



Projeto Bruminha

RESULTADOS DAS TRÊS ONDAS (2021, 2022, 2023)



Julho/2024
Brumadinho – MG



PROGRAMA DE AÇÕES INTEGRADAS EM SAÚDE DE BRUMADINHO

Coordenação

Sérgio Viana Peixoto

Coordenação Geral e Projeto Saúde Brumadinho

Instituto René Rachou - Fiocruz Minas e Escola de Enfermagem – UFMG

Carmen Ildes Rodrigues Fróes Asmus

Coordenação Projeto Bruminha

Faculdade de Medicina – UFRJ

Organização do relatório

Sérgio Viana Peixoto

Carmen Ildes Rodrigues Fróes Asmus

Maíra Lopes Mazoto

Mary Anne Nascimento Souza

Nataly Damasceno

Financiamento

Fundação Oswaldo Cruz - Fiocruz

Departamento de Ciência e Tecnologia (DECIT), da Secretaria de Ciência, Tecnologia, Inovação e Insumos Estratégicos (SCTIE), do Ministério da Saúde.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a todos que contribuíram para essa pesquisa.

À equipe de consultores, Aline de Souza Espindola Santos, Herling Gregorio Aguilar Alonzo, Leiliane Coelho André, Nataly Damasceno de Figueiredo, Renan Duarte dos Santos Saraiva, Volney de Magalhães Câmara, Ana Paula Natividade, Michele Costa, Maíra Lopes Mazoto.

Ao Instituto René Rachou – Fiocruz Minas e à Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ.

À Secretaria Municipal de Saúde de Brumadinho.

Ao Observatório em Desastres em Minas Gerais, especialmente, à Zélia Profeta.

Ao apoio local, Flávia Cristina Campos e Rita Costa.

À empresa parceira Associação Fundo de Incentivo à Pesquisa – AFIP.

Às lideranças comunitárias e Associações Comunitárias de Brumadinho, Associação Estadual de Defesa Ambiental e Social – Aedas e Movimento dos Atingidos por Barragens – MAB.

Agradecemos, especialmente, aos participantes do Projeto Bruminha, que aceitaram fazer parte da pesquisa e dedicaram um pouco de seu tempo para fornecer informações, contribuindo assim para a melhoria dos serviços de saúde do município.



Contents

INTRODUÇÃO.....	7
METODOLOGIA DO PROJETO	9
Desenho do estudo.....	9
Área de estudo	9
População de estudo	10
Impactos sobre a saúde e desenvolvimento infantil (desfechos) avaliados.....	11
Fontes de dados.....	12
Perfil de exposição e coleta de amostras biológicas.....	13
Análise dos dados	14
Aspectos éticos.....	15
Preparação para o estudo	15
PRINCIPAIS RESULTADOS.....	17
Características da população de estudo.....	17
Alterações respiratórias.....	20
Desenvolvimento neuropsicomotor.....	22
Crescimento - avaliação antropométrica	24
Perfil de exposição - dosagem de metais	26
CONSIDERAÇÕES FINAIS	32
REFERÊNCIAS	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Crianças avaliadas nas 3 ondas por localidade	11
Tabela 2. Características sociodemográficas da população de estudo	17
Tabela 3. Características socioeconômicas das famílias e características dos domicílios	19
Tabela 4. Ocorrência de afecções respiratórias em crianças nas áreas expostas e não expostas	21
Tabela 5. Descrição das avaliações do neurodesenvolvimento	22
Tabela 6. Resultados do Teste de Denver II x concentrações urinárias de Arsênio	23
Tabela 7. Resultados da avaliação antropométrica por ano e localidade estudada	24
Tabela 8. Amostras de urina coletadas e válidas por localidade	26
Tabela 9. Taxa de detecção e proporção de amostras acima do VR por ano de estudo segundo localidade	28
Tabela 10. Distribuição das concentrações urinárias de metais da população de estudo por ano e localidade de residência	29

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Comparação da taxa de detecção dos metais por ano segundo localidade	29
Figura 2. Histogramas de distribuição das concentrações de metais por localidade segundo ano de estudo.	31

APRESENTAÇÃO

O presente relatório apresenta informações referentes aos 3 (três) anos de avaliação do *Projeto Estudo Longitudinal da Saúde Infantil em Brumadinho, MG – “Projeto Bruminha”*, utilizando os dados coletados nas localidades de Aranha, Córrego do Feijão, Parque da Cachoeira e Tejuco nos anos de 2021, 2022 e 2023.

O Projeto Bruminha, coordenado pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), em parceria com o Projeto Saúde Brumadinho, faz parte do Programa de Ações Integradas em Saúde de Brumadinho, coordenado pela FIOCRUZ-MG.

Coordenação

Carmen Ildes Rodrigues Fróes Asmus

Coordenação Projeto Bruminha

Faculdade de Medicina – UFRJ

Sérgio Viana Peixoto

Coordenação Geral e Projeto Saúde Brumadinho

Instituto René Rachou - Fiocruz Minas e Escola de Enfermagem - UFMG

Financiamento

O Programa de Ações Integradas em Saúde de Brumadinho é uma iniciativa do Ministério da Saúde (MS) e recebe financiamento do Departamento de Ciência e Tecnologia (DECIT) da Secretaria de Ciência, Tecnologia, Inovação e Insumos Estratégicos em Saúde (SCTIE), não tendo qualquer influência ou participação de nenhuma empresa privada.

INTRODUÇÃO

No dia 25 de janeiro de 2019, ocorreu o rompimento da barragem de rejeitos da mina Córrego do Feijão, sob responsabilidade da mineradora Vale S.A., em Brumadinho, estado de Minas Gerais, atingindo considerável extensão territorial, e ocasionando pelo menos 266 óbitos.

Nesse contexto, a possível exposição da população aos resíduos de metais presentes na lama de rejeitos tornou-se uma preocupação devido aos potenciais efeitos tóxicos destas substâncias sobre a saúde humana. A exposição a poluentes ambientais durante a gestação e nos primeiros anos de vida é particularmente deletéria, em decorrência das características fisiológicas e comportamentais específicas desta faixa etária, podendo levar a ocorrência de desordens ou alterações na saúde infantil, com repercussões na vida adulta (VRIJHEID *et al*, 2016). A imaturidade da barreira hematoencefálica e dos sistemas enzimático e imunológico durante a fase intrauterina e logo após o nascimento, o intenso processo de replicação celular e o maior potencial de exposição, proporcionalmente ao peso corporal, a poluentes químicos tóxicos presentes nos alimentos, água e poeiras, estão entre os fatores que determinam maior vulnerabilidade de recém-natos e crianças aos poluentes presentes nos meios ambientais (LANDRIGAN & GOLDMAN, 2011). A exposição a metais na infância tem sido objeto de vários estudos devido aos potenciais efeitos tóxicos destas substâncias sobre o crescimento e o desenvolvimento infantil. Eles estão associados com a ocorrência de baixo peso e prematuridade no nascimento e déficits no desenvolvimento neuromotor, cognitivo e psicossocial, principalmente em crianças até os 6 anos de idade (ASMUS *et al.*, 2016).

Em junho de 2019, o Ministério da Saúde (MS) propôs a realização de dois estudos longitudinais, financiados pelo Departamento de Ciência e Tecnologia (DECIT) da Secretaria de Ciência, Tecnologia e Insumos Estratégicos (SCTIE), que integram o Programa de Ações Integradas em Saúde de Brumadinho. O Projeto Saúde Brumadinho, coordenado pela Fundação Oswaldo Cruz de Minas Gerais (FIOCRUZ-MG), realiza o acompanhamento de uma amostra representativa da população residente no município com 12 anos ou mais de idade, verificando as condições de vida, trabalho e saúde, incluindo a avaliação das concentrações de metais e impactos na saúde mental, além do uso dos serviços de saúde. O Projeto Bruminha, coordenado pela Universidade Federal

do Rio de Janeiro (UFRJ), realiza a avaliação e acompanhamento das crianças de 0 a 6 anos de idade, residentes nas localidades próximas a área afetada pelo desastre. Ambos os estudos têm previsão de monitoramento anual dos participantes por cerca de cinco anos. As evidências produzidas por essas pesquisas constituirão conhecimento inédito no país sobre os efeitos de um desastre ambiental para a saúde das populações atingidas. Essas evidências podem subsidiar a gestão de riscos em saúde de populações potencialmente expostas a resíduos de metais devido a ocorrência de desastres desta natureza, além de fornecer informações sistematizadas ao serviço de saúde local, contribuindo com a organização do mesmo.

O “Estudo Longitudinal da Saúde Infantil em Brumadinho - Projeto Bruminha”, coordenado pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), realiza a avaliação e acompanhamento das crianças de 0 a 6 anos de idade, residentes em 4 (quatro) localidades selecionadas: Aranha (AR), Córrego do Feijão (CF), Parque da Cachoeira (PC) e Tejuco (TJ). Ele tem como objetivo investigar o impacto do desastre sobre a saúde e desenvolvimento infantil e os potenciais efeitos da exposição a resíduos de metais de interesse à saúde pública sobre a população de estudo. **Este relatório apresenta os resultados dos 3 (três) anos de avaliação do projeto: 2021, 2022 e 2023.**

Este projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal do Rio de Janeiro, sob o parecer número 5.201.083.

