



Ministério da Educação
Universidade Federal do Rio Grande
Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde



**NÍVEIS URINÁRIOS DE CHUMBO EM ESCOLARES RESIDENTES DE ÁREA DE
EXPLORAÇÃO DE CARVÃO MINERAL E FATORES DE RISCO ASSOCIADOS**

Rodrigo de Lima Brum

Rio Grande, 2022



Ministério da Educação
Universidade Federal do Rio Grande
Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde



NÍVEIS URINÁRIOS DE CHUMBO EM ESCOLARES RESIDENTES DE ÁREA DE EXPLORAÇÃO DE CARVÃO MINERAL E FATORES DE RISCO ASSOCIADOS

Rodrigo de Lima Brum

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde da Universidade Federal do Rio Grande, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências da Saúde.

Orientador: Prof. Dr. Flavio Manoel Rodrigues da Silva Júnior

Rio Grande, 2022

Rodrigo de Lima Brum

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde da Universidade Federal do Rio Grande, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências da Saúde.

NÍVEIS URINÁRIOS DE CHUMBO EM ESCOLARES RESIDENTES DE ÁREA DE EXPLORAÇÃO DE CARVÃO MINERAL E FATORES DE RISCO ASSOCIADOS

Banca Examinadora

Prof. Dr. Flavio Manoel Rodrigues da Silva Júnior (FURG) (Orientador)

Prof. Dr. Linjie Zhang (FURG) (Interno)

Profa. Dra. Kelly Polido Kaneshiro Olympio (USP) (Externo)

Profa. Dra. Marina dos Santos (UFPel) (Suplente)

Sumário

Resumo	6
Abstract.....	7
Lista de Tabelas	8
Dissertação	8
Manuscrito	8
Lista de Figuras	9
Dissertação	9
Manuscrito	9
Lista de Abreviaturas e Siglas	10
Introdução.....	11
Revisão Bibliográfica	16
Chumbo.....	16
Efeitos do Pb na Saúde de Crianças.....	18
Biomonitoramento	18
Matrizes Biológicas.....	19
Fatores de Risco	23
Candiota	23
Objetivos.....	26
Objetivo Geral.....	26
Objetivos Específicos.....	26
Material e Métodos.....	27
Delineamento da Pesquisa.....	27
Área de Estudo	27
Coleta e análise dos dados.....	28
Espacialização	29
Análise estatística.....	29

Aspectos Éticos	30
Bibliografia.....	32
Manuscrito.....	39
Conclusões.....	65
Anexo 1	66
Anexo 2	76
Anexo 3	77

Resumo

Atividades de exploração de carvão mineral podem liberar uma ampla variedade de compostos químicos em todos os compartimentos ambientais, causando danos à saúde de populações expostas e ao ambiente. Candiota possui a maior reserva de carvão mineral do Brasil e estudos anteriores já evidenciaram que a exposição aos contaminantes oriundos da mineração na região, principalmente o Pb, podem estar desencadeando uma série de desfechos negativos na saúde da população. Diante desta problemática, o presente estudo teve como objetivos (1) identificar os fatores associados aos níveis urinários de Pb em crianças da região carbonífera de Candiota; e (2) espacializar os níveis urinários de Pb destas crianças. Um estudo transversal foi conduzido analisando 92 crianças em idade escolar de Candiota e região. A coleta dos dados demográficos e socioeconômicos dos participantes ocorreu via questionário e a determinação dos níveis urinários de Pb foi normalizada a partir da concentração de creatinina urinária. Para avaliar os fatores associados aos níveis urinários de Pb foi utilizada a regressão de Poisson. Os principais fatores associados aos elevados níveis de Pb (3,50 e 11,13 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ -creatinina para P50 e P95, respectivamente) nas crianças foi cor da mãe e exposição ocupacional do pai. Além disso, nosso estudo confirma a partir da distribuição espacial que as amostras com maiores níveis de Pb estão localizadas no município de Candiota. Portanto, concluímos que atividades de mineração podem ter um grande impacto na saúde humana, elevando os níveis urinários de Pb na população infantil. Logo, governos e responsáveis por políticas públicas de saúde não devem medir esforços para enfrentar as questões que permeiam a vulnerabilidade destas crianças, uma vez que estejam ambientalmente expostas.

Palavras-chave: Candiota; Biomonitoramento; Chumbo; Carvão; Crianças.

Abstract

Coal exploration activities can release a wide variety of chemical compounds into all environmental compartments, causing damage to the health of exposed populations and the environment. Candiota has the largest coal reserve in Brazil and previous studies have already shown that exposure to contaminants from mining in the region, mainly Pb, may be triggering a series of negative outcomes in the health of the population. In view of this problem, the present study aimed to (1) identify the factors associated with urinary Pb levels in children from the Candiota coal region; and (2) spatialize the urinary Pb levels of these children. A cross-sectional study was conducted analyzing 92 school-age children from Candiota and region. Demographic and socioeconomic data of the participants were collected via a questionnaire and the determination of urinary Pb levels was normalized from the urinary creatinine concentration. To assess factors associated with urinary Pb levels, Poisson regression was used. The main factors associated with high levels of Pb (3.50 and 11.13 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{creat}$ for P50 and P95, respectively) in children were skin color of the mother and the father's occupational exposure. Furthermore, our study confirms from the spatial distribution that the samples with higher levels of Pb are located in the municipality of Candiota. Therefore, we conclude that mining activities can have a major impact on human health by raising urinary Pb levels in the child population. Governments and those responsible for public health policies should spare no effort to face the issues that permeate the vulnerability of these children, once they are environmentally exposed.

Keywords: Candiota; Biomonitoring; Lead; Coal; Children.

Lista de Tabelas

Dissertação

Tabela 1. Propriedades físico-químicas do carvão mineral (adaptado de SCHUMANN, 1985).	12
Tabela 2. Média geométrica e percentis da concentração de Pb na urina ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ -creatinina) para a população dos Estados Unidos, segundo informações da National Health and Nutrition Examination Survey (Adaptado de NHANES 1999-2010 e NHANES 2011-2016 (CDC, 2021c)).	22

Manuscrito

Tabela 1. Estatística descritiva da população exposta (n = 92).	57
Tabela 2. Média geométrica e percentis da concentração de Pb na urina ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ -creatinina) para a população dos Estados Unidos, segundo informações da National Health and Nutrition Examination Survey (Adaptado de NHANES 1999-2010 e NHANES 2011-2016 (CDC 2021b)).	58
Tabela 3. Análise descritiva das características socioeconômicas e demográficas das crianças de Candiota e região (n = 92).	59
Tabela 4. Análise simples e ajustada dos fatores de risco para o aumento da concentração dos níveis urinários de Pb em crianças de Candiota.	61

Lista de Figuras

Dissertação

- Figura 1.** Matriz energética mundial em 2019, segundo a Agência Internacional de Energia (gráfico elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética, 2021). 13
- Figura 2.** Matriz energética brasileira em 2020, segundo o Balanço Energético Nacional. (gráfico elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética, 2021). 13
- Figura 3.** Área de mineração de carvão onde o estudo foi realizado (PINTO et al., 2017). . 28

Manuscrito

- Figura 1.** Municípios onde se localizava a população de estudo (Pinto et al. 2017)..... 63
- Figura 2.** Distribuição espacial dos níveis urinários de Pb das 92 crianças avaliadas no estudo..... 64

Lista de Abreviaturas e Siglas

ABEP – Associação Brasileira de Empresas de Pesquisa
ARSH – Avaliação de Risco à Saúde Humana
CDC – Centers for Disease Control and Prevention
CNS – Conselho Nacional de Saúde
CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
CRM – Companhia Riograndense de Mineração
DNA – Ácido desoxirribonucleico
DP – Desvio padrão
EPE – Empresa de Pesquisa Energética
IC95% – Intervalo de confiança 95%
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IMC – Índice de Massa Corporal
INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LEPAC – Lead Exposure and Prevention Advisory Committee
LOQ – Limit of quantification
NHANES – National Health and Nutrition Examination Survey
ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OMS – Organização Mundial da Saúde
QI – Quociente de Inteligência
RP – Razão de prevalência
TALE – Termo de Assentimento Livre e Esclarecido
TCLE – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
UN – United Nations
USEPA – United States Environmental Protection Agency
WHO – World Health Organization

Introdução

Atividades envolvendo a extração de minérios têm sido estudadas há décadas devido aos impactos causados no meio ambiente e na saúde humana. Duas das principais formas de extrair os minerais de uma região é através da mineração subterrânea ou por mineração a céu aberto. Para executar as atividades de mineração a céu aberto é realizada a remoção de toda a cobertura vegetal da área a ser explorada, seguido da retirada de terra que cobre o minério desejado para, só então, iniciar os processos de extração e transporte (CRM, 2020). Devido a esse processo, a mineração a céu aberto, quando comparada com a mineração subterrânea, causa de 2 a 11 vezes mais impacto ambiental na área de exploração, pois impossibilita seu uso para agropecuária e remove a vegetação nativa e florestas, causando um desbalanço em todo o ecossistema local (LI, 2006).

Segundo a Agenda 2030, organizada pelas Nações Unidas, atividades de mineração podem ser alvo da maior parte dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). As ODS relacionadas a esta temática são: Boa Saúde e Bem-Estar (ODS3); Água Potável e Saneamento (ODS6); Energia Limpa e Acessível (ODS7); Emprego Decente e Crescimento Econômico (ODS8); Indústria, Inovação e Infraestrutura (ODS9); Cidades e Comunidades Sustentáveis (ODS11); Ação Contra a Mudança Global do Clima (ODS13); Vida na Água (ODS14); e Vida Terrestre (ODS15) (UN, 2022).

O carvão mineral é um dos recursos que podem ser extraídos a partir da mineração a céu aberto. As reservas mundiais de carvão são estimadas em 847,5 bilhões de toneladas, com a maior parte dessas reservas localizadas nos Estados Unidos, Rússia e China, que detêm cerca de 60% das reservas mundiais. Segundo a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), as reservas de carvão do Brasil estão majoritariamente localizadas entre os estados da região sul do país, sendo 89,25% no Rio Grande do Sul, 10,41% em Santa Catarina e 0,32% no Paraná. Apenas a Jazida de Candiota, no Rio Grande do Sul, compreende 38% de todo o carvão do território nacional (CPRM, 2014).

A composição química do carvão é predominantemente constituída de carbono ligado a outros elementos como hidrogênio, oxigênio, enxofre e nitrogênio, além de intercalar com pequenas quantidades de elementos inorgânicos, dependendo de sua origem. A composição mineral do carvão pode ser separada em seis diferentes categorias: (1) sílica, em que na maioria dos casos aparece como quartzo (SiO_2); (2) minerais de argila, geralmente constituídos de combinações entre Al e Si; (3) sulfuretos, encontrados como pirita (FeS_2); (4) sulfatos; geralmente encontrados como sulfato hidratado de ferro ou sulfatos mistos de K, Fe

e Na; (5) minerais de carbonato, encontrados principalmente como calcita (CaCO_3), dolomita e siderita, que contém Mg e Fe em suas composições, respectivamente; e (6) fosfatos, como apatita ou fosfatos de alumínio (AHAMED et al., 2019).

O carvão mineral é um combustível fóssil, portanto é considerado uma fonte não renovável de energia. Seu tipo é caracterizado de acordo com a distribuição de matéria orgânica e inorgânica em sua composição (Tabela 1). Entre suas principais aplicações, está a geração de energia elétrica a partir da sua queima, no entanto, a fração orgânica é consideravelmente mais relevante, uma vez que a fração inorgânica contribui pouco, ou mesmo nada, para o processo de geração de energia (WARD, 2002).

Tabela 1. Propriedades físico-químicas do carvão mineral (adaptado de SCHUMANN, 1985).

Material	Cor	Brilho	Valor calorífico (kcal)	Carbono (%)
Turfa	Parda	Não possui	1.500 – 2.000	55 – 65
Linhito	Negro-parda	Mate	2.000 – 7.000	65 – 80
Hulha	Negra	Céreo	7.000 – 8.500	80 – 93
Antracito	Negra	Intenso	8.500 – 9.000	93 – 98

Segundo dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), em 2019 o carvão era responsável 27% de toda a matriz energética mundial (Figura 1), enquanto no Brasil o uso do carvão para este fim era de apenas 4,9% em 2020 (Figura 2). Isso pode estar relacionado com o fato de o país possuir dimensões continentais com um clima e geografia que favorecem a exploração de fontes alternativas de energia como hidráulica ou derivados da cana-de-açúcar, responsáveis por mais de 30% da matriz energética do país (EPE, 2021). Ademais, a qualidade do carvão brasileiro é pobre, especificamente na região de Candiota, visto que possui alta fração mineral e baixo poder calorífico (DA SILVA, 1993).

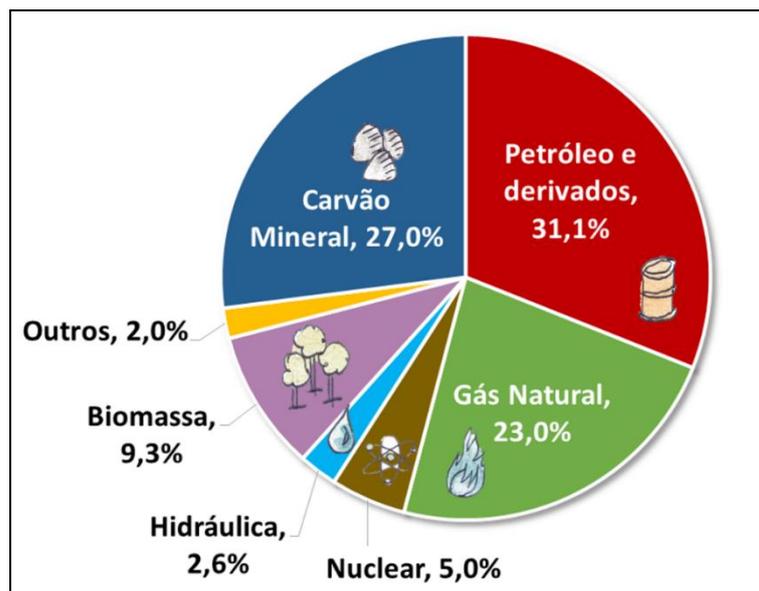


Figura 1. Matriz energética mundial em 2019, segundo a Agência Internacional de Energia (gráfico elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética, 2021).

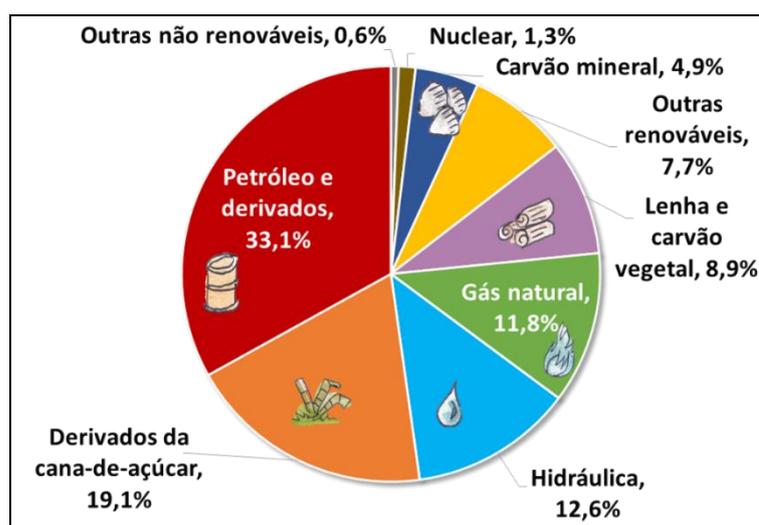


Figura 2. Matriz energética brasileira em 2020, segundo o Balanço Energético Nacional. (gráfico elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética, 2021).

No processo de mineração do carvão podem ser liberados na atmosfera material particulado e gases como metano, dióxido de enxofre e óxido de nitrogênio. Este aporte de poluentes na atmosfera ocorre devido às operações que ocorrem nestas áreas, como perfuração, detonação, movimentação de máquinas pesadas entre as estradas de terra, além do transporte, coleta e manuseio do carvão entre os pontos de triagem (BIAN et al., 2010). Ainda no processo de mineração do carvão, outras fontes de poluição são relevantes, como por

exemplo, o descarte da água utilizada nestas atividades em corpos hídricos, comprometendo os ecossistemas e a qualidade da água da área impactada (ALI et al., 2017).

Nas termelétricas, quando o carvão é queimado no processo de geração de energia, libera cinzas que podem ser classificadas em pesadas ou leves. As cinzas consideradas pesadas ficam retidas nos fornos onde o carvão é queimado, enquanto as leves volatilizam pelas chaminés, contaminando o solo próximo às usinas ou então são carregadas pelos ventos podendo, inclusive, alcançar corpos hídricos (FLUES et al., 2008). Estas cinzas voláteis possuem uma composição altamente complexa no que diz respeito aos elementos encontrados nelas (As, Cd, Co, Cr, Hg, Pb, entre muitos outros) (MARTINELLO et al., 2014).

Dentre estes elementos, destaca-se o chumbo em função de sua relativa abundância em áreas de exploração de carvão (HE et al., 2020) e sua elevada toxicidade (KUMAR et al., 2020; RAHMAN; SINGH, 2019). Este elemento é um dos primeiros metais descobertos pelos seres humanos e está presente em todo o globo. Devido às suas propriedades físico-químicas, como alta maleabilidade, baixo ponto de fusão e resistência à corrosão, o chumbo ganhou destaque para variados seguimentos da indústria, desde a automotiva até a produção de tintas, plásticos e cerâmicas. No entanto, o uso imprudente do Pb, bem como o mau gerenciamento dos resíduos que contêm este metal, podem desencadear muitos problemas ao meio ambiente e à saúde humana. A exposição humana ao Pb pode ocorrer por meio de diversas formas: processos industriais como fundição de chumbo e combustão à carvão; gasolina; tintas à base de chumbo; reciclagem de baterias; entre outras.(FLORA; GUPTA; TIWARI, 2012).

