UÁQUIRI
Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia

UÁQUIRI - PPGGEO, v. 07, n. 01, p. 56 -78, ano 2025
Home page: https://periodicos.ufac.br/index.php/Uaquiri

ISSN 2675-4088

OCORRÊNCIA DE CROMO HEXAVALENTE EM ÁGUA E CROMO TOTAL EM SEDIMENTOS DO MANANCIAL DE ABASTECIMENTO PÚBLICO DE ÁGUA DE RIO BRANCO - AC: INDICADOR DE IMPACTOS E SUBSÍDIOS PARA PROTEÇÃO DO RIO ACRE

Ma. Ludmilla da Silva Brandão[1*], Dr. Waldemir Lima dos Santos[2],
Dra. Cydia de Menezes Furtado[3]
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6424-1124, https://orcid.org/0000-0002-5306-5612,
https://orcid.org/0000-0002-7575-542X

[1]Mestre em Geografia, Universidade Federal do Acre, Rio Branco, Acre, Brasil.
[2]Professor, da Universidade Federal do Acre, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Rio Branco, Acre, Brasil.
[3]Professora, da Universidade Federal do Acre, Centro de Saúde do Desporto, Rio Branco, Acre, Brasil.
*ludmilla.brandao@ufac.br

Recebido em: 11/12/2025; Aceito em: 13/07/2025; Publicado em: 16/08/2025
DOI: registrando

RESUMO

Neste estudo, avaliou-se a ocorrência de cromo em amostras do rio Acre a partir da análise das frações de Cromo Total (Cr) em amostras de sedimento de fundo e Cromo Hexavalente (Cr VI) em amostras de água coletadas no mesmo ambiente fluvial, na cidade de Rio Branco - Acre, no ano de 2022. Tendo em vista o baixo controle de efluentes na região, o objetivo foi o de investigar a possibilidade de contaminação no corpo d'água usado para abastecimento público pelo Serviço de Água e Esgoto de Rio Branco, órgão municipal responsável pela captação e distribuição de água em Rio Branco. Os resultados mostram uma quantidade média de 11,43±3,6 mg/kg de Cr em sedimentos, com valor mínimo de 6,01 mg/kg e máximo de 19,1 mg/kg. Nas amostras de água, a média foi 0,76±0,2 mg/L de Cr VI, com mínimo de 0,543 mg/L e máximo 1,47 mg/L. Neste caso, a média encontrada é 150 vezes maior que os valores orientados pela legislação brasileira para consumo humano e enquadramento das águas superficiais. Os valores quantificados mostram uma diminuição da fração de cromo total no sedimento conforme aumento da fração hexavalente na água e enriquecimento ao longo do trecho urbano do rio. Isso ocorre, sobretudo, em pontos localizados próximo ao lançamento de esgoto in natura e nas saídas de dois importantes afluentes do rio Acre: Igarapé São Francisco e Igarapé Judia. Assim, o resultado mostra haver contribuições antropogênicas para o aumento de Cr VI no ambiente, evidenciando a necessidade de investigações sobre contaminantes, como os metais pesados, em rios amazônicos, especialmente no rio Acre, único manancial explorado na captação para abastecimento público de água na cidade de Rio Branco.

Palavras-chave*:* Cromo; Contaminação; Ambiente fluvial amazônico.

OCCURRENCE OF HEXAVALENT CHROMIUM IN WATER AND TOTAL CHROMIUM IN SEDIMENTS OF THE PUBLIC WATER SUPPLY SOURCE OF RIO BRANCO - AC: INDICATOR OF IMPACTS AND SUBSIDIES FOR THE PROTECTION OF THE ACRE RIVER

ABSTRACT

In this study, the occurrence of chromium in samples from the Acre River was evaluated based on the analysis of Total Chromium (Cr) fractions in bottom sediment samples and Hexavalent Chromium (Cr VI) in water samples collected in the same river environment, in the city of Rio Branco - Acre, in 2022. Given the low control of effluents in the region, the objective was to investigate the possibility of contamination in the water body used for public supply by the Rio Branco Water and Sewage Service, the municipal agency responsible for water catchment and distribution in Rio Branco. The results show an average amount of 11.43±3.6 mg/kg of Cr in sediments, with a minimum value of 6.01 mg/kg and a maximum of 19.1 mg/kg. In the water samples, the average was 0.76±0.2 mg/L of Cr VI, with a minimum of 0.543 mg/L and a maximum of 1.47 mg/L. In this case, the average found is 150 times higher than the values recommended by Brazilian legislation for human consumption and for the classification of surface waters. The quantified values show a decrease in the total chromium fraction in the sediment as the hexavalent fraction increases in the water and enrichment along the urban stretch of the river. This occurs, especially, at points located near the discharge of untreated sewage and at the outlets of two important tributaries of the Acre River: Igarapé São Francisco and Igarapé Judia. Thus, the results show anthropogenic contributions to the increase of Cr VI in the environment, highlighting the need for investigations on contaminants, such as heavy metals, in Amazonian rivers, especially in the Acre River, the only water source exploited for public water supply in the city of Rio Branco.

Keywords: Chromium; Contamination; Amazonian river environment.

OCURRENCIA DE CROMO HEXAVALENTE EN AGUA Y CROMO TOTAL EN SEDIMENTOS DEL MANANTIAL DE ABASTECIMIENTO PÚBLICO DE AGUA DE RÍO BRANCO - AC: INDICADOR DE IMPACTOS Y SUBSIDIOS PARA LA PROTECCIÓN DEL RÍO ACRE

RESUMEN

En este estudio, se evaluó la ocurrencia de cromo en muestras del río Acre a partir del análisis de las fracciones de Cromo Total (Cr) en muestras de sedimento de fondo y Cromo Hexavalente (Cr VI) en muestras de agua recolectadas en el mismo ambiente fluvial, en la ciudad de Río Branco - Acre, en el año 2022. Teniendo en cuenta el bajo control de efluentes en la región, el objetivo fue investigar la posibilidad de contaminación en el cuerpo de agua utilizado para el abastecimiento público por el Servicio de Agua y Saneamiento de Río Branco, organismo municipal responsable de la captación y distribución de agua en Río Branco. Los resultados muestran una cantidad media de 11,43±3,6 mg/kg de Cr en sedimentos, con un valor mínimo de 6,01 mg/kg y un máximo de 19,1 mg/kg. En las muestras de agua, la media fue de 0,76±0,2 mg/L de Cr VI, con un mínimo de 0,543 mg/L y un máximo de 1,47 mg/L. En este caso, la media encontrada es 150 veces mayor que los valores orientados por la legislación brasileña para el consumo humano y el encuadre de las aguas superficiales. Los valores cuantificados muestran una disminución de la fracción de cromo total en el sedimento a medida que aumenta la fracción hexavalente en el agua y un enriquecimiento a lo largo del tramo urbano del río. Esto ocurre, sobre todo, en puntos localizados cerca del lanzamiento de aguas residuales sin tratar y en las salidas de dos importantes afluentes del río Acre: Arroyo São Francisco e Arroyo Judia. Así, los resultados muestran que hay contribuciones antropogénicas para el aumento de Cr VI en el ambiente, evidenciando la necesidad de investigaciones sobre contaminantes, como los metales pesados, en ríos amazónicos, especialmente en el río Acre, único manantial explotado en la captación para el abastecimiento público de agua en la ciudad de Río Branco.

Palabras clave: Cromo; contaminación; ambiente fluvial amazónico.

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda por recursos naturais, cada vez mais escassos, se reflete nos problemas ambientais enfrentados atualmente, entre eles, o problema da contaminação dos recursos hídricos. A origem dessa contaminação pode ser tanto antrópica quanto geogênica, de substâncias químicas ou biológicas (organismos patogênicos) que alteram as características físicas, químicas e biológicas, inviabilizando o uso para consumo humano, podendo, também, afetar ecossistemas aquáticos (Calijuri; Cunha, 2013). Nesse sentido, alguns problemas de contaminação só são percebidos quando causam efeitos negativos na biota aquática, como, por exemplo, a ausência de determinados organismos bentônicos em uma área ou aparecimento de algumas doenças em peixes na área afetada pela contaminação (Rodrigues, 2007).

