante da barragem de rejeitos, pode estar sob influência do dreno do maciço da barragem de rejeito e, portanto, será objetivo de investigação de avaliação do risco ambiental de contaminação da biota aquática.

O ponto AS-06 apresentou valor elevado em relação ao níquel e este está localizado à jusante das pilhas de estéril dos Atalas e da pilha da Grota, portanto pode estar sendo influenciado por estas unidades operacionais e será também alvo da avaliação de risco aqui desenvolvida.

Tabela 3 - Coordenadas dos pontos de amostragem de solo e concentração dos metais que apresentaram resultados acima do VMP.

Pontos	Coord X	Coord Y	Concentração dos metais		
			Arsênio	Cromo	Níquel
SO-22	-49,576576	-14,782614	212,00	-	116,90
SO-23	-49,577059	-14,784054	174,90	400,45	-
SO-26	-49,611128	-14,747120	1.280,00	619,56	295,63
SO-28	-49,612184	-14,751872	470,00	-	73,50
SO-29	-49,580756	-14,775526	399,40	-	111,23

Ponto SO-22 e SO-23 estão dentro da unidade da Equinox Gold Pilar e por isso apresentam valores elevados de arsênio e níquel. O ponto SO-26 é o ponto de *background* geoquímico da região dentro do domínio geológico da mineralização de ouro local (i.e., Formação Serra do Moinho – *Greenstone Belt* de Pilar). Portanto, esse ponto apresenta concentrações

naturalmente elevadas de arsênio, cromo e níquel e foi submetido à avaliação de risco ecológico.

O ponto SO-28 está localizado na fazenda Três Buracos, assim à montante da mineração de Equinox Gold e fora da influência desta e o ponto SO-29 localiza-se próximo à cidade de Pilar de Goiás entre a cidade e a mineração e, por isso, à montante das atividades da mineradora, mas ainda dentro da formação Serra do Moinho. Todos esses pontos foram submetidos à avaliação de risco ecológico.

Para mais de um valor de concentração acima do VMP para um mesmo ponto de solo, optou-se pelo maior valor numérico, a fim de não subestimar o risco.

Modelo conceitual

Para a elaboração do modelo conceitual, foram escolhidas as fontes potenciais de contaminação do meio ambiente local. Nas Figuras 4 a 7 estão apresentados os modelos conceituais na forma de desenhos esquemáticos da: barragem de rejeitos, pilha de estéril, pilha de estéril dos Atalas, pilha estéril da grota e da pilha de estéril da pista, respectivamente.

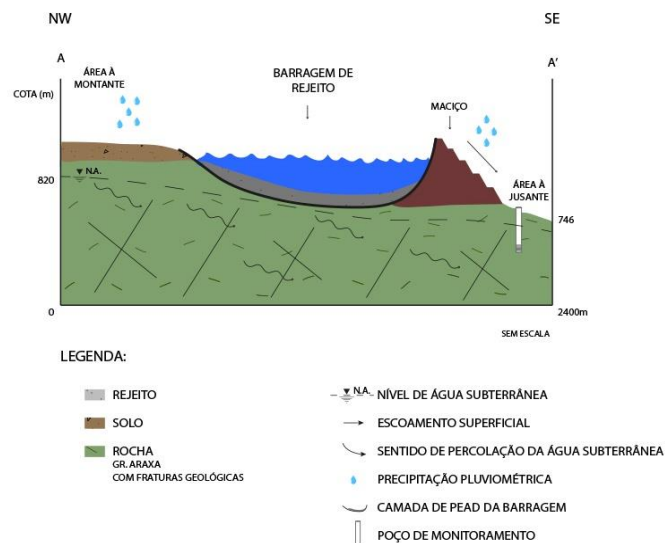


Figura 4 - Modelo conceitual da barragem de rejeito.