METODOLOGIA DO PROJETO

Desenho do estudo

Trata-se de um estudo de coorte prospectivo com seguimento anual pelo período de 5 (cinco) anos com avaliações anuais. Ele tem como objetivo investigar o impacto do desastre sobre a saúde e desenvolvimento infantil e os potenciais efeitos da exposição a resíduos de metais de interesse à saúde pública sobre a população de estudo. Desta forma espera contribuir para a geração de informações sobre os possíveis impactos à saúde infantil causados pelo rompimento de barragem de rejeitos químicos e subsidiar a adequada organização dos serviços de saúde do município.

Área de estudo

A área de estudo do Projeto Bruminha é composta pelas localidades: Aranha (AR), Córrego do Feijão (CF), Parque da Cachoeira (PC) e Tejuco (TJ).

Córrego do Feijão e Parque da Cachoeira foram áreas diretamente afetadas, com residências dispostas em uma faixa de aproximadamente 1,5 km de distância do local onde a onda da lama dos rejeitos de mineração passou e está depositada. Os moradores destas localidades permanecem em contato com a poeira dos resíduos sedimentados desde a ocorrência do desastre devido as atividades de remediação ainda em desenvolvimento.

A localidade de Tejuco foi incluída devido a sua posição geográfica, em nível abaixo de uma área de mineração em atividade, com potencial exposição a poeiras originárias deste processo.

A localidade de Aranha (aproximadamente 11,6 km de distância do Córrego do Feijão, 11,3 km do Parque da Cachoeira e 15,8 km do Tejuco) está localizada a uma distância superior a 10 km da lama de rejeitos e foi considerada uma área onde a população possivelmente não teria exposição à poeira dos rejeitos da lama sedimentada na área do desastre e mobilizados durante as atividades de gerenciamento do dano.

População de estudo

Todas as crianças residentes nas localidades definidas até a idade limite de 6 anos e 11 meses nos anos de 2021, 2022 e 2023. A equipe do projeto disponibilizou listas por localidades contendo nome completo, nome da mãe e data de nascimento das crianças elegíveis para que os profissionais da Secretaria Municipal de Saúde (SMS) entrassem em contato convidando as famílias para retornarem para avaliação a cada ano de monitoramento. Os participantes também receberam convites via *whatsapp* com dia, hora e local das avaliações

Considerando-se a situação de interesse, este projeto optou por trabalhar com uma população dinâmica, na qual podem ocorrer mudanças na condição de exposição e/ou entrada e saída de participantes ao longo do período de seguimento. Desta forma, crianças que não haviam sido avaliadas no primeiro ano de estudo (2021) foram inseridas na população de estudo nos anos subsequentes (2022 e 2023) desde que dentro da idade limite de 6 anos e 11 meses. Da mesma forma, crianças avaliadas em 2021 e que não retornaram em 2022, foram novamente avaliadas no ano de 2023, desde que permanecendo na faixa etária elegível.

A **Tabela 1** apresenta o número de crianças avaliadas na primeira (2021), segunda (2022) e terceira (2023) ondas, segundo as localidades. No ano de 2022, o número total de crianças avaliadas superou a população prevista para este ano devido ao grande número de novos participantes (105%). Isto foi observado nas localidades de Aranha, Parque da Cachoeira e Tejuco. No ano de 2023, embora o percentual total de crianças avaliadas em relação a população prevista (74%) tenha sido superior ao percentual do ano de 2021 (62%), houve uma queda importante na participação das crianças residentes na localidade de Tejuco (49%).

Tabela 1. Crianças avaliadas nas 3 ondas por localidade. Projeto Bruminha, 2021, 2022 e 2023

Localidade	População prevista	Crianças avaliadas
	N	N(%)
Total		
2021	348	217(62)
2022	189	198(104,7)
2023	175	130(74,3)
Aranha		
2021	163	98(60,1)
2022	84	87(103,5)
2023	82	63(76,8)
Córrego do Feijão		
2021	51	30(59)
2022	30	33(90,9)
2023	17*	15(88,2)
Parque da Cachoeira		
2021	58	40(69)
2022	36	39(108,3)
2023	33	35(106)
Tejuco		
2021	76	49(64,5)
2022	39	39(100)
2023	37	18(48,7)

*9 crianças mudaram da localidade

Impactos sobre a saúde e desenvolvimento infantil (desfechos) avaliados

1. Alterações antropométricas: peso; altura; Índice de Massa Corporal; score Z do ganho de peso e altura;
2. Relatos de sinais e sintomas respiratórios e diagnóstico de afecções respiratórias específicas;
3. Desenvolvimento neuromotor, cognitivo e emocional;
4. Perfil de exposição aos resíduos de metais de interesse para a saúde pública definidos: Arsênio (As), Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Mercúrio (Hg) e Manganês (Mn).

Fontes de dados

O levantamento das informações pertinentes tem sido feito pela equipe do Projeto Bruminha formada por profissionais especializados. A aplicação do Teste de Denver II para avaliação do neurodesenvolvimento é realizada por uma fisioterapeuta ou por uma médica pediatra. A avaliação do crescimento e do histórico de saúde das crianças é feita por uma médica pediatra.

A coleta de dados é realizada através dos seguintes instrumentos:

- "Questionário Socioambiental" - com perguntas acerca das condições de vida, trabalho, habitação, características do ambiente entorno do domicílio, hábitos e comportamento alimentar.

- Avaliações antropométricas – medições de peso e comprimento/altura, de acordo com os gráficos de padrão de desenvolvimento da Organização Mundial da Saúde (WHO, 2006).

- "Formulário clínico" - com perguntas acerca do histórico de saúde da criança, vacinação, uso de medicamentos, sinais e sintomas respiratórios, e percepção da mãe ou responsável sobre a saúde da criança.

- Teste de Triagem de Desenvolvimento - Denver II. O Teste de Denver II é um instrumento constituído por um conjunto de 125 itens representativos de habilidades em 4 áreas do desenvolvimento (pessoal-social, motora fino-adaptativa, linguagem e motora grossa). Ele é aplicado através da realização de tarefas pela criança e por relato dos seus cuidadores/pais, para verificação de suas habilidades em 4 domínios assim definidos:

- 1) capacidade de socialização e autocuidados;
- 2) coordenação motora fina;
- 3) reconhecimento, compreensão e utilização da linguagem e;
- 4) controle motor de grandes músculos, usados para sentar, andar, equilibrar-se, entre outras funções.

O teste de Denver II é um instrumento de triagem que fornece informações indicando se o desenvolvimento atual da criança está de acordo com o esperado para sua faixa etária, alertando para a presença de possíveis limitações no desenvolvimento infantil que impliquem na necessidade de investigação e/ou acompanhamento especializado, não tendo como propósito a elaboração de diagnósticos (SABATÉS *et al.*,

2018). A coleta dos dados apresentados no presente relatório foi realizada sempre durante os meses de julho / agosto nos anos de 2021, 2022 e 2023.

Perfil de exposição e coleta de amostras biológicas

Foram realizadas coletas de amostras de urina das crianças para dosagem das concentrações dos metais Arsênio (As), Cádmiio (Cd), Chumbo (Pb), Mercúrio (Hg) e Manganês (Mn).

A escolha destes metais para monitoramento da exposição da população do estudo obedeceu aos seguintes critérios:

- 1) os metais As, Cd, Hg e Pb estão entre as 10 substâncias tóxicas de maior preocupação para a saúde pública, demandando medidas de proteção à saúde humana, de acordo com a Organização Mundial da Saúde (WHO, 2020);
- 2) estes metais constam entre as 10 primeiras da Lista de Substâncias Prioritárias para Saúde Pública de 2019, da Agência para Registro de Substâncias Tóxicas e Doenças (ATSDR - *Agency for Toxic Substances and Disease Registry*) dos Estados Unidos da América, devido a sua toxicidade à saúde associada ao alto potencial de exposição humana pela presença disseminada no ambiente (ATSDR, 2019).
- 3) o Mn foi escolhido para monitoramento na população no presente estudo porque, segundo o Parecer Técnico do Ministério da Saúde de nº 5/2019-DSASTE/SVS/MS, as concentrações deste metal em todas as amostras da lama de rejeito analisadas estavam acima das concentrações médias encontradas nos solos de Brumadinho. Embora o Mn seja considerado um nutriente essencial e sua ingestão seja necessária à saúde humana, pode ser tóxico em caso de exposição a altas concentrações. A inalação de ar contaminado com partículas contendo Mn é uma fonte importante de exposição excessiva ao metal para a população geral, que pode estar associada com alterações sobre o sistema nervoso, com sintomas como: tremores, irritabilidade, agressividade, alterações de memória e concentração, entre outros (ATSDR, 2007).