As fontes de contaminação dos recursos hídricos podem ser pontuais ou difusas, sendo difusas quando a contaminação chega de maneira dispersa, sem haver um ponto de entrada específico (Calijuri; Cunha, 2013). De uma maneira geral, as principais fontes de contaminação de corpos hídricos são os esgotos, tanto domésticos quanto industriais, e as águas pluviais que carregam resíduos agrotóxicos, fertilizantes e precipitação dos poluentes atmosféricos. Em Rio Branco, os principais fatores que contribuem para a degradação do rio Acre são a retirada da mata ciliar e o lançamento direto de esgotos domésticos sem tratamento, o que pode ser observado principalmente na área urbana da cidade (Domingos Neto, 2014).

Atendendo a um pedido do Ministério Público Estadual do Acre, a organização não-governamental SOS Amazônia elaborou relatório com levantamento das principais fontes de contaminação da bacia hidrográfica do rio Acre (MPE; SOS AMAZÔNIA, 2011). Assim, foi demonstrado que os fatores mais impactantes são o aumento da densidade populacional urbana ao longo do rio, a falta de saneamento básico e a supressão da mata ciliar. Especificamente sobre Rio Branco, no relatório consta que na área urbana os pontos de maiores contaminações estavam localizados na área central da cidade e na foz de dois importantes tributários: Riozinho do Rola e Igarapé São Francisco, receptores de efluentes domésticos e industriais. No relatório consta que essas fontes foram identificadas a partir do aumento das concentrações de Coliformes Fecais (*Escherichia coli* e *Enterobacter*), Demanda Bioquímica de Oxigênio (provocada por despejos de origem predominantemente orgânica) e variação no Índice de Qualidade das Águas (MPE; SOS AMAZÔNIA, 2011).

Na história do saneamento ambiental a contaminação biológica sempre foi motivo de preocupação, mas, nos últimos anos, a contaminação química tem ganhado maior atenção, devido ao aumento dos processos de urbanização e industrialização, junto com aumento do uso

de agrotóxicos e descarte de resíduos (Oliveira, 2019). Há uma preocupação recente relacionada com a presença dos micropoluentes ou microcontaminantes em ambientes aquáticos (Calijuri; Cunha, 2013), entre estes contaminantes, os metais, inclusive os chamados de "pesados". A despeito disso, não há investigações sobre contaminação de metais pesados no rio Acre.

De uma maneira geral, os metais são componentes naturais da crosta terrestre, associados a minerais ou a sais (Oggero *et al*., 2021), disponibilizados ao meio através do intemperismo das rochas, pelos processos de fragmentação, lixiviação e solubilização pela água de chuva (Calijuri; Cunha, 2013). Por sua vez, os "metais pesados" são geralmente definidos como elementos químicos metálicos de alto peso atômico/densidade. Embora alguns elementos considerados como tal nem sejam elementos metálicos, como arsênio (As) e selênio (Se), eles estão incluídos neste grupo devido à toxicidade. A definição baseada apenas no peso atômico poderia ainda excluir elementos como o cromo (Cr), cuja massa atômica é igual a 52 $g.mol^{-1}$, menor que a massa atômica do ferro (Fe), assim, a definição pode variar de acordo com quem a aborda (Rodrigues, 2007).

Entretanto, há consenso sobre a associação desses elementos com poluição e toxicidade, mesmo em concentrações baixas. A toxicidade se dá pela não degradação de maneira natural ou não metabolização biológica, pois tendem a se ligar a biomoléculas, como proteínas e ácidos nucléicos, inibindo suas funções (Calijuri; Cunha, 2013; Oggero *et al*, 2021). Há, porém, neste grupo, elementos que são essenciais ao metabolismo humano quando presentes em baixas concentrações (Rodrigues, 2007), como é o caso do cromo. A deficiência desse metal no organismo pode, inclusive, causar alterações no metabolismo de glicose e lipídeos (USEPA, 1998a).

O Cromo (CAS: 7440-47-3) é um metal de transição e ocorre na natureza de três formas: estado de valência 0, +3 (trivalente) e +6 (hexavalente). Em condições normais, quando em contato com o ar, Cr (III) e Cr (0) não sofrem nenhuma reação e são, portanto, considerados estáveis e essenciais ao corpo humano (USEPA, 1998a; USEPA, 1998b; Oggero *et al*., 2021). Por essa estabilidade, são também os estados de oxidação mais comumente encontrados no meio ambiente (Irikura *et al*., 2018).

Porém, o cromo hexavalente (VI) é reconhecido como carcinogênico para humanos (Grupo 1) pela *International Agency for Research on Cancer* - IARC (Oliveira, 2019), além de apresentar também toxicidade, afetando diretamente os sistemas imunológico, renal e respiratório (USEPA, 1998b; ATSDR, 2021). Nesse estado de valência, o cromo existe como espécies “oxo”, como CrO_3 e CrO_4^{2-}, condições fortemente oxidantes (Potencial de oxirredução

alto), com grande capacidade de atravessar as membranas celulares (USEPA, 1998b, Maronezi *et al*., 2019). Assim, a redução do Cr (VI) para Cr (III) diminui a toxidade deste metal no ambiente, uma vez que o Cr (III) é insolúvel às membranas biológicas (Conceição *et al*., 2007).

O Cr (VI) tem origem associada tanto a fontes naturais, quanto a fontes industriais. Na natureza ocorre como elemento-traço dos minerais muscovita, granada, cianita, anfibólios, piroxênios, epidotos, augitas, cloritas, cromitas, ilmetitas e monazitas (Licht, 1998). As fontes industriais incluem uso e queima de combustíveis fósseis e madeira, produção de ferrocromo, refinamento de minério, fabricação de cimento e curtume de couro (USEPA, 1998b).

Não há ocorrência de cromo metálico Cr^0 na natureza, por conta da elevada reatividade da forma metálica do Cr ao oxigênio atmosférico. Oliveira (2019) chama a atenção para estudos ambientais feitos nas últimas décadas que têm apontado para a mobilidade do cromo hexavalente para água subterrânea, a partir de reações redox do cromo 0 e III na presença do manganês e em pH alcalino do solo.

Na Amazônia uma importante fonte de contaminação por cromo é principalmente o curtume, atividade paralela e diretamente ligada ao crescimento da pecuária na região, como avaliado por Sousa (2015) no rio Candeias em Rondônia. O cromo é utilizado em forma de sal (sulfato básico de cromo (III)) como agente curtente, o sulfato de cromo é responsável por penetrar e se incorporar às fibras do couro, através de ligações covalentes entre o cromo e proteínas das fibras, durante esse processo o efluente líquido rico em cromo e outros contaminantes gerado, não é submetido a tratamento, sendo descartado diretamente nos rios (Sousa, 2015).

Em meios aquáticos, o cromo hexavalente pode existir como ânions complexos solúveis em água, como espécies iônicas de hidrocromato ($HCrO_4^-$), cromato (CrO_4^{2-}) e dicromato ($Cr_2O_7^{2-}$). As concentrações desses ânions dependem diretamente do pH, de maneira que à medida que o pH é reduzido (6,0 a 6,2) a concentração de hidrocromato aumenta, e em pH muito baixo as espécies de dicromato predominam, já em pH básico e neutro, predomina a forma cromato (USEPA, 1998b).

É importante ressaltar que, nos corpos d'água superficiais, as substâncias tóxicas podem se manifestar em outros compartimentos aquáticos, por exemplo, nos sedimentos, que agem na fixação dos elementos poluentes e tóxicos (Rodrigues, 2007). Este fato se deve à própria composição química dos sedimentos, cuja superfície é composta, principalmente, por cargas negativas permanentes. Estas são originadas na formação dos argilominerais quando cátions de menor valência substituem cátions de maior valência na estrutura do mineral, causando um

desbalanceamento de cargas que resulta no aparecimento de cargas negativas superficiais (Fontes *et al*, 2001; Meurer, 2006).

Argilominerais com grupos estruturais de hidroxila (OH^-), como, por exemplo, caulinita ($Si_2Al_2O_5(OH)_4$), goethita ($FeO(OH)$) e gibbsita ($Al(OH)_3$), podem adsorver íons de metais com valências positivas (cátions) como o Cr(VI) (Maronezi *et al*., 2019). Porém, a camada superficial dos sedimentos (chamada de camada ativa) pode voltar a disponibilizar os contaminantes ao meio quando há mudanças no pH da água e na alcalinidade do solo e, assim, eles são carregados para os corpos d'água (Oggero *et al*., 2021). Da mesma forma que o pH do solo interfere na mobilidade e na bioatividade de metais pesados, o pH da água também influencia na disponibilidade dos metais oriundos dos sedimentos.