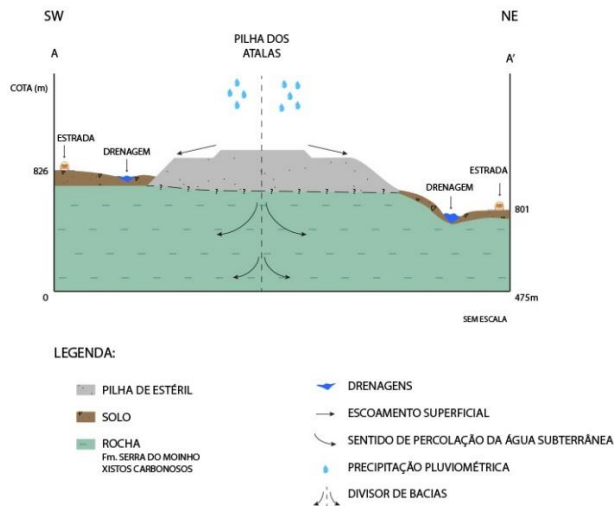


Figura 5 - Modelo conceitual da pilha de estéril dos Atalas.

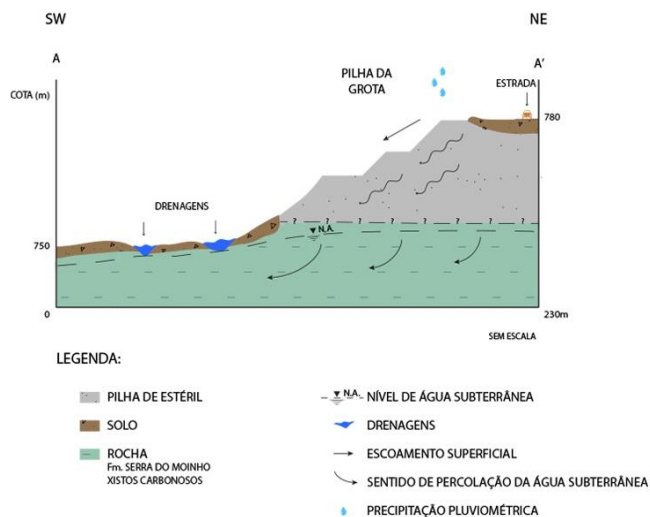


Figura 6 - Modelo conceitual da pilha de estéril da grota.

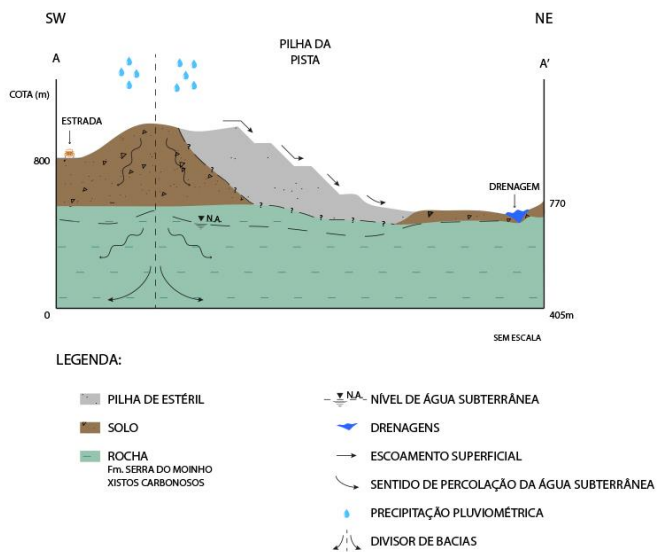


Figura 7 - Modelo conceitual da pilha de estéril da pista.

Nas Figuras 8 e 9 estão apresentados os modelos conceituais em forma de diagrama da barragem de rejeito e das pilhas de estéril.