Os valores de referência (VR) para as concentrações urinárias dos metais As, Cd e Hg utilizados pela equipe de pesquisa do Projeto Bruminha para crianças até 6 anos são baseados nos valores estabelecidos pela NR-7 (1994), em vigor no período da realização do estudo (julho de 2021) (BRASIL, 2020). Com relação às concentrações

urinárias de Mn, o VR considerado pela equipe do presente estudo é baseado na recomendação da ATSDR (ATSDR, 2000). O VR adotado para as concentrações urinárias de Pb é o baseado no estudo realizado por Saravanabhavan *et al.* (2017) (**Quadro 1**).

É importante ressaltar que estes VR indicam o limite máximo acima do qual é considerado que existe uma exposição excessiva e não uma intoxicação. Esta última só pode ser assim considerada após avaliação clínica e maior investigação para definir o diagnóstico, a partir do contexto geral de saúde do indivíduo.

Quadro 1. Valores de referência da normalidade (VR) para metais adotados pela pesquisa

Metais	Valores de Referência da Normalidade (VR)
Arsênio (As)	10 µg/gr de creatinina
Cádmio (Cd)	2 µg/gr de creatinina
Chumbo (Pb)	1,7 µg/L de urina
Manganês (Mn)	1 a 8 µg/L
Mercúrio (Hg)	5 µg/gr de creatinina

Análise dos dados

As características sociodemográficas da população foram descritas para o total da população estudada e por localidade. Para as variáveis categóricas foram calculadas as frequências relativas e para as medidas contínuas, medidas de tendência central e de variabilidade.

Para análise das concentrações de metais na urina calculou-se a taxa de detecção para cada metal, definida como o percentual de amostras de urina nas quais o metal foi detectado, em relação ao total de amostras válidas de urina analisadas.

Foram consideradas válidas as amostras urinárias coletadas cuja concentração de creatinina esteve entre 0,3g/L e 3,3 g/L. As amostras com concentrações fora desta faixa foram desconsideradas na análise.

Para descrever e acompanhar o padrão de exposição da população de estudo, a mediana e o intervalo interquartil são apresentados para cada localidade e ano de avaliação. O Intervalo Interquartil (IQI) utilizado (P25 – P75) demonstra a dispersão dos dados na população, indicando que entre 25% (Quartil1 – Q1) e 75% (Quartil 3 – Q3) da população estudada tem concentrações dos metais dentro dos valores apresentados.

Para comparação entre os anos em cada localidade, foi aplicado o Teste *Kruskal Wallis* de amostras independentes para verificar a existência de diferença na variabilidade das concentrações de cada metal.

Um total de 58 crianças retornaram em todos os três anos de seguimento e tiveram amostras de urina válidas analisadas. Para estas crianças foi feita a análise da distribuição das concentrações dos metais por meio do gráfico de caixas (*Box plot*). Este gráfico aponta a mediana, intervalo interquartil e valores discrepantes. Foi feito o teste de Friedman para amostras pareadas para comparar a variação dos dados.

Aspectos éticos

O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal do Rio de Janeiro, sob o parecer número 5.201.083. A participação se deu mediante a assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) pelos pais ou responsáveis com cópia disponibilizada aos mesmos.

Preparação para o estudo

O Projeto Bruminha foi apresentado e discutido com a Secretaria Municipal de Saúde (SMS) de Brumadinho, em 2019, recebendo autorização formal para sua realização no município. Além disso, todos os procedimentos foram discutidos com os (as) agentes comunitários de saúde, técnica(o)s de enfermagem, enfermeira(o)s e médicos de todo município, além de representantes do Conselho de Assistência Social, Secretaria de Educação e Secretaria de Desenvolvimento Social de Brumadinho, em fevereiro de 2020. Nossa equipe também esteve presente em reunião ordinária do

Conselho Municipal de Saúde, na mesma data, para apresentação e discussão do projeto.

Entre 2020 e o início da coleta de dados (julho/2021) foram realizadas diversas reuniões com lideranças comunitárias, Conselhos Municipais de Saúde, Desenvolvimento Social e Educação, profissionais de saúde das unidades de Atenção Básica (incluindo agentes comunitários) e com os gestores das Secretarias Municipal e Estadual de Saúde, de modo a esclarecer a proposta e dar ciência sobre o início das atividades de coleta de dados.

A cada novo ano de coleta (2022 e 2023), novas reuniões presenciais e visitas às comunidades foram realizadas para esclarecer dúvidas, solicitar o apoio dos profissionais de saúde, gestores e lideranças comunitárias para mobilização dos participantes e informar sobre o início das atividades de coleta de dados.

Enfatizamos a importância da articulação realizada ao longo de todo este período, com todos os atores envolvidos, em especial com os profissionais de saúde e lideranças locais, para o desenvolvimento e realização do Projeto Bruminha.

As informações coletadas no primeiro ano foram divulgadas em relatório anterior e detalhadamente discutidas com os gestores em saúde das três esferas, além de lideranças e população. Os resultados da avaliação do ano de 2022 foram apresentados aos gestores em reunião online realizada em março de 2023. Além disso, todos participantes do projeto receberam um boletim impresso com os resultados da primeira onda – ano 2021 – e da segunda onda (2022), contendo os resultados da avaliação de saúde realizada pela equipe de pesquisa e das análises urinárias de metais com as recomendações pertinentes.

PRINCIPAIS RESULTADOS

Características da população de estudo

O percentual médio de crianças avaliadas foi de 80% da população prevista ao longo dos três anos da pesquisa, com maior percentual residindo em Aranha (45 a 47%).

Ao longo dos primeiros dois anos de estudo, a maioria das crianças avaliadas tinha acima de 4 anos de idade. Em 2023 o maior percentual de crianças avaliadas está na faixa etária de 0 – 11 meses (31%). Nos três anos há maior prevalência do sexo masculino e de população não-branca (referência materna) (**Tabela 2**).

Tabela 2. Características sociodemográficas da população de estudo. Projeto Bruminha, 2021, 2022 e 2023

Variáveis	Total	AR	CF	PC	TJ
Idade – N(%)					
2021					
0-11 meses	29(13,3)	10(10,2)	5(16,6)	6(15)	8(16,3)
1-2 anos	28(12,9)	16(16,3)	3(10)	5(12,5)	4(8,2)
>2-4 anos	67(30,9)	28(28,6)	11(36,7)	15(37,5)	13(26,5)
>4 anos	93(42,9)	44(44,9)	11(36,7)	14(35)	24(49)
Total	217(100)	98(45,2)	30(13,8)	40(18,4)	49(22,6)
2022					
0-11 meses	41(20,7)	11(12,6)	9(27,3)	11(28,2)	10(25,6)
1-2 anos	33(16,7)	22(25,3)	3(9,1)	3(7,7)	5(12,8)
>2-4 anos	57(28,8)	25(28,7)	9(27,3)	13(33,4)	10(25,6)
>4 anos	67(33,8)	29(33,4)	12(36,3)	12(30,7)	14(36)
Total	198(100)	87(44)	33(16,6)	39(19,7)	39(19,7)
2023					
0-11 meses	41(31,3)	11(17,7)	6(37,5)	16(45,7)	8(44,5)
1-2 anos	18(13,7)	13(21)	1(6,2)	3(8,6)	1(5,5)
>2-4 anos	44(33,6)	23(37,1)	5(31,3)	11(31,4)	5(27,7)
>4 anos	28(21,4)	15(24,2)	4(25)	5(14,3)	4(22,3)
Total	131(100)	62(47,3)	16(12,3)	35(26,7)	18(13,7)
Sexo – N(%)					
2021					
Feminino	103(47,5)	44(44,9)	13(43,3)	19(47,5)	27(55,1)
Masculino	114(52,5)	54(55,1)	17(56,7)	21(52,5)	22(44,9)
Total	217(100)	98(45,2)	30(13,8)	40(18,4)	49(22,6)
2022					
Feminino	99(50)	46(52,9)	17(51,5)	16(41)	20(51,3)
Masculino	99(50)	41(47,1)	16(44,5)	23(59)	19(48,7)
Total	198(100)	87(44)	33(16,6)	39(19,7)	39(19,7)
2023					
Feminino	56(42,7)	28(45,2)	7(43,7)	13(37,2)	8(44,4)
Masculino	75(57,3)	34(54,8)	9(56,3)	22(62,8)	10(55,6)
Total	131(100)	62(47,3)	16(12,3)	35(26,7)	18(13,7)
Cor/raça – N(%)					

2021					
Branca	78(38,8)	44(48,3)	7(26,9)	14(37,8)	13(27,7)
Não branca	123(61,2)	47(51,7)	19(73,1)	23(62,2)	34(72,3)
Total*	201(100)	91(45,3)	26(13)	37(18,4)	47(23,3)
2022					
Branca	99(50)	46(52,9)	17(51,5)	16(41)	20(51,3)
Não branca	99(50)	41(47,1)	16(48,5)	23(59)	19(48,7)
Total	198(100)	87(44)	33(16,6)	39(19,7)	39(19,7)
2023					
Branca	47(36,7)	29(45,3)	2(20)	8(22,9)	8(42,1)
Não branca	81(63,3)	35(54,7)	8(80)	27(77,1)	11(57,9)
Total**	128(100)	64(50)	10(7,8)	35(27,3)	19(14,9)

*missing=16; **missing=3

Com relação às características socioeconômicas das famílias participantes do estudo (**Tabela 3**), a média (e desvio padrão) de idade das mães/responsáveis em cada ano variou entre 31,3 ($\pm 5,5$) e 34,8 ($\pm 6,2$) anos. Observou-se um aumento do percentual de mães/responsáveis com maior número de anos de estudo, no total e por localidade, ao longo dos três anos da pesquisa.