Mesmo em áreas que deixam de receber uma constante carga de Pb, mas que possuam os compartimentos ambientais contaminados por ações anteriores, podem sofrer os efeitos prejudiciais da sua exposição (FENG et al., 2020). Além disso, existem diferenças entre adultos e crianças no que diz respeito à exposição ao Pb e na forma em que a toxicidade é expressada. A exposição para crianças, quando em área de risco, pode ser mais elevada devido ao fato delas explorarem os ambientes por meio de atividades manuais (como levar as mãos até a boca, por exemplo) ou devido à exposição de poeira doméstica. Em relação aos danos no sistema nervoso periférico, os adultos tendem a ser mais suscetíveis, enquanto para crianças – com o sistema nervoso ainda em desenvolvimento – os danos mais evidentes ocorrem no sistema nervoso central (BELLINGER, 2004). Já foi visto que para crianças em idade escolar, até mesmo baixas concentrações de Pb no organismo podem estar associadas a uma diminuição da capacidade intelectual, utilizando o Quociente de Inteligência como parâmetro avaliativo (LANPHEAR et al., 2016; PAN et al., 2018; WU et al., 2017). Em

cenários críticos de intoxicação aguda, altas concentrações de Pb podem levar o indivíduo a sofrer paralisia e até mesmo a morte (CLEVELAND et al., 2008).

Frente aos conhecidos danos ambientais e à saúde humana causados por elementos tóxicos e a falta de informação sobre a relação entre a concentração de Pb com a distância das fontes poluidoras de Candiota, este estudo busca identificar os fatores associados à exposição de Pb. Ainda que as concentrações de elementos tóxicos em várias regiões próximas da região carbonífera sejam baixas/moderadas, até mesmo sem exceder os limites estabelecidos pela legislação brasileira, o impacto em longas distâncias das atividades industriais envolvendo o uso do carvão ainda é pouco estudado.

O elemento Pb foi escolhido devido a ampla base de informações sobre seus efeitos tóxicos bem estabelecidas na literatura, incluindo danos no sistema nervoso e em outros sistemas biológicos. Além disso, em uma avaliação preliminar na área de estudo (DOS SANTOS et al., 2018) foi visto que as concentrações de Pb na urina ($6 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ -creatinina) foram superiores a outros estudos ao redor do mundo. Ainda assim, inúmeras lacunas precisam ser preenchidas com relação a exposição – sobretudo de crianças – de elementos-traço provenientes do carvão mineral, incluindo a distribuição espacial destes agentes na região e os fatores que podem estar associados aos níveis de concentração de Pb na população exposta.

Revisão Bibliográfica

Chumbo

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), o chumbo está entre os dez produtos químicos de maior preocupação para a saúde pública e destaca que os Estados Membros da organização precisam promover ações para proteger a saúde de trabalhadores, crianças e mulheres em idade reprodutiva. Além disso, a OMS desenvolveu diretrizes a respeito do manejo clínico frente a exposição ao chumbo e mantém em desenvolvimento diretrizes que auxiliarão gestores públicos, autoridades de saúde pública e profissionais da saúde a salvaguardar a saúde de adultos e crianças expostas ao chumbo (WHO, 2021).

De acordo com o Centro de Controle e Prevenção de Doenças, até a década de 80 a principal fonte de exposição para a maior parte da população dos Estados Unidos era oriunda dos aerossóis produzidos pelos veículos que utilizavam gasolina contendo chumbo em sua composição. No entanto, desde sua eliminação da gasolina, a contaminação por chumbo para a população adulta ficou restrita principalmente às atividades ocupacionais, enquanto que para crianças a principal fonte de contaminação são tintas à base de chumbo em estado de deterioração, bem como a poeira resultante deste processo e a contaminação do solo (CDC, 2021a).

A contaminação por Pb pode ocorrer através de diferentes compartimentos ambientais. Ao avaliar 12 diferentes elementos potencialmente perigosos em amostras de solo e poeira em um distrito de mineração de carvão na China, o Pb destacou-se entre as posições mais altas no que diz respeito às suas concentrações no solo (média de 21,47 mg.kg⁻¹) e na poeira (média de 34,23 mg.kg⁻¹) (HE et al., 2020). Outro estudo realizou análises em amostras de águas superficiais próximas de áreas de mineração de carvão na Austrália e mostrou uma variedade considerável de elementos, chegando a um total de 27. Entre esses elementos, estavam aqueles considerados essenciais como Ca, Cu, Fe, Mg, K e Na, mas também aqueles considerados potencialmente perigosos como As, Co, Ni, Pb e S. Neste mesmo estudo também foi observado que os níveis destes elementos nos pontos de descarga de águas residuais das atividades de mineração eram menores que em outros pontos dos rios (principalmente rio abaixo), mostrando que o impacto dessas atividades não é necessariamente local e que a contaminação pode alcançar regiões muito distantes das fontes de poluição (ALI et al., 2017).

Áreas impactadas pela contaminação por Pb podem representar danos à saúde humana a partir de diferentes vias de exposição. Em solo contaminado por poluentes inorgânicos, o Pb pode bioacumular em cultivos e derivados de animais (carne, leite, ovos) e ficar disponível para o consumo humano através da ingestão desses alimentos (MANEA et al., 2020). Da mesma forma, água contaminada com Pb ou que tenha contato com encanamentos construídos à base de Pb aumentam significativamente os níveis de Pb no organismo de quem a consome (JARVIS et al., 2018). Além disso, a poluição do ar também representa uma importante via de exposição para o Pb, uma vez que as partículas no ar podem alcançar ambientes internos como residências próximas de áreas de mineração ou fundição desse metal. Outro cenário relevante é a ressuspensão da poeira proveniente de tinturas a base de Pb (KASTURY et al., 2019). Por outro lado, estudos utilizando modelos matemáticos de avaliação de risco à saúde humana mostram que a contribuição da via dérmica para o total do risco ao Pb é menor que 1% quando calculada em conjunto com as vias de ingestão e inalatória (PENTEADO et al., 2021).

O Pb pode ser absorvido a partir da inalação de poeira ou ingestão de água e alimentos contaminados, no entanto a absorção gastrointestinal em crianças é maior. Além disso, apenas 2% pode ser encontrado no plasma e a meia-vida no sangue é de 35 dias, portanto a concentração de Pb no sangue reflete uma exposição recente. A maior parte do Pb no organismo tem uma tendência a acumular em tecidos moles e, eventualmente, acumular nos ossos, na qual pode ficar depositado por décadas (NARANJO; HENDRICKS; JONES, 2020).

Uma vez na corrente sanguínea, o Pb tem capacidade para afetar todos os órgãos humanos (KASTURY et al., 2019). O Pb é capaz de causar danos ao sistema hematopoiético, podendo levar o indivíduo a uma condição de anemia em função da combinação de dois fatores: restrição da síntese de hemoglobinas através da inibição de enzimas-chaves envolvidas no processo de construção do grupo heme; e redução do tempo de vida dos eritrócitos, tornando as membranas celulares mais frágeis (GUIDOTTI; MCNAMARA; MOSES, 2008). Além disso, já foi reportado na literatura que diferentes concentrações de Pb no sangue (em torno de $10 \mu\text{g.dL}^{-1}$ ou maiores que $60 \mu\text{g.dL}^{-1}$) podem causar efeitos negativos ao sistema renal (GRANT, 2008); envenenamento agudo ou crônico por Pb pode causar danos no sistema cardiovascular (NAVAS-ACIEN et al., 2007); efeitos adversos em ambos os sexos, como diminuição da libido e anomalias na espermatogênese para homens, e infertilidade e aborto instantâneo para mulheres (FLORA; PACHAURI; SAXENA, 2011); além de estudos mostrando que o Pb fica armazenado nos ossos humanos por longos períodos (LÓPEZ-COSTAS et al., 2020).

Efeitos do Pb na Saúde de Crianças

Buscas recentes na literatura mostram que os efeitos mais estudados no que diz respeito à exposição de crianças ao chumbo estão relacionados ao sistema nervoso ou desfechos educacionais ((BOYLE et al., 2021; MARSHALL et al., 2020; O’CONNOR et al., 2020; SHADBEGIAN et al., 2019; SORENSEN et al., 2019). As principais vias de exposição ao chumbo para crianças são a poeira doméstica (KASTURY et al., 2019), ingestão de água contaminada, principalmente relacionadas ao sistema de abastecimento de água (NARANJO; HENDRICKS; JONES, 2020) e solo contaminado, pois as crianças possuem o hábito natural de levar as mãos e objetos até a boca, resultando na ingestão de partículas contaminadas (HAN et al., 2018; PENTEADO et al., 2021).

Além do potencial para atingir os sistemas endócrino, renal e cardiovascular, o Pb afeta também o sistema nervoso, sendo este último o mais sensível. Uma vez exposto a esse metal, podem ocorrer danos no córtex cerebral pré-frontal, hipocampo e cerebelo. Ademais, já foi observado que esses danos são potencializados em crianças ou na formação do feto, pois a barreira hematoencefálica – fundamental para a proteção do sistema nervoso central – ainda não está totalmente desenvolvida nos jovens, quando comparada com a de adultos (AIZER et al., 2018). Ramírez (2021) agrupou em sua pesquisa diversos estudos apontando diferentes desfechos da exposição ao chumbo durante sua vida útil no organismo humano. Entre eles estão: quedas nas funções motoras; déficits no QI em diferentes áreas do conhecimento e, conseqüentemente baixo desempenho escolar; problemas com sono; hiperatividade; depressão; questões sociais como agressões e isolamento social; entre outros.

Determinados ambientes tem um maior potencial para desencadear efeitos negativos na saúde da população exposta, sobretudo para crianças. Áreas de mineração, reciclagem de resíduos e sucata e fundição de metais são alguns dos ambientes com amplo risco de contaminação por elementos traço, incluindo o Pb. Em regiões específicas de países subdesenvolvidos ou emergentes em continentes como África, Ásia ou América Latina, a exposição frente a essas atividades pode levar a população exposta a sofrer alterações em áreas do cérebro que comprometem a linguagem, memória, funções executivas e comportamentos psicossociais, como destacado por Dórea (2021).

Biomonitoramento

O conceito de biomonitoramento pode ser entendido como uma atividade sistemática contínua (ou repetitiva) para coleta de amostras biológicas a fim de analisar a concentração de poluentes, metabólitos ou parâmetros específicos. O objetivo dessa técnica é avaliar a exposição de risco à saúde da população exposta, além de possibilitar a comparação com valores anteriores ou de referência (WASEEM; ARSHAD, 2016).

Estudos de biomonitoramento em áreas abandonadas de mineração de carvão e metais (principalmente Pb e Zn) mostram que as concentrações de Pb em amostras de sangue de populações que vivem próximas a esses sítios de mineração variam entre 34,1 a 41,4 mg.L⁻¹ (mina de carvão e metais, respectivamente), e revelam concentrações médias de 26,5 mg.L⁻¹ em populações vivendo a pelo menos 15 quilômetros de distância das fontes poluidoras (MADEDDU et al., 2013). Entre os poucos estudos de biomonitoramento avaliando os níveis de Pb em amostras de urina, está o estudo preliminar realizado por Dos Santos (2018) na região de Candiota, que encontrou concentrações de Pb na urina de 6 µg.g⁻¹ de creatinina em moradores que vivem próximos da região de mineração.

Matrizes Biológicas

A exposição humana a poluentes pode ser estimada através de diferentes matrizes biológicas, sendo o sangue e urina os mais utilizados nos estudos de biomonitoramento. O sangue se destaca por ser um compartimento central, possuindo contato com todos os órgãos; enquanto a urina é mais acessível e está disponível em grandes volumes, além de permitir a detecção de produtos químicos em baixas concentrações (WASEEM; ARSHAD, 2016). Menos comum é a utilização de outras matrizes biológicas tais como amostras de cabelo, unha ou saliva, por exemplo. Essas matrizes menos convencionais são boas abordagens de coleta, pois não causam dor ou desconforto ao indivíduo que fornece a amostra, uma vez que trata de um método não-invasivo de coleta. No entanto, a maior parte dos estudos ainda estimam os níveis de Pb no sangue (ADAMS et al., 2013; AKOTO et al., 2019; LI et al., 2020; MACDONALD GIBSON et al., 2020; XIA et al., 2019), pois é uma matriz que reflete uma exposição recente ao Pb e tem boa correlação com a dose de exposição.

Considerando as matrizes não invasivas, um estudo realizado na China faz uso desta abordagem para avaliar os níveis de Pb em amostras de cabelo de indivíduos com idades variando de 13 a 65 anos, alcançando concentrações de 2,42 mg.kg⁻¹ (para 13 a 19 anos) e 3,81 mg.kg⁻¹ (para 51 a 65 anos), considerando ambos os sexos e que residem em áreas urbanas ou rurais sem relação com áreas de mineração (ZHOU et al., 2016). Outro estudo,

também realizado na China, em área rural próxima a uma área de mineração de carvão com alto teor de arsênio, mostra que as concentrações de Pb no cabelo podem chegar a 16,14 mg.kg⁻¹ enquanto que em amostras de unhas chegam a 17,02 mg.kg⁻¹ (LI et al., 2018).

No entanto, uma questão relevante deve ser considerada ao utilizar algumas matrizes biológicas para estimar a concentração de determinados elementos no organismo, especialmente o Pb. A capacidade deste elemento em não permanecer no sangue e bioacumular em outras estruturas do corpo como ossos e cabelo pode comprometer a precisão das análises no sangue. Juntamente a isso, utilizar o cabelo como matriz biológica, por exemplo, pode representar uma via de mão dupla. Ao mesmo tempo em que o cabelo pode indicar uma contaminação crônica, de longo prazo, essa matriz biológica também está sujeita a interferências externas que não estão necessariamente relacionadas ao cenário de exposição avaliado (AIZER et al., 2018).

Uma alternativa mais consistente para avaliar a concentração do Pb é através da estimativa de suas concentrações urinárias, uma vez que a metodologia é fácil de ser aplicada, tem baixo custo, é um método de coleta não-invasivo e tem maior potencial de representatividade (ZHANG et al., 2017). Estas facilidades viabilizam o biomonitoramento de elementos essenciais como Cu, Mn e Zn e elementos de toxicidade variada como As, Cd, Ni e Pb de uma determinada população (ROCA et al., 2016), se tornando uma ferramenta útil para auxiliar no controle da saúde das populações que vivem em áreas potencialmente impactadas por contaminantes, além de possibilitar estudos que correlacionem ou levantem hipóteses sobre os efeitos adversos à saúde humana derivados de áreas contaminadas.

A maior parte das informações disponíveis a respeito dos níveis de Pb no organismo de crianças são referentes aos níveis de Pb no sangue (BLL) e não há definido um valor de referência para o nível urinário de Pb (ULL). Até 2012, para o CDC, o consenso que considerava níveis preocupantes de Pb no sangue de crianças era de 10 µg.dL⁻¹ ou mais. A partir desse ano, o CDC passou a considerar o percentil 97,5% baseado no banco de dados disponível no ciclo 2007-2010 da National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES) dos Estados Unidos chegando no BLL de 5 µg.dL⁻¹. Atualmente o valor de BLL de 3,5 µg.dL⁻¹, baseado nos ciclos 2015-2016 e 2017-2018 do NHANES, é a atualização recomendada por unanimidade a partir de votação realizada em 14 de maio de 2021 pelo Lead Exposure and Prevention Advisory Committee (LEPAC). Este novo valor considera que mais crianças entrem na faixa de exposição ao chumbo, possibilitando que pais, profissionais da

saúde, agentes criadores de políticas públicas e a comunidade atuem mais cedo na promoção da saúde das crianças expostas (CDC, 2021b).

Diferentemente do BLL, não há valores de referência para ULL recomendados pela Organização Mundial da Saúde. No entanto, o CDC disponibiliza, além dos dados de BLL, dados de ULL com ou sem creatinina ajustada. Ambos valores de referência são definidos a partir das informações coletadas pela NHANES nos ciclos anuais. A [Tabela 2](#) mostra um recorte dos valores de concentração de Pb na urina (com creatinina ajustada) disponíveis nos volumes 1 (NHANES 1999-2010) e 2 (NHANES 2011-2016), atualizados em março de 2021, do National Report on Human Exposure to Environmental Chemicals, estratificado em faixas etárias (CDC, 2021c).

Tabela 2. Média geométrica e percentis da concentração de Pb na urina ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ -creatinina) para a população dos Estados Unidos, segundo informações da National Health and Nutrition Examination Survey (Adaptado de NHANES 1999-2010 e NHANES 2011-2016 (CDC, 2021c)).