Diante desse cenário, este trabalho visa suprir a lacuna de pesquisas sobre contaminantes disponíveis e disponibilizados pelos sedimentos de fundo do rio Acre. O trabalho tem como objetivo principal investigar se há contaminação por Cromo Total (Cr) em sedimentos de fundo e por Cromo Hexavalente (Cr VI) nas águas do rio Acre, manancial usado para abastecimento público pelo Serviço de Água e Esgoto de Rio Branco, órgão municipal responsável pela captação e distribuição de água em Rio Branco. O rio Acre é a única fonte de captação de água para distribuição da rede pública na cidade de Rio Branco, portanto, é fundamental conhecer a sua composição química relacionada a este elemento, a fim de subsidiar a identificação de suas origens e a proteção do manancial.

2. METODOLOGIA

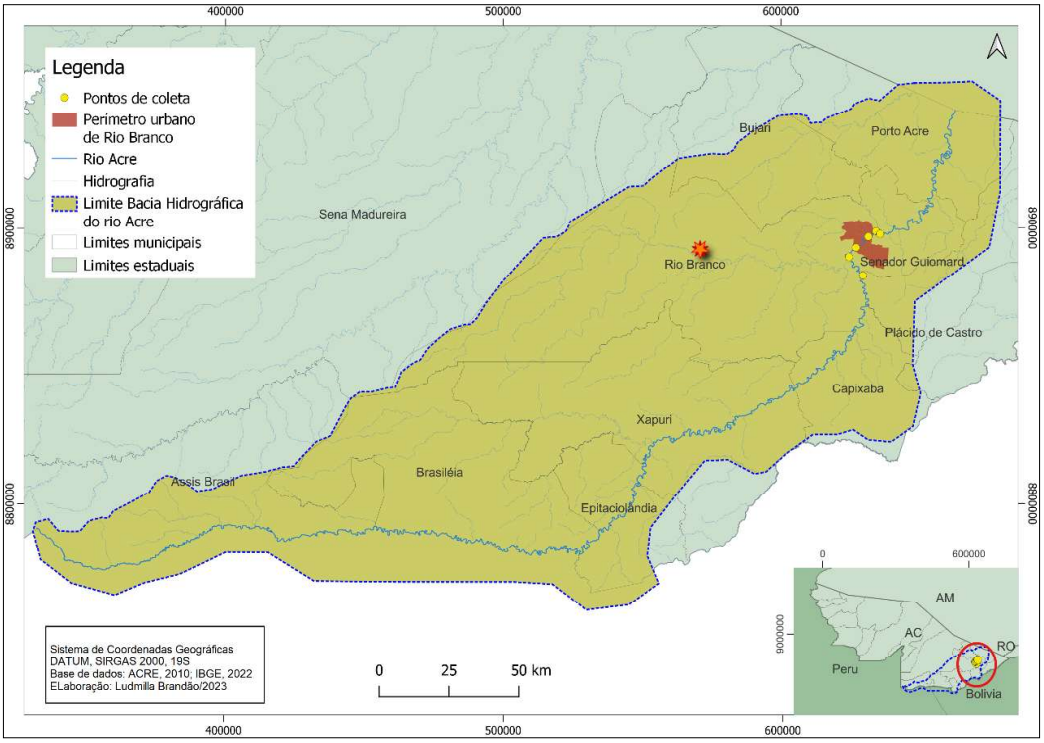
Área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Acre é uma bacia trinacional (Peru, Brasil e Bolívia) e binacional (Acre e Amazonas), que abrange uma área de aproximadamente 27.000 km² no estado do Acre (Figura 1), tendo o rio principal de mesmo nome uma extensão de 481 km (ACRE, 2023). Com fluxo de sudoeste para nordeste, nasce em território peruano e desemboca no rio Purus no estado do Amazonas (ACRE, 2012). Pertence a sub-bacia "Solimões-Purus-Coari", que por sua vez, pertence a grande Bacia Amazônica (Duarte, 2007).

O clima da região é classificado como equatorial quente e úmido, registrando valores de temperatura máxima de 32°C (ACRE, 2010) e uma precipitação média anual de 1.500 a 2.000 mm na bacia (CPRM, 2023). O rio Acre é classificado quanto à sua cor, em um rio de águas brancas (águas barrentas), apresentando elevados teores de material particulado em suspensão, elevada turbidez, quantidade alta de eletrólitos e pH relativamente neutros (Sioli, 1991).

A principal unidade geomorfológica em Rio Branco é a Depressão Rio Branco, que se caracteriza por ter um padrão de drenagem angular. O relevo dissecado, com topos convexos, influencia na alta densidade de drenagem das bacias. Há pouca variação altimétrica, onde as cotas mínimas e máximas são 140 a 270m respectivamente. Quanto ao tipo de solo, predomina na região os Argissolos, considerados bastante suscetíveis à erosão, pois possuem uma drenagem moderada a baixa associados às condições de relevo mais movimentado (ACRE, 2010).

Figura 1. Localização da bacia hidrográfica do rio Acre.



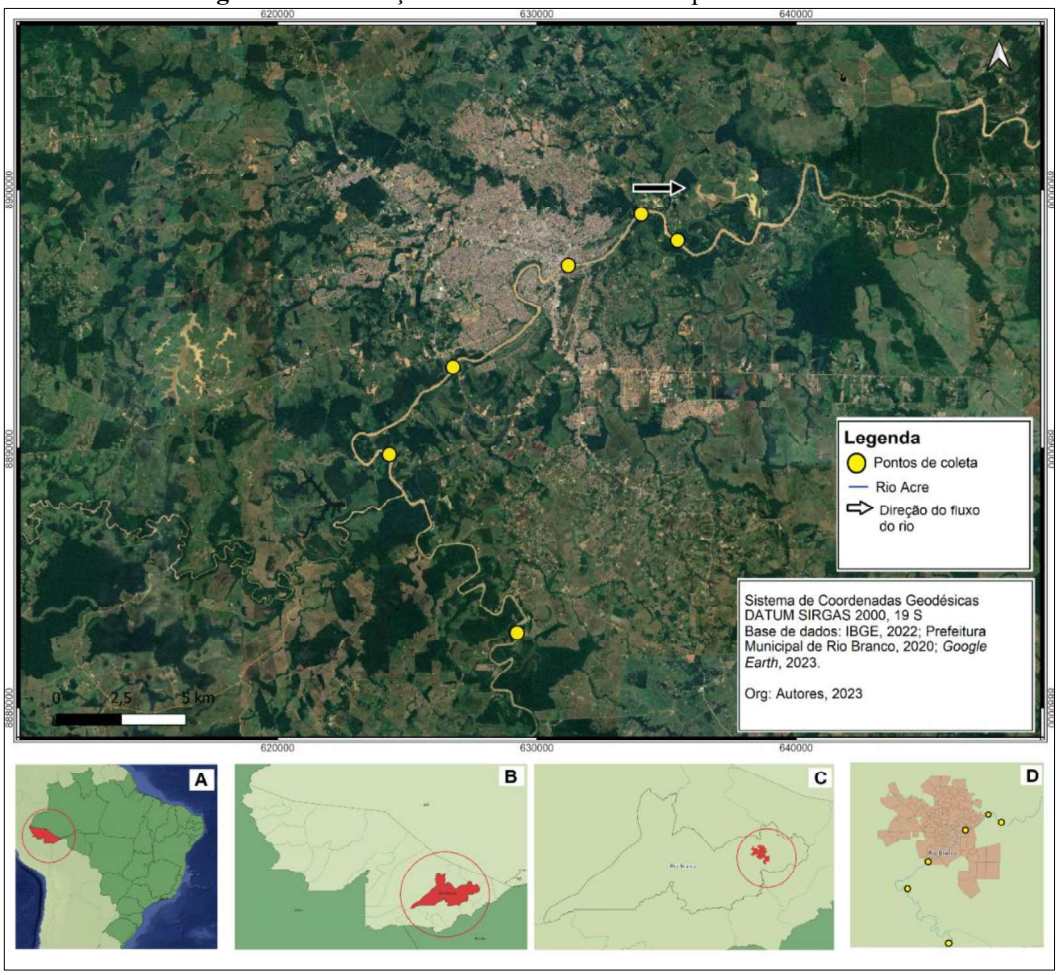
Fonte: Autores, 2023.