A fossa séptica foi o tipo de esgotamento sanitário mais prevalente em todos os anos de avaliação, no total de domicílios e por localidade. Tejuco apresentou o maior percentual de esgotamento sanitário do tipo céu aberto/rio/lago nos anos de 2021 (31%) e 2023 (17,6%). Este é um indicador de vulnerabilidade social utilizado em diversos estudos e relacionado à falta de infraestrutura de saneamento urbano na região (IPEA, 2015).

Em todos os três anos da pesquisa, a principal fonte de água para consumo humano, no total de domicílios avaliados e nas localidades de Parque da Cachoeira, Córrego do Feijão e Tejuco, foi água mineral. Na localidade de Aranha, o maior número de domicílios refere outras fontes de consumo de água, que não a mineral, em todos os anos de estudo.

Tabela 3. Características socioeconômicas das famílias e características dos domicílios. Projeto Bruminha, 2021, 2022 e 2023

Variáveis	Total	AR	CF	PC	TJ
Idade média da mãe – Média±					
DP					
2021	33±9	33±9	32±9	32±9	33±10
2022	32,4 ±6,1	32,5±6	31,3±5,5	32,5±5,6	33±7,8
2023	32,8±6,2	32,6±6,4	31,8±5,7	32,7±5,5	34,8±6,2
Escolaridade da mãe					
2021					
1 a 9 anos de estudo	58(33,2)	30(37)	3(14,3)	12(33,3)	13(35,1)
>9 anos de estudo	117(66,8)	51(63)	18(85,7)	24(66,7)	24(64,9)
Total	175(100)	81(46,2)	21(12)	36(20,6)	37(21,2)
2022					
1 a 9 anos de estudo	36(27,7)	16(27,1)	4(21,1)	7(25)	9(37,5)
>9 anos de estudo	94(72,3)	43(72,9)	15(78,9)	21(75)	15(62,5)
Total	130(100)	59(45,4)	19(14,6)	28(21,5)	24(18,5)
2023					
1 a 9 anos de estudo	23(20,4)	11(20)	2(18,2)	7(22,6)	3(18,7)
>9 anos de estudo	90(79,6)	44(80)	9(81,8)	24(77,4)	13(81,3)
Total	113(100)	55(48,7)	11(9,7)	31(27,4)	16(14,2)
Esgotamento sanitário					
2021					
Fossa séptica	175(87)	87(93,6)	25(89,2)	36(94,8)	27(64,3)
Rede geral de esgoto	8(4)	3(3,2)	2(7,2)	1(2,6)	2(4,7)
Céu aberto/ Rio/lago	18(9)	3(3,2)	1(3,6)	1(2,6)	13(31)
Total	201(100)	93(46,2)	28(14)	38(18,9)	42(20,9)
2022					
Fossa séptica	152(96,8)	70(97,3)	24(100)	31(100)	27(90)
Rede geral de esgoto	5(3,2)	2(2,7)	0	0	3(10)
Céu aberto/ Rio/lago	0	0	0	0	0
Total	157(100)	72(45,8)	24(15,3)	31(19,8)	30(19,1)
2023					
Fossa séptica	113(89)	55(88,7)	12(92,3)	34(97,2)	12(70,6)
Rede geral de esgoto	10(7,9)	7(11,3)	1(7,7)	0	2(11,8)
Céu aberto/ Rio/lago	4(3,1)	0	0	1(2,8)	3(17,6)
Total	127(100)	62(48,8)	13(10,3)	35(27,5)	17(13,4)
Fonte de água para consumo					
2021					
Mineral	125(60,1)	24(25,3)	28(100)	37(92,5)	36(80)
Outras fontes	83(39,9)	71(74,7)	0	3(7,5)	9(20)
Total	208(100)	95(45,7)	28(13,5)	40(19,2)	45(21,6)
2022					
Mineral	100(58,5)	17(23)	25(92,6)	32(94,1)	26(72,2)
Outras fontes	71(41,5)	57(77)	2(7,4)	2(5,9)	10(27,8)
Total	171(100)	74(43,3)	27(15,8)	34(19,9)	36(21)
2023					
Mineral	83(64,3)	26(41,9)	11(78,6)	34(97,2)	12(66,7)
Outras fontes	46(35,7)	36(58,1)	3(21,4)	1(2,8)	6(33,3)
Total	129(100)	62(48,1)	14(10,8)	35(27,2)	18(13,9)



Alterações respiratórias

No ano de 2021, um total de 217 crianças de 0 a 6 anos residentes nas localidades de interesse do estudo foram avaliadas sobre a ocorrência de sinais e sintomas respiratórios no período anterior de 15 dias, e diagnóstico de doenças respiratórias pelo período de 12 meses. Destas, 119 (54,8%) eram residentes em localidades expostas à poeira de mineração (CF, PC, TJ) e 98 (45,2%) na localidade não exposta (AR).

A categorização das localidades em expostas e não expostas considerou os seguintes parâmetros: CF e PC estão localizadas próximas ao trajeto percorrido pela lama e TC está situada abaixo de uma área de mineração em atividade e foram, portanto, áreas consideradas expostas; AR está distante do trajeto dos rejeitos e não possui área de mineração no seu entorno, representando a área não exposta.

As afecções respiratórias apresentadas na **Tabela 4** foram organizadas da seguinte forma: vias aéreas superiores (rinite/sinusite e otite), vias aéreas inferiores (pneumonia, asma/sibilância/sibilo e bronquite); sinais e sintomas respiratórios (tosse, sibilo, dificuldade para respirar, congestão nasal/coriza, espirros recorrentes, roncos/secreções e otalgia); e alergia respiratória isoladamente.

As crianças residentes na área exposta apresentaram um maior número de queixas relacionadas à ocorrência de afecções de vias aéreas superiores (58,3%; $p=0,62$), das vias aéreas inferiores (52,8%; $p=0,95$) e sinais e sintomas respiratórios (54,2%; $p=0,96$), quando comparado às residentes na área não exposta, embora sem significância estatística. Crianças que viviam nas comunidades expostas à poeira de resíduos apresentaram três vezes mais chance (OR ajustada = 3.63; IC95%: 1,37; 9,57) de ocorrência de alergia respiratória em comparação com as não expostas. O artigo completo publicado pela equipe do projeto descrevendo os desfechos respiratórios observados na população de estudo no ano de 2021 está disponível em Saraiva *et al.*, 2024 (doi: 10.1590/0102-311XPT131223).

Tabela 4. Ocorrência de Afecções Respiratórias em crianças residentes nas áreas consideradas expostas (PC, CF, TJ) e não expostas (AR) a poeira resultante do desastre do rompimento da barragem de mineração em Brumadinho, 2021.

Vias aéreas Superiores[#]	Sim n (%)	Não n (%)	Total n (%)	P-valor
Exposto	35(58,3)	25(41,7)	60(100)	0,62*
Não Exposto	79(53,4)	69(46,6)	148(100)	
Vias aéreas Inferiores⁺	Sim	Não	Total	P-valor
Exposto	19(52,8)	17(42,2)	36(100)	0,95*
Não Exposto	99(55,0)	81(45,0)	180(100)	
Sinais e Sintomas Respiratórios^α	Sim	Não	Total	P-valor
Exposto	78(54,2)	66(45,8)	144(100)	0,96*
Não Exposto	40(55,6)	32(44,4)	72(100)	
Alergia Respiratória	Sim	Não	Total	P-valor
Exposto	24(75,0)	8(25,0)	32(100)	0,02*
Não Exposto	92(50,5)	90(49,5)	182(100)	

*Qui-quadrado Teste de Yates (Correção de Continuidade), [#]rinite/sinusite e otite; ⁺pneumonia, asma/sibilância/sibilo e bronquite; ^αtosse, sibilo, dificuldade para respirar, congestão nasal/coriza, espirros recorrentes, roncos/secreções e otalgia. Fonte: Saraiva *et al.*, 2024.

As análises dos dados dos desfechos respiratórios referentes as avaliações realizadas nos anos de 2022 e 2023 estão em curso e os resultados serão disponibilizados assim que finalizados.

