

ESTUDO DE CASO INTERROMPIDO: UMA BARRAGEM QUE NÃO ESTÁ PARA PEIXE

Autores: Mikeas Silva de Lima e Salete Linhares Queiroz

Parte I: Com a Água na Boca

A Barragem de Diamantina, ou apenas Diamantina, é um reservatório de água artificial, criado para geração de energia elétrica e abastecimento de água da cidade de Campos Verdes, a 20 km do local. A barragem possui esse nome devido à região que foi inundada pelas águas do rio das Carpas. Com aproximadamente 15 km de extensão, 500 m de largura e profundidade que variam entre 2 a 15 metros, as águas da Diamantina também são utilizadas para irrigação, dessedentação de animais, pesca, balneário e atividades de lazer, como por exemplo, esqui aquático e passeios de barcos.

Thomas é um estudante de pós-graduação em Química na Universidade de Campos Verdes. Ele agora mora em Campos Verdes, mas regularmente visita seus pais que moram na região da barragem. Era um fim de tarde, em 2013, quando Thomas chega em casa e cumprimenta sua mãe, Dona Jacinta.

- Oi, mãe! Tudo bem?

- Oh, meu filho! Tudo sim! E com você?

- Estou bem também. Fiquei com vontade de jantar aquele peixe maravilhoso que a senhora faz, daí resolvi aparecer.

A família de Thomas, assim como as demais da região de Diamantina, tem uma alimentação baseada em carne de peixes pescados na própria barragem. No entanto, naquela noite, não seria possível que Thomas saboreasse o prato de sua mãe.

- Acho que você vai ficar na vontade, então.

- Como assim? – Pergunta Thomas indignado.

- Sabe a Rita, nossa vizinha? Ela andou sentindo umas dores nas pernas, dor de barriga, diarreia e vômito. Ela fez uns exames e acabou descobrindo que estava intoxicada por zinco e cádmio.

- Como isso aconteceu? E o que isso tem a ver com o peixe? Ela está melhor?

- Ela está bem agora. O médico falou para ela parar de comer os peixes da barragem, já que ele acredita que a água está contaminada por metais. Eu fiquei sabendo de outras pessoas aqui na região que também sentiram os mesmos sintomas. Daí, aqui em casa a gente está dando um tempo no peixe.

- Nossa, que problema sério! Já que não vai ter peixe, eu vou fazer umas pesquisas e tentar encontrar o que pode estar causando tudo isso.

- Seria ótimo saber o que está acontecendo com nossa barragem. Semana que vem, eu vou ao mercado, compro um peixe e faço para você, certo?

Enquanto sua mãe prepara o jantar, Thomas pesquisou um pouco sobre a região da Barragem Diamantina em seu celular, encontrando o mapa a seguir.

Figura 1. Mapa da região da Barragem Diamantina.



Atividades – Parte I

1. O que vocês já sabem sobre o caso? Ou seja, o que já leram sobre situações semelhantes, quais experiências já tiveram que remetem ao assunto abordado no caso?
2. Baseados nas informações que constam no caso, **construam hipóteses** sobre a origem da contaminação por zinco e cádmio dos habitantes da região da Barragem Diamantina e justifiquem a pertinência das mesmas.
3. Baseados na narrativa, **proponham uma questão** a ser investigada pelo grupo.

Parte II – Ao Redor da Barragem Diamantina

Ao retornar para casa, Thomas continuou a pesquisa que estava realizando e encontrou mais algumas informações sobre a Barragem Diamantina e as atividades efetuadas ao redor da mesma.