Categoria Demográfica	Ciclo NHANES	Média Geométrica (95% IC)	Percentil 50 (95% IC)	Percentil 75 (95% IC)	Percentil 90 (95% IC)	Percentil 95 (95% IC)	Tamanho Amostral
População Total	1999 - 2000	0,72 (0,70 – 0,74)	0,70 (0,67 – 0,72)	1,11 (1,05 – 1,15)	1,70 (1,62 – 1,85)	2,38 (2,22 – 2,79)	2465
	2001 - 2002	0,63 (0,60 – 0,67)	0,63 (0,58 – 0,67)	1,03 (0,96 – 1,08)	1,52 (1,43 – 1,61)	2,03 (1,89 – 2,22)	2689
	2003 - 2004	0,63 (0,60 – 0,66)	0,62 (0,59 – 0,65)	0,97 (0,92 – 1,03)	1,49 (1,33 – 1,64)	1,97 (1,73 – 2,26)	2558
	2005 - 2006	0,54 (0,52 – 0,57)	0,53 (0,51 – 0,56)	0,86 (0,81 – 0,90)	1,27 (1,15 – 1,37)	1,71 (1,50 – 1,89)	2576
	2007 - 2008	0,51 (0,48 – 0,54)	0,50 (0,46 – 0,53)	0,80 (0,72 – 0,88)	1,30 (1,23 – 1,42)	1,85 (1,73 – 1,96)	2627
	2009 - 2010	0,48 (0,46 – 0,51)	0,47 (0,44 – 0,50)	0,76 (0,76 – 0,81)	1,16 (1,08 – 1,28)	1,53 (1,41 – 1,62)	2848
	2011 - 2012	0,40 (0,38 – 0,44)	0,39 (0,37 – 0,41)	0,63 (0,58 – 0,67)	1,00 (0,87 – 1,16)	1,51 (1,24 – 1,71)	2502
	2013 - 2014	0,32 (0,30 – 0,33)	0,31 (0,29 – 0,33)	0,51 (0,49 – 0,55)	0,82 (0,75 – 0,90)	1,16 (1,00 – 1,30)	2663
	2015 - 2016	0,31 (0,29 – 0,34)	0,30 (0,27 – 0,32)	0,52 (0,47 – 0,56)	0,87 (0,76 – 0,98)	1,13 (1,04 – 1,27)	3058
6 – 11 Anos	1999 - 2000	1,17 (0,97 – 1,41)	1,06 (0,91 – 1,22)	1,55 (1,22 – 1,97)	2,71 (1,67 – 4,66)	4,66 (1,97 – 18,0)	340
	2001 - 2002	0,91 (0,84 – 1,00)	0,87 (0,80 – 0,93)	1,27 (1,12 – 1,43)	2,33 (1,59 – 3,64)	3,64 (1,89 – 5,56)	368
	2003 - 2004	0,92 (0,12 – 1,06)	0,91 (0,78 – 1,03)	1,45 (1,17 – 1,72)	2,14 (1,62 – 3,47)	3,47 (2,19 – 5,31)	290
	2005 - 2006	0,62 (0,56 – 0,70)	0,59 (0,53 – 0,68)	0,87 (0,77 – 0,94)	1,29 (1,03 – 1,82)	1,96 (1,32 – 2,42)	355
	2007 - 2008	0,64 (0,54 – 0,76)	0,63 (0,53 – 0,73)	1,02 (0,77 – 1,24)	1,50 (1,24 – 2,02)	2,04 (1,70 – 2,58)	394
	2009 - 2010	0,60 (0,51 – 0,66)	0,58 (0,52 – 0,65)	0,87 (0,78 – 1,00)	1,32 (1,09 – 1,51)	1,60 (1,38 – 1,75)	378
	2011 - 2012	0,49 (0,43 – 0,56)	0,45 (0,41 – 0,52)	0,70 (0,55 – 0,93)	1,18 (0,88 – 1,56)	1,56 (1,12 – 2,22)	398
	2013 - 2014	0,33 (0,29 – 0,37)	0,31 (0,27 – 0,37)	0,50 (0,42 – 0,57)	0,83 (0,66 – 0,93)	1,07 (0,90 – 1,34)	402
	2015 - 2016	0,36 (0,32 – 0,40)	0,32 (0,27 – 0,40)	0,53 (0,45 – 0,64)	0,85 (0,71 – 1,05)	1,14 (0,85 – 1,49)	379

Fatores de Risco

Estudos ao redor do globo têm sido conduzidos avaliando fatores que influenciam os níveis urinários de Pb em crianças, englobando condições de saúde, fatores socioeconômicos, demográficos e ambientais. A relação entre níveis urinários de Pb e algumas doenças ou agravos tem sido objeto de alguns estudos. Comparando crianças portadoras de autismo com grupos neurotípicos, já foi observado diferença estatisticamente significativa (+74%, $p = 0,02$) entre os grupos, apontando concentrações de $0,57 \mu\text{g.g}^{-1}$ -creatinina para autistas e $0,32 \mu\text{g.g}^{-1}$ -creatinina para o grupo neurotípico (ADAMS et al., 2013). Também foi visto que pequenos níveis urinários de Pb (em média, $1,50 \mu\text{g.g}^{-1}$ -creatinina) estão associados positivamente a diversos fatores de risco de doenças cardiovasculares, incluindo pressão sanguínea (LIN et al., 2020).

Fatores socioeconômicos também podem estar associados aos elevados níveis de Pb na urina. Estudos na China e na Índia avaliaram crianças, entre meninos e meninas, e observaram que fatores como idade; local onde as crianças brincavam (dentro ou fora de casa); pais tabagistas; educação dos pais; educação das mães; água de beber (torneira ou engarrafada); renda familiar; e condições de moradia estavam relacionados a níveis mais elevados de chumbo urinário (MARTÍNEZ-HERNANZ et al., 2020; RASHID et al., 2019).

Em relação aos fatores ambientais, um estudo em Taiwan avaliou crianças de 10 a 12 anos de três cidades conhecidas por apresentarem níveis moderados e altos de Pb oriundos de atividades de um parque industrial com usinas termelétricas a carvão e encontraram concentrações na urina de até $3,95 \mu\text{g.g}^{-1}$ -creatinina. Também foi visto que a principal via de ingresso de Pb no organismo foi a inalatória (51,4%) seguida da ingestão de alimentos (38,5%) (CHIANG et al., 2008). A mesma conclusão de que a via inalatória é importante para o ingresso de Pb em crianças foi obtida pelo estudo de Moon (2003) avaliando 38 crianças e suas mães em Busan, Coréia do Sul, uma região reconhecida por ser poluída por metais pesados. Os autores comentam ainda que os níveis de Pb entre as crianças não estão correlacionados aos níveis maternos. Outro estudo conduzido com 257 escolares em Manzini, na África do Sul, concluiu os níveis urinários de Pb foram mais elevados entre as crianças residentes de zonas urbanas em comparação com crianças de zona rural (OKONKWO et al., 2001).

Candiota

A região de Candiota apresenta baixas/moderadas concentrações de elementos potencialmente perigosos em amostras de solo próximos às usinas termelétricas da região, no entanto há uma preocupação em relação à influência dos ventos ou cursos de água sobre a dispersão dos contaminantes (DA SILVA JÚNIOR et al., 2019). Nesta mesma área, a concentração de material particulado (PM₁₀) se encontra muito próxima aos limites estabelecidos pela legislação brasileira e possivelmente influenciam na função hematológica dos indivíduos expostos a longo prazo (BIGLIARDI et al., 2020). Além disso, já foram encontradas diferenças significativas no dano de DNA entre residentes da região carbonífera de Candiota que podem estar associadas com a exposição ambiental, hábitos alimentares e condições socioeconômicas (PINTO et al., 2017).

Além dos estudos que quantificam a concentração de Pb e associam com desfechos de saúde, existem estudos que utilizam modelos matemáticos para avaliar o risco de elementos tóxicos para a saúde humana. A partir do modelo de Avaliação de Risco à Saúde Humana (ARSH), Da Silva Bonifácio (2021) observou que em alguns pontos de Candiota, a concentração de Pb nos corpos hídricos ultrapassam em quase três vezes os valores permitidos pela legislação brasileira (10 µg.L⁻¹) e se aproximam muito do valor considerado de risco segundo a metodologia de ARSH.

Apesar disso, também deve ser levado em consideração os fatores socioeconômicos da população que vive na região. Dupont-Soares (2021) investigou o desenvolvimento intelectual de crianças que vivem sob influência direta de Candiota e região, e concluiu que fatores socioeconômicos, maternos e neonatais podem ser mais importantes do que os fatores ambientais. Foi observado que a renda familiar per capita em Candiota era melhor ($p < 0,001$) e que as crianças eram menos expostas ao fumo passivo ($p = 0,01$) quando comparada com as cidades com influência indireta da atividades de mineração. Mães solteiras e com menos de 4 anos de educação estavam associadas negativamente ($p = 0,04$ e $p < 0,001$, respectivamente) com o desenvolvimento intelectual das crianças, no entanto viver sobre influência direta das atividades de mineração não mostrou associação. Apesar de ser mostrado no estudo que viver em Candiota não representa risco para o desfecho principal, os autores reconhecem que os desfechos socioeconômicos e maternos podem atuar como fatores de confusão nos estudos que avaliam o impacto da exposição ambiental sobre a população exposta nessa área.

Considerando a população infantil/escolares, além do estudo de Dos Santos (2018) – em que foram encontrados elevados níveis de Pb na urina de crianças – outro estudo do

mesmo autor também avaliou os níveis urinários de Se e sintomas de intoxicação em 242 crianças residentes em Candiota e Aceguá e concluiu que, embora a prevalência de sintomas de intoxicação por Se seja reduzida nesta população, os níveis urinários de Se são elevados entre os residentes de Candiota (DOS SANTOS et al., 2020a). Por fim, um terceiro estudo na região mostrou que a via alimentar é uma importante fonte de selênio para crianças desta região, mas o risco à saúde humana é reduzido quando avaliado através do modelo de avaliação de risco da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) (DOS SANTOS et al., 2020b). Este cenário evidencia lacunas que devem ser preenchidas no que diz respeito à investigação de outros elementos químicos potencialmente perigosos como o Pb para a saúde humana da população exposta de Candiota e região, sobretudo para crianças.

Objetivos

Objetivo Geral

- Analisar os níveis urinários de chumbo em escolares de uma região de exploração de carvão mineral.

Objetivos Específicos

- Realizar espacialização dos níveis urinários de chumbo dos escolares de acordo com seu local de residência;
- Identificar os fatores associados aos níveis urinários de chumbo em escolares expostos em uma área de exploração de carvão.

Material e Métodos

Delineamento da Pesquisa

O presente estudo se encaixa, dentro das classificações epidemiológicas, como sendo uma ramificação dos estudos observacionais, onde não há intervenção do pesquisador sobre a população estudada. Trata-se de um estudo transversal. A partir desse tipo de estudo, pode-se medir a frequência e características de fatores associados a um determinado desfecho. Os estudos transversais têm como vantagens o baixo custo de execução; podem apresentar resultados generalizáveis, a depender da amostragem; e podem ser realizados em um curto período de tempo. No entanto, assim como outros estudos epidemiológicos, estão sujeitos a alguns vieses, como de seleção, informação ou causalidade reversa.

Este estudo é um recorte de um projeto maior, na qual diversos desfechos decorrentes da influência das fontes de poluição de Candiota e região foram avaliados. Para tal, foram utilizados dados primários de pesquisas anteriores que estão disponíveis em outras publicações científicas (BIGLIARDI et al., 2020; DA SILVA BONIFÁCIO et al., 2021; DOS SANTOS et al., 2018, 2020a, 2020b; PINTO et al., 2017). Entre estas etapas previamente realizadas estão a aplicação dos questionários (dados socioeconômicos) ([Anexo 1](#)), bem como as responsabilidades preconizadas nos Termos de Consentimento/Assentimento Livre e Esclarecido ([Anexo 2](#) e [Anexo 3](#)); e coleta e análise química das amostras de urina (níveis urinários dos elementos, incluindo o Pb), bem como a entrega dos exames para os participantes. O ano em que ocorreram as coletas foi 2013.

Área de Estudo

A área compreendida pelo estudo contempla 7 municípios localizados em uma região carbonífera ao sul do Brasil, no estado do Rio Grande do Sul. Estes municípios são: Aceguá, Bagé, Candiota, Herval, Hulha Negra, Pedras Altas e Pinheiro Machado ([Figura 3](#)). Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o município de Candiota está localizado a cerca de 400 quilômetros da capital do estado, Porto Alegre, possui uma área de 933,628 m² e um total de 9,647 habitantes (IBGE, 2020).

Em Candiota se encontram potenciais fontes poluidoras como a Usina Termelétrica Pampa Sul (31° 26' 54.8" S, 53° 46' 43.4" W), Usina Termelétrica Presidente Médici (31° 33'

01.9" S, 53° 40' 58.8" W) e duas áreas de mineração de carvão (mina menor 31° 26' 49.7" S, 53° 42' 26.4" W e mina maior 31° 34' 59.7" S, 53° 43' 15.6" W). Além disso, também foi considerada a influência de uma área de mineração de cobre localizada entre os municípios Caçapava do Sul e Santana da Boa Vista (30° 55' 06.7" S, 53° 25' 18.5" W), também no Rio Grande do Sul.



Figura 3. Área de mineração de carvão onde o estudo foi realizado (PINTO et al., 2017).

Coleta e análise dos dados

A população do estudo é composta por crianças em idade escolar, variando entre 6 e 11 anos, residentes dos 7 municípios do estudo, e o tamanho amostral (92) foi baseado na quantidade de escolares matriculados em cada localidade. Foi realizada uma amostragem populacional e aleatória e foram incluídas no estudo apenas crianças que estivessem cursando o ensino fundamental em escolas públicas cuja lista foi fornecida pela secretaria de educação de cada município.

Para a coleta de informações demográficas e socioeconômicas foi aplicado um questionário onde foram coletados dados de idade, etnia e renda familiar (baseada no salário mínimo per capita naquele ano); condições de habitação como: tipo de habitação (alvenaria ou outros), tipo de banheiro (com ou sem descarga) e água corrente (sim ou não); município de residência do participante; se a criança sempre morou no mesmo município; entre outras questões ([Anexo 1](#)).

Também foi solicitada aos pais das crianças ou responsáveis por elas a assinatura prévia do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE). Para os escolares, foi solicitada a assinatura do Termo de Assentimento Livre e Esclarecido (TALE). Ambos os documentos acompanharam o questionário e só foram incluídos no estudo aqueles que concordaram com os termos e entregaram os documentos por escrito.

As amostras de urina foram coletadas pelas próprias crianças no turno de manhã em recipientes plásticos esterilizados, identificadas, acondicionadas em caixa de isopor a 4° C e foram analisadas em laboratório certificado. Para a descontaminação, os recipientes foram mergulhados em solução de ácido nítrico (HNO₃) 10% por pelo menos 24 horas e depois enxugados com água deionizada. A concentração de Pb foi determinada a partir de espectrofotometria de absorção atômica em forno de grafite (GF-AAS) e normalizada para a concentração de creatinina. Detalhes do método de quantificação da creatinina pode ser consultada em estudos anteriores (MÅRTENSSON et al., 2004).

Espacialização

A partir das coordenadas dos 5 empreendimentos potencialmente poluidores de Candiota e região (Usina Termelétrica Pampa Sul; Usina Termelétrica Presidente Médici; Mina de Carvão Menor; Mina de Carvão Maior e Mina de Cobre) foi possível realizar a espacialização dos níveis urinários de Pb para as 92 crianças. O software utilizado para a confecção do mapa foi o Qgis 3.5.1.

Com os dados de localização também foi possível criar variáveis que mostram a distância de cada criança para a fonte de poluição mais próxima e mais afastada do seu local de residência. Para calcular a distância entre as coordenadas, foi utilizada a Calculadora Geográfica disponível no website do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2020).

Análise estatística

Foi realizada uma análise univariada para descrever os dados obtidos através dos questionários seguida de uma análise multivariada utilizando regressão de Poisson com estimador robusto. Na análise multivariada, a variável dependente (concentração de Pb urinário) foi dicotomizada em valores iguais ou abaixo de 1,14 µg.g⁻¹ e valores acima deste limiar. O ponto de corte foi escolhido a partir dos dados obtidos no National Report on

Human Exposure to Environmental Chemicals, considerando o percentil 95 da faixa etária de 6 a 11 anos no ciclo 2015-2016 do NHANES (CDC, 2021c). A atualização mais recente deste manual está datada em março de 2021.

As variáveis independentes que foram consideradas na construção do modelo teórico para a determinação do risco foram separadas em quatro níveis:

- Nível 1 – Variáveis socioeconômicas dos pais: Escolaridade da mãe (ensino fundamental completo ou menos; ensino médio incompleto ou mais); cor da mãe biológica (não-branca; branca); estado civil da mãe (solteira / viúva / divorciada; vivia com companheiro / casada); classificação de renda familiar segundo a Associação Brasileira de Empresas de Pesquisa (ABEP) (Classes C1, C2 e DE; Classes A, B1 e B2); e renda familiar per capita em relação ao salário mínimo em 2013 (menor que R\$ 678,00; maior ou igual a R\$ 678,00).
- Nível 2 – Condições de moradia e trabalho: Distância para a fonte de poluição mais próxima da residência (menor ou igual a 2 km, entre 2 e 10 km e maior que 10 km); exposição no trabalho por parte da mãe (mecânica, cabelereira, agricultura ou pecuária); exposição no trabalho por parte do pai (usina termelétrica, agricultura ou pecuária); e mãe trabalhando no momento; pai trabalhando no momento.
- Nível 3 – Hábitos de vida e exposição da criança: Mãe fumante; fumantes na residência (incluindo a mãe); e aquecimento com queima de biomassa (fogão a lenha ou lareira).
- Nível 4 – Características da criança: Sexo da criança (masculino; feminino); cor da criança (não-branca; branca); se a criança tem ou teve asma; e escore Z para o IMC, considerando se a criança estava abaixo do peso ideal (percentil < 5), acima do peso ideal – sobrepeso e obesidade – (percentil \geq 85) ou dentro da faixa de peso ideal (percentil entre 5 e 85).

Aspectos Éticos

Foram respeitados os aspectos éticos estabelecidos pela Resolução 466/12 do Conselho Nacional de Saúde, do Ministério da Saúde, que regulamenta a pesquisa com seres humanos no Brasil (CNS, 2012). Além disso, este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa na Área da Saúde pela Universidade Federal do Rio Grande (Nº 36/2013).

Foi garantido o anonimato a todos os participantes envolvidos no estudo, bem como a utilização dos dados unicamente para fins de pesquisa científica. Os participantes foram apoiados para o esclarecimento de dúvidas que surgiram ao decorrer do período de estudo. Também foram informados que os resultados do estudo poderiam ser divulgados por meio de artigos ou congressos científicos, mas sem a identificação pessoal de cada um. Além disso, todo e qualquer participante podia, a qualquer momento, interromper sua participação no estudo juntamente com a retirada do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido ou Termo de Assentimento Livre e Esclarecido sem que houvesse qualquer prejuízo a ele.

Bibliografia

ADAMS, J. B. et al. Toxicological status of children with autism vs. neurotypical children and the association with autism severity. **Biological Trace Element Research**, v. 151, n. 2, p. 171–180, 2013.