Desenvolvimento neuropsicomotor

Ao longo dos 3 (três) anos de avaliação, houve uma redução no percentual de crianças com resultado do Teste de Denver II com risco de atraso (RA) tomando-se o ano 2021 como referência. Este resultado sugere uma melhora no padrão de neurodesenvolvimento da população estudada, que pode ser justificada pelo retorno das atividades escolares e da vida social das crianças, após o isolamento social provocado pela pandemia de COVID-19 (**Tabela 5**). Na população total a redução foi de aproximadamente 34% (RP = 0,66 p <0,05) quando comparados tanto o ano 2022 quanto o ano 2023. Quando analisado por localidade, apenas Aranha não apresentou diferença significativa.

Tabela 5. Descrição dos resultados das avaliações do neurodesenvolvimento (DENVER II teste) por ano segundo localidade

Localidade	Total – N(%)	Normal – N(%)	Risco de atraso (RA) –N(%)	Razão de prevalencia (p*)
Total				
2021	193(100)	111(57,5)	82(42,5)	1
2022	191(100)	137(71,7)	54(28,3)	0,66 (0,003)
2023	120(100)	86(71,7)	34(28,3)	0,66 (0,010)
2021				
Aranha	87(100)	59(67,8)	28(32,2)	1
Córrego do Feijão	27(100)	12(44,4)	15(55,6)	1
Parque da Cachoeira	36(100)	18(50)	18(50)	1
Tejuco	43(100)	22(51,2)	21(48,3)	1
2022				
Aranha	86(100)	59(68,6)	27(31,4)	0,95
Córrego do Feijão	30(100)	25(83,3)	5(16,7)	0,3 (0,005)
Parque da Cachoeira	38(100)	28(73,7)	10(26,3)	0,52 (0,040)
Tejuco	37(19,3)	25(18,3)	12(22,2)	0,66 (0,130)
2023				
Aranha	56(100)	40(71,4)	16(28,6)	0,88 (0,64)
Córrego do Feijão	15(100)	10(66,7)	5(33,3)	0,6 (0,16)
Parque da Cachoeira	31(100)	21(67,7)	10(32,3)	0,64 (0,14)
Tejuco	18 (100)	15(83,3)	3(16,7)	0,34 (0,01)

*Teste Qui quadrado para comparação das proporções observadas a cada ano, tomando-se 2021 como referência.

Nos anos três anos de avaliação (2021, 2022, 2023) não foi observada associação entre as concentrações urinárias de Arsênio com o risco de atraso no desenvolvimento neuropsicomotor avaliado pelo Teste de Denver II (**Tabela 6**).

Tabela 6. Resultados do Teste de Denver II de acordo com as concentrações urinárias de arsênio na população de estudo

	RESULTADO TESTE DENVER II			p
	Total - N(%)	Normal - N(%)	Risco de atraso - N(%)	
2021				
As ≤VR	83(100)	43(51,8)	40(48,2)	0,493
As >VR	66(100)	38(57,6)	28(42,4)	
Total	149(100)	81(54,4)	68(45,6)	
2022				
As ≤VR	71(100)	44(62)	27(38)	0,477
As >VR	39(100)	22(56,4)	17(43,6)	
Total	110(100)	66(60)	44(40)	
2023				
As ≤VR	36(100)	23(63,9)	13(36,1)	0,10
As >VR	52(100)	42(80,8)	10(19,2)	
Total	88(100)	65(73,9)	23(26,1)	

Teste Qui quadrado

Crescimento - avaliação antropométrica

Ao longo dos 3 (três) anos de avaliação, a maioria das crianças apresentou Índice de Massa Corporal (IMC) normal, enquanto os quadros de obesidade (IMC > 30) e sobrepeso (IMC > 25) sofreram redução em todas as localidades estudadas (**Tabela 7**). Isso pode estar associado com a retomada da socialização após as medidas restritivas impostas pela pandemia de COVID-19, o que aumentou a possibilidade de brincadeiras ao ar livre, na escola, a prática de esportes e, conseqüentemente, o gasto energético das crianças, afastando-as do sedentarismo que, segundo estudos recentes, possui efeitos negativos na saúde das crianças, especialmente no ganho de peso (LINHARES & ENUMO, 2020). No entanto, é importante ressaltar a importância de uma avaliação do consumo alimentar da população, visto que emergências, como a ocorrência de desastres, tendem a alterar os padrões alimentares da população afetada, aumentando o consumo de alimentos não saudáveis (NASCIMENTO-SOUZA et al., 2022).

Tabela 7. Resultados da avaliação antropométrica por ano e localidade estudada

Localidade	Total – N (%)	Baixo peso – N(%)	IMC normal – N (%)	Sobrepeso – N (%)	Obesidade – N (%)
Total					
2021*	216(100)	0	164(76)	27(12,5)	25(11,5)
2022	198(100)	3(1,5)	165(83,3)	15(7,6)	15(7,6)
2023	131(100)	0	119(90,8)	6(4,6)	6(4,6)
2021					
AR	97(100)	0	72(74,2)	14(14,4)	11(11,4)
CF	30(100)	0	25(83,3)	3(10)	2(6,7)
PC	40(100)	0	23(57,5)	7(17,5)	10(25)
TJ	49(100)	0	44(89,8)	3(6,1)	2(4,1)
2022					
AR	90(100)	1(1,1)	76(84,4)	7(7,8)	6(6,7)
CF	31(100)	1(3,3)	26(83,9)	2(6,4)	2(6,4)
PC	38(100)	1(2,6)	31(81,6)	5(13,2)	1(2,6)



TJ	39(100)	0	32(82)	1(2,6)	6(15,4)
2023					
AR	63(100)	0	56(89)	4(6,3)	3(4,7)
CF	15(100)	0	13(86,7)	2(13,3)	0
PC	35(100)	0	33(94,3)	0	2(5,7)
TJ	18 (100)	0	17(94,4)	0	1(5,6)

*missing=1

Perfil de exposição à resíduos - dosagem de metais

O percentual de amostras de urina coletadas válidas para análise laboratorial tem se mantido acima de 85% ao longo dos 3 anos de avaliação, atingindo 89% no ano de 2023 (**Tabela 8**). Todas as urinas que apresentaram concentrações de creatinina abaixo de 0,3g/L ou acima de 3,3 g/L não foram utilizadas para esta análise. As concentrações urinárias de mercúrio, cádmio e arsênio analisadas são corrigidas por grama de creatinina urinária.

Tabela 8. Amostras de urina coletadas e válidas por localidade

Ano/Localidade	População (N)	Amostras coletadas – N (%)	Amostras coletadas com urina diluída – N (%)	Total de amostras válidas - N (%)
Total				
2021	217	197(90,8)	25(12,7)	172(87,3)
2022	204	159(77,9)	29(18,2)	130(87)
2023	131	99(75,6)	11(11,1)	88(88,9)
2021				
AR	98	90(91,8)	12(13,4)	78(86,6)
CF	30	25(83,3)	2(8)	23(92)
PC	40	35(87,5)	4(11,4)	31(88,6)
TJ	49	47(95,9)	7(14,9)	40(85,1)
2022				
AR	92	71(77,2)	11(15,5)	60(84,5)
CF	32	23(71,9)	4(7,4)	19(82,6)
PC	39	34(87,2)	10(29,4)	24(70,6)
TJ	41	31(75,6)	4(12,9)	27(87)
2023				
AR	63	48(76,2)	3(6,3)	45(93,7)
CF	15	10(66,7)	2(20)	8(80)
PC	35	28(80)	4(14,3)	24(85,7)
TJ	18	13(72,2)	2(15,4)	11(84,6)

Legenda: n=número de participantes; N= número de amostras

A **Tabela 9** apresenta a taxa de detecção (TD) e a proporção de amostras acima do valor de referência (VR) por ano de estudo e segundo localidade estudada. A representação gráfica da taxa de detecção pode ser visualizada na **Figura 1**.

Os resultados indicam uma permanência da taxa de detecção do Arsênio em 100%, nos três anos analisados, em todas as localidades (PC: 97% - 2022), inclusive Aranha, localidade situada há cerca de 10 km do local do desastre. O percentual total de amostras acima do VR para arsênio passou de 42% em 2021 para 57% em 2023. Na localidade de Aranha, o percentual de amostras acima do VR para arsênio manteve-se na faixa de 50% a 52,3% ao longo dos 3 anos. Nas localidades situadas próximas a área do desastre (PC e CF) e de mineração ativa (TJ) há um aumento do percentual de amostras de urina com concentrações de arsênio acima do VR do ano de 2021 (PC: 29%; CF: 29%; TJ: 37,5%) para o ano de 2023 (PC: 54%; CF: 62,5%; TJ: 72%).