“A Barragem Diamantina é responsável por 40% do abastecimento de Campos Verdes, sendo o restante da captação realizada diretamente do rio das Carpas em área mais próxima do perímetro urbano. Em um estudo realizado pela Companhia de Saneamento de Campos Verdes (CSCV), 40% da bacia hidrográfica de Diamantina é utilizada para agricultura anual em sistema de plantio direto de soja, milho, feijão, trigo, cevada e aveia; 22% da área é destinada a pastagem e agropecuárias de suinocultura, avicultura e bovinocultura; 25% da região é ocupada por floresta, e 13% é constituída por mata ciliar. A partir desse cenário, as áreas de preservação permanente estão comprometidas, já que grande parte dessas atividades não se adequam à legislação ambiental. Outro problema recorrente diz respeito à lavagem de sacos e containers de adubo químico em riachos que deságuam no reservatório, ocasionando eutrofização. A exploração minerária clandestina também é conhecida na região, com a extração de minerais utilizados na construção civil como areia, brita, cascalho e saibro, contribuindo para processos erosivos e assoreamento do leito dos rios e da represa”.

No dia seguinte, ao chegar no laboratório do seu grupo de pesquisa, Thomas encontra seu amigo, Júlio, e lhe conta sobre a situação da Barragem Diamantina.

- Já que não se tem uma preocupação com o meio ambiente, as atividades ao redor da barragem representam mesmo um perigo e podem estar contaminando os peixes, a água e os sedimentos. - Comenta Júlio.

- Até os sedimentos?

- Isso mesmo! Além disso, os metais que estão na água são geralmente imobilizados nos sedimentos. Só que alterações físico-químicas ou perturbações podem fazer com que os metais se tornem biodisponíveis novamente, e acabem por contaminar mais ainda a água e os animais que dependem dela.

- Você pode me ajudar a realizar uma análise dos sedimentos da barragem, então?

- Claro! Te ajudo sim.

Thomas mostra para Júlio o mapa que encontrou da região da Barragem Diamantina, e juntos eles começam a pensar sobre os pontos de amostragem de sedimentos que ofereçam suporte para a investigação que pretendem realizar. Além disso, eles especulam sobre a forma de analisar os sedimentos.

Figura 2. Mapa da região da Barragem Diamantina. Campos Verdes se localiza na direção esquerda do mapa e o ponto de captação de água pela CSCV ocorre em ponto posterior à hidrelétrica.



Atividades – Parte II

1. Considerando a questão proposta pelo seu grupo na etapa anterior, escolham e demarquem na Figura 2 pontos de coleta de amostras de sedimentos na Barragem Diamantina, com o propósito de ajudar Thomas e Júlio na investigação que estão realizando. Justifiquem a escolha destes pontos.
2. Auxiliar Thomas e Júlio sobre a forma como analisar os sedimentos é também uma missão do grupo. Pesquisem duas técnicas analíticas que possam ser usadas para determinar a concentração de metais em **amostras de sedimento** e **argumentem a favor de uma delas como sendo a mais adequada**. Os metais a serem determinados são: Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn. Para construir a argumentação do grupo favorável à técnica escolhida, sugere-se que sejam buscados subsídios nos seguintes aspectos: complexidade de funcionamento do equipamento, faixas de limite de detecção, custo do equipamento, custo das análises, quantidade de amostra necessária para efetuação das análises, tempo de análise, dentre outros que o grupo julgue interessante.

Parte III – Mergulhando Fundo na Diamantina

A partir do mapa apresentado anteriormente, Thomas e Júlio escolheram quatro pontos de coleta de sedimentos. A Figura 3 apresenta o mapa de localização do reservatório e os pontos de amostragem escolhidos.

Figura 3. Mapa de localização da área de estudo. Thomas e Júlio demarcaram os quatro pontos de amostragem identificados no mapa, dispostos ao longo da Barragem Diamantina.