O estudo foi realizado em um trecho do rio Acre, apresentado na Figura 2, localizado em Rio Branco entre as coordenadas geográficas 10°4'0.84"S e 67°51'3.19"W (Ponto 1) e as coordenadas 9°57'53.98"S e 67°45'59.48"W (Ponto 12). O trecho tem aproximadamente 25 km de extensão. A seleção desse trecho se justifica pela localização do ponto de captação (ETA II) da água de abastecimento público (divisão do trecho urbano/rural da cidade) e pela falta de melhor infraestrutura para acesso aos locais e armazenamento das amostras em condições ideais até chegada ao laboratório.

É importante ressaltar que em Rio Branco, capital do estado do Acre, vive uma população de 364.756 habitantes (IBGE, 2022), sendo o rio Acre a única fonte de captação da

água para abastecimento público e, ao mesmo tempo, destino de todo o efluente gerado na cidade, a maior parte deste, in natura. Dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) apontam que a cobertura de atendimento urbano da rede de esgoto no Acre é de apenas 15,3% (BRASIL, 2022).

Figura 2. Localização da área de estudo e dos pontos de coleta



A) Localização do estado do Acre no Brasil; B) localização da cidade de Rio Branco no Acre; C) localização do perímetro urbano de Rio Branco; D) Localização dos pontos de coleta em relação a área urbanizada de Rio Branco. Fonte: Autores, 2023.

Coleta de amostras

Foram consideradas seis seções para amostragem, com a coleta nas margens esquerda (E) e direita (D), perfazendo 12 (doze) pontos de coleta. Para seleção dos pontos de amostragem foi levado em consideração as características do solo às margens e demais observações feitas em campo quanto à presença de vegetação (P1, P2, P3 e P4), de habitações, descarga de efluentes (P7 e P8: canalização de efluentes in natura para o leito do rio Acre), captação de água para consumo (P5 e P6), entre outros.

A coleta das amostras de água e sedimento foi realizada no mês de julho do ano de 2022, foi realizada apenas uma coleta pontual para análise de diversos parâmetros em água e metais

pesados no sedimento, como parte de uma pesquisa de mestrado. A coleta foi feita conforme procedimentos descritos no Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2011) e Manual de Procedimentos de Coleta de Amostras em Áreas Agrícolas Para Análise da Qualidade Ambiental da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2006).

O recorte temporal foi definido por limitações logísticas e dificuldade para amostragem de sedimentos em período de cheia do rio Acre, pois não seria possível acessar o leito de fundo em razão da indisponibilidade de dragas para realização de coletas de amostras. Assim, foi realizada apenas uma coleta pontual, como parte de amostragem de uma pesquisa de mestrado (Quadro 1).

Quadro 1: Coordenadas dos pontos de coleta das amostras

Ponto	Margem	Descrição	Latitude	Longitude	Horário
P1	E	Dragagem: À montante do Riozinho do Rola	10° 4'0.8"S	67°51'3"W	11:20:00
P2	D	Dragagem: À montante do Riozinho do Rola	10° 3'59.4"S	67°51'4"W	11:25:00
P3	E	Dragagem: À jusante do Riozinho do Rola	10° 2'36.9"S	67°52'18"W	10:49:00
P4	D	Dragagem: À jusante do Riozinho do Rola	10° 2'37.8"S	67°52'16"W	10:56:00
P5	E	Captação de água: ETA	10° 0'29.4"S	67°50'21"W	10:11:00
P6	D	Captação de água: ETA	10° 0'27.3"S	67°50'21"W	10:03:00
P7	E	Foz do Igarapé Canal da Maternidade	9° 58'31.5"S	67°48'10"W	08:28:00
P8	D	Foz do Igarapé Canal da Maternidade	9° 58'29.9"S	67°48'11"W	08:10:00
P9	E	Foz do Igarapé São Francisco	9° 57'26.6"S	67°46'36"W	08:53:00
P10	D	À jusante do Igarapé Judia	9° 57'25.1"S	67°46'37"W	08:42:00
P11	E	À jusante do Igarapé São Francisco	9° 57'55.8"S	67°46'0"W	09:11:00
P12	D	"Quixadá": À jusante do Igarapé São Francisco	9° 57'53.9"S	67°45'59"W	09:07:00

Fonte: Autores, 2023.

Na coleta de amostras de água utilizou-se frasco NALGON de 500 mL previamente limpo com uma solução de ácido nítrico (HNO_3) 10% e imediatamente transferido para caixa térmica com gelo para preservação. A coleta foi realizada a uma distância de aproximadamente 50 cm da margem e 20 cm de profundidade, na lâmina d'agua em contato com o sedimento.

Análises físico-químicas

Após a chegada ao laboratório, as amostras de sedimentos foram transferidas para bandejas de polietileno previamente lavadas com HNO_3 e colocadas para secagem em

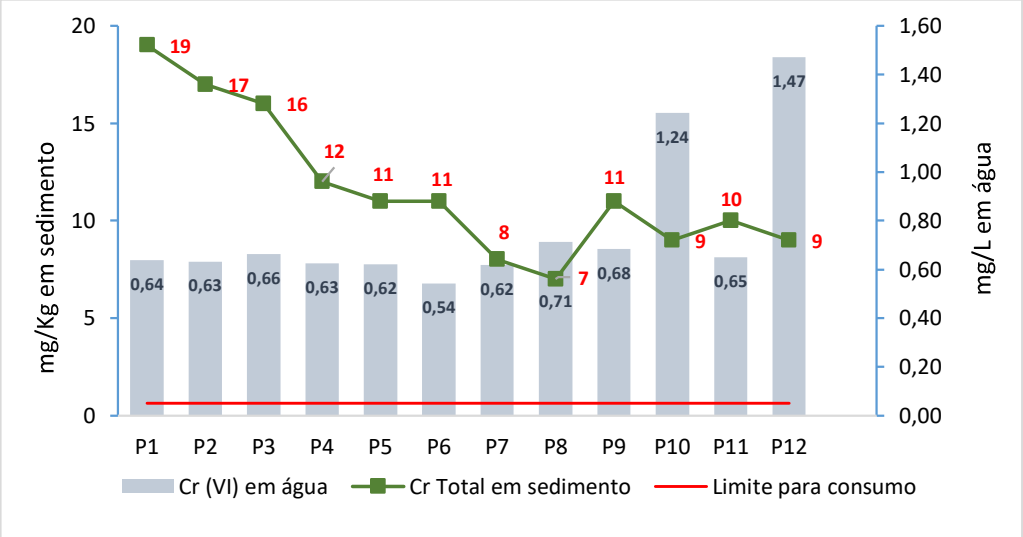
temperatura ambiente. As amostras foram desagregadas e peneiradas na fração 2 mm (TFSA) utilizando peneira de *nylon*, depois foram maceradas em almofariz de ágata e peneiradas novamente em peneira de *nylon* com aberturas de 0,250 mm e 0,063 mm. Após separação da fração silte-argila as amostras foram secas em estufa com circulação forçada de ar em uma temperatura de 40ºC por 72h.

A análise da fração de cromo total no sedimento foi feita em triplicata conforme o *Standard Methods* da Agência de Proteção Ambiental Americana (EPA), método EPA SW846 3015A (APHA, 2017), utilizando espectrômetro de emissão ótica com plasma acoplado indutivamente (*Inductively coupled plasma optical emission spectromectry*, ICP-OES), modelo iCAP 6000 (*Thermo Fischer Scientific*, EUA). A análise de cromo hexavalente na água também foi feita em triplicata e seguiu o método EPA 3500 (APHA, 2017), através de fotometria utilizando *kits Vacu-Vials* da *CHEMetrics*® e equipamento Fotômetro *CHEMetrics*® modelo V-2000.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados mostram que a água coletada no rio Acre apresentou quantidade média de cromo hexavalente (Cr VI) de 0,76±0,2 mg/L, valor que é 150 vezes maior que os limites estabelecidos nas Resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente CONAMA e Portaria do Ministério da Saúde (MS), tanto para consumo humano (0,05 mg/L), quanto para descarte de efluentes (0,1 mg/L). O valor mínimo encontrado nas amostras de água analisadas nesta pesquisa foi de 0,543 mg/L e o valor máximo de 1,47 mg/L, conforme dados apresentados na Figura 3.

Figura 3. Quantificação de Cr Total em sedimento e Cr VI em água do rio Acre



Fonte: Autores, 2023.