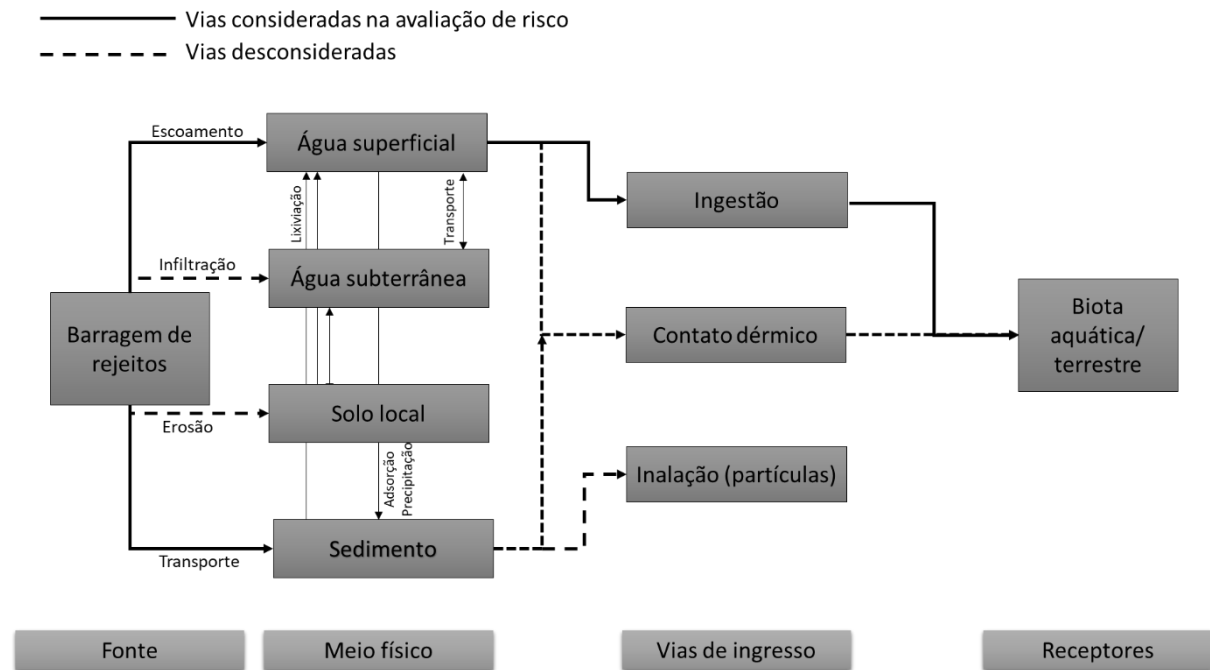


Figura 8 - Modelo conceitual da barragem de rejeitos.



Figura 9 - Modelo conceitual das pilhas de estéril.

No caso da barragem de rejeito, pode ocorrer escoamento superficial, expondo a água superficial aos metais presentes na barragem que posteriormente poderão ser consumidos pelos receptores ecológicos. Outra via de exposição se dá pelo fenômeno de transporte de sedimento, que pode aumentar os valores de alguns metais na água superficial dependendo de sua concentração. Nesse estudo não foram consideradas a ingestão de partículas sólidas

nem a absorção de metais por contato dérmico, dessa forma, a única rota de exposição considerada para a barragem de rejeitos foi o escoamento superficial.

No caso das pilhas de estéril, água subterrânea, água superficial, solo e sedimentos podem ser afetados por diferentes processos de exposição. Para a ARE, a água subterrânea não foi considerada como meio físico de exposição, devido a inacessibilidade por parte dos receptores a esse meio. Também não foram considerados sedimentos, visto que, as vias de ingresso para esse meio são contato dérmico ou inalação de partículas. Portanto, para as pilhas de estéril foram considerados como vias de exposição a ingestão de água superficial e o solo, sendo esta última via de exposição, somente possível para o lobo guará.

Cálculo das doses potenciais do lobo Guará

Como na literatura nacional não há estudos toxicológicos específicos para a espécie do lobo guará, adotou-se os valores de referência internacional da espécie *Vulpes vulpes*, popularmente conhecido como raposa vermelha. Analisando os hábitos deste animal, concluiu-se que as vias de exposição dele às SQI são pela água superficial (contato dérmico e ingestão), sedimentos (contato dérmico), solo (contato dérmico e ingestão) e ingestão de pequenos roedores (contato indireto). Como o contato dérmico tem uma taxa de bioacumulação baixa e não há contato significativo entre o animal e a água/sedimentos, os cálculos a seguir levaram em consideração a ingestão somente. Na Tabela 4 são apresentados os valores de referência utilizados para o lobo guará.

Tabela 4 - Valores de referência para a fauna terrestre.