No dia seguinte, Thomas e Júlio foram até a Diamantina para realizar a coleta de amostras de sedimentos. Para tal procedimento, eles utilizam um coletor Ekman – Birge, realizando a coleta no nível mais profundo da barragem em cada ponto de coleta da Figura 3. Ao retornarem para o laboratório, as amostras foram liofilizadas, maceradas até homogeneização e peneiradas em uma malha de 53 μm . Em seguida, foram determinados os teores de metais pseudototais e biodisponíveis, de acordo com os seguintes procedimentos experimentais:

Preparo de amostras de sedimentos para determinação de metais pseudototais: 0,5 g de cada amostra homogeneizada foram digeridas em bloco digestor a 160 $^{\circ}\text{C}$, com adição de 10 mL de HNO_3 1:1 em refluxo por 10 minutos, seguindo de adição de 5 mL de HNO_3 concentrado p.a. em refluxo por 30 minutos. O processo foi repetido até completa digestão e redução do volume em 5 mL. Após resfriamento, foram adicionados 2 mL de H_2O_2 30%, repetindo-se a adição até que não houvesse mais bolhas. Por fim, foram adicionados 10 mL de HCl concentrado p.a. em refluxo por 15 minutos, e completando-se o volume em 50 mL. A parte não digerida foi removida por filtração.

Preparo de amostras de sedimentos para determinação de metais biodisponíveis: 1,0 g de cada amostra homogeneizada foi colocada em Erlenmeyer, em seguida, foram adicionados 25 mL de HCl 0,1 mol/L, mantendo por 2 horas em agitador horizontal a 200 rpm e filtrando a suspensão.

As determinações dos metais Ag, Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn foram realizadas por Espectrometria de Absorção Atômica de Chama, em equipamento Varian®, AA 240FS. Para o metal Al foi empregada chama redutora óxido nitroso/ acetileno, com fluxo de 10,24 L min^{-1} e 6,95 L min^{-1} . Para os demais metais foi empregada chama oxidante de ar/acetileno, com fluxo de 13,50 L min^{-1} e 2,00 L min^{-1} .

Atividades – Parte III

1. a) Quais relações são possíveis de estabelecer entre os critérios de amostragem adotados por Thomas e Júlio e os adotados pelo grupo de vocês na Parte II do estudo de caso? b) Quais critérios foram usados por eles que não foram contemplados pelo grupo de vocês e vice-versa? c) Vocês julgam pertinente alterar a delimitação dos pontos de coleta propostos pelo grupo? **Argumentem a favor das respostas.**
2. Vocês julgam pertinente alterar o equipamento proposto pelo grupo frente ao que foi sugerido pelos personagens? **Argumentem a favor da resposta.**
3. É comum a determinação da concentração de metais biodisponíveis e de metais pseudototais em sedimentos, entre outros, tendo em vista o entendimento do comportamento de um corpo hídrico. Uma vez que o grupo terá que lidar com estes conceitos na próxima sessão do estudo de caso, apresentem o significado dos **metais pseudototais** e **metais biodisponíveis** e exemplifiquem o seu uso em uma situação reportada em **dissertação** ou **tese**.

Parte IV – Desvendando os Sedimentos da Barragem Diamantina

Realizando algumas pesquisas, Júlio encontra as seguintes informações, as quais ele decide compartilhar com o amigo, Thomas.

“O zinco é considerado um micronutriente essencial e desempenha um papel importante no metabolismo de diversos organismos. No entanto, em elevadas concentrações, o metal pode causar sérios efeitos adversos à saúde humana e ao meio biótico, sobretudo aos vegetais e à macrofauna do solo. No ambiente aquático, o zinco prende-se, predominantemente, ao material suspenso antes de ser acumulado no sedimento. Já o cádmio é um elemento pouco abundante na crosta terrestre e que tem efeitos nocivos nos organismos. Além de presente nos sedimentos, o metal pode permanecer na água intersticial, estar associado à fração sólida ou ser redistribuído no interior dos sedimentos. É preciso deixar claro que mudanças nas condições ambientais podem afetar a biodisponibilidade desses metais, de forma que eles podem ser novamente disponibilizados para a coluna d’água, graças a reações de oxirredução, ou a processos de ressuspensão de origem física (correnteza), biológica (atividade dos organismos que vivem nos sedimentos) e humana (navegação).”