Todos os outros metais analisados apresentaram um aumento da taxa de detecção no ano de 2023, em relação ao ano de 2022, com percentuais semelhantes aos do ano de 2021. Chumbo (Pb) e mercúrio (Hg) apresentaram uma taxa de detecção na urina de 100% em todas as localidades no ano de 2023 (PC – Hg: 96%). No entanto, nenhuma das amostras analisadas ultrapassou o valor de referência utilizado para estes metais, em nenhuma localidade estudada.

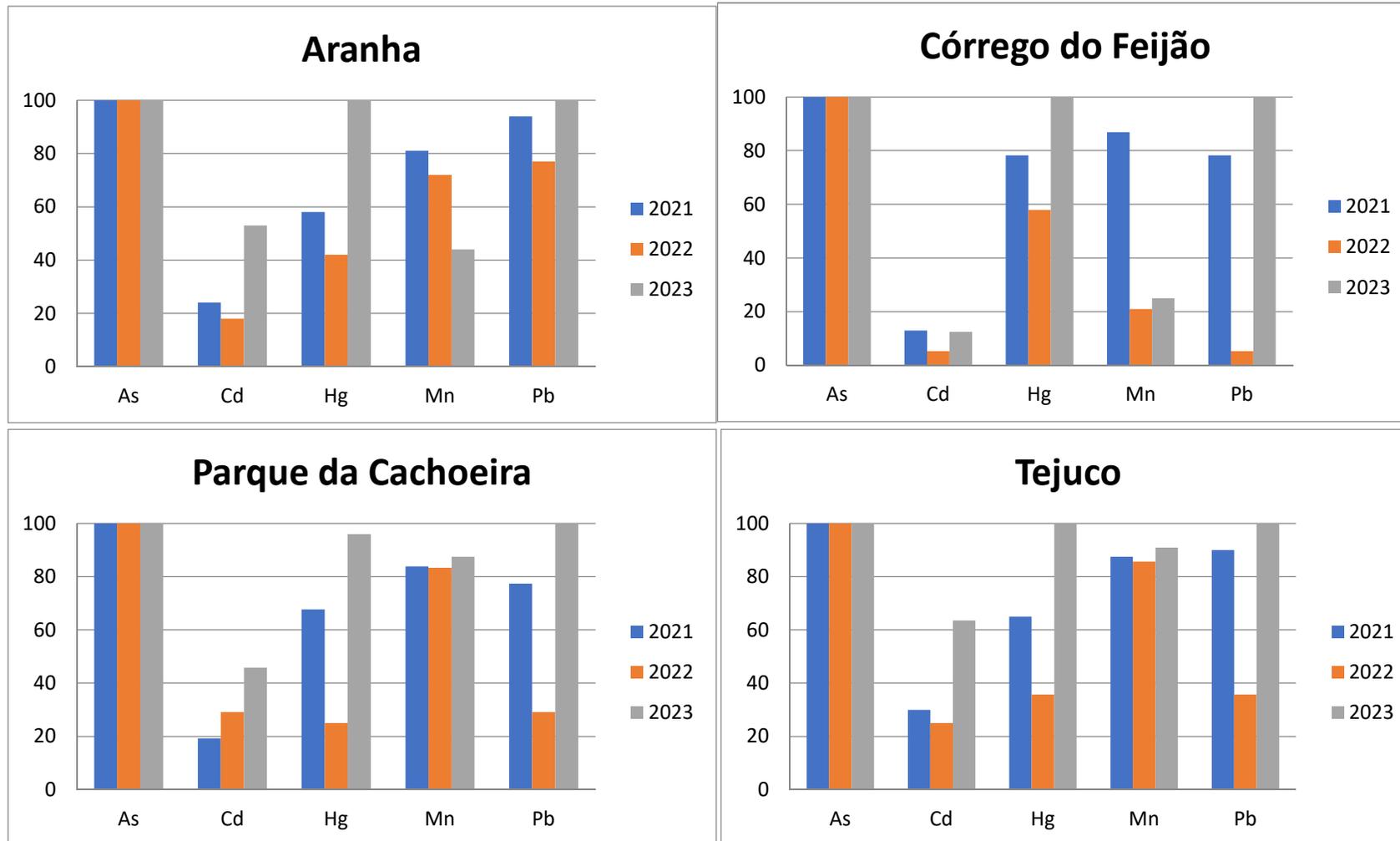
Tejuco apresentou as maiores taxas de detecção para manganês (Mn) nos três anos de observação do estudo (2021: 87,5%; 2022: 84%; 2023: 91%) e as maiores TD para cádmio (Cd) nos anos de 2021 (30%) e 2023 (63%) e a segunda maior TD para chumbo (90%) em 2021. No entanto, nenhuma amostra ultrapassou o valor de referência utilizado para Mn e Cd. Tejuco é uma comunidade situada muito próxima, e em nível inferior, a uma extensa área de mineração que está novamente ativa. Além da possibilidade de contaminação do lençol freático, é importante assinalar a possibilidade de inalação da poeira decorrente desta atividade produtiva.

Tabela 9. Taxa de detecção e proporção de amostras acima do Valor de referência por localidade, segundo ano de estudo.

Local	Metal	2021		2022		2023	
		Txdetecção	%>VR	Txdetecção	%>VR	Txdetecção	%>VR
Total	As	172(100)	72(42)	131(100)	58 (44,2)	88(100)	50(57)
	Cd	40 (23,2)	0	24(18,3)	0	43(48,8)	0
	Hg	110 (63,9)	2 (1,2)	52(39,7)	1 (0,7)	88(100)	0
	Mn	144 (83,7)	2(1,2)	91(69,5)	0	53(60,2)	0
	Pb	153 (88,9)	23(13)	64(48,8)	0	88 (100)	6(6,8)
		Txdetecção	%>VR	Txdetecção	%>VR	Txdetecção	%>VR
Aranha	As	78(100)	39 (50)	60 (100)	30(50,0)	44(100)	23(52,3)
	Cd	19 (24,3)	0	9(18,5)	0	24(53,3)	0
	Hg	45 (57,7)	1 (1,3)	25 (41,7)	1 (1,6)	45(100)	0
	Mn	63(80,7)	1(1,3)	43(71,6)	0	20(44,4)	0
	Pb	73(93,6)	9(11,5)	46(77,0)	3(5,0)	45(100)	3(6,8)
		Txdetecção	%>VR	Txdetecção	%>VR	Txdetecção	%>VR
PC	As	31(100)	9(29)	24 (100,0)	15(37,5)	24(100)	13(54,2)
	Cd	6 (19,3)	0	7(29,2)	0	11(45,8)	0
	Hg	21(67,7)	1 (3,2)	6(25)	0	23(96)	0
	Mn	26(83,8)	0	20(83,3)	0	21(87,5)	0
	Pb	24(77,4)	2(6,4)	7(29,2)	0	24(100)	3(2,5)
		Txdetecção	%>VR	Txdetecção	%>VR	Txdetecção	%>VR
CF	As	23(100)	9(29)	19(100)	4(21,1)	8(100)	5(62,5)
	Cd	3(13)	0	1(5,3)	0	2(12,5)	0
	Hg	18 (78,2)	0	11(57,9)	0	8(100)	0
	Mn	20(86,9)	0	4(21,0)	0	2(25)	0
	Pb	18(78,2)	2(8,7)	1(5,3)	0	8(100)	0
		Txdetecção	%>VR	Txdetecção	%>VR	Txdetecção	%>VR
Tejuco	As	40(100)	15(37,5)	28 (100)	9(32,2)	11(100)	8(72,2)
	Cd	12(30)	0	7 (25,0)	0	7(63,6)	0
	Hg	26(65)	0	10(35,7)	0	11(100)	0
	Mn	35(87,5)	1(2,5)	24(85,7)	0	10(90,9)	0
	Pb	36(90)	10(25)	10 (35,7)	0	11(100)	0



Figura 1. Comparação da taxa de detecção dos metais por ano segundo localidade



A **Tabela 10** apresenta a distribuição das concentrações urinárias (Intervalo interquartilício - IQI) de metais da população de estudo por ano, segundo localidade de residência, e o resultado da análise estatística da comparação da variação desta distribuição nos anos. O Intervalo Interquartilício (IQI) utilizado (P25 – P75) indica que entre 25% e 75% da população estudada tem concentrações dos metais dentro dos valores apresentados. O IQI para As de 5,45 – 13,98 $\mu\text{g/g}$ (total - 2021) significa que: 50% das crianças têm concentrações de As entre 5,45 $\mu\text{g/g}$ e 13,98 $\mu\text{g/g}$; 25% das crianças analisadas têm concentrações acima de 13,98 $\mu\text{g/g}$; e 25% abaixo de 5,45 $\mu\text{g/g}$.