Animal	Peso (kg)	Taxa de ingestão de comida kg/dia	Taxa de ingestão de água / L/dia	Taxa de ingestão de solo %
Raposa vermelha	4,5	0,45	0,38	2,8
Lobo guará	26,5	1,07	0,273	2,8

Para o cálculo da taxa de ingestão de comida (F) e água (W) foram utilizadas as Equações 4 e 5 em função do peso corporal (bw):

$$F = 0.235(bw)^{0.822} \quad (4)$$

$$W = 0.009(bw)^{1.20445} \quad (5)$$

As equações são baseadas em modelos de regressão alométrica em função no peso corporal [4]. Valores de taxa de ingestão de solos foram retirados da literatura [20]. Assumindo-se que o lobo guará ingere apenas roedores, a concentração a ser utilizada corresponde ao valor de LOAEL do *Blarina brevicauda* (Musaranho de cauda curta do Norte). Foi considerada também uma ingestão de solo de 0,003 kg/dia e uma fração de 10% de biodisponibilidade do metal total.

Para o caso excepcional do lobo guará, para as SQI arsênio e níquel na água superficial foram considerados os valores de concentração 0,560 mg/L e 4,419 mg/L, respectivamente. Esses valores foram retirados do relatório de ensaio 51743/2019.0.A da Bioética Ambiental do ano

de 2019 referente as análises da barragem de rejeito da unidade Equinox Pilar [21]. Está sendo considerado aqui, portanto, que o lobo Guará possa ingerir diretamente a água da barragem e os valores são maiores que os da Tabela 3 para esses parâmetros.

Cálculos das doses potenciais da anhuma

Assim como para o lobo Guará, não há dados toxicológicos para a anhuma. Portanto, serão utilizados dados da literatura [4] sobre a Galinhola (*Scolopax minor*), ave com hábitos mais próximos da anhuma. Como a anhuma se alimenta de folhas flutuantes ou gramíneas, serão considerados para estudo, os valores de concentração de metais encontrados nas plantas analisadas neste estudo. Na Tabela 5 são apresentados os valores de referência utilizados para a anhuma.

Tabela 5 - Dados de alimentação da anhuma.

Animal	Peso (kg)	Taxa de alimentação (kg/dia)	Taxa de ingestão de água (L/dia)
Galinhola	1,98	0,1	0,02
Anhuma	3,2	0,124	0,129

Para o cálculo da taxa de ingestão de comida e de água da anhuma foram utilizadas as Equações 6 e 7.

$$F = 0.648(bw)^{0.651} \quad (6)$$

$$W = 0.059(bw)^{0.67} \quad (7)$$

Cálculo da dose potencial do Lambari

As amostras de peixe foram coletadas em pontos à montante, na área de exploração e à jusante do empreendimento, a fim de identificar se há alguma influência da atividade mineradora nas concentrações dos metais nos peixes. As médias dos valores encontrados nessas três regiões para filé e fígado e seus respectivos intervalos de confiança (IC) estão mostrados na Tabela 6.

Tabela 6 - Média dos dados de peixes Lambari (mg/Kg).

Matriz e ponto de amostragem		As	Cr	Mn	Ni
Filé - à jusante	Média	0,40	1,00	1,10	1,00
	IC	6,83E-17	-	0,20	-
Filé - área da mineração	Média	0,40	1,00	1,00	1,00
	IC	6,83E-17	-	-	-
Filé - à montante	Média	0,40	1,00	1,00	1,00
	IC	6,83E-17	-	-	-
Fígado - à jusante	Média	2,00	1,10	9,00	1,10
	IC	5,00	0,40	20,00	0,20
Fígado - área da mineração	Média	1,00	1,01	5,00	1,00
	IC	2,00	0,04	7,00	-

Matriz e ponto de amostragem		As	Cr	Mn	Ni
Fígado - à montante	Média	16,00	2,00	5,00	2,00
	IC	33,00	3,00	6,00	2,00

Arsênio apresentou valores mais discrepantes dos demais no fígado, nos pontos à montante da mineração. O mesmo fato ocorreu para o elemento chumbo. Para o cobre, os menores valores foram à jusante da mineração, tanto para o filé quanto para o fígado. Os dados sugerem que não há uma distribuição padrão das concentrações entre os diferentes pontos, se considerando todos os metais analisados. Isso demonstra que, para estes metais, a atividade não exerce impacto considerável nos peixes da região.