- Ou seja, a situação da barragem pode ser bem mais complicada do que imaginamos. Aliás, você lembra que encontramos alguns locais eutrofizados? – Pergunta Thomas.

- Lembro sim! A eutrofização ocorre devido ao aumento, principalmente de nutrientes, com destaque para fósforo e nitrogênio, certo?

- Isso mesmo, o que ocasiona então a proliferação excessiva de organismos como algas e cianobactérias. Esses organismos consomem grande quantidade do oxigênio da água da barragem, de forma que os seres vivos acabam morrendo.

- Que situação devastadora!

- Mas nem tudo está perdido. Com as análises que realizamos poderemos, além de determinar a biodisponibilidade dos metais no ambiente, avaliar também a qualidade e o potencial de toxicidade, de forma que conseguiremos prever os riscos desses metais para a população da região e para o meio ambiente. E, conseqüentemente, prever ações de remediação.

Abaixo estão os resultados encontrados por Thomas e Júlio a partir dos experimentos realizados de acordo com procedimentos indicados na Parte III do estudo de caso.

Tabela 1. Concentração de metais pseudototais em sedimentos da Barragem Diamantina nos quatro pontos de coleta.

Pontos de Amostragem	Concentração (µg/g)										
	Ag	Al*	Cd	Co	Cr	Cu	Fe*	Mn	Ni	Pb	Zn
P1	4,08 ± 0,32	76,39 ± 2,06	2,14 ± 0,07	27,03 ± 1,53	33,48 ± 0,90	29,20 ± 0,67	44,57 ± 2,31	340,85 ± 9,99	27,69 ± 1,21	27,51 ± 1,38	81,13 ± 2,30
P2	4,55 ± 0,11	72,11 ± 6,52	2,39 ± 0,23	27,34 ± 0,70	39,24 ± 0,73	43,77 ± 0,57	43,59 ± 3,75	277,95 ± 3,38	27,80 ± 1,93	33,49 ± 0,96	71,44 ± 2,50
P3	5,66 ± 0,16	79,01 ± 1,66	2,38 ± 0,26	28,21 ± 0,93	43,33 ± 2,06	44,87 ± 1,52	62,05 ± 6,65	318,50 ± 0,38	24,21 ± 1,42	34,90 ± 1,14	58,51 ± 1,80
P4	5,17 ± 0,32	74,23 ± 2,08	4,07 ± 0,31	29,43 ± 0,69	44,66 ± 2,51	43,46 ± 1,03	62,09 ± 1,90	408,27 ± 7,81	30,88 ± 2,77	31,96 ± 0,55	52,62 ± 1,57
Média Geral	4,86 ± 0,69	75,44 ± 2,96	2,74 ± 0,89	28,00 ± 1,07	40,18 ± 5,02	40,32 ± 7,44	53,08 ± 1,04	336,39 ± 54,53	27,65 ± 2,72	31,96 ± 3,20	65,93 ± 12,82

(*) Resultados expressos em mg/g, demais resultados de sedimento expressos em µg/g.

Tabela 2. Concentração de metais biodisponíveis em sedimentos da Barragem Diamantina nos quatro pontos de coleta.