AHAMED, M. A. A. et al. Coal composition and structural variation with rank and its influence on the coal-moisture interactions under coal seam temperature conditions – A review article. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, v. 180, p. 901–917, 2019.

AIZER, A. et al. Do Low Levels of Blood Lead Reduce Children’s Future Test Scores? **American Economic Journal: Applied Economics**, v. 10, n. 1, p. 307–41, 1 jan. 2018.

AKOTO, O. et al. Spatial distribution, exposure, and health risk assessment of bioavailable forms of heavy metals in surface soils from abandoned landfill sites in Kumasi, Ghana. **HUMAN AND ECOLOGICAL RISK ASSESSMENT**, v. 25, n. 7, p. 1870–1885, 2019.

ALI, A. et al. Environmental impact of coal mining and coal seam gas production on surface water quality in the Sydney basin, Australia. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 189, n. 8, p. 1–16, 2017.

BELLINGER, D. C. Lead. **Pediatrics**, v. 113, n. 4, p. 1016–1022, 2004.

BIAN, Z. et al. Environmental issues from coal mining and their solutions. **Mining Science and Technology**, v. 20, n. 2, p. 215–223, 2010.

BIGLIARDI, A. P. et al. Blood markers among residents from a coal mining area. **Environmental Science and Pollution Research**, p. 1–8, 2020.

BOYLE, J. et al. Estimated IQ points and lifetime earnings lost to early childhood blood lead levels in the United States. **Science of The Total Environment**, v. 778, p. 146307, 15 jul. 2021.

CDC. **National Biomonitoring Program: Biomonitoring Summary - Lead**. Disponível em: <https://www.cdc.gov/biomonitoring/Lead_BiomonitoringSummary.html>. Acesso em: 24 dez. 2021a.

CDC. **Childhood Lead Poisoning Prevention: Blood Lead Reference Value**. Disponível em: <<https://www.cdc.gov/nceh/lead/data/blood-lead-reference-value.htm>>. Acesso em: 28 dez. 2021b.

CDC. **National Report on Human Exposure to Environmental Chemicals**.

Disponível em: <<https://www.cdc.gov/exposurereport/>>. Acesso em: 28 dez. 2021c.

CHIANG, W. F. et al. A comparison of elementary schoolchildren's exposure to arsenic and lead. **Journal of Environmental Science and Health - Part C Environmental Carcinogenesis and Ecotoxicology Reviews**, v. 26, n. 3, p. 237–255, 2008.

CLEVELAND, L. M. et al. Lead hazards for pregnant women and children: Part 1: Immigrants and the poor shoulder most of the burden of lead exposure in this country. Part 1 of a two-part article details how exposure happens, whom it affects, and the harm it ca. **American Journal of Nursing**, v. 108, n. 10, p. 40–49, 2008.

CNS. **Resolução 466/12 Conselho Nacional de Saúde** Ministério da Saúde, , 2012.

CPRM. **Carvão Mineral**. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br>>. Acesso em: 24 nov. 2020.

CRM. **Etapas da mineração e recuperação ambiental**. Disponível em: <<https://www.crm.rs.gov.br/etapas-da-mineracao-e-recuperacao-ambiental>>. Acesso em: 24 nov. 2020.

DA SILVA BONIFÁCIO, A. et al. Human health risk assessment of metals and anions in surface water from a mineral coal region in Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 193, n. 9, p. 1–11, 1 set. 2021.

DA SILVA JÚNIOR, F. M. R. et al. Distribution of potentially harmful elements in soils around a large coal-fired power plant. **Environmental Geochemistry and Health**, v. 41, n. 5, p. 2131–2143, 2019.

DA SILVA, Z. C. Candiota coalfield: a world class Brazilian coal deposit. **International Journal of Coal Geology**, v. 23, n. 1–4, p. 103–116, 1993.

DÓREA, J. G. Neurodevelopment and exposure to neurotoxic metal(loid)s in environments polluted by mining, metal scrapping and smelters, and e-waste recycling in low and middle-income countries. **Environmental Research**, v. 197, p. 111124, 1 jun. 2021.

DOS SANTOS, M. et al. Biomonitoring of trace elements in urine samples of children from a coal-mining region. **Chemosphere**, v. 197, p. 622–626, 2018.

DOS SANTOS, M. et al. Selenium dietary intake, urinary excretion, and toxicity symptoms among children from a coal mining area in Brazil. **Environmental Geochemistry and Health**, p. 1–11, 2020a.

DOS SANTOS, M. et al. Multiple exposure pathways and health risk assessment of selenium for children in a coal mining area. **Environmental Science and Pollution Research**, p. 1–8, 13 nov. 2020b.

DUPONT-SOARES, M. et al. Maternal, neonatal and socio-economic factors associated with intellectual development among children from a coal mining region in Brazil. **Environmental Geochemistry and Health**, v. 43, n. 8, p. 3055–3066, 26 jan. 2021.

EPE. **Matriz energética e elétrica**. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>. Acesso em: 22 dez. 2021.

FENG, H. et al. Groundwater environmental risk assessment of abandoned coal mine in each phase of the mine life cycle: a case study of Hongshan coal mine, North China. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, n. 33, p. 42001–42021, 2020.

FLORA, G.; GUPTA, D.; TIWARI, A. Toxicity of lead: A review with recent updates. **Interdisciplinary Toxicology**, v. 5, n. 2, p. 57–58, 2012.

FLORA, J. S. S.; PACHAURI, V.; SAXENA, G. **Arsenic, Cadmium and Lead**. London: [s.n.].

FLUES, M. et al. Avaliação da influência da operação da termoeletrica a carvão na concentração dos metais e As no solo de Figueira, PR - Brasil. **Quimica Nova**, v. 31, n. 1, p. 25–30, 2008.

GRANT, L. D. **Lead and compounds**. **Environmental Toxicants: Human Exposures and Their Health Effects**. New Jersey, USA: Wiley, Hoboken, 2008.

GUIDOTTI, T. L.; MCNAMARA, J.; MOSES, M. S. The interpretation of trace element analysis in body fluids. **Indian Journal of Medical Research**, v. 128, n. 4, p. 524, 2008.

HAN, Z. et al. Blood lead levels of children in urban and suburban areas in China (1997–2015): Temporal and spatial variations and influencing factors. **Science of The Total Environment**, v. 625, p. 1659–1666, 1 jun. 2018.

HE, A. et al. Potentially toxic metals and the risk to children's health in a coal mining city: An investigation of soil and dust levels, bioaccessibility and blood lead levels. **Environment International**, v. 141, p. 1057–1088, 2020.

IBGE. **Cidades e Estados: Candiota**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rs/candiota.html>>.

INPE. **Calculadora Geográfica**. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/calcula/>>.

JARVIS, P. et al. Intake of lead (Pb) from tap water of homes with leaded and low lead plumbing systems. **Science of The Total Environment**, v. 644, p. 1346–1356, 10 dez. 2018.

KASTURY, F. et al. Dynamics of Lead Bioavailability and Speciation in Indoor Dust and X-ray Spectroscopic Investigation of the Link between Ingestion and Inhalation Pathways. **Environmental Science and Technology**, v. 53, n. 19, p. 11486–11495, 1 out. 2019.

KUMAR, A. et al. Lead toxicity: Health hazards, influence on food Chain, and sustainable remediation approaches. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 17, n. 7, p. 2179, 2020.

LANPHEAR, B. P. et al. Prevention of Childhood Lead Toxicity. **Pediatrics**, v. 138, n. 1, p. e20161493, 1 jul. 2016.

LI, M. M. et al. Contemporary blood lead levels of children aged 0–84 months in China: A national cross-sectional study. **Environment International**, v. 134, p. 1052–1088, 2020.

LI, M. S. Ecological restoration of mineland with particular reference to the metalliferous mine wasteland in China: A review of research and practice. **Science of the Total Environment**, v. 357, n. 1–3, p. 38–53, 2006.

LI, Y. J. et al. Potentially Toxic Elements and Health Risk Assessment in Farmland Systems around High-Concentrated Arsenic Coal Mining in Xingren, China. **Journal of Chemistry**, 2018.

LIN, C. Y. et al. Association between urine lead levels and cardiovascular disease risk factors, carotid intima-media thickness and metabolic syndrome in adolescents and young adults. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, v. 223, n. 1, p. 248–255, 2020.

LÓPEZ-COSTAS, O. et al. Human bones tell the story of atmospheric mercury and lead exposure at the edge of Roman World. **Science of the Total Environment**, v. 710, p. 136319, 2020.

MACDONALD GIBSON, J. et al. Children drinking private well water have higher blood lead than those with city water. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 117, n. 29, p. 16898–16907, 2020.

MADEDDU, R. et al. Blood biomonitoring of metals in subjects living near abandoned mining and active industrial areas. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 185, n. 7, p. 5837–5846, 2013.

MANEA, D. N. et al. Health Risk Assessment of Dietary Heavy Metals Intake from Fruits and Vegetables Grown in Selected Old Mining Areas—A Case Study: The Banat Area

of Southern Carpathians. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 17, n. 14, p. 5172, 17 jul. 2020.

MARSHALL, A. T. et al. Association of lead-exposure risk and family income with childhood brain outcomes. **Nature Medicine**, v. 26, n. 1, p. 91–97, 13 jan. 2020.

MÅRTENSSON, A. et al. Creatininium reference intervals for corrected methods. **Scandinavian Journal of Clinical and Laboratory Investigation**, v. 64, n. 4, p. 439–441, 2004.

MARTINELLO, K. et al. Direct identification of hazardous elements in ultra-fine and nanominerals from coal fly ash produced during diesel co-firing. **Science of the Total Environment**, v. 470, p. 444–452, 2014.

MARTÍNEZ-HERNANZ, Á. et al. Blood lead in children and associations with trace elements and sociodemographic factors. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v. 58, p. 126424, 2020.

MOON, C. S. et al. Lead and cadmium levels in daily foods, blood and urine in children and their mothers in Korea. **International Archives of Occupational and Environmental Health**, v. 76, n. 4, p. 282–288, 2003.

NARANJO, V. I.; HENDRICKS, M.; JONES, K. S. Lead Toxicity in Children: An Unremitting Public Health Problem. **Pediatric Neurology**, v. 113, p. 51–55, 1 dez. 2020.

NAVAS-ACIEN, A. et al. Lead exposure and cardiovascular disease - A systematic review. **Environmental Health Perspectives**, v. 115, n. 3, p. 472–482, 2007.

O'CONNOR, D. et al. The effects of iniquitous lead exposure on health. **Nature Sustainability**, v. 3, n. 2, p. 77–79, 10 fev. 2020.

OKONKWO, J. O. et al. Determination of urinary lead in school children in Manzini, Swaziland, Southern Africa. **Environmentalist**, v. 21, n. 3, p. 205–209, 2001.

PAN, S. et al. Effects of lead, cadmium, arsenic, and mercury co-exposure on children's intelligence quotient in an industrialized area of southern China. **Environmental Pollution**, v. 235, p. 47–54, 1 abr. 2018.

PENTEADO, J. O. et al. Health risk assessment in urban parks soils contaminated by metals, Rio Grande city (Brazil) case study. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 208, p. 111737, jan. 2021.

PINTO, E. A. DA S. et al. Genotoxicity in adult residents in mineral coal region—a cross-sectional study. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 20, p. 16806–16814, 2017.

RAHMAN, Z.; SINGH, V. P. The relative impact of toxic heavy metals (THMs) (arsenic (As), cadmium (Cd), chromium (Cr)(VI), mercury (Hg), and lead (Pb)) on the total environment: an overview. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 191, n. 7, p. 419, 2019.

RAMÍREZ ORTEGA, D. et al. Cognitive Impairment Induced by Lead Exposure during Lifespan: Mechanisms of Lead Neurotoxicity. **Toxics**, v. 9, n. 2, p. 23, 28 jan. 2021.

RASHID, A. et al. Environmental and socioeconomic factors induced blood lead in children: an investigation from Kashmir, India. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 191, n. 2, p. 76, 2019.

ROCA, M. et al. Biomonitoring of 20 elements in urine of children. Levels and predictors of exposure. **Chemosphere**, v. 144, p. 1698–1705, 2016.

SCHUMANN, W. Rochas e minerais: minerais, gemas, rochas, minerios: mais de 300 fotos coloridas. In: **Rochas e minerais**. [s.l.] Ao Livro Técnico, 1985. p. 223.

SHADBEGIAN, R. et al. Early childhood lead exposure and the persistence of educational consequences into adolescence. **Environmental Research**, v. 178, p. 108643, 1 nov. 2019.

SORENSEN, L. C. et al. Lead exposure and academic achievement: evidence from childhood lead poisoning prevention efforts. **Journal of Population Economics**, v. 32, n. 1, p. 179–218, 1 jan. 2019.

UN. **The 17 Goals**. Disponível em: <<https://sdgs.un.org/goals>>. Acesso em: 12 jan. 2022.

WARD, C. R. Analysis and significance of mineral matter in coal seams. **International Journal of Coal Geology**, v. 50, n. 1–4, p. 135–168, 2002.

WASEEM, A.; ARSHAD, J. A review of Human Biomonitoring studies of trace elements in Pakistan. **Chemosphere**, v. 163, p. 153–176, 1 nov. 2016.

WHO. **Lead poisoning**. Disponível em: <<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health>>. Acesso em: 24 dez. 2021.

WU, Y. et al. The Relationship of Children's Intelligence Quotient and Blood Lead and Zinc Levels: a Meta-analysis and System Review. **Biological Trace Element Research**, v. 182, n. 2, p. 185–195, 15 jul. 2017.

XIA, B. et al. Personal exposure to PM_{2.5} constituents associated with gestational blood pressure and endothelial dysfunction. **Environmental Pollution**, v. 250, p. 346–356, 2019.

ZHANG, X. et al. Reference levels and relationships of nine elements in first-spot morning urine and 24-h urine from 210 Chinese children. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, v. 220, n. 2, p. 227–234, 2017.

ZHOU, T. et al. Concentrations of arsenic, cadmium and lead in human hair and typical foods in eleven Chinese cities. **Environmental Toxicology and Pharmacology**, v. 48, p. 150–156, 2016.

Manuscrito

O manuscrito foi preparado segundo às normas do periódico Environmental Science and Pollution Research.

As normas podem ser acessadas em:

<https://www.springer.com/journal/11356/submission-guidelines>

Níveis urinários de chumbo e fatores associados ao seu aumento em escolares residentes de área de exploração de carvão mineral no extremo sul do Brasil

Resumo

Atividades de exploração de carvão mineral podem liberar uma ampla variedade de compostos químicos em todos os compartimentos ambientais, causando danos à saúde de populações expostas e ao ambiente. Candiota possui a maior reserva de carvão do Brasil e estudos anteriores já evidenciaram que a exposição ao Pb pode estar desencadeando uma série de desfechos negativos na saúde da população. Diante desta problemática, o presente estudo teve como objetivo realizar uma distribuição espacial dos níveis urinários de Pb em crianças da região carbonífera de Candiota e identificar os fatores associados a estes níveis. Trata-se de um estudo transversal conduzido com 92 crianças residentes de Candiota e municípios vizinhos. A coleta dos dados demográficos e socioeconômicos dos participantes ocorreu via questionário. Os níveis urinários de Pb foram normalizados a partir da concentração de creatinina urinária e para avaliar os fatores associados a estes níveis foi utilizada a regressão de Poisson com estimador robusto. Os principais fatores associados aos elevados níveis de Pb nas crianças (considerando o ponto de corte de $1,14 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ -creatinina) foram cor da mãe ($p = 0,03$) e exposição ocupacional do pai ($p = 0,02$). Além disso, nosso estudo confirma a partir da distribuição espacial que as crianças com maiores níveis de Pb na urina estão concentradas em Candiota. Portanto, concluímos que atividades de mineração podem ter um grande impacto sobre os elevados níveis urinários de Pb na população infantil.

Palavras-chave: Candiota; Biomonitoramento; Chumbo; Carvão; Crianças.

Introdução

Atividades envolvendo a extração de minérios têm sido estudadas há décadas devido aos impactos causados no meio ambiente e na saúde humana. Áreas de mineração são reconhecidas por contribuir para a poluição do ar. Um recente relatório elaborado pelo Greenpeace Southeast Asia (GSA) em parceria com o Centre for Research on Energy and Clean Air (CRECA) estimou que a poluição gerada, principalmente pela queima de combustíveis fósseis, é responsável por aproximadamente 4,5 milhões de mortes prematuras no mundo inteiro a cada ano. Esse problema acontece porque a poluição do ar contribui para o aumento da incidência de doenças respiratórias crônicas e agudas (Farrow et al. 2020).

As reservas mundiais de carvão são estimadas em 847,5 bilhões de toneladas, com a maior parte dessas reservas localizadas nos Estados Unidos, Rússia e China, que detêm cerca de 60% das reservas mundiais. Segundo a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), as reservas de carvão do Brasil estão majoritariamente localizadas entre os estados da região sul do país, sendo que a Jazida de Candiota, no Rio Grande do Sul, compreende 38% de todo o carvão do território nacional (CPRM 2014).

Nos processos de mineração e processamento do carvão podem ser liberados na atmosfera material particulado e gases tóxicos com potencial de poluir o meio ambiente e comprometer a saúde humana (Bian et al. 2010). Oriundo destas atividades, o Pb se destaca devido a sua relativa abundância em áreas de exploração de carvão (He et al. 2020) e sua elevada toxicidade (Rahman and Singh 2019; Kumar et al. 2020). Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), o Pb está entre os dez produtos químicos de maior preocupação para a saúde pública e destaca que os Estados Membros da organização precisam promover ações para proteger a saúde de trabalhadores, crianças e mulheres em idade reprodutiva (WHO 2021).