No Brasil, os instrumentos legais que orientam ou estabelecem a quantidade máxima de Cr em água e solo são principalmente as resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. A resolução 357/2005 dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para enquadramento das águas superficiais; a 396/2008 dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas; a 420/2009 dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias química; a 430/2011 dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes e complementa e altera a 357/2005.; a 454/2012 estabelece as diretrizes gerais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas superficiais (BRASIL, 2005; 2008; 2009; 2011; 2012). Por sua vez, a portaria do Ministério da Saúde 888/2021 estabelece o padrão de potabilidade para água de consumo humano (BRASIL, 2021).

Todas as amostras analisadas neste trabalho apresentaram valores de cromo hexavalente em água superior aos limites especificados tanto na Resolução CONAMA 357/2005 quanto na Portaria MS 888/2021, pois elas estabelecem como limite máximo uma concentração de 0,05 mg/L de Cr em água. É importante ressaltar que os instrumentos legais brasileiros, com exceção da Resolução nº 430/2011 do CONAMA, estabelecem limites para cromo total sem especificarem a fração Cr (VI), conforme informações reunidas na Tabela 1. Os limites para Cr VI só são especificados para efluentes e a média de valores encontrados no rio Acre é sete vezes maior.

Tabela 1: Quantidades máximas de cromo especificado em leis brasileiras.

Resoluções (Água)	**Valores orientadores**
CONAMA 357/2005: Enquadramento de Águas superficiais - Cr	0,05 mg/L
CONAMA 396/2008: Enquadramento de águas subterrâneas - Cr	0,05 mg/L
CONAMA 420/2009: Valores orientadores de qualidade do solo - Cr	0,05 mg/L
CONAMA 430/2011: Padrões para lançamento de efluentes - Cr VI	0,1 mg/L
CONAMA 430/2011: Padrões para lançamento de efluentes - Cr III	1,0 mg/L
Portaria GM/MS 888/ 2021: Potabilidade para consumo humano - Cr	0,05 mg/L
Cr VI na água do rio Acre	0,76 ± 0,2 mg/L
Resoluções (Sedimentos)	**Valores orientadores**
CONAMA 420/2009: Valores orientadores de qualidade do solo - Cr	75 mg/kg
CONAMA 454/2012: Gerenciamento de material a ser dragado - Cr	37,3 mg/kg
Cr no sedimento do rio Acre	11,4 ± 3,6 mg/kg

Fonte: BRASIL, 2005, 2008, 2009, 2011, 2012, 2021 (Organizado pelos Autores, 2023).

Foi possível observar enriquecimento de cromo hexavalente (Cr VI) na água ao longo do trecho urbano do rio Acre (Figura 4), especificamente nos pontos P10 (1,24±0,01 mg/L) e P12 (1,47 ±0,01 mg/L), que apresentaram os valores máximos de Cr VI. É importante enfatizar que esses pontos estão localizados na foz de dois importantes afluentes do rio Acre: o Igarapé São Francisco e o Igarapé Judia. Eles são altamente antropizados e recebem grandes cargas de efluentes domésticos aportados diretamente, sem serem submetidos à tratamento prévio.

Em estudo feito na bacia do Igarapé Judia, Santos (2013) encontrou valores máximos de 1,01 mg/L de cromo hexavalente na água em um período de cheia, associando esses altos valores ao processo de solubilização e lixiviação desse metal no período de chuvas. Não há dados de quantidade de cromo hexavalente no Igarapé São Francisco para fins de comparação, no entanto, a julgar pelo uso do solo semelhante ao igarapé Judia, acredita-se haver valores também em alta quantidade.

Não foram encontrados dados sobre quantidade de cromo em água da bacia do rio Acre ou outras bacias do estado para fins de comparação. Na região amazônica, destacam-se os trabalhos de Silva (2020) no rio Machado/RO, que encontrou valores médios de 0,0196 mg/L de cromo total, quase 40 vezes menor que a média encontrada nesta pesquisa (0,758 mg/L), e Horbe *et al.* (2013) que encontrou média de 0,006 mg/L no rio Madeira/AM e 0,007 mg/L em seus tributários, médias até 100 vezes menores que a do rio Acre.

Nas amostras de sedimentos foi encontrada média de 11,43±3,6 mg/kg de cromo total (Cr), o valor mínimo encontrado foi 6,01 mg/kg e o máximo 19,1 mg/kg. Como não há na legislação brasileira valores estabelecidos especificamente para sedimentos, foi usado como orientação os valores estabelecidos para solo, estando os valores encontrados neste estudo dentro dos limites das resoluções CONAMA 420 e 454 (BRASIL, 2009; 2012).

Em comparação com a avaliação feita por Viana (2005) nas amostras de sedimento de praia do rio Acre, a média encontrada nesta pesquisa 8,59 ±3,6 mg/kg, é 9 vezes menor do que os reportados pela autora (33,09 mg/kg), nas amostras coletadas no ano de 2004. Já Benchimol e Kronberg (1992) encontraram concentração de cromo no solo às margens do rio Acre variando entre 35 à 77 mg/kg, no sedimento do rio Purus os autores reportaram concentração máxima de 270 mg/kg, 30 vezes maior que o encontrado nesta pesquisa. No Lago do Amapá Carvalho (2006) encontrou média de 76 mg.kg-1. Esses resultados mostram que há elevada concentração de Cr em toda a bacia do rio Acre, margens e sedimento.

Num estudo analisando elementos traços em solos da Bacia do Solimões, Horbe *et al*. (2007) encontraram grandes oscilações de mercúrio de 14-161 ppb (0,014 - 0,161 mg/kg) e

níveis de cromo variando de 24-85 ppb (0,024-0,085 mg/kg). Em estudo de sedimentos lacustres com substrato laterítico na Amazônia, Costa *et al*. (2005) encontraram valores altos de cromo, com uma variação de 92 à 203 mg/g (92.000-203.000 mg/kg) e uma média de 159 mg/g (159.000 mg/kg), sendo 53 mg/g no entorno; quanto à presença de chumbo, encontrou valores oscilando entre 5-32 mg/g.

Oliveira (2013) encontrou valores máximos de cromo de 245 mg/kg em sedimento de fundo do lago Água Preta em Belém no Pará e, comparando com trabalhos anteriores no mesmo local, constatou haver enriquecimento ao longo dos anos, concluindo que a entrada dos contaminantes no lago se deu pela ocupação irregular (habitações) na região.

Sousa (2015) investigou concentração de Cr em uma bacia onde há lançamento de efluentes de dois curtumes e encontrou significante variabilidade na concentração de cromo (4,4 à 549,3 mg/kg) nas amostras de sedimentos retiradas do Rio Candeias, no estado de Rondônia, o autor mostra haver tendência de enriquecimento do metal na região, explicado pelas atividades econômicas desenvolvidas nessa bacia, principalmente a pecuária e o curtimento de couro, que durante esse processo despeja efluente líquido rico em cromo diretamente no rio, sem submeter a pré-tratamento adequado. O que parece não acontecer na bacia do rio Acre, já que não são reportadas atividades associadas ao curtimento de couro nesta região do Acre.

Também Cavalcante e Santos (2020) encontraram teores de cromo (81,0 mg/kg) abaixo do limite determinado na legislação CONAMA nº 454/2012, porém, os autores atribuem a presença do metal na região (área de mangues – PA) à descarga de efluentes na região e a alta concentração de matéria orgânica encontrada (47 mg/kg), uma vez que o metal possui tendência a se concentrar onde existe maior teor de matéria orgânica, o que também não foi evidenciado nesta pesquisa. Já Porto (2009) encontrou elevadas concentrações de Cr nos sedimentos do Rio Barcarena no Pará (104 mg/kg) em pontos localizados próximos ao núcleo urbano e Porto de São Francisco. Segundo a autora, a contaminação é proveniente da descarga de resíduos sólidos e efluentes na região.