Na análise do padrão de distribuição das concentrações (IQI) de arsênio, observa-se um aumento da mediana das concentrações entre os anos de 2021 (9,35 $\mu\text{g/g}$) e 2023 (10,8 $\mu\text{g/g}$) no total de crianças avaliadas ($p=0,064$). **Na localidade de Parque da Cachoeira verifica-se um aumento significativo ($p=0,015$) do IQI, com a mediana da concentração de As subindo de 6,3 $\mu\text{g/g}$ Cr no ano de 2021, para 10,4 $\mu\text{g/g}$ Cr no ano de 2023.** Córrego do Feijão e Tejuco também apresentam um aumento do IQI e da mediana das concentrações de As, quando comparados os anos 2021 e 2023, porém sem significância estatística ($P>0,10$). Em Aranha, a distribuição das concentrações nos três anos analisados não mostrou variação estatística ($p=0,574$).

Apesar do aumento da taxa de detecção do chumbo (Pb) urinário em todas as localidades no ano de 2023 (100%), **não é possível estabelecer uma variação significativa nos valores do intervalo de distribuição e na mediana das concentrações, no total e em todas as localidades, exceto Aranha, onde observa-se uma diminuição significativa ($p = 0,000$) na mediana das concentrações ao longo dos três anos (2021: 0,70 $\mu\text{g/L}$; 2022: 0,50 $\mu\text{g/L}$; 2023: 0,45 $\mu\text{g/L}$).**

Em relação aos metais mercúrio (Hg) e cádmio (Cd), o aumento da taxa de detecção observado no ano de 2023 não está relacionado com maiores medianas de concentrações destes metais nas análises urinárias.

Observou-se um aumento significativo ($p = 0,000$) na mediana do IQI para o manganês (Mn) apenas na localidade de Parque da Cachoeira ao longo dos três anos, porém mantendo-se abaixo do valor de referência.

Até o momento não é possível estabelecer uma tendência de exposição a maior ou menor concentração de resíduos de metais devido a variação observada na análise dos três anos consecutivamente. É necessário maior período de acompanhamento para que possamos identificar com mais clareza um padrão de comportamento.

Tabela 10. Distribuição das concentrações urinárias de metais da população de estudo por local de residência segundo ano de pesquisa.

Local	Metal	2021	2022	2023	P valor
		Mediana (IQI)	Mediana (IQI)	Mediana (IQI)	
Total	As ^(µg/g)	9,35 (5,45 – 13,9)	8,6 (5,1 – 13,3)	10,8 (7,0 – 15,3)	0,064
	Cd ^(µg/g)	<LOD	<LOD	<LOD (<LOD – 0,1)	0,001*
	Hg ^(µg/g)	0,30 (0,18 – 0,83)	<LOD (<LOD – 0,7)	0,20 (0,1 – 0,3)	0,008*
	Mn ^(µg/L)	0,35 (0,2 – 0,68)	0,4 (<LOD – 0,8)	0,3 (0,3 – 0,9)	0,497
	Pb ^(µg/L)	0,8 (0,4 – 1,3)	<LOD (<LOD – 0,5)	0,56 (0,3 – 0,9)	0,000*
	Metal	Mediana (IQI)	Mediana (IQI)	Mediana (IQI)	
Aranha	As ^(µg/g)	10,40 (6,38 -15,4)	9,8 (5,7 – 14,2)	10,70 (6.65 – 14.95)	0,574
	Cd ^(µg/g)	< LOD	<LOD	0,10 (<LOD – 0.10)	0,003*
	Hg ^(µg/g)	0,30(0,20 - 0,55)	0,1 (<LOD – 0,53)	0,20 (0,1 -0,3)	0,413
	Mn ^(µg/L)	0,40(0,2 - 0,7)	0,5 (LOD – 0,78)	<LOD	0,009*
	Pb(µg/L)	0,70(0,40 -1,20)	0,5 (0,13 – 0,8)	0,45 (0,28 – 0,80)	0,000*
	Metal	Mediana (IQI)	Mediana (IQI)	Mediana (IQI)	
Parque da Cachoeira	As ^(µg/g)	6,3 (3,4 – 13,2)	8,65 (5,4 – 16,2)	10,40 (6,02 – 16,35)	0,015*
	Cd ^(µg/g)	<LOD	< LOD (< LOD – 0,2)	<LOD (< LOD – 0,10)	0,05*
	Hg ^(µg/g)	1,30(0,15 – 1,3)	<LOD (<LOD – 0,25)	0,20 (0,10 – 0,30)	0,164
	Mn(µg/L)	0,20(0,1 – 0,3)	0,45 (0,13– 1,02)	0,55 (0,3 – 1,18)	0,000*
	Pb(µg/L)	0,60(0,33 -0,98)	< LOD (<LOD – 0,1)	0,85 (0,39 – 1,34)	0,000*
	Metal	Mediana (IQI)	Mediana (IQI)	Mediana (IQI)	
Corrego do Feijão	As ^(µg/g)	8,60 (3,5 – 8,6)	5,4 (2,95 - 9,8)	11,30 (7,1 – 22,15)	0,112
	Cd ^(µg/g)	<LOD	<LOD	-	0,528
	Hg ^(µg/g)	0,2 (<LOD – 0,83)	0,1 (<LOD – 0,1)	0,18 (0,1 - 0,25)	0,274
	Mn ^(µg/L)	0,5 (0,23 – 0,7)	<LOD	-	0,000*
	Pb(µg/L)	0,75 (0,43 -1,18)	<LOD	0,32 (0,145 – 0,67)	0,000*
	Metal	Mediana (IQI)	Mediana (IQI)	Mediana (IQI)	
Tejuco	As ^(µg/g)	9,20 (5,48 – 12,7)	7,5 (4,1 – 11,1)	12,00 (6,9 – 13,0)	0,318
	Cd ^(µg/g)	<LOD	<LOD (<LOD – 0,2)	0,10 (<LOD – 0,1)	0,098
	Hg ^(µg/g)	0,2 (0,2 – 0,9)	<LOD (<LOD – 0,2)	0,20 (0,1 – 0,3)	0,077
	Mn ^(µg/L)	0,4 (0,2 – 0,9)	0,7 (0,3 – 1,0)	0,60 (0,5 – 0,9)	0,435
	Pb(µg/L)	1,15 (0,1 – 1,6)	<LOD (<LOD – 0,2)	0,61 (0,4 – 0,87)	0,000

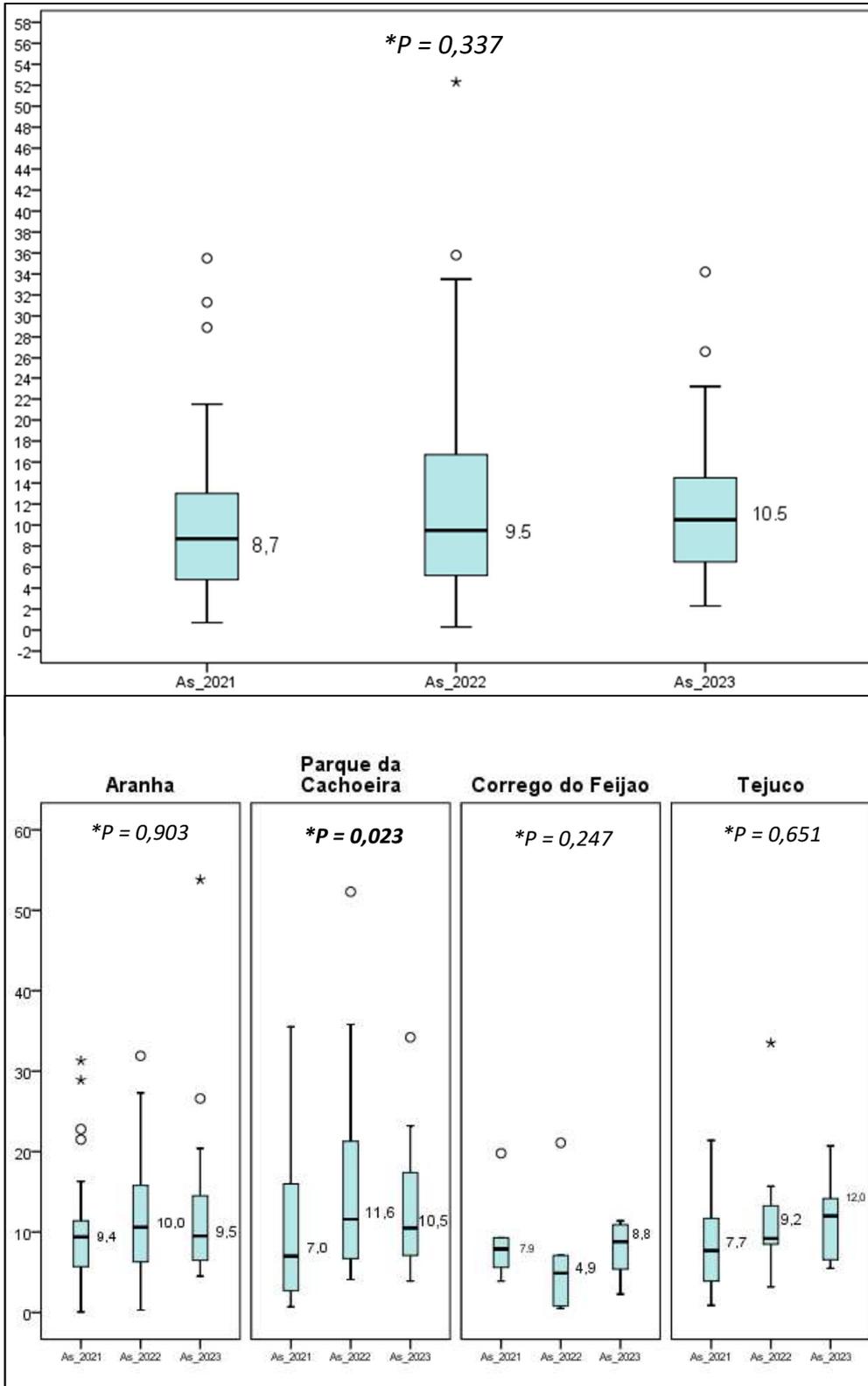
*Teste Kruskal wallis de amostras independentes aplicado para comparação da variação da distribuição das concentrações urinárias de metais da população de estudo por ano