Para o Centro de Controle e Prevenção de Doenças (CDC), até a década de 80 a principal fonte de exposição para a maior parte da população dos Estados Unidos era oriunda dos aerossóis produzidos pelos veículos que utilizavam gasolina contendo Pb em sua composição. No entanto, desde sua eliminação da gasolina, a contaminação por Pb para a população adulta ficou restrita principalmente às atividades ocupacionais, enquanto que para crianças a principal fonte de contaminação são tintas à base de chumbo e a contaminação do solo (CDC 2021a).

Recentes estudos em Candiota mostraram que nas regiões próximas às áreas de mineração a concentração de Pb no solo e no material particulado PM₁₀ estão próximas aos limites estabelecidos na legislação nacional (da Silva Júnior et al. 2019; Bigliardi et al. 2020). Além disto, o estudo de da Silva Bonifácio (2021) evidenciou que os níveis de Pb em águas superficiais próximas à região estão acima dos limites preconizados pela legislação brasileira (10 µg.L⁻¹). Entre os desfechos negativos à saúde humana estão danos de DNA (Pinto et al. 2017), comprometimento no desenvolvimento intelectual de crianças (Dupont-Soares et al. 2021) e elevados níveis de Pb na urina (6 µg.g⁻¹-creatinina) de escolares que vivem em Candiota e arredores (DOS SANTOS et al., 2018).

Portanto, o presente estudo tem como objetivo (1) espacializar os níveis urinários de Pb de acordo com o local de residência das crianças que vivem na região carbonífera de Candiota e (2) identificar os fatores associados aos elevados níveis de Pb nestas crianças.

Metodologia

Delineamento da pesquisa

Trata-se de um estudo transversal. Foram utilizados dados primários de pesquisas anteriores que estão disponíveis em outras publicações científicas (BIGLIARDI et al., 2020; DA SILVA BONIFÁCIO et al., 2021; DOS SANTOS et al., 2018, 2020a, 2020b; PINTO et al., 2017). A população do estudo é composta por crianças em idade escolar, variando entre 6 e 11 anos e que residem em Candiota e nos municípios vizinhos. O número amostral (92) foi baseado na quantidade de escolares matriculados em cada localidade e foram selecionados de forma aleatória. Foram incluídas no estudo apenas crianças que estivessem cursando o ensino fundamental em escolas públicas cuja lista foi fornecida pela secretaria de educação de cada município. As coletas foram realizadas em 2013.

Área de estudo

A área compreendida pelo estudo contempla 7 municípios localizados em uma região carbonífera ao sul do Brasil, no estado do Rio Grande do Sul. Estes municípios são: Aceguá, Bagé, Candiota, Herval, Hulha Negra, Pedras Altas e Pinheiro Machado ([Figura 1](#)). Em Candiota se encontram potenciais fontes poluidoras como a Usina Termelétrica Pampa Sul (31° 26' 54.8" S, 53° 46' 43.4" W), Usina Termelétrica Presidente Médici (31° 33' 01.9" S, 53° 40' 58.8" W) e duas áreas de mineração de carvão (mina de carvão menor 31° 26' 49.7" S, 53° 42' 26.4" W e mina de carvão maior 31° 34' 59.7" S, 53° 43' 15.6" W). Além disso, também foi considerada a influência de uma área de mineração de cobre localizada fora dos limites de Candiota.

Dados demográficos e socioeconômicos

Para a coleta de informações demográficas e socioeconômicas foi aplicado um questionário onde foram coletados dados de idade e etnia dos pais e da criança; renda familiar; condições de habitação; município de residência do participante; e potenciais fontes de exposição a metais. O questionários pode ser acessado a partir do Informação Suplementar

I. As principais extraídas do questionário e que foram consideradas para o modelo teórico na análise estatística foram divididas em quatro níveis.

Nível 1 – Variáveis socioeconômicas dos pais: Escolaridade da mãe (ensino fundamental completo ou menos; ensino médio incompleto ou mais); cor da mãe biológica (não-branca; branca); estado civil da mãe (solteira / viúva / divorciada; vivia com companheiro / casada); classificação de renda familiar segundo a Associação Brasileira de Empresas de Pesquisa (ABEP) (Classes C1, C2 e DE; Classes A, B1 e B2); e renda familiar per capita em relação ao salário mínimo em 2013 (menor que R\$ 678,00; maior ou igual a R\$ 678,00).

Nível 2 – Condições de moradia e trabalho: Distância para a fonte de poluição mais próxima da residência (menor ou igual a 2 km, entre 2 e 10 km e maior que 10 km); exposição no trabalho por parte da mãe (mecânica, cabelereira, agricultura ou pecuária); exposição no trabalho por parte do pai (usina termelétrica, agricultura ou pecuária); e mãe trabalhando no momento; pai trabalhando no momento.

Nível 3 – Hábitos de vida e exposição da criança: Mãe fumante; fumantes na residência (incluindo a mãe); e aquecimento com queima de biomassa (fogão a lenha ou lareira).

Nível 4 – Características da criança: Sexo da criança (masculino; feminino); cor da criança (não-branca; branca); se a criança tem ou teve asma; e escore Z para o IMC, considerando se a criança estava abaixo do peso ideal (percentil < 5), acima do peso ideal – sobrepeso e obesidade – (percentil \geq 85) ou dentro da faixa de peso ideal (percentil entre 5 e 85).

Amostras de Urina

As amostras de urina foram coletadas no turno da manhã em recipientes plásticos esterilizados, identificadas, acondicionadas em caixa de isopor a 4° C e foram analisadas em laboratório certificado. Os recipientes foram mantidos em solução de ácido nítrico 10% por pelo menos 24 horas e depois enxaguados com água deionizada. A concentração de Pb foi determinada a partir de espectrofotometria de absorção atômica em forno de grafite (GF-AAS) e normalizada para a concentração de creatinina. O limite de quantificação (LOQ) foi 0,5 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ -creatinina). Detalhes da metodologia de coleta podem ser verificados em um estudo anterior (dos Santos et al. 2018).

Distribuição espacial

A partir das coordenadas dos 5 empreendimentos potencialmente poluidores de Candiota e região (Usina Termelétrica Pampa Sul; Usina Termelétrica Presidente Médici; Mina de Carvão Menor; Mina de Carvão Maior e Mina de Cobre) e da localização de cada participante, foi possível realizar a espacialização dos níveis urinários de Pb para as 92 crianças. O software utilizado para a confecção do mapa foi o Qgis 3.5.1. As coordenadas geográficas de cada localização estão disponíveis em Informação Suplementar II.

Análise dos dados

Foi realizada uma análise univariada para descrever os dados obtidos através dos questionários seguido de uma análise multivariada utilizando regressão de Poisson com estimador robusto. Na análise multivariada, a variável dependente (concentração de Pb urinário) foi dicotomizada em valores iguais ou abaixo de $1,14 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ -creatinina e valores acima deste limiar. O ponto de corte foi definido a partir dos dados obtidos no National Report on Human Exposure to Environmental Chemicals, considerando o percentil 95 e a faixa etária de 6 a 11 anos no ciclo 2015-2016 do National Health and Nutrition Examination Survey (CDC 2016). A atualização mais recente deste manual está datada em março de 2021.

As variáveis independentes que fizeram parte do modelo teórico para a determinação do risco foram separadas em quatro níveis: (1) variáveis socioeconômicas dos pais; (2) condições de moradia e trabalho; (3) hábitos de vida e exposição da criança; e (4) características da criança.

Aspectos éticos

Foram respeitados os aspectos éticos estabelecidos pela Resolução 466/12 do Conselho Nacional de Saúde, do Ministério da Saúde, que regulamenta a pesquisa com seres humanos no Brasil (CNS 2012). Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa na Área da Saúde pela Universidade Federal do Rio Grande (Nº 36/2013). Foi solicitada aos pais das crianças ou responsáveis por elas a assinatura prévia do Termo de Consentimento

Livre e Esclarecido (TCLE). Para os escolares, foi solicitada a assinatura do Termo de Assentimento Livre e Esclarecido (TALE). Ambos os documentos acompanharam o questionário e só foram incluídos no estudo aqueles que concordaram com os termos e entregaram os documentos por escrito. Além disso, foi realizada a devolução dos exames para os participantes.

Resultados

O mapa apresentado na [Figura 2](#) destaca os pontos onde os níveis urinários de Pb na população exposta foram mais elevados. A região central da área do estudo evidencia que os maiores níveis urinários de Pb nas crianças se concentram em Candiota, local onde localiza-se a maior parte das fontes poluidoras. Também pode ser observado que a região à nordeste da área de estudo – onde existe a mina de cobre – pode ter influência sobre os níveis urinários de Pb das crianças.

As informações gerais sobre idade e níveis urinários de Pb nas crianças da área de estudo podem ser observadas na [Tabela 1](#). Quando comparados com os níveis urinários de Pb disponíveis pelo National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES) ([Tabela 2](#)), as concentrações encontradas nas crianças de Candiota e região se mostram muito elevadas. Ao observar a população total, a mediana para as crianças da região de estudo se encontram em $3,50 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ -creatinina, enquanto o percentil 95% alcança valores ainda mais altos de $11,13 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ -creatinina.

A [Tabela 3](#) mostra as variáveis socioeconômicas da mãe, condições de moradia, hábitos de vida e características da criança que foram base para o modelo teórico de regressão de Poisson. Para alguns indicadores foram encontradas disparidades que devem ser mencionadas. Foi observado que a renda das famílias se encontrava abaixo do esperado para a maior parte delas. Segundo a classificação da Associação Brasileira de Empresas de Pesquisa (ABEP), 76,09% das famílias se encontravam nas classes econômicas mais baixas. Quando avaliada a renda familiar per capita, vimos que 88,04% viviam com menos de um salário mínimo por mês. No ano da pesquisa (2013) o salário mínimo era de R\$ 678,00 e 41 famílias viviam com um terço desse valor.

As análises simples e ajustada são mostradas na [Tabela 4](#). De acordo com a análise ajustada, a variável cor da pele da mãe mostrou que mães de cor não-branca estavam associadas com o desfecho principal (RP 1,35; IC95% 1,01-1,79). Além disso, também foi observado que a exposição do pai em atividades de reconhecida contaminação por Pb pode estar relacionada aos elevados níveis urinários de Pb nessas crianças (RP 1,33; IC95% 1,03-1,73).

A análise simples mostrou que diferentes variáveis podem estar relacionadas com o aumento de Pb na urina das crianças quando observadas separadamente. As variáveis cor da pele da mãe e exposição ocupacional do pai perderam significância na análise simples ($p =$

0,06 e $p = 0,09$, respectivamente). No entanto, ficou evidenciado que viver próximo das fontes de poluição tem uma importância significativa para a associação com os níveis elevados de Pb ($p < 0,01$), sendo que viver a menos de 2 km de uma fonte de poluição apresentou uma razão de prevalência de 1,27 (IC95% 0,92-1,75) e viver entre 2 e 10 km de uma fonte de poluição apresentou razão de prevalência de 1,25 (IC95% 0,94-1,67). O escore Z para o IMC também apresentou associação com o desfecho ($p < 0,01$), mostrando que estar acima do peso representa um fator de proteção (RP 0,78; IC95% 0,55-1,22), enquanto que estar abaixo do peso representa um fator de risco (RP 1,10; IC95% 0,86-1,41) contra o desfecho principal.

Discussão

Os impactos das atividades oriundas da mineração de carvão estão recorrentemente sendo discutidos na literatura e não é incomum que o Pb se destaque entre os elementos que representam maior risco para a saúde humana (Ishtiaq et al. 2018; da Silva Bonifácio et al. 2021). A exposição para crianças, quando em área de risco, pode ser mais elevada devido ao fato delas explorarem os ambientes por meio de atividades manuais (como levar as mãos até a boca, por exemplo) (Penteado et al. 2021) ou devido à exposição de poeira doméstica (Lanphear et al. 2016). Em relação aos danos no sistema nervoso periférico, os adultos tendem a ser mais suscetíveis, enquanto que os danos para crianças – com o sistema nervoso ainda em desenvolvimento – são mais evidentes e ocorrem no sistema nervoso central (Bellinger 2004). Já foi visto que para crianças em idade escolar, até mesmo baixas concentrações de Pb no sangue pode estar associada a uma diminuição da capacidade intelectual, utilizando o Quociente de Inteligência como parâmetro avaliativo (Lanphear et al. 2016; Wu et al. 2017; Pan et al. 2018).

Em nosso estudo, observamos que os valores de Pb na urina das crianças variaram entre valores próximos a zero até 21,6 $\mu\text{g.g}^{-1}$ -creatinina para meninos e 10,9 $\mu\text{g.g}^{-1}$ -creatinina para meninas. Estes níveis poderiam representar casos isolados, no entanto o percentil 90 (10,98 $\mu\text{g.g}^{-1}$ -creatinina para meninos e 9,74 $\mu\text{g.g}^{-1}$ -creatinina para meninas) indica que existe uma quantidade considerável de amostras que apresentaram níveis elevados de Pb na urina dessas crianças. Comparativamente, os valores de referência preconizados pelo CDC na faixa de idade entre 6 e 11 anos se encontram abaixo daqueles encontrados na área do estudo. Enquanto que para o CDC o P90 de crianças de ambos os sexos entre 6 a 11 anos consideradas não expostas é de 0,85 $\mu\text{g.g}^{-1}$ -creatinina (ciclo NHANES 2015-2016), o P90 incluindo meninos e meninas de Candiota e região considerando a mesma faixa etária foi quase 11 vezes maior (10,09 $\mu\text{g.g}^{-1}$ -creatinina).

Ao observar em perspectiva os dados disponibilizados pelo CDC, nota-se que os níveis urinários de Pb em crianças tem decrescido ao longo dos anos, possivelmente em consequência de políticas públicas que visam proteger a saúde da população. Apesar disso, nosso estudo mostra que locais potencialmente poluidores possibilitam cenários de exposição mais perigosos que aqueles encontrados há mais de duas décadas (CDC 2021b).

Muitos efeitos decorrentes da contaminação por Pb em crianças são estudados na literatura, no entanto alguns desses efeitos mostram-se ainda controversos. Comparando

crianças portadoras de autismo com grupos neurotípicos, já foi observado diferença estatisticamente significativa (+74%, $p = 0,02$) entre os grupos, apontando concentrações de $0,57 \mu\text{g.g}^{-1}$ -creatinina para autistas e $0,32 \mu\text{g.g}^{-1}$ -creatinina para o grupo neurotípico (Adams et al. 2013). No entanto, Yorbik (2010) encontrou níveis menores em crianças autistas ($1,19 \mu\text{g.g}^{-1}$ -creatinina para autistas e $4,63 \mu\text{g.g}^{-1}$ -creatinina para o grupo controle) e sugeriu que este grupo pode estar associado a uma redução significativa da excreção de Pb através da urina. Outro estudo, utilizando o sangue para avaliação do Pb, mostrou que, ao comparar com o grupo controle, o grupo de crianças autistas possuía níveis elevados de Pb no organismo e menores níveis de glutathione-s-transferase (GST), enzima que auxilia no processo de detoxificação de metais (Alabdali et al. 2014).

Níveis urinários de Pb em torno de $1,50 \mu\text{g.g}^{-1}$ -creatinina podem estar associados positivamente a diversos fatores de risco de doenças cardiovasculares, incluindo pressão sanguínea (Lin et al. 2020). Além disso, nesse mesmo estudo também foi observado que o escore Z para IMC foi positivamente associado com a concentração elevada de Pb na urina em crianças abaixo do peso e negativamente para crianças acima do peso ideal para sua idade, indo de encontro aos nossos achados. Isso pode estar relacionado ao fato de crianças acima do peso acumularem o metal nos tecidos, ao passo que crianças abaixo do peso excretam o metal por não favorecerem o acúmulo do metal no organismo. Adicionalmente a isso, já foi reportado na literatura que modelos animais expostos ao Pb tiveram um aumento significativo de peso, triglicerídeos, acumulação lipídica hepática e alteração na metilação de DNA (Sun et al. 2017).

Em nosso estudo foi observado que a concentração de Pb na urina foi maior entre os meninos (P95 $16,75 \mu\text{g.g}^{-1}$ -creatinina) quando comparado com meninas (P95 $10,08 \mu\text{g.g}^{-1}$ -creatinina), correspondendo a um aumento de 66,2%. Ao comparar as médias esse aumento é de apenas 8,3% para meninos. No entanto, esta relação é inversa a alguns achados na literatura. Lin (2020) observou que meninas tiveram maiores níveis urinários de Pb que meninos e Castaño (2012) observou em seu estudo que meninas tiveram um aumento de 17% na concentração urinária de Pb quando comparado aos meninos.

Fatores socioeconômicos também podem estar associados aos elevados níveis de Pb na urina. Estudos na China e na Índia avaliaram crianças, entre meninos e meninas, e observaram que fatores como idade; local onde as crianças brincavam (dentro ou fora de casa); pais tabagistas; educação dos pais; educação das mães; água de beber (torneira ou engarrafada); renda familiar; e condições de moradia estavam relacionados a níveis mais

elevados de Pb urinário (Rashid et al. 2019; Martínez-Hernanz et al. 2020). Em nosso estudo, apenas cor da pele da mãe apresentaram associação com os níveis urinários de Pb das crianças ($p = 0,03$). Apesar de não ser considerada significativo na análise multivariada, a renda familiar per capita para 81 famílias (88,04%) estava abaixo do salário mínimo da época, reforçando que a vulnerabilidade social pode se tornar um agravante para aquelas pessoas que estão ambientalmente expostas na área de mineração.

A origem da água de beber não apresentou associação com a concentração de Pb na urina das crianças, no entanto Da Silva Bonifácio (2021) observou que em alguns pontos de Candiota, a concentração de Pb nos corpos hídricos ultrapassam os valores permitidos pela legislação brasileira e se aproximam muito do valor considerado de risco segundo a metodologia de Avaliação de Risco à Saúde Humana da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos. Essa informação deve ser levada em consideração para a implementação de políticas públicas a fim de preservar a saúde das famílias, sobretudo àquelas que não consomem água tratada.