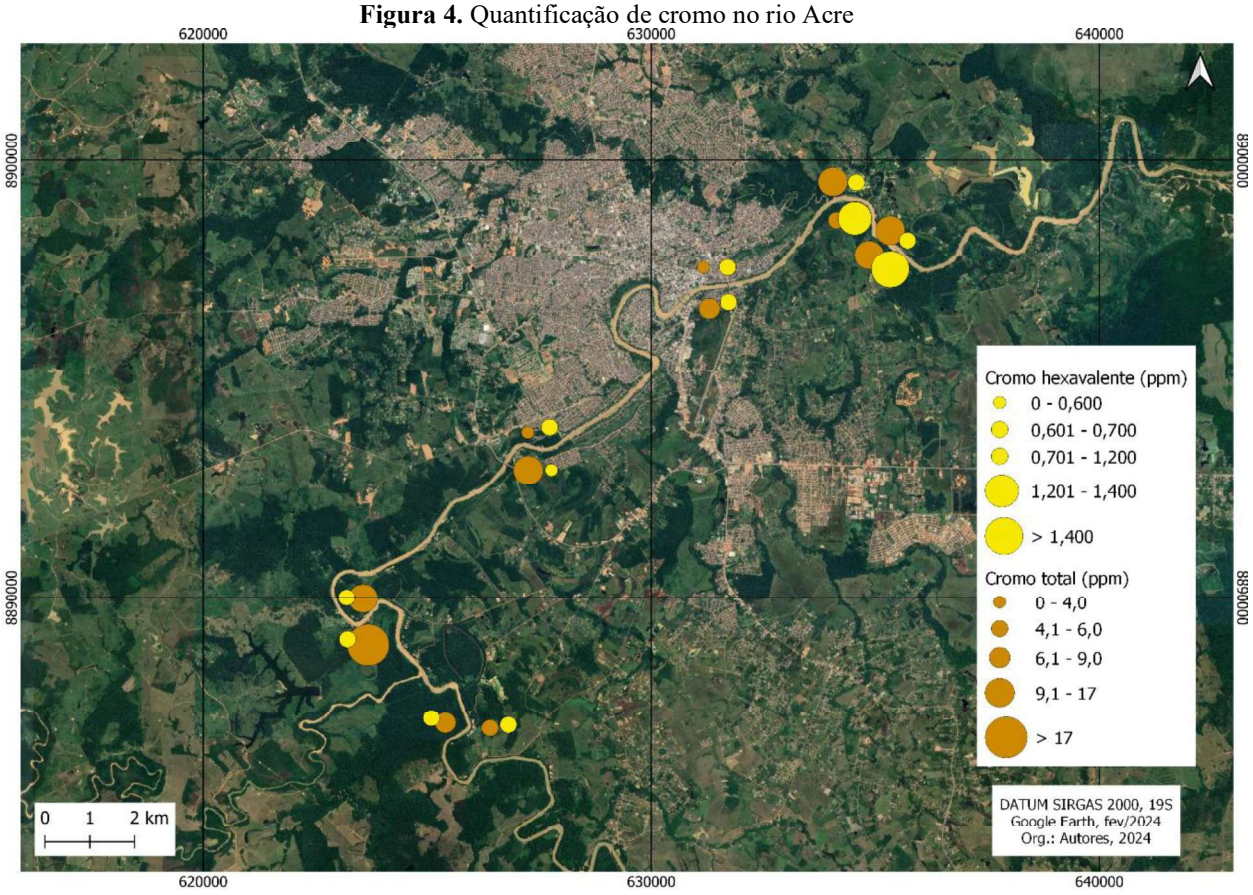
Por mais que a ocorrência do metal possa ser vinculada a fontes naturais, já que ocorre como elemento-traço de minerais, o recorte deste estudo mostra que há claramente contribuições antropogênicas para aumento de Cr VI no rio Acre. É possível observar aumento significativo após recebimento da carga de efluentes (P7 e P8). Eles podem estar carregando as espécies Cr (VI) ou alterando as condições oxidativas com incremento de cargas iônicas que alteram pH e temperatura. Essas condições podem causar a oxidação do cromo presente no

sedimento, disponibilizando-o na forma de cromo hexavalente para a água, conforme a equação (1).

$$CrO_4^{2-} + 7H^+ + 3e^- \leftrightarrow Cr^{3+} + 4H_2O \quad (1)$$

Os valores quantificados neste trabalho mostram uma diminuição da fração de cromo total no sedimento conforme aumento da fração Cr (VI) na água, o que pode indicar uma tendência de disponibilização do Cr (VI) para o meio a partir dos sedimentos. Os maiores valores de cromo total em sedimentos encontrados no rio Acre foram em pontos de coleta localizados em regiões consideradas rurais (Figura 4), onde as margens são utilizadas para pastagens e cultivos de culturas diversas como feijão e milho, nos barrancos e praias formadas durante o período de seca do rio, porém, todos os valores quantificados estão dentro dos limites estabelecidos pelo CONAMA. Assim, são necessários novos estudos do solo para comprovação da fonte de disponibilização.

Figura 4. Quantificação de cromo no rio Acre



Fonte: Autores, 2024.

Quanto às aplicações do cromo fora da área urbanizada, o principal uso na atividade pecuária é na nutrição de bovinos, na forma de cromo orgânico, cuja finalidade é a potencialização da insulina nos organismos desses animais, já que a deficiência desse metal altera metabolismo de carboidratos, aminoácidos e lipídeos nos bovinos (Cavalcanti, 2022). A excreção do cromo nesses animais é causada por condições como estresse e por isso há a necessidade da nutrição, a recomendação de ingestão máxima para animais de produção é de 3.000 mg/kg para o óxido de cromo e 1.000 mg/kg para o cloreto de cromo, formas não tóxicas do metal (Cavalcanti, 2022; Silvestre, 2022).

Outra fonte de inserção do cromo ao solo seria a agricultura, onde o cromo está presente nos fertilizantes. Os limites para cromo em fertilizantes são estabelecidos pelas instruções normativas do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), reunidas na Tabela 2.

Tabela 2: Limites máximos de cromo especificados pelo MAPA.

MAPA SDA nº 27/2006	**Limites máximos Cr**
Anexo 1: Fertilizantes minerais que contenham o nutriente fósforo, micronutrientes ou com fósforo e micronutrientes em mistura com os demais nutrientes	500,00 mg/kg
Anexo 2: Fertilizantes minerais com nitrogênio, potássio, macronutrientes secundários, para os com até 5% de P_2O_5 e para os demais não especificados no anexo 1.	200,00 mg/kg
MAPA SDA nº 07/2016	**Limites máximos Cr**
Anexo 4: Limites máximos de contaminantes admitidos em substrato para plantas	500,00 mg/kg
Anexo 5: Limites máximos de contaminantes admitidos em fertilizantes orgânicos e condicionadores de solo	Cromo hexavalente 2,0 mg/kg

Fonte: BRASIL, 2006, 2016 (Organizado pelos Autores, 2023).

Na Amazônia de uma maneira geral, o sistemático monitoramento ambiental das águas superficiais é praticamente inexistente. Gomes *et al*. (2021) avaliaram a ocorrência de chumbo total, cromo total e mercúrio total em mananciais de abastecimento de água e água de consumo humano em todo o Brasil e não encontraram dados da região norte do país, para comparação.

Quanto ao tratamento de água para consumo em Rio Branco, Domingos Neto (2014) levantou informações sobre o gasto médio diário de produtos químicos no tratamento de água em Rio Branco. Segundo dados do autor, o tratamento utilizado é do tipo Convencional Simples, com utilização de Policloreto de Alumínio (PCA) como agente coagulante/floculante e cloro granulado ou gasoso como agente desinfectante/bactericida e os gastos diários na ETA

II são de aproximadamente 270 kg de Cloro e 2,75 m³ de PAC e na ETA I, em média, 117 kg de Cloro e 1,33 m³ de PAC.

Não foram encontrados dados sobre o tratamento de efluentes na cidade, mas relatórios do SNIS colocam Rio Branco na posição 97º no Ranking de Saneamento Básico do país, de 100 municípios brasileiros avaliados. Segundo o SNIS, o Índice de Esgoto Coletado na cidade é de apenas 15% e o Índice de Esgoto Tratado Referido à Água Consumida é de 36% (BRASIL, 2022).

Os resultados encontrados neste estudo preocupam, pois o rio Acre é a única fonte de captação da água que é distribuída pela rede pública. Embora esta água seja submetida a tratamento antes de ser distribuída, a remoção/redução eficiente de cromo exige técnicas mais complexas, como SBA (Regenerable Strong Base Anion – Troca Iônica de Base Regenerável Forte) e WBA (Weak Base Anion – Troca Iônica de Base Fraca (Moffat *et al*., 2018).