Pontos de Amostragem	Concentração (µg/g)										
	Ag	Al*	Cd	Co	Cr	Cu	Fe*	Mn	Ni	Pb	Zn
P1	0,48 ± 0,06	0,32 ± 0,01	0,03 ± 0,002	1,22 ± 0,22	2,46 ± 0,16	6,12 ± 0,48	3,69 ± 0,30	186,05 ± 6,55	0,84 ± 0,08	2,36 ± 0,17	12,84 ± 0,74
P2	0,77 ± 0,12	0,87 ± 0,03	0,02 ± 0,006	0,33 ± 0,06	2,82 ± 0,20	8,61 ± 0,46	3,71 ± 0,17	154,36 ± 4,21	0,83 ± 0,07	3,08 ± 0,17	7,94 ± 0,37
P3	0,73 ± 0,09	1,11 ± 0,07	0,03 ± 0,004	0,34 ± 0,19	2,83 ± 0,31	8,86 ± 0,42	6,7 ± 0,68	193,27 ± 8,00	0,83 ± 0,11	2,33 ± 0,16	6,65 ± 0,16
P4	0,32 ± 0,02	0,70 ± 0,02	0,007 ± 0,002	0,26 ± 0,06	2,50 ± 0,24	7,15 ± 0,02	6,43 ± 0,51	209,65 ± 11,87	0,76 ± 0,04	1,86 ± 0,07	5,19 ± 0,17
Média Geral	0,57 ± 0,21	0,75 ± 0,33	0,02 ± 0,01	0,54 ± 0,45	2,65 ± 0,20	7,68 ± 1,28	5,15 ± 1,67	185,83 ± 23,19	0,81 ± 0,03	2,40 ± 0,50	8,15 ± 3,32

(*) Resultados expressos em mg/g, demais resultados de sedimento expressos em µg/g.

Para avaliar os resultados, Thomas e Júlio retomam a escolha de pontos de amostragem (Figura 4). A justificativa oferecida por eles para a referida escolha foi a necessidade de contemplar toda a extensão da Barragem Diamantina e também de considerar o nível de impactação da mesma. Nessa perspectiva, o ponto um (P1) representa o alto do reservatório; o ponto dois (P2), a área com agricultura intensiva; o ponto três (P3), o início das habitações; e o ponto quatro (P4), as proximidades da hidrelétrica.

Figura 4. Mapa de localização da área de estudo e dos quatro pontos de amostragem escolhidos por Thomas e Júlio.



Abaixo estão dispostos os valores de referência do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA),¹ utilizados pelos rapazes para avaliação da concentração dos metais analisados nos sedimentos. Os valores do Nível 1 representam o nível limiar de efeitos adversos possíveis à comunidade biológica, ou seja, são os valores máximos para que os efeitos de contaminação sejam mínimos, e os valores do Nível 2 representam o nível limiar de efeitos adversos prováveis à comunidade biológica, ou seja, concentrações acima desse nível indicam altas possibilidade da ocorrência de efeitos adversos. Para efeitos de comparação entre valores, é importante ressaltar que a unidade de medida µg g⁻¹ é análoga a mg kg⁻¹, ou seja, a comparação entre a maioria dos valores presentes nas Tabelas 1 e 2 com os valores da Tabela 3 pode ser feita sem a necessidade de cálculos de conversão.

¹ BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 454 de 01 de novembro de 2012.** Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional. Diário Oficial da União, Brasília, 01 de jan., seção 1, p. 66.

Tabela 3. Valores referência de concentrações máximas permissíveis (mg kg^{-1}) para os metais analisados por Thomas e Júlio nos sedimentos coletados na Barragem Diamantina. (-): não existe critério para este parâmetro.

Concentração Máxima	Ag	Al	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
Nível 1	-	-	0,60	-	37,30	35,70	-	-	18,00	35,00	123,00
Nível 2	-	-	3,50	-	90,00	197,00	-	-	35,90	91,30	315,00

Atividades – Parte IV

1. Buscando entender a influência das atividades antrópicas na região da Diamantina para com a vida aquática da barragem, quais relações podem ser estabelecidas entre os resultados adquiridos por Thomas e Júlio (Tabelas 1 e 2), os pontos de amostragem escolhidos pelos personagens (Figura 4)?
2. Comparando os valores obtidos por Thomas e Júlio (Tabelas 1 e 2) com os níveis 1 e 2 dos valores referência de concentrações máximas permissíveis do CONAMA (Tabela 3), o que se pode concluir acerca de efeitos adversos ao meio ambiente na região causados por metais? **Justifiquem a resposta.**
3. Os dados interpretados até o momento confirmam as hipóteses elaboradas pelo grupo na Parte I do estudo de caso? **Justifiquem a resposta.**