O mapa de espacialização mostra que as crianças com maiores níveis de Pb na urina residem em Candiota e destaca que a mina de cobre pode ter influência sobre os níveis urinários de Pb dessas crianças. Estudos anteriores na região revelam que a concentração de Pb nos solos decresce à medida em que se distanciam da usina termelétrica em um raio de até 10 km. No entanto, a concentração de Pb no solo sofre um aumento aparente nas direções que coincidem com as minas de carvão (da Silva Júnior et al. 2019).

Apesar de Candiota concentrar a maior parte das fontes de poluição avaliadas no estudo, existem alguns fatores que podem contribuir para a contaminação das cidades vizinhas. A região de Candiota apresenta baixas/moderadas concentrações de elementos potencialmente perigosos em amostras de solo próximos às usinas termelétricas da região, no entanto há uma preocupação em relação à influência dos ventos sobre a dispersão dos contaminantes (da Silva Júnior et al. 2019). Além disso, foi observado que os níveis de elementos potencialmente perigosos nos pontos de descarga de águas residuais das atividades de mineração podem ser menores em diferentes pontos de um rio (principalmente rio abaixo), mostrando que o impacto dessas atividades não é necessariamente local e que a contaminação pode alcançar regiões muito distantes das fontes de poluição (Ali et al. 2017).

Apesar dos importantes achados de nosso estudo, algumas limitações devem ser destacadas. Devido à ausência de informações (principalmente dos pais das crianças), algumas variáveis não puderam ser incorporadas na análise estatística. Escolaridade do pai e

pai tabagista não puderam ser consideradas no modelo de Poisson, pois a inserção dessas variáveis comprometeria a análise devido à dados faltantes. Em relação ao uso de água tratada, as informações concedidas no questionário tiveram baixa rastreabilidade, pois indicava apenas se o participante tinha água tratada pelo estado, ou se utilizava poços artesianos.

Conclusão

No presente estudo foram avaliados diferentes aspectos relacionados à exposição de crianças em idade escolar em Candiota e região, onde localiza-se a maior reserva de carvão mineral do Brasil. Diante a uma enorme quantidade de contaminantes que podem ser estudados nessas áreas, o Pb se destacou por apresentar níveis urinários muito acima (4,42, 3,50 e 11,13 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ -creatinina para média, percentil 50 e percentil 95, respectivamente) daqueles considerados referências pelo Centro de Controle e Prevenção de Doenças. Também foi visto que as maiores concentrações de Pb na urina das crianças se concentram no município de Candiota.

Entre os fatores que podem contribuir para estes níveis elevados estão características socioeconômicas da mãe, como a cor da pele, exposição do pai no trabalho e viver próximo das fontes de poluição. Em razão desta problemática, governos e responsáveis por políticas públicas de saúde não devem medir esforços para enfrentar as questões que permeiam a vulnerabilidade destas crianças, uma vez que estejam socio e ambientalmente expostas.

Referências

- Adams JB, Audhya T, McDonough-Means S, et al (2013) Toxicological status of children with autism vs. neurotypical children and the association with autism severity. *Biol Trace Elem Res* 151:171–180. <https://doi.org/10.1007/s12011-012-9551-1>
- Alabdali A, Al-Ayadhi L, El-Ansary A (2014) A key role for an impaired detoxification mechanism in the etiology and severity of autism spectrum disorders. *Behav Brain Funct* 10:1–11. <https://doi.org/10.1186/1744-9081-10-14>
- Ali A, Strezov V, Davies P, Wright I (2017) Environmental impact of coal mining and coal seam gas production on surface water quality in the Sydney basin, Australia. *Environ Monit Assess* 189:1–16. <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6110-4>
- Bellinger DC (2004) Lead. *Pediatrics* 113:1016–1022. https://doi.org/10.1007/978-94-009-5729-9_5
- Bian Z, Inyang HI, Daniels JL, et al (2010) Environmental issues from coal mining and their solutions. *Min Sci Technol* 20:215–223. [https://doi.org/10.1016/S1674-5264\(09\)60187-3](https://doi.org/10.1016/S1674-5264(09)60187-3)
- Bigliardi AP, Fernandes CLF, Pinto EA, et al (2020) Blood markers among residents from a coal mining area. *Environ Sci Pollut Res* 1–8. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10400-3>
- Castaño A, Sánchez-Rodríguez JE, Cañas A, et al (2012) Mercury, lead and cadmium levels in the urine of 170 Spanish adults: A pilot human biomonitoring study. *Int J Hyg Environ Health* 215:191–195. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2011.09.001>
- CDC (2021a) National Biomonitoring Program: Biomonitoring Summary - Lead. In: Centers Dis. Control Prev. https://www.cdc.gov/biomonitoring/Lead_BiomonitoringSummary.html. Accessed 24 Dec 2021
- CDC (2021b) National Report on Human Exposure to Environmental Chemicals. In: Centers Dis. Control Prev. <https://www.cdc.gov/exposurereport/>. Accessed 28 Dec 2021
- CNS (2012) Resolução 466/12. Cons. Nac. Saúde
- CPRM (2014) Carvão Mineral. In: Cia. Pesqui. Recur. Minerais. <http://www.cprm.gov.br>. Accessed 24 Nov 2020
- da Silva Bonifácio A, de Lima Brum R, Tavella RA, et al (2021) Human health risk assessment of metals and anions in surface water from a mineral coal region in Brazil. *Environ Monit Assess* 193:1–11. <https://doi.org/10.1007/S10661-021-09359-6>

- da Silva Júnior FMR, Ramires PF, dos Santos M, et al (2019) da. *Environ Geochem Health* 41:2131–2143. <https://doi.org/10.1007/s10653-019-00267-w>
- dos Santos M, Flores Soares MC, Martins Baisch PR, et al (2018) Biomonitoring of trace elements in urine samples of children from a coal-mining region. *Chemosphere* 197:622–626. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.01.082>
- Dupont-Soares M, dos Santos M, Garcia EM, et al (2021) Maternal, neonatal and socio-economic factors associated with intellectual development among children from a coal mining region in Brazil. *Environ Geochem Health* 43:3055–3066. <https://doi.org/10.1007/S10653-021-00817-1>
- Farrow A, Miller KA, Myllyvirta L, et al (2020) TOXIC AIR: THE PRICE OF FOSSIL FUELS. *Greenpeace Southeast Asia* 44
- He A, Li X, Ai Y, et al (2020) Potentially toxic metals and the risk to children's health in a coal mining city: An investigation of soil and dust levels, bioaccessibility and blood lead levels. *Environ Int* 141:1057–1088. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105788>
- Ishtiaq M, Jehan N, Khan SA, et al (2018) Potential harmful elements in coal dust and human health risk assessment near the mining areas in Cherat, Pakistan. *Environ Sci Pollut Res* 25:14666–14673. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1655-5>
- Kumar A, Kumar A, Cabral-Pinto M, et al (2020) Lead toxicity: Health hazards, influence on food Chain, and sustainable remediation approaches. *Int J Environ Res Public Health* 17:2179. <https://doi.org/10.3390/ijerph17072179>
- Lanphear BP, Lowry JA, Ahdoot S, et al (2016) Prevention of Childhood Lead Toxicity. *Pediatrics* 138:e20161493. <https://doi.org/10.1542/PEDS.2016-1493/52600>
- Lin CY, Huang PC, Wu C, et al (2020) Association between urine lead levels and cardiovascular disease risk factors, carotid intima-media thickness and metabolic syndrome in adolescents and young adults. *Int J Hyg Environ Health* 223:248–255. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2019.08.005>
- Martínez-Hernanz Á, González-Estecha M, Blanco M, et al (2020) Blood lead in children and associations with trace elements and sociodemographic factors. *J Trace Elem Med Biol* 58:126424. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2019.126424>
- Pan S, Lin L, Zeng F, et al (2018) Effects of lead, cadmium, arsenic, and mercury co-exposure on children's intelligence quotient in an industrialized area of southern China. *Environ Pollut* 235:47–54. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2017.12.044>
- Penteado JO, Brum R de L, Ramires PF, et al (2021) Health risk assessment in urban parks

- soils contaminated by metals, Rio Grande city (Brazil) case study. *Ecotoxicol Environ Saf* 208:111737. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111737>
- Pinto EA da S, Garcia EM, de Almeida KA, et al (2017) Genotoxicity in adult residents in mineral coal region—a cross-sectional study. *Environ Sci Pollut Res* 24:16806–16814. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9312-y>
- Rahman Z, Singh VP (2019) The relative impact of toxic heavy metals (THMs) (arsenic (As), cadmium (Cd), chromium (Cr)(VI), mercury (Hg), and lead (Pb)) on the total environment: an overview. *Environ Monit Assess* 191:419. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7528-7>
- Rashid A, Bhat RA, Qadri H, et al (2019) Environmental and socioeconomic factors induced blood lead in children: an investigation from Kashmir, India. *Environ Monit Assess* 191:76. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7220-y>
- Sun H, Wang N, Nie X, et al (2017) Lead exposure induces weight gain in adult rats, accompanied by DNA hypermethylation. *PLoS One* 12:e0169958. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169958>
- WHO (2021) Lead poisoning. In: *World Heal. Organ.* <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health>. Accessed 24 Dec 2021
- Wu Y, Sun J, Wang M, et al (2017) The Relationship of Children’s Intelligence Quotient and Blood Lead and Zinc Levels: a Meta-analysis and System Review. *Biol Trace Elem Res* 182:185–195. <https://doi.org/10.1007/S12011-017-1093-0>
- Yorbik Ö, Kurt I, Haşimi A, Öztürk Ö (2010) Chromium, cadmium, and lead levels in urine of children with autism and typically developing controls. *Biol Trace Elem Res* 135:10–15. <https://doi.org/10.1007/s12011-009-8494-7>

Tabela 1. Estatística descritiva da população exposta (n = 92).

	N	%	Idade (anos)				Níveis Urinários de Pb ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{creatinina}$)								
			Média	DP	Mín	Max	Média Geométrica ^a	Média	DP	Min ^b	Max	P10 ^b	P50	P90	P95
Total	92	100	9,11	1,35	6	11	3,82	4,42	4,47	<LOQ	21,6	<LOQ	3,50	10,09	11,13
Meninos	47	51,09	9,23	1,40	6	11	3,99	4,59	5,32	<LOQ	21,6	<LOQ	3,20	10,98	16,75
Meninas	45	48,91	8,98	1,29	6	11	3,67	4,24	3,41	<LOQ	10,9	<LOQ	3,70	9,74	10,08

^a Valores nulos foram desconsiderados no cálculo da média geométrica.

^b Valores abaixo do limite de quantificação ($0,5 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{creatinina}$). 26,1% das amostras se encontravam abaixo do limite de quantificação.

Tabela 2. Média geométrica e percentis da concentração de Pb na urina ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ -creatinina) para a população dos Estados Unidos, segundo informações da National Health and Nutrition Examination Survey (Adaptado de NHANES 1999-2010 e NHANES 2011-2016 (CDC 2021b)).

Categoria Demográfica	Ciclo NHANES	Média Geométrica (95% IC)	Percentil 50 (95% IC)	Percentil 75 (95% IC)	Percentil 90 (95% IC)	Percentil 95 (95% IC)	Tamanho Amostral
População Total	1999 - 2000	0,72 (0,70 – 0,74)	0,70 (0,67 – 0,72)	1,11 (1,05 – 1,15)	1,70 (1,62 – 1,85)	2,38 (2,22 – 2,79)	2465
	2001 - 2002	0,63 (0,60 – 0,67)	0,63 (0,58 – 0,67)	1,03 (0,96 – 1,08)	1,52 (1,43 – 1,61)	2,03 (1,89 – 2,22)	2689
	2003 - 2004	0,63 (0,60 – 0,66)	0,62 (0,59 – 0,65)	0,97 (0,92 – 1,03)	1,49 (1,33 – 1,64)	1,97 (1,73 – 2,26)	2558
	2005 - 2006	0,54 (0,52 – 0,57)	0,53 (0,51 – 0,56)	0,86 (0,81 – 0,90)	1,27 (1,15 – 1,37)	1,71 (1,50 – 1,89)	2576
	2007 - 2008	0,51 (0,48 – 0,54)	0,50 (0,46 – 0,53)	0,80 (0,72 – 0,88)	1,30 (1,23 – 1,42)	1,85 (1,73 – 1,96)	2627
	2009 - 2010	0,48 (0,46 – 0,51)	0,47 (0,44 – 0,50)	0,76 (0,76 – 0,81)	1,16 (1,08 – 1,28)	1,53 (1,41 – 1,62)	2848
	2011 - 2012	0,40 (0,38 – 0,44)	0,39 (0,37 – 0,41)	0,63 (0,58 – 0,67)	1,00 (0,87 – 1,16)	1,51 (1,24 – 1,71)	2502
	2013 - 2014	0,32 (0,30 – 0,33)	0,31 (0,29 – 0,33)	0,51 (0,49 – 0,55)	0,82 (0,75 – 0,90)	1,16 (1,00 – 1,30)	2663
2015 - 2016	0,31 (0,29 – 0,34)	0,30 (0,27 – 0,32)	0,52 (0,47 – 0,56)	0,87 (0,76 – 0,98)	1,13 (1,04 – 1,27)	3058	
6 – 11 Anos	1999 - 2000	1,17 (0,97 – 1,41)	1,06 (0,91 – 1,22)	1,55 (1,22 – 1,97)	2,71 (1,67 – 4,66)	4,66 (1,97 – 18,0)	340
	2001 - 2002	0,91 (0,84 – 1,00)	0,87 (0,80 – 0,93)	1,27 (1,12 – 1,43)	2,33 (1,59 – 3,64)	3,64 (1,89 – 5,56)	368
	2003 - 2004	0,92 (0,12 – 1,06)	0,91 (0,78 – 1,03)	1,45 (1,17 – 1,72)	2,14 (1,62 – 3,47)	3,47 (2,19 – 5,31)	290
	2005 - 2006	0,62 (0,56 – 0,70)	0,59 (0,53 – 0,68)	0,87 (0,77 – 0,94)	1,29 (1,03 – 1,82)	1,96 (1,32 – 2,42)	355
	2007 - 2008	0,64 (0,54 – 0,76)	0,63 (0,53 – 0,73)	1,02 (0,77 – 1,24)	1,50 (1,24 – 2,02)	2,04 (1,70 – 2,58)	394
	2009 - 2010	0,60 (,51 – 0,66)	0,58 (0,52 – 0,65)	0,87 (0,78 – 1,00)	1,32 (1,09 – 1,51)	1,60 (1,38 – 1,75)	378
	2011 - 2012	0,49 (0,43 – 0,56)	0,45 (0,41 – 0,52)	0,70 (0,55 – 0,93)	1,18 (0,88 – 1,56)	1,56 (1,12 – 2,22)	398
	2013 - 2014	0,33 (0,29 – 0,37)	0,31 (0,27 – 0,37)	0,50 (0,42 – 0,57)	0,83 (0,66 – 0,93)	1,07 (0,90 – 1,34)	402
2015 - 2016	0,36 (0,32 – 0,40)	0,32 (0,27 – 0,40)	0,53 (0,45 – 0,64)	0,85 (0,71 – 1,05)	1,14 (0,85 – 1,49)	379	

Tabela 3. Análise descritiva das características socioeconômicas e demográficas das crianças de Candiota e região (n = 92).

Variáveis	N	%
Condições socioeconômicas da Mãe		
Escolaridade		
Ensino Fundamental completo ou menos	62	68,13
Ensino Médio Incompleto ou mais	29	31,87
Cor da Pele		
Não-branca	41	45,05
Branca	50	54,95
Estado Civil		
Solteira / Viúva / Divorciada	24	26,09
Casada / Vive com companheiro	68	73,91
Classe social		
Mais pobres (C1, C2 e DE)	70	76,09
Mais ricos (A, B1 e B2)	22	23,91
Renda Per Capita*		
< Salário mínimo	81	88,04
>= Salário mínimo	11	11,96
Condições de trabalho e moradia		
Município		
Candiota	19	20,65
Outros municípios	73	79,35
Distância da fonte de poluição mais próxima		
< 2 ,000 m	7	7,61
>= 2,000 e < 10,000	12	13,04
> 10,000	73	79,35
Exposição no trabalho (Mãe)		
Sim	14	15,22
Não	78	84,78
Exposição no trabalho (Pai)		
Sim	29	38,16
Não	47	61,84
Trabalhando no momento (Mãe)		
Sim	50	54,35
Não	42	45,65
Trabalhando no momento (Pai)		
Sim	68	88,31
Não	9	11,69
Hábitos de vida		
Mãe fumante		

Sim	30	32,97
Não	61	67,03
Fumantes na casa		
Sim	46	50,00
Não	46	50,00
Aquecimento com queima de biomassa		
Sim	46	50,00
Não	46	50,00
Características da criança		
Sexo		
Masculino	47	51,09
Feminino	45	48,91
Cor da pele		
Não-branca	37	40,22
Branca	55	59,78
Criança teve asma		
Sim	30	32,61
Não	62	67,39
Escore Z para IMC		
Acima do peso	30	32,61
Abaixo do peso	7	7,61
Peso ideal	55	59,78

* Salário mínimo no ano da pesquisa (2013) era correspondente a R\$ 678,00 (ou aproximadamente US\$ 289,74 em agosto de 2013).

Tabela 4. Análise simples e ajustada dos fatores de risco para o aumento da concentração dos níveis urinários de Pb em crianças de Candiota.