Há parcelas da população potencialmente expostas ao Cr VI, como as comunidades ribeirinhas que fazem uso direto da água, e todos que fazem consumo de peixes que podem conter cromo e outros metais. Sendo esta, inclusive, uma temática cada vez mais em evidência na Amazônia. Destaca-se aqui o estudo de Nascimento (2021), que avaliou a concentração de Cr em peixes na bacia do rio Madeira em Rondônia e encontrou valores acima da dose de ingestão diária recomendada na espécie *M. duriventre*, a saber, 0,62 mg/kg e o estudo da Escola Nacional de Saúde Pública da Fiocruz, que encontrou altos níveis de mercúrio em peixes no rio Acre, com valores até 30 vezes maiores do que as doses de referência da USEPA (0,05 μg/g), sendo um dos mais altos da região norte (FIOCRUZ, 2023). Moffat et al. (2018) afirmam que estamos expostos à ingestão diária de 0,2-2 μg de Cr (VI) por litro de água, sendo a maior fonte de ingestão, seguida da exposição via comida e via ar.

Essa preocupação crescente tem levado ao desenvolvimento de diversas pesquisas que busquem formas eficientes de reduzir Cr (VI) à uma forma inerte. Kang *et al*. (2023) desenvolveram um material para remoção do Cr (VI) baseado em nanotubos de carbono, usando partículas bimetálicas de Fe e Ni como agentes redutores catalíticos. Há, também, diversos estudos com fitorremediação e biorremediação de cromo. Por exemplo, Conceição *et al*. (2007) estudaram redução microbiana do Cr (VI) utilizando 20 tipos diferentes de bactérias que reduzissem cromo hexavalente a cromo trivalente. Oggero *et al*. (2021) utilizaram a planta *Typha domingensis* para avaliar absorção de cromo e cobre em efluentes. Maronezi *et al*. (2019) avaliaram a taxa de redução do Cr (VI) utilizando matéria orgânica e a interação com compostos de Fe^{3+} em solo.

Quanto à contribuição geogênica, é importante destacar que na bacia do rio Acre há predominância de Latossolos e Argissolos (ACRE, 2010), solos que possuem elevado grau de intemperismo (Fontes *et al*., 2001; Costa *et al*., 2005; Horbe *et al*., 2007). Por conta da composição, uma das características é a alta reatividade, que implica numa alta capacidade de adsorção de partículas em sua área superficial (Maronezi *et al*., 2019).

Em latossolos a mineralogia da fração argila é predominantemente composta por silicatos e óxidos de Fe, Al e Mn: caulinitas ($Si_2Al_2O_5(OH)_4$), hematitas (Fe_2O_3), goethitas ($FeO(OH)$) e gibbsitas ($Al(OH)_3$) (Fontes *et al*., 2001; Costa *et al*., 2005; Meurer, 2006; Horbe *et al*., 2007). Viana (2004) encontrou maior predominância de quartzo, feldspatos, argilominerais (esmectita, ilita e caulinita) e albita em amostras de sedimentos de praia e barrancos do rio Acre.

Fontes *et al*. (2001) explica que na presença de água ocorre a hidroxilação da superfície desses minerais, processo que acontece por conta da presença dos íons Si, Al e Fe, que levam ao desenvolvimento de cargas variáveis nos coloides, que completam a camada de coordenação com os íons hidroxila, tornando a superfície hidroxilada. Essa superfície atrai outras espécies (cátions, principalmente metálicos) para completar seu balanço de cargas.

Assim, a própria composição dos solos na região favorece a fixação dos elementos traço e a origem destes na região amazônica carece de investigações. O avanço das atividades de garimpo ilegal demonstrou forte associação com os elevados níveis de mercúrio detectados nos peixes da região norte (FIOCRUZ, 2023). A nível nacional há preocupação com despejo de águas residuárias de eletrodeposição de níquel-cromo (niquelação e cromação) sem prévio tratamento para redução do Cr (VI) a Cr (III) (Calijuri; Cunha, 2013).

Os contaminantes (metais) presos ao sedimento podem ser disponibilizados de volta ao meio a partir de mudanças físicas ou químicas, como a elevação de temperatura ou alteração de pH (USEPA, 2004; Rodrigues, 2007). Essas condições são alteradas diretamente pelo despejo de efluentes nos rios, portanto, há necessidade urgente de implantação de uma rede de tratamento de efluentes antes de serem lançados ao rio Acre.

Apesar de o teor de cromo na bacia do rio Acre parecer estar associado a própria geologia do local (Benchimol, Kronberg, 1992; Carvalho, 2006; Viana, 2005) o elevado teor de Cr no setor de coleta rural (P1, P2 e P3) pode estar associado ao revolvimento do leito do rio pelas dragas. O tipo de ocupação da área, também tem influência na inserção do Cr ao ambiente, sendo que na agricultura, o metal pode estar presente nos defensivos agrícolas utilizados, que contêm cromo na composição, já na pecuária o cromo é utilizado na nutrição de

bovinos, na forma de cromo orgânico (Cavalcanti, 2022). A degradação da vegetação na área, por meio de queimadas, também, provoca aumento da concentração de elementos-traço, ao promover deposição do material particulado na coluna d'água através do processo de wash load e escoamento para os fundos de vale.

4. CONCLUSÃO

O trabalho evidencia a quantidade elevada de cromo hexavalente na água do rio Acre, apresentando valores 150 vezes maiores do que os limites permitidos para consumo humano, sendo, portanto, um problema de saúde pública. Comportamento como este enfatiza a necessidade de estudos futuros dos riscos potenciais associados ao consumo de água e peixes contaminados por cromo e outros metais pesados no rio Acre.

A urbanização próxima da captação de água bruta para abastecimento faz com que a política pública de gestão dos recursos hídricos necessite ser revista e aprimorada, envidando esforços do poder público em operacionalizar o sistema de captação para fora das áreas urbanas. Tal fato, é extremamente urgente, considerando-se que o aumento do cromo na água e, consequentemente, nos sedimentos de fundo do rio Acre, está intimamente ligado às fontes de poluição advindas principalmente do uso do solo urbano.

Considerando a ingestão de água bruta, há exposição principalmente relacionada ao cromo hexavalente e, portanto, é importante que haja escolha de tratamentos de água mais adequados para remoção dessas espécies químicas, que apresenta níveis muito acima dos especificados nas leis brasileiras. Sendo também necessária a implementação de um sistema de tratamento para o efluente que está sendo despejado no rio Acre sem tratamento prévio algum.

Recomenda-se, portanto, a continuidade do monitoramento ambiental relacionado aos recursos hídricos, notadamente para melhor indicar e explicar as condições oxidativas da água desse manancial que estão favorecendo a mobilização do cromo presente nos sedimentos para a água do rio Acre. Neste sentido, há necessidade ainda de investigações sobre a composição do solo dessa Bacia Hidrográfica, a fim de esclarecimento sobre a origem dessa espécie química avaliada neste estudo.

5. REFERÊNCIAS

ACRE. Governo do Estado do Acre. Programa Estadual de Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Acre. **Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Acre Fase II**: documento Síntese – Escala 1:250.000. 2. ed. Rio Branco: SEMA, 2010.

ACRE. Secretaria de Estado de Planejamento – SEPLAN. **Acre em Números**, 2023. Disponível em: < https://seplan.ac.gov.br/acreemnumeros/>. Acesso em: 23 maio 2023.

APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, 23 thed., American Public Health Association; American Water Works Association; Water Environment Federation: Washington, 2017.

ATSDR – Agency for Toxic Substances and Disease Registry**. Toxic Substances Portal**, 2021. Disponível em: < https://wwwn.cdc.gov/TSP/substances/ToxSubstance.aspx?toxid=17> Acesso em: 05 maio 2023.

BENCHIMOL, R. E.; KRONBERG, B. I. Geochemistry and geochronology of surficial Acre basin sediments (western amazonia): key information for climate reconstruction. **Acta Amazonia**, v. 22 n. 1, p. 51-69, 1992.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução CONAMA n° 357**, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 2005.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Instrução Normativa SDA nº 27**, de 05 de junho de 2006. Dispõe sobre a importação ou comercialização, para produção, de fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 2006.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução CONAMA n° 396**, de 3 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, n. 66, p. 64-68, 2008.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução CONAMA n° 420**, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, n. 249, p. 81-84, 2009.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução CONAMA n° 430**, de 16 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, n. 92, p. 89, 2011.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução CONAMA n° 454**, de 1º de novembro 2012. Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, p. 66, 2012.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa SDA nº07**, de 12 de abril de 2016. Altera os anexos IV e V da IN SDA nº 27/2006. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 2016.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria GM/MS nº 888**, de 4 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, n. 85, p. 127, 2021.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNIS. **Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto**. Brasília, 2022. Disponível em: < https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/snis/produtos-do-snis/diagnosticos/diagnosticos_snis>. Acesso em: 04 jun. 2023.