Para os dados de peixe serão utilizados os valores de LC₅₀ da literatura para o peixe *Oncorhynchus mykiss* – Truta arco-íris, que também é de água doce e nível trófico 3, esses valores se referem à concentração do metal na água que poderia causar a mortalidade de 50% da população analisada. Esse valor de concentração do contaminante em água tem função semelhante ao estabelecido pela legislação do CONAMA 357/05 [7], porém é mais específica por se tratar de um valor de referência que causa mortalidade da população específica do peixe similar estudado.

Cálculo da dose potencial das plantas

Foram analisadas as folhas de plantas das árvores do pequizeiro e do cajueiro em diferentes pontos. Semelhante ao peixe, as doses potenciais não necessitam ser calculadas visto que a determinação das concentrações na amostra foi realizada de forma direta. Os maiores valores de concentração das SQI nas plantas foram comparados com os valores da literatura para a planta do tomate (*Solanum lycopersicum*).

As amostras 1 e 2, que referem às coletas de Caju 1 e Pequi 1, apresentaram os maiores valores para arsênio. Essas amostras se encontram fora da área de influência direta (AID) do empreendimento. Isso corrobora a tese de que a presença desse metaloide não está vinculada à operação/beneficiamento da mina e sim na formação geológica da área. Na Tabela 7 são apresentados os resultados das análises foliares das árvores frutíferas escolhidas para este estudo.

Tabela 7 - Resultados de as análises foliares de árvores frutíferas de cajueiro e goiabeira

AMOSTRAS / METAL		Arsênio mg/kg	Cromo mg/kg	Manganês mg/kg	Níquel mg/kg
Amostra 1	Caju 1	6,70	3,20	332,10	18,30
Amostra 2	Pequi 1	2,40	1,60	72,25	15,30
Amostra 3	Caju 2	0,50	1,80	328,61	7,20
Amostra 4	Pequi 2	0,30	2,50	230,61	2,30
Amostra 5	Caju 3	<0,10	1,20	189,94	1,90
Amostra 6	Pequi 3	2,80	2,30	642,62	8,90
Amostra 7	Caju 4	<0,10	1,30	133,97	1,80
Amostra 8	Pequi 4	4,00	11,50	168,26	15,3

Amostra 9	Caju 5 (Duplicata Caju 4)	0,40	1,30	371,24	2,10
Amostra 10	Pequi 5 (Duplicata Pequi 1)	4,90	2,10	113,35	16,00

Cálculo do quociente de perigo

Na Tabela 8 estão apresentadas as doses potenciais para cada SQI, a dose de referência utilizada e o valor do quociente de perigo.

Tabela 8 - Valores de Quociente de perigo para os receptores ecológicos.

Receptores	Variável	As	Al	Cr	Ni	Mn
Lobo guará	D	0,23	1,12	1,39	8,04	33,85
	LOAEL ⁽¹⁾	0,36	5,52	6,94	42,25	150,00
	HQ	0,64	0,20	0,20	0,19	0,23
Anhuma	D	0,26	-	0,45	0,71	24,88
	LOAEL ⁽¹⁾	7,40	-	5,00	107,00	997,00
	HQ	0,04	-	0,09	0,01	0,02
Peixe	D	0,39	0,88	0,003	0,04	0,23
	LC50 ⁽²⁾	12,00	118,00	53,70	-	-
	HQ	0,03	0,01	5,00x10 ⁻⁵	-	-
Planta	D	6,70	-	11,50	18,30	642,00
	LD50 ⁽³⁾	448,00	-	6833,00	-	-
	HQ	0,01	-	0,002	-	-

(1) mg/kg.dia, (2) mg/L (3) mg/kg,

Para o caso da Anhuma, como os valores de referência utilizados foram os mesmos utilizados para a análise de risco das plantas, não houve análise de alumínio. Assim, não foi possível calcular a dose potencial para esse caso. Também não foram encontrados na literatura valores de referência para níquel e manganês no caso de peixes e planta.

A Figura 10 apresenta os resultados de HQs, para cada receptor, obtidos no estudo.