Nível	Variáveis	Simples			p-valor	Ajustada			p-valor
		Razão de Prevalência	95% IC Min	95% IC Max		Razão de Prevalência	95% IC Min	95% IC Max	
Condições socioeconômicas da Mãe									
1	Cor da Pele				0,06				0,03
	Não-branca	1,30	0,98	1,71		1,35	1,01	1,79	
	Branca	1				1			
1	Classe Social				0,11				0,80
	Mais pobres (C1, C2 e DE)	0,81	0,63	1,04		0,77	0,58	1,01	
	Mais ricos (A, B1 e B2)	1				1			
Condições de trabalho e moradia									
2	Distância das fontes de poluição				< 0,01				0,14
	< 2.000 m	1,46	1,23	1,73		1,27	0,92	1,75	
	2.000 m até 10.000 m	1,33	1,03	1,71		1,25	0,94	1,67	
	> 10.000 m	1				1			
2	Exposição no trabalho (Pai)				0,09				0,02
	Sim	1,39	1,08	1,79		1,33	1,03	1,73	
	Não	1				1			
Hábitos de vida									
3	Fumantes na casa				0,33				0,10
	Sim	0,87	0,66	1,14		0,79	0,59	1,05	
	Não	1				1			

3	Queima de biomassa				0,21			0,14
	Sim	0,83	0,63	1,11		0,79	0,59	1,07
	Não	1				1		
	Características da criança							
4	Escore Z para IMC				< 0,01			0,15
	Acima do peso	0,83	0,58	1,18		0,78	0,55	1,12
	Abaixo do peso	1,33	1,12	1,58		1,10	0,86	1,41
	Peso ideal	1				1		



Figura 1. Municípios onde se localizava a população de estudo (Pinto et al. 2017).

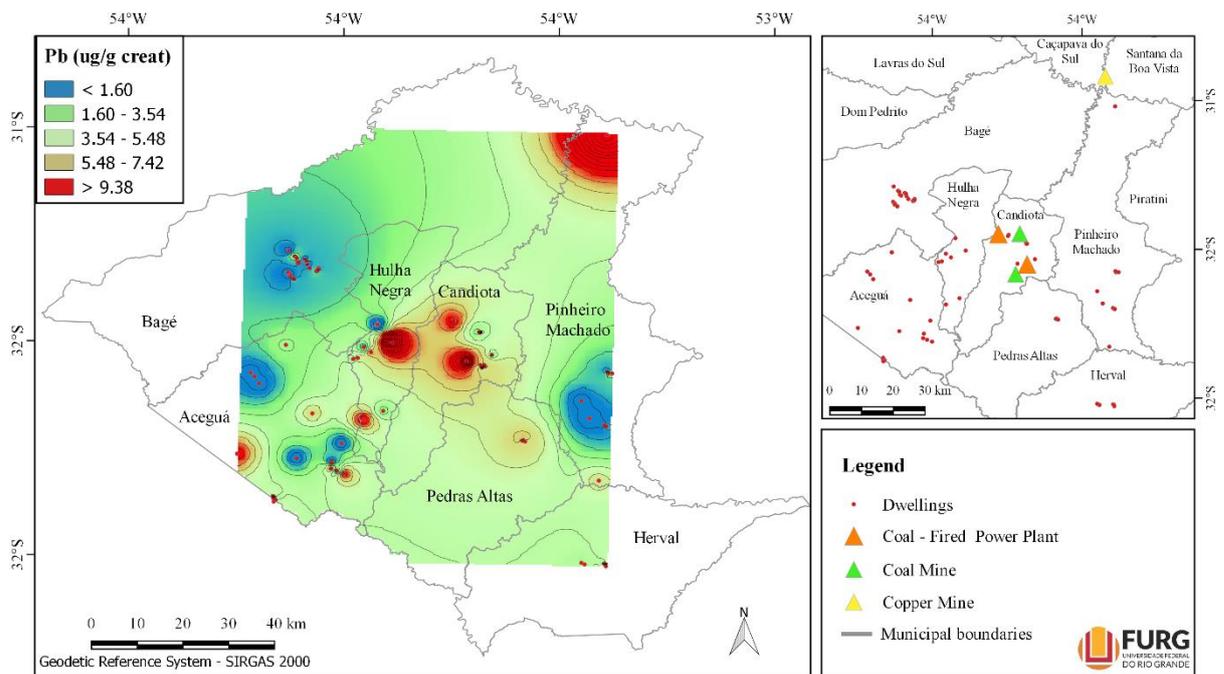


Figura 2. Distribuição espacial dos níveis urinários de Pb das 92 crianças avaliadas no estudo.

Conclusões

No presente estudo foram avaliados diferentes aspectos relacionados à exposição de crianças em idade escolar em Candiota, onde localiza-se a maior reserva de carvão mineral do Brasil. Diante a uma enorme quantidade de contaminantes que podem estudados nessas áreas, o Pb se destacou por apresentar níveis urinários muito acima (P95 11,13 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ -creatinina) daqueles considerados referências pelo Centro de Controle e Prevenção de Doenças (P95 1,14 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ -creatinina).

A partir da espacialização foi observado que as crianças com os maiores níveis urinários de Pb residem em Candiota, onde se concentram a maior parte das fontes poluidoras. Entre os fatores que podem contribuir para estes níveis elevados estão características socioeconômicas da mãe, como cor da pele, exposição ocupacional do pai e viver próximo às fontes de poluição relacionadas às atividades de mineração de carvão.

Ainda enfatizamos que atividades de mineração têm um forte impacto na saúde dessa população, principalmente sobre crianças em idade escolar. Os danos neurológicos causados pela exposição ao Pb podem interferir negativamente não só a curto como a longo prazo, durante toda a sua vida. Este cenário em conjunto com o fato da maioria da população avaliada no estudo estar em vulnerabilidade social reforça a necessidade de apoio externo. Em razão desta problemática, governos e responsáveis por políticas públicas de saúde não devem medir esforços para enfrentar as questões que permeiam a vulnerabilidade destas crianças, uma vez que estejam socio e ambientalmente expostas.

Anexo 1

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
FACULDADE DE MEDICINA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA SAÚDE**

**PROGRAMA DE ACOMPANHAMENTO DA SITUAÇÃO DE SAÚDE DA POPULAÇÃO RESIDENTE
NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DIRETA E INDIRETA DA USINA TERMELÉTRICA PRESIDENTE
MÉDICI**

**AVALIAÇÃO DA FUNÇÃO PULMONAR E DA CAPACIDADE INTELECTUAL EM ESCOLARES DA
REGIÃO DE CANDIOTA**

01	NÚMERO DO QUESTIONÁRIO: ____ ____ Data: ____/____/____	01qstn ____ ____ ____/____/____
02	Endereço do Domicílio: Rua: _____ Número: _____ Complemento: _____ Bairro: _____ (0) Não exposto (1) Exposto Telefone para contato: _____	02Bairro __
03	Entrevistador: _____	03Entre ____ __
04	Tentativas: 1 ^ª ____ 2 ^a ____ 3 ^a ____ 4 ^a ____ (1) Sim, entrevistada (2) Recusa (3) Sim, marcou para outro dia (4) Não, ausente (8) NSA () Outro: _____	04aTentu__ 04bTentd__ 04cTentt__ 04dTentq__
05	Nome da mãe biológica: _____ Nome do informante: _____ Tipo de relação do informante: (0) Mãe biológica (1) Mãe adotiva () Outro. Qual? _____	05Maerel__
06	Qual a idade da mãe biológica? _____ (99) IGN (88) NSA	06Idmaeb ____ __
07	Cor da mãe (MÃE BIOLÓGICA): (0) Branca (1) Mista (2) Negra (9) IGN	07Cormae__
08	A Sra.: (0) Vive com companheiro / Casada (1) Solteira (2) Viúva (3) Desquitada / Divorciada (9) IGN	08Estciv__
09	A Sra. (MÃE BIOLÓGICA) trabalhou fora (ou para fora) durante a gestação?	09aTrabm__

	(0) Sim (1) Não (9) IGN SE SIM: Local? _____ (88) NSA Qual a sua ocupação? _____ (88) NSA	09bLoctm __ __ 09cOcuma __ __
10	No seu trabalho as pessoas costumavam fumar na mesma sala / local em que a Sra. (MÃE BIOLÓGICA) trabalhava? (0) Nunca (1) Às vezes (2) Sim, a maior parte do tempo (8) NSA (9) IGN	10Futr__
11	Está trabalhando no momento ou trabalhou após o nascimento da criança? (0) Trabalhando (1) Não (2) Encostado (3) Pensionista (4) Desempregado () Outra situação: _____	11Trab__
12	SE TRABALHOU OU TRABALHA: Qual a idade <CRIANÇA>, quando a Sra. Começou a trabalhar? __ __ meses __ __ dias (00) < 1 mês (88) NSA (99) IGN	12Idtram__ __
13	Que tipo de trabalho faz(ez)? _____ (8) NSA	13Titra__ __
14	Quais os cuidados que o pai prestou à <CRIANÇA> na última semana? <i>Brincou</i> (0) Sim (1) Não (8) NSA (9) IGN <i>Preparou comida</i> (0) Sim (1) Não (8) NSA (9) IGN <i>Ficou cuidando</i> (0) Sim (1) Não (8) NSA (9) IGN <i>Passeou junto</i> (0) Sim (1) Não (8) NSA (9) IGN	14aPaibr __ 14bPaial __ 14cPaicd __ 14dPaips __
15	Gostaria de saber qual o tipo de ajuda que a Sra. Recebe do pai da <CRIANÇA>? <i>Ajuda com dinheiro</i> (0) Sim (1) Não (8) NSA (9) IGN <i>Leva a criança ao médico</i> (0) Sim (1) Não (8) NSA (9) IGN <i>Faz compras para a criança</i> (0) Sim (1) Não (8) NSA (9) IGN	15aAjpdj __ 15bAjplm __ 15cAjpcp __
1	A Sra. fuma? (0) Não (1) Fumou, mas não fuma mais (2) Sim Se SIM, quantos cigarros a Sra. fumou por dia nesta última semana?	16aMaefu__ 16bCigdm __ __ __
17	E durante a gravidez, fumou (MÃE BIOLÓGICA)? (0) Não (1) Sim (8) NSA (9) IGN	17Maefug__
18	O seu marido / companheiro fuma? (0) Sim (1) Sim (8) NSA (9) IGN Se SIM, quantos cigarros ele fumou por dia nesta última semana?	18aPaifu__ 18bCigdp __ __ __

19	Das outras pessoas que moram aqui, alguma outra fuma? (0) Não (1) Sim (8) NSA (9) IGN Se SIM, quantas pessoas da sua casa, ao todo, fumam? ___ __ pessoas	19aFumap___ 19bQfum ___ __
20	Durante a gravidez <CRIANÇA> a Sra. (MÃE BIOLÓGICA) fez alguma consulta de pré-natal? (0) Sim (1) Não (8) NSA (9) IGN	20Prenat___
21	SE SIM (para questão 20) Em que mês da gestação começou? ___ __ mês (00) < 1 mês (88) NSA (99) IGN	21Premês___ __
22	SE SIM (para questão 20) Quantas consultas fez na gravidez? ___ __ consultas (88) NSA (99) IGN	22Precon___ __
23	Onde nasceu <CRIANÇA>? (1) Hospital Universitário (2) Santa Casa (3) Em casa (9) IGN () Outro: _____	23Ondnas___
24	O parto <CRIANÇA> foi: (1) Normal (2) Normal com fórceps (3) Cesárea (9) IGN	24Partao___
25	Quantas pessoas moram aqui na sua casa? ___ __ pessoas	25Pesmor___ __
26	Quantos filhos a senhora (MÃE) tem? ___ __ filhos	26Quanfi___ __
27	Quantos menores de cinco anos moram nesta casa? ___ __ crianças	27Menor ___ __
28	Tem algum animal de estimação na sua casa? Se SIM, que tipo de animal tem? (1) Gato (2) Cachorro (3) Gato e cachorro (4) Passarinho (5) Outros	28aAnima ___ 28bAnimq ___ __
29	A Sra. (MÃE BIOLÓGICA) tem algum filho que já tenha falecido? (1) Sim (2) Não (8) NSA SE SIM: Foi no parto? (1) Sim (2) Não Outra causa? (1) Sim (2) Não (8) NSA Qual? _____ (8) NSA (9) IGN	29aFalfi___ 29bFalpa___ 29cFalou___ __
30	A Sra. (MÃE BIOLÓGICA) teve algum problema de saúde causado pelo parto depois que <CRIANÇA> nasceu? (1) Sim (2) Não (8) NSA	30aPrbsa___ 30bQprsa___ __

	SE SIM: Quais? _____ (8) NSA _____ (9) IGN	
31	Quantas peças têm a sua casa (NÃO INCLUIR: BANHEIROS, CORREDORES E GARAGEM)? ___ ___ peças	31Peças__ __
32	Quantas peças usam para dormir? ___ ___ peças	32Quarto__ __
33	Tipo de casa (OBSERVAR. SE NECESSÁRIO, PERGUNTAR): (1) Tijolos com reboco (2) Tijolos sem reboco (3) Madeira (4) Mista (tijolo e madeira) () Outro: _____	33Tipcas__
34	Como é o chão da peça onde a criança dorme? (1) Madeira (tábua ou parkê) (2) Lajota / Ladrilho / Tijoleta (3) Cimento (4) Carpete (5) Chão batido () Outro: _____	34Tippis__
35	Tem água encanada em casa? (1) Sim, dentro de casa (2) Sim, no quintal (3) Não	35Aguenc__
36	De onde vem a água da casa usada para beber? (0) Corsan (1) Poço artesiano () Outro: _____	36Abeber__
37	Como é o banheiro / Sanitário / Patente da casa? (0) Sanitário com descarga (1) Sanitário sem descarga (2) Casinho / Fossa negra (3) Não tem banheiro	37Sanita__
38	A Sra. usa alguma coisa para aquecer a casa? (1) Sim (2) Não	38Aquece__
39	SE SIM: O que a Sra. usa para aquecer a casa? (MARQUE TODOS QUE USAR) (1) Estufa elétrica (2) Estufa a gás (3) Lareira/Salamandra (4) Álcool (5) Fogão (6) Ar condicionado (8) NSA () Outro _____	39aQaqu__ 39bQaqud__ 39cQaqu__
40	A Sra. tem fogão em casa? (1) Sim (2) Não SE SIM: Que tipo de fogão? (MARQUE TODOS QUE TIVER) (1) Gás (2) Elétrico (3) Lenha (8) NSA () Outro: _____	40aFogao__ 40bTipfu__ 40cTipfd__
41	SE TEM FOGÃO A LENHA O fogão tem chaminé para fora da casa? (0) Sim (1) Não (8) NSA	41Fogcha__

42	<p>Na sua casa tem?</p> <p>Geladeira (0) Sim, funciona (1) Sim, não funciona (2) Não Televisor (0) Sim, funciona (1) Sim, não funciona (2) Não Telefone (0) Sim, funciona (1) Sim, não funciona (2) Não Aspirador de pó (0) Sim, funciona (1) Sim, não funciona (2) Não</p>	<p>42aGelad__ 42bTelev__ 42cTelef__ 42dAspir__</p>																														
43	<p>A Sra. (MÃE) sabe ler e escrever?</p> <p>(1) Sim (2) Não (3) Só assinar</p>	<p>43Msaler__</p>																														
44	<p>SE SIM: Até que série estudou? __ série do __ grau</p> <p>(8) NSA</p>	<p>44aMests__ 44bMestg__</p>																														
45	<p>SE É CASA OU VIVE COM COMPANHEIRO, PEGUNTAR: O seu marido / companheiro sabe ler e escrever?</p> <p>(1) Sim (2) Não (3) Só assinar (8) NSA (9) IGN</p>	<p>45Psaler__</p>																														
46	<p>SE SIM Até que série ele estudou? __ série do __ grau</p> <p>(88) NSA (9) IGN</p>	<p>46aPests__ 46bPestg__</p>																														
47	<p>No mês passado, quanto ganhou cada uma das pessoas que moram nesta casa? (MR = pessoa de maior renda)</p> <p>Pessoa 1 (MR) R\$ _____ Pessoa 2 R\$ _____ Pessoa 3 R\$ _____ Pessoa 4 R\$ _____</p> <p>(8) NSA (9) IGN</p>	<p>47aRenu _____-__ 47bRend _____-__ 47ctRent _____-__ 47dqRenq _____-__</p>																														
48	<p>A sua família tem outra fonte de renda, como aluguel, pensão, etc?</p> <p>(1) Sim (2) Não (9) IGN</p> <p>SE SIM: Discrimine a outra renda: R\$ _____</p> <p>(8) NSA (9) IGN</p>	<p>48aFonre __ 48bRenou _____ 49aMrend __</p>																														
49	<p>A maior renda da família é da mãe ou do pai?</p> <p>(1) Sim (2) Não (9) IGN</p> <p>SE NÃO: Discrimine quem: _____ (8) NSA (9) IGN Qual a escolaridade desta pessoa _____ (8) NSA (9) IGN</p>	<p>49aMrend_ 49bMrque__ 49cMresc__</p>																														
50	<p>Descreva quais destes itens e quantidade você tem em casa:</p> <table border="0"> <tr> <td></td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4 ou mais</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Televisão em cores</td> <td>()</td> <td>()</td> <td>()</td> <td>()</td> <td>50altum__</td> </tr> <tr> <td>Rádio</td> <td>()</td> <td>()</td> <td>()</td> <td>()</td> <td>50bltdoi__</td> </tr> <tr> <td>Banheiro</td> <td>()</td> <td>()</td> <td>()</td> <td>()</td> <td>50clttres__</td> </tr> <tr> <td>Automóvel</td> <td>()</td> <td>()</td> <td>()</td> <td>()</td> <td>50dlqua__</td> </tr> </table>		1	2	3	4 ou mais		Televisão em cores	()	()	()	()	50altum__	Rádio	()	()	()	()	50bltdoi__	Banheiro	()	()	()	()	50clttres__	Automóvel	()	()	()	()	50dlqua__	
	1	2	3	4 ou mais																												
Televisão em cores	()	()	()	()	50altum__																											
Rádio	()	()	()	()	50bltdoi__																											
Banheiro	()	()	()	()	50clttres__																											
Automóvel	()	()	()	()	50dlqua__																											

	Empregado mensalista () () () () Máquina de lavar () () () () Videocassete e/ou DVD () () () () Geladeira () () () () Freezer (aparelho independente ou parte da geladeira duplex) () () () ()	50eltcin__ __ 50fltsei__ __ 50gltset__ __ 50hltoit__ __ 50iltnov__ __
51	O pai da <CRIANÇA> estava trabalhando quando a Sra. (MÃE BIOLÓGICA) ficou grávida? (1) Sim (2) Não (8) NSA (9) IGN SE SIM: Qual função desenvolvia? _____ (8) NSA (9) IGN Local de trabalho? _____ (8) NSA (9) IGN	51aPaitra__ __ 51bFuncd__ __ 51cLoctr__ __
52	O pai da <CRIANÇA> ou o seu companheiro está trabalhando no momento? (1) Sim (2) Não (8) NSA (9) IGN SE SIM: Que função desenvolve? _____ (8) NSA (9) IGN Local de trabalho? _____ (8) NSA (9) IGN	52aTrabm__ __ 52bFunat__ __ 52cLocat__ __
53	Há quanto tempo vocês moram nesta casa? __ __ anos __ __ meses (99) IGN (00) Menos de 1 ano (00) Menos de um mês	53aTeman__ __ 53bTemme__ __
54	Quais os lugares que vocês moraram nos últimos 20 anos? (8) NSA (9) IGN (0) Não exposto (1) Exposto (ANOTAR BAIRRO) Onde? Bairro 1: _____ Bairro 2: _____ Bairro 3: _____ Bairro 4: _____	54aBairu__ __ 54bBaird__ __ 54cBairt__ __ 54dBairq__ __

AGORA NÓS IREMOS CONVERSAR SOBRE ALGUMAS CARACTERÍSTICAS E INFORMAÇÕES DA SAÚDE DA <CRIANÇA> E DE SUA CONVIVÊNCIA EM FAMÍLIA.