CALIJURI, M. C.; CUNHA, D. G. F. **Engenharia ambiental**: conceitos, tecnologia e gestão. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

CARVALHO, L. C. F. de. **Caracterização físico-química da água e mineralógica e química do material em suspensão e de sedimento de fundo do lago Amapá (Acre)**. 2006. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade Federal do Pará, Belém.

CAVALCANTE, A. M. S; SANTOS, R. N. E. S. Determinação de metais pesados (Fe, Mn, Cd, Cu, Co, Cr, Ni, Zn e Pb), matéria orgânica e carbono orgânico no sedimento de áreas de manguezal no município de Vigia de Nazaré – PA. **Holos Environment**, v. 21, n. 1, p. 105-123, 2021.

CAVALCANTI, M. E. **Benefícios do uso do cromo na produção bovina**. 2022. 26 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em zootecnia) - Pontífica Universidade Católica de Goiás, Goiânia.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras de água, Sedimento, Comunidades Aquáticas e Efluentes Líquidos**. Agência Nacional de Águas: Brasília, 2011.

CONCEIÇÃO, D.; BENTO, F.; CAMARGO, F.; JACQUES, R.; SELBACH, P.; SIMONETTI, A. Redução de cromo hexavalente por bactérias isoladas de solos contaminados com cromo. **Ciência Rural**, Santa Maria. v.37, n.6, p.1661-1667, 2007.

COSTA, M. L.; BEHLING, H.; CARMO, M. S. Mineralogia e geoquímica de sedimentos lacustres com substrato laterítico na Amazônia brasileira**. Revista Brasileira de Geociências.** v. 35, n.2, p. 165-176, 2005.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **Bacia do rio Acre –** características, 2023. Disponível em <https://www.cprm.gov.br/sace/acre_caracteristicas.php>. Acesso em: 23 maio 2023.

DOMINGOS NETO, V. C. D. **Qualidade da água do rio Acre no trecho urbano do município de Rio Branco: fatores físicos e químicos.** 2014. 44 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Acre, Rio Branco.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de procedimentos de coleta de amostras em áreas agrícolas para análise da qualidade ambienta*l***: solo, água e sedimentos, 1ª. ed., Ministério da Agricultura e do Abastecimento: Jaguariúna, 2006.

FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ. Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca. **Nota Técnica***: maio 2023* - Análise regional dos níveis de mercúrio em peixes consumidos pela população da Amazônia brasileira: um alerta em saúde pública e uma ameaça à segurança alimentar. Rio de Janeiro: FIOCRUZ/ENSP; WWF Brasil; Greenpeace; Instituto Socioambiental; Instituto de Pesquisa e Formação Indígena. p.1-10, 2023.

FONTES, M. P. F.; CAMARGO, O. A.; SPOSITO, G. Eletroquímica das partículas coloidais e sua relação com a mineralogia de solos altamente intemperizados. **Scientia Agricola,** Piracicaba, v. 58, n. 3, p. 627-646, 2001.

GOMES, F. B. R.; ASSUNÇÃO, T. O. G.; BRANDT, E. M. F.; CASTRO, S. R.; PEREIRA, R. O. Ocorrência de chumbo, cromo e mercúrio em mananciais de abastecimento e em água de consumo humano no Brasil. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v.18, n.5, 2021.

HORBE, A. M. C.; HORBE, M. A.; MOTTA, M. B.; PAIVA, M. R. P. Mineralogia e geoquímica dos perfis sobre sedimentos neógenos e quaternários da bacia do Solimões na região de Coari – AM. **Acta Amazonica**, v.37, n.1, p.81-90, 2007.

HORBE, A. M. C.; QUERIOZ, M. M. A.; MOURA, C. A. V.; TORO, M. A. G. Geoquímica das águas do médio e baixo rio Madeira e seus principais tributários - Amazonas - Brasil. **Acta Amazonica**, v. 43, n. 4, p. 489 - 504, 2013.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **População de Rio Branco**. 2022 Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ac/rio-branco.html>. Acesso em: maio 2023.

IRIKURA, K.; BIAGGIO, S. R.; BOCCHI, N.; GUERRA, M. B. B.; KIKUTI, E.; ROCHA FILHO, R. C. Uso de palha de aço comercial para o tratamento de efluentes contendo cromo hexavalente provenientes de processos de eletrocoloração de aços inoxidáveis. **Química Nova**, v.41, n.3, p.340-344, 2018.

KANG, Z.; HUI, G.; XIAODONG, J.; DONGSHENG, W. Fe–Ni/MWCNTs Nano-Composites for Hexavalent Chromium Reduction in Aqueous Environment**. Molecules**. v.28, n.11, p.4412, 2023.

LICHT O.A.B. **Prospecção Geoquímica**: Princípios, Técnicas e Métodos. CPRM. Rio de Janeiro, 1998.

MARONEZI, V.; FARIA, D. B.; ROSA, M. I. G.; SANTOS, M. M. A.; SHINZATO, M. C. Mecanismos de remoção de cromo(VI) do solo pela interação entre matéria orgânica e ferro(III). **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v.40, n.2, p.17-33, 2019.

MEURER, E. J. **Fundamentos de química do solo**. 3. ed. Porto Alegre: Evangraf, 2006.

MINISTÉRIO PÚBLICO ESTADUAL; SOS AMAZÔNIA. **Levantamento das principais fontes poluidoras do rio Acre:** Relatório final – documento síntese. 120 p. Rio Branco: 2011.

MOFFAT, I.; MARTINOVA, N.; SEIDEL, C.; THOMPSON, C. M. Hexavalent Chromium in Drinking Water. **Journal - American Water Works Association**, v.110, n.5, p.22-35, 2018.

NASCIMENTO, L. S**. Dinâmica de cromo em peixes do lago Puruzinho, Amazônia Ocidental: influência da sazonalidade, hábitos alimentares, avaliação de risco e avaliação espacial**. 2021. 75 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes.

OGGERO, A. S.; NAKAYAMA, H. D.; ÁVALOS, C.R, CANTERO, G. I.; BENÍTEZ, J.V.; AYALA J.; ELKHALILI, R.; PERALTA, I. Eficiencia de la absorción de cobre (Cu) y cromo (Cr), una propuesta de fitorremediación de efluentes mediada por Typha domingensis. **Revista de La Sociedad Científica del Paraguay**, v.26, n.2, p.100-113, 2021.

OLIVEIRA, F. L. V. **Cromo em água subterrânea e mortalidade por câncer de estômago na população do Planalto Ocidental Paulista e de municípios limítrofes**. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

OLIVEIRA, G. M. T. S. **Avaliação da concentração de nutrientes, metais pesados e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos nos sedimentos de fundo do lago água preta (Belém- Pará).** 2013. 89 f. Dissertação (Mestrado em Aqüicultura e Recursos Aquáticos Tropicais) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém.

PORTO, L. J. L. S. **Estudo da qualidade dos sedimentos de fundo no rio Barcarena – Pará**. 2009. 91. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Petrologia) – Universidade Federal do Pará, Belém.

RODRIGUES, M. L. K**. Origem, distribuição e mobilidade potencial de metais pesados em ambiente fluvial impactado por curtumes**. 2007. 256 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SANTOS, W. L**. Dinâmica Hidroecogeomorfológica em Bacia de Drenagem: Efeitos do uso e ocupação da terra no sudoeste amazônico – Acre – Brasil.** 2013. 291 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

SILVA, E. O. **Hidrogeoquímica do rio Machado e seus principais afluentes - reserva biológica do Jaru - Rondônia**. 2020. 168 f. Dissertação (Mestrado em Gestão e Regulação dos Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Rondônia - UNIR, Ji-Paraná.

SILVESTRE, A. M. **Estratégias nutricionais para otimização da eficiência produtiva de bovinos confinados.** 2022. 163 f. Tese (Doutorado em zootecnia) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

SOUSA, E. A. **Dinâmica do cromo em um ecossistema aquático sob influência de efluentes de curtume na sub-bacia do rio Candeias, Rondônia**. 2015. 62 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional) – Universidade Federal de Rondônia/UNIR. Porto Velho.

SOUZA, S. B. **Estudo sobre a presença de metais em sedimentos de fundos nos reservatórios hidrelétricos de Balbina- AM E Samuel- RO