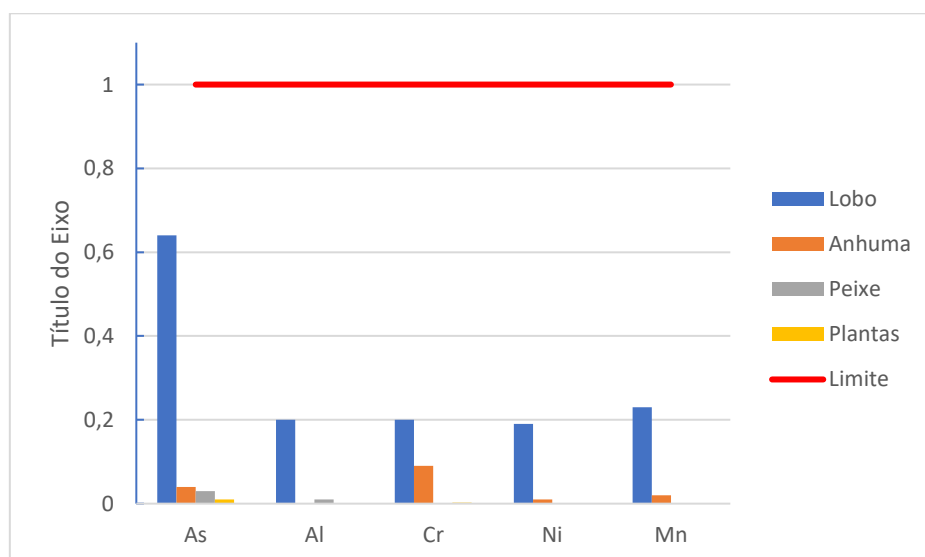


Figura 10 - Quocientes de Perigo (HQs).

É possível notar que nenhuma SQI apresentou valor de HQ maior do que 1 para os receptores ecológicos estudados nesse projeto. Isso indica que não há risco de contaminação por parte desses receptores na área analisada.

Análise das incertezas

A escolha dos valores de concentração das SQI nos alimentos se deu de forma bastante conservadora, assumindo valores limites de concentração toxicológica para o alimento (animal ou planta) em questão.

Ao se utilizar 10% do valor de concentração do metal total para as SQI, também se optou pelo mesmo princípio conservador, visto que os valores do metal dissolvido costumam ser < 2% do valor do metal total [22].

Os valores de concentração de metais na água, no peixe e nas plantas também foi feita de forma conservadora (o maior valor encontrado) para poder evitar como resultado um falso negativo quanto a definição de risco. Os valores de solo e água superficial ainda se encontravam acima dos valores de *background* geoquímico da região a fim de não subestimar o risco de contaminação desses elementos ao meio ambiente local.

Estimar os valores de concentração de metais em receptores biológicos por comparação com outras espécies pode carregar muito erro estatístico, por isso optou-se por adotar valores conservadores para não subestimar o risco ao qual esses receptores poderiam estar submetidos.

CONCLUSÃO

Os metais que apresentaram valores de concentração mais altos nas diferentes amostras analisadas (i.e., solo, água superficial e água subterrânea) foram: arsênio, alumínio, cromo, manganês e níquel. Portanto esses metais foram escolhidos como SQI.

As concentrações acima do valor máximo permitido para solo e acima do valor de concentração natural de metais e arsênio, ou seja, valor de *background* geoquímico ambiental não apresentaram risco significativo à flora e à fauna local, Ou seja, estão abaixo dos valores de referência de coeficiente de perigo (HQ).

Valores mais elevados de arsênio e metais foram encontrados em plantas localizadas fora da área de influência direta (AID) do empreendimento, ao norte da operação, e à montante, sugerindo que a flora está adaptada ecologicamente às concentrações naturalmente elevadas desses elementos.

Apesar da escolha conservadora de concentrações dos metais para gerar os valores de dose potencial para cada receptor, não foi apontado nenhum risco para os animais e plantas avaliados nesse estudo. Também não há indícios de impacto significativo do empreendimento na qualidade dos peixes na região.