55	Como é o nome da criança? _____	
56	SEXO: (1) Masculino (2) Feminino	56Sexo__ __
57	COR (OBSERVAR): (1) Branca (2) Mista (3) Negra	57Corcri__ __
58	A CRIANÇA vive com:	58Maebio__ __

	(1) Mãe biológica (2) Mãe adotiva () Outro: _____	
--	--	--

A senhora pode me trazer a certidão de nascimento, a DNV do hospital e a carteirinha de vacinas da criança

59	(VERIFICAR A DATA DE NASCIMENTO DA <CRIANÇA> E NOME DA MÃE Data de nascimento: ____/____/____	59Dn__/_/_/ _
60	Se não tem registro da data de nascimento, perguntar ao entrevistado A data de nascimento foi? (0) Confirmada na certidão (1) Só informada (9) IGN	60Confdn__
61	Quando a criança nasceu, quanto tempo ficou na maternidade? ____ horas (888) NSA (999) IGN	61Tempma __ __ __
62	A criança precisou de ajuda da máquina para respirar? (0) Não (1) Sim (9) IGN SE SIM: Quanto tempo a criança ficou respirando pela máquina? ____ horas (888) NSA (999) IGN	62aMáqui __ 60bMaqte __ __
63	Qual a idade gestacional quando <CRIANÇA> nasceu? __ __ semanas (99) IGN	63lg__ __
64	Quanto <CRIANÇA> pesou ao nascer? ____ (9999) IGN	64Pn____
65	O peso do nascimento foi: (OLHAR NO CARTÃO DE NASCIMENTO) (0) Confirmado (1) Só informado (9) IGN	65Infpn__
66	Quanto <CRIANÇA> mediu ao nascer? ____ cm. (88) NSA (99) IGN	66Comnas__ .__
67	O comprimento de nascimento foi (OLHAR NO CARTÃO DE NASCIMENTO) (0) Confirmado (1) Só informado (9) IGN	67Infcom__
68	Qual o APGAR <CRIANÇA> ao nascer? 1º minuto __ __ 5º minuto __ __ (99) IGN	68aApgru__ __ 68bApgrc__ __
69	<CRIANÇA> foi à creche ou maternal alguma vez? (0) Sim (1) Não (9) IGN	69aCrech__

	<p>SE SIM Com que idade começou? ___ ___ meses ___ ___ anos (88) NSA (99) IGN Com que idade deixou a creche? ___ ___ meses ___ ___ anos (88) NSA (99) IGN</p>	<p>69bCreim___ __ 69cCrefm ___ __</p>
70	<p><CRIANÇA> mamou no peito? (0) Sim (1) Não (9) IGN</p> <p>SE SIM Até que idade mamou? ___ ___ meses ___ ___ dias (88) NSA (99) IGN (00) Nunca mamou</p>	<p>70aMam ___ 70bTpmm___ __ 70cTpmd___ __</p>
71	<p>Algum médico lhe disse que a criança tem alguma doença crônica: (0) Não (1) Sim (9) IGN</p> <p>Se afirmativo, assinale qual(is): Doenças cardíacas congênitas (0) Não (1) Sim (9) IGN Encefalopatias crônicas (0) Não (1) Sim (9) IGN Displasia broncopulmonar (0) Não (1) Sim (9) IGN Fibrose cística / mucoviscidose (0) Não (1) Sim (9) IGN Deficiência imunológica (0) Não (1) Sim (9) IGN Insuficiência renal crônica (0) Não (1) Sim (9) IGN</p>	<p>71aDoen___ 71aCard___ 71bEnce___ 71cDisp___ 71dFibr___ 71eDefi___ 71fInsuf</p>
72	<p>Alguma vez na vida a criança teve sibilos (chiado no peito)? (0) Não (1) Sim (9) IGN</p>	72Sibilo___
73	<p>Nos últimos 12 (doze) meses a criança teve sibilos (chiado no peito)? (0) Não (1) Sim (9) IGN</p>	73Sibia___
74	<p>Nos últimos 12 (doze) meses quantas crises de sibilos (chiado no peito) a criança teve? (0) Nenhuma crise (1) 1 a 3 crises (2) 4 a 12 crises (3) Mais de 12 crises</p>	74Sibiqu___
75	<p>Nos últimos 12 (doze) meses com que frequência a criança teve seu sono perturbado por chiado no peito? (0) Nunca acordou com chiado (1) Menos de 1 noite por semana (2) Uma ou mais noites por semana</p>	75Chiado___
76	<p>Nos últimos 12 (doze) meses o chiado da criança foi tão forte a ponto de impedir que conseguisse dizer mais de duas palavras entre cada respiração? (0) Não (1) Sim (9) IGN</p>	76Intch___
77	<p>Alguma vez na vida a criança já teve asma ou bronquite? (0) Não (1) Sim (9) IGN</p>	77Asmabr___
78	<p>Nos últimos 12 (doze) meses a criança teve chiado no peito após exercícios físicos?</p>	78Chiaex___

	(0) Não (1) Sim (9) IGN	
79	Nos últimos 12 (doze) meses a criança teve tosse seca à noite, sem estar gripada ou com infecção respiratória? (0) Não (1) Sim (9) IGN	79Tosse__
80	A criança teve rinite alérgica (nariz entupido, nariz escorrendo, espirro e coceira no nariz)? (0) Nunca teve (1) Sim, mas não tem mais (2) Sim, ainda tem (9) IGN	80Rinite__
81	A criança teve dermatite alérgica (manchas na pele com coceira, e reapareceram várias vezes) (0) Nunca teve (1) Sim, mas não tem mais (2) Sim, ainda tem (9) IGN	81Dermat__
82	A criança teve pneumonia / pontada alguma vez? (0) Não (1) Sim (9) IGN SE SIM Quantas vezes a criança teve pneumonia / pontada? ___ __ vezes	82aPneum__ 82bPneuq__ __
83	A criança teve otite / dor no ouvido? (0) Não (1) Sim (9) IGN SE SIM Quantas vezes a criança teve otite / dor no ouvido? ___ __ vezes	83aOtite__ 83bOtitq__ __
84	A criança teve faringite / amigdalite / dor na garganta? (0) Não (1) Sim (9) IGN SE SIM Quantas vezes a criança teve faringite / amigdalite / dor na garganta? ___ __ vezes	84aGarga__ 84bGarqu__ __
85	A criança baixou no hospital alguma vez? (0) Não (1) Sim (9) IGN SE SIM Quantas vezes a criança baixou no hospital? ___ __ vezes Motivos de internações: _____ _____ _____ _____	85aHosp __ 85bHospq__ __ 85cHosmu__ __ 85dHosmd__ __ 85eHosmt__ __ 85fHosmq__ __
86	A criança foi levada ao pronto-atendimento / pronto-socorro por algum problema de saúde? (0) Não (1) Sim (9) IGN SE SIM	86aPS __

	<p>Quantas vezes a criança foi levada? __ __ vezes</p> <p>Motivos de internações: _____ _____ _____ _____</p>	<p>86bPSqua __ __</p> <p>86cPSmou __ __</p> <p>86dPSmod __ __</p> <p>86ePSmot __ __</p> <p>86fPSmoq __ __</p> <p>86gPSmoc __ __</p>																												
87	<p>A criança tem cartão / carteira de vacina?</p> <p>(0) Sim, visto (1) Sim, não visto (2) Tinha, mas perdeu (3) Nunca teve (9) IGN</p>	<p>87Carta __</p>																												
88	<p>Além dessas doses marcadas no cartão de vacinas, a criança tomou mais alguma?</p> <p>SE SIM, quais são elas? _____, _____</p> <p>PREENCHER O QUADRO ABAIXO (vacinas e confirmações)</p> <table border="0"> <thead> <tr> <th>Vacinas</th> <th>Cartão</th> <th>Mãe</th> <th>Cicatriz</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>DTP (tríplice)</td> <td>()</td> <td>()</td> <td>()</td> </tr> <tr> <td>Pólio (gotinha)</td> <td>()</td> <td>()</td> <td>()</td> </tr> <tr> <td>BCG (cicatriz no braço)</td> <td>()</td> <td>()</td> <td>()</td> </tr> <tr> <td>Hib</td> <td>()</td> <td>()</td> <td>()</td> </tr> <tr> <td>Sarampo</td> <td>()</td> <td>()</td> <td>()</td> </tr> <tr> <td>MMR II</td> <td>()</td> <td>()</td> <td>()</td> </tr> </tbody> </table>	Vacinas	Cartão	Mãe	Cicatriz	DTP (tríplice)	()	()	()	Pólio (gotinha)	()	()	()	BCG (cicatriz no braço)	()	()	()	Hib	()	()	()	Sarampo	()	()	()	MMR II	()	()	()	<p>88aVascu__</p> <p>88bVascu__</p> <p>88cVascu__</p> <p>88dDPT __</p> <p>88ePolio __</p> <p>88fBCG __</p> <p>88gHIB __</p> <p>88hSarampo __</p> <p>88iMMRII __</p>
Vacinas	Cartão	Mãe	Cicatriz																											
DTP (tríplice)	()	()	()																											
Pólio (gotinha)	()	()	()																											
BCG (cicatriz no braço)	()	()	()																											
Hib	()	()	()																											
Sarampo	()	()	()																											
MMR II	()	()	()																											

AGORA VOU LHE FAZER PERGUNTAS SOBRE A SAUDE DAS PESSOAS DA SUA FAMÍLIA

89	<p>Alguém na sua casa teve ou tem asma / bronquite asmática?</p> <p>(0) Ninguém teve (1) Sim, mas não tem mais Quem? _____, _____ (2) Sim, ainda tem Quem? _____, _____ (9) IGN</p>	<p>89aOutBro__</p> <p>89bNaomu__</p> <p>89cNaomd__</p> <p>89dTemum__</p> <p>89eTdois__</p> <p>9fOutn__</p>
90	<p>Alguém na sua casa teve ou tem rinite alérgica (nariz entupido, nariz escorrendo, espirro e coceira no nariz)?</p> <p>(0) Ninguém teve (1) Sim, mas não tem mais Quem? _____, _____ (2) Sim, ainda tem Quem? _____, _____ (9) IGN</p>	<p>90aRinsu __</p> <p>90bRinsd __</p> <p>90cRitu __</p> <p>90dRitd __</p>
91	<p>Existe alguma coisa sobre a saúde da criança que lhe preocupe e que eu ainda não tenha lhe perguntado?</p> <p>(1) Sim (2) Não</p> <p>SE SIM O quê? Persau1: _____ Persau2: _____</p>	<p>91aPersu__</p> <p>91bPsuu__ __</p> <p>91cPsud__ __</p>

Anexo 2

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE - FURG
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
FACULDADE DE MEDICINA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA SAÚDE**

**PROGRAMA DE ACOMPANHAMENTO DA SITUAÇÃO DE SAÚDE DA POPULAÇÃO RESIDENTE
NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DIRETA E INDIRETA DA USINA TERMELÉTRICA PRESIDENTE
MÉDICI**

**AValiação DA FUNÇÃO PULMONAR EM ESCOLARES DA REGIÃO DE INFLUÊNCIA DIRETA
E INDIRETA DA USINA PRESIDENTE MÉDICI
TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO**

Eu, _____, responsável pelo menor _____, concordo em participar do **PROGRAMA DE ACOMPANHAMENTO DA SITUAÇÃO DE SAÚDE DA POPULAÇÃO RESIDENTE NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DIRETA E INDIRETA DA USINA TERMELÉTRICA PRESIDENTE MÉDICI** e mais especificamente, no estudo intitulado “**Avaliação da função pulmonar em escolares da região de influência direta e indireta da Usina Presidente Médici**” que tem como objetivo avaliar a função respiratória de escolares que residem nesta região. Este será desenvolvido sob responsabilidade das pesquisadoras Prof.^a Dr.^a Maria Cristina Flores Soares e Prof.^a Dr.^a Ana Luiza Muccillo-Baisch. Declaro que fui informado(a), de forma clara dos objetivos, da justificativa, da forma a ser realizado o trabalho e dos instrumentos e procedimentos de pesquisa. Fui igualmente informado(a):

- Da garantia de requerer resposta a qualquer pergunta ou dúvida acerca dos temas geradores do estudo;
- Da liberdade de retirar meu consentimento, a qualquer momento, e deixar de participar do trabalho, sem que traga qualquer prejuízo;
- Da segurança de que eu e/ou o menor sob minha responsabilidade, não seremos identificados(as) e que se manterá o caráter confidencial das informações relacionadas a nossa privacidade;
- De que a aplicação dos instrumentos semi-estruturados para investigação dos diversos fatores que podem influenciar a saúde do menor sob minha responsabilidade apresenta riscos mínimos;
- De que os procedimentos para a coleta de dados (prova de função respiratória e coleta de urina) serão realizados de forma a não comprometer a integridade do menor sob minha responsabilidade, estando de acordo com as normas éticas e de segurança exigidas nesses procedimentos;
- De que serão mantidos todos os preceitos ético-legais durante e após o término do trabalho;
- Do compromisso de acesso às informações em todas as etapas do trabalho bem como dos resultados, ainda que isso possa afetar minha vontade de que o menor sob minha responsabilidade continue participando;
- De que este estudo não me acarretará nenhum prejuízo e nenhum ganho econômico, mas poderá trazer grande benefício para a saúde da população infantil;
- De que recebi cópia do presente Termo de Consentimento.

Rio Grande, ____ de _____ de 20__.

Ass. do responsável pelo menor _____

Ass. do entrevistador _____

Ass. dos responsáveis pelo projeto: _____

Ana Luiza Muccillo-Baisch (Telefone: 32336850) _____

Maria Cristina Flores Soares (Telefone: 32336850) _____

Anexo 3

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE - FURG
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
FACULDADE DE MEDICINA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA SAÚDE**

**PROGRAMA DE ACOMPANHAMENTO DA SITUAÇÃO DE SAÚDE DA POPULAÇÃO RESIDENTE
NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DIRETA E INDIRETA DA USINA TERMELÉTRICA PRESIDENTE
MÉDICI**

**AValiação da Capacidade Intelectual de Escolares da Região de
Influência Direta e Indireta da Usina Presidente Médici**

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Eu, _____, responsável pelo menor _____, concordo em participar do **PROGRAMA DE ACOMPANHAMENTO DA SITUAÇÃO DE SAÚDE DA POPULAÇÃO RESIDENTE NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DIRETA E INDIRETA DA USINA TERMELÉTRICA PRESIDENTE MÉDICI** e mais especificamente, no estudo intitulado “Avaliação da capacidade intelectual de escolares da região de influência direta e indireta da Usina Presidente Médici” que tem como objetivo avaliar a capacidade intelectual de escolares que residem nesta região. Este será desenvolvido sob responsabilidade das pesquisadoras Prof.^a Dr.^a Maria Cristina Flores Soares e Prof.^a Dr.^a Ana Luiza Muccillo-Baisch. Declaro que fui informado(a), de forma clara dos objetivos, da justificativa, da forma a ser realizado o trabalho e dos instrumentos e procedimentos de pesquisa. Fui igualmente informado(a):

- Da garantia de requerer resposta a qualquer pergunta ou dúvida acerca dos temas geradores do estudo;
- Da liberdade de retirar meu consentimento, a qualquer momento, e deixar de participar do trabalho, sem que traga qualquer prejuízo;
- Da segurança de que eu e/ou o menor sob minha responsabilidade, não seremos identificados(as) e que se manterá o caráter confidencial das informações relacionadas a nossa privacidade;
- De que a aplicação dos instrumentos utilizados para investigação dos diversos fatores que podem influenciar a saúde do menor sob minha responsabilidade apresenta riscos mínimos;
- De que serão mantidos todos os preceitos ético-legais durante e após o término do trabalho;
- Do compromisso de acesso às informações em todas as etapas do trabalho bem como dos resultados, ainda que isso possa afetar minha vontade de que o menor sob minha responsabilidade continue participando;
- De que este estudo não me acarretará nenhum prejuízo e nenhum ganho econômico, mas poderá trazer grande benefício para a saúde da população infantil;
- De que recebi cópia do presente Termo de Consentimento.

Rio Grande, ____ de _____ de 20__.

Ass. do responsável pelo menor _____

Ass. do entrevistador _____

Ass. dos responsáveis pelo projeto: _____

Ana Luiza Muccillo-Baisch (Telefone: 32336850) _____

Maria Cristina Flores Soares (Telefone: 32336850) _____