Legenda: IQI – Intervalo interquartil aponta as posições do primeiro quartil que equivale ao Percentil 25 e o terceiro quartil que equivale ao P 75 da amostra

Conforme descrito nos resultados acima, o Arsênio é o poluente que nos três anos analisados é detectado na urina de todas as crianças cujas amostras eram válidas. Observando-se as concentrações do As somente entre as crianças com urinas analisadas nos três anos subsequentes do estudo (n=58), é possível verificar uma tendência de aumento das concentrações mensuradas na população estudada, principalmente nas localidades PC, CF e TJ, porém apenas a variação em PC apresentou significância estatística ($p=0,023$) (**Figura 2**).



Figura 2. Distribuição das concentrações de arsênio – crianças com amostras validas nos tres anos se seguimento (N=58).





CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este relatório apresenta os resultados parciais referentes aos três anos da avaliação da exposição a metais de interesse à saúde pública (arsênio, mercúrio, cádmio, chumbo e manganês) e do perfil de saúde da população de crianças de 0 a 6 anos, residentes nas localidades Aranha, Córrego do Feijão, Parque da Cachoeira e Tejuco.

Os principais resultados observados ao longo dos três anos do estudo foram:

- Aumento do percentual de crianças com resultado do Teste de Denver II normal: de 57,5% no ano de 2021, para 71,7% em 2022 e 2023, apontando para uma melhora no padrão de neurodesenvolvimento da população de estudo ao longo do tempo;
- Aumento do percentual de crianças que apresentaram Índice de Massa Corporal (IMC) normal: de 76% em 2021, para 83,3% em 2022 e 90,8% em 2023, indicando uma melhora nos parâmetros antropométricos da população de estudo ao longo dos anos de pesquisa;
- Manutenção do percentual de crianças que apresentaram pelo menos 1 dos 5 metais detectados na urina: 100% das amostras válidas em 2021, 2022 e 2023;
- Aumento do percentual total de crianças que apresentaram concentrações urinárias de Arsênio acima do VR ao longo dos três anos (2021: 42%; 2022: 44%; 2023: 57%). Isto é devido ao aumento dos percentuais de concentrações urinárias de As detectados acima do VR nas crianças residentes nas localidades situadas próximas a área do desastre (PC e CF) e de mineração ativa (TJ), do ano de 2021 (PC: 29%; CF: 29%; TJ: 37,5%) para o ano de 2023 (PC: 54%; CF: 62,5%; TJ: 72%).
- Aumento das medianas de distribuição (IQI) das concentrações de arsênio no total da população estudada, entre os anos de 2021 e 2023, porém sem significância estatística ($p=0,064$). Não é possível estabelecer um padrão de tendência de aumento, ou diminuição, das concentrações de As na população

total de estudo, e nas localidades de Aranha, Tejuco e Córrego do Feijão, até o presente relatório.

- Aumento das medianas de distribuição (IQI) das concentrações de arsênio em Parque da Cachoeira ($p=0,015$), ao longo dos três anos de estudo, indicando uma tendência de aumento da exposição.
- Aumento da taxa de detecção dos metais Chumbo (100%), Mercúrio (100%) e Cádmio (48%), no ano de 2023, em relação aos anos de 2022 e 2021, no total e por localidade (exceto em CF). Todos os resultados encontrados das amostras analisadas para estes metais estão abaixo do valor de referência utilizado na pesquisa.
- Não é possível estabelecer uma tendência de aumento ou diminuição das medianas de distribuição (IQI) das concentrações dos metais chumbo, mercúrio, cádmio e manganês, no total da população estudada, devido a grande variabilidade observada ao longo dos três anos de estudo.

A equipe de pesquisadores recomenda o acompanhamento das crianças que apresentaram alterações nos indicadores antropométricos e na aquisição de habilidades associadas com o desenvolvimento neuropsicomotor, social e cognitivo. Sugere-se também a articulação entre as equipes de saúde e educação municipais, já que a atividade escolar tem grande potencial de estímulo sobre o desenvolvimento infantil.

Os exames realizados pelo Projeto Bruminha identificaram uma situação de exposição e não de intoxicação aos metais analisados. O diagnóstico de intoxicação exige uma avaliação clínica completa além dos exames laboratoriais e complementares necessários. Assim sendo, recomenda-se para todos os participantes da pesquisa que apresentaram resultados acima dos valores de referência que seja realizada uma avaliação médica e estes resultados sejam analisados no contexto geral da sua saúde.

Em relação aos resultados das análises toxicológicas é fundamental a investigação das fontes de exposição aos metais encontrados. Para isto é necessário a articulação das equipes e gestores da atenção básica à saúde com os setores de vigilância ambiental e sanitária do Município, Estado e governo federal.

REFERÊNCIAS

- ASMUS, C.I.R.F.; CAMARA, V.M.; LANDRIGAN, P.J.; CLAUDIO, L. A Systematic Review of Children's Environmental Health in Brazil. *Ann Glob Health*, 82(1): 132-48, 2016.
- ATSDR. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. ATSDR's substance priority list.
- ATSDR. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (2007) Toxicological Profile for Lead, Agency for Toxic Substances and Disease Registry; U.S. Department of Health and Human Services, Atlanta.
- ATSDR. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (2007) Toxicological Profile for Arsenic, Agency for Toxic Substances and Disease Registry; U.S. Department of Health and Human Services, Atlanta.
- BRASIL. Ministério do Trabalho e Previdência. Norma Regulamentadora - NR 7 - Programa de controle médico de saúde ocupacional – PCMSO, Brasília, DF, 2020.
- CDC (Centers for Disease Control and Prevention) (2004) Guidance Manual for the Assessment of Joint Toxic Action of Chemical Mixtures, CDC.
- LANDRIGAN, P. J., & GOLDMAN, L. R. Children's vulnerability to toxic chemicals: a challenge and opportunity to strengthen health and environmental policy. *Health Affairs*, 30(5), 842-850. 2011.
- LINHARES, M.B.M.; ENUMO, S.R.F. Reflexões baseadas na Psicologia sobre efeitos da pandemia COVID-19 no desenvolvimento infantil. *Estudos de Psicologia (Campinas)*, 37, e200089, 2020.
- NASCIMENTO-SOUZA, MA *et al.* Consumo alimentar em participantes do Projeto Saúde Brumadinho. *Rev Bras Epidemiol*. 2022; 25:e220008.supl.2.
- ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE. OMS. Physical status: the use and interpretation of anthropometry. Geneva: WHO, 1995.
- ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE. OMS. 10 chemicals of public health concern. Geneva: WHO, 2020.
- SABATÉS *et al.*, 2018 - Frankenburg, W. K. et al. Denver II Teste de Triagem do Desenvolvimento, Manual Técnico. Adaptação brasileira por Sabatés, A. L. Hogrefe CETEPP, Brasil, 2018.
- SARAIVA *et al.*, 2024. Alterações respiratórias em crianças expostas à poeira de resíduos de mineração em Brumadinho, Minas Gerais, Brasil: Projeto Bruminha. *Cadernos de Saúde Pública* 2024; 40(2):e00131223 doi: 10.1590/0102-311XPT131223
- SARAVANABHAVAN G. *et al.* Human biomonitoring reference values for metals and trace elements in blood and urine derived from the Canadian Health Measures Survey 2007–2013. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* ed. 220 p. 189–200. 2017
- VRIJHEID, M. *et al.* Environmental pollutants and child health - a review of recent concerns. *International journal of hygiene and environmental health*, 219(4-5), 331-342. 2016.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. WHO child growth standards: length/height-for-age, weight-for-age, weight-for-length, weight-for-height and body mass index-for-age: methods and development. Geneva: WHO, 2006



Saúde Brumadinho

**Uma pesquisa para melhorar
a saúde da população**



UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO DE JANEIRO



MINISTÉRIO DA
SAÚDE



Informações: www.minas.fiocruz.br/saudebrumadinho