Os valores de chumbo total, cobalto total, ferro total, manganês total e níquel total ficaram acima dos valores de *background* geoquímico para água subterrânea na pilha de estéril dos Atalas. A possível causa desses valores elevados é o processo de oxidação de sulfetos que a pilha está submetida. A não captação dessa água subterrânea por nenhum receptor ecológico elimina o risco associado a essa via de transporte. Contudo, recomenda-se medidas de monitoramento contínuo para o controle do quadro atual.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] WEISS, E. B. (2011) The evolution of international environmental law. Japanese Yearbook of international law. v. 54, p. 1-27.
- [2] SUTER, G.W. (1992). Ecological Risk Assessment. Editor CRC Press, Taylor & Francis Group, Florida, EUA. Cap. 6, p. 1-4.
- [3] U.S. E.P.A. (1992). Risk Assessment Forum, Washington, DC, EPA/600/Z-92/001. p. 4-30.
- [4] U.S. E.P.A. (1998). Guidelines for Ecological Risk Assessment. United States Environmental Protection Agency, Washington, DC. p. 01-109.
- [5] PAQUIN, P.R.; ZOLTAY, V.; WNFIELD, R. P.; WU, K.B.; MATHEW, R.; SANTORE, R.C.; DOMINIC, M. Di TORO. (2002). Extension of the biotic ligand model of acute toxicity to a physiologically-based model of the survival time of Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) exposed to silver. Comparative Biochemistry and Physiology Part C. 133, pp. 307.
- [6] BRASIL. CONAMA. Resolução n. 420 (2009). Diário Oficial da União: República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, n. 249, 30 dez. 2009. p. 1-20.
- [7] BRASIL. CONAMA. Resolução n. 357 (2005). Diário Oficial da União: República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, n. 053, 17 de mar. De 2005. p. 1-27.
- [8] ABNT, NBR 7250, (1982). Identificação e descrição de amostras de solos obtidas em sondagens de simples reconhecimento de solos. Rio de Janeiro. p. 1-3.
- [9] ABNT, NBR 9603, (2015). Sondagem a trado – procedimento. Rio de Janeiro. p. 1-5.
- [10] BAIRD, R. BRIDGEWATER, L. (2017). Standard methods for the examination of water and wastewater. 23rd edition. Washington, D.C.: American Public Health Association. p. 1-1796.
- [11] ABNT. NBR 9898 (1987). Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. Rio de Janeiro. p. 1-22.
- [12] ABNT. NBR 9897 (1987). Planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. Rio de Janeiro. p. 1-14.
- [13] NATIONAL GEOGRAPHIC BRASIL, (2020). Lobo Guará. São Paulo. p. 1.
- [14] GOIABA. (1998). Boletim do Instituto agrônomo de São Paulo número 200. Goiaba, São Paulo. p. 1.

[15] KERR, W. E.; SILVA, F. R. da; TCHUCARRAMAE, B. (2007). Pequi (*Caryocar Brasiliense* Camb.): informações preliminares sobre um pequi sem espinhos no caroço. *Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal*. v. 29, n. 1, p. 169-171.

[16] ARROLO, S. (2010). Plano de Manejo da Reserva Biológica do Jaru Encarte 3 Análise da Unidade de Conservação. Instituto Chico Mendes de Conservação e Biodiversidade – ICMBio, Brasil, p. 18.

[17] ANHUMA cornuta (Anhuma) (2018). *Taxeus - Distribuição e classificação - listas de espécies*. p. 1.

[18] ELONEN, C. M. (2020) Ecotoxicology Knowledgebase System. U.S.EPA, United States Environmental Protection Agency, Washington, DC. Disponível em: <
<https://cfpub.epa.gov/ecotox/search.cfm>>

[19] HIDROGEO (2020). Parecer Técnico do Potencial de Drenagem Ácida de Mina. Belo Horizonte: Hidrogeo Engenharia e Gestão de Projetos, p. 1-53.

[20] BEYER, W., C., E., & GEROULD, S. (1994). Estimates of Soil Ingestion by Wildlife. *The Journal of Wildlife Management*, 58(2), p. 375-382.

[21] BIOÉTICA A. (2019). Relatório de ensaio 51743/2019.0.A. p. 3. Pilar de Goiás, GO.

[22] TACK, F. M. G., & VERLOO, M. G. (1995). Chemical Speciation and Fractionation in Soil and Sediment Heavy Metal Analysis: A Review. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 59(2-4), 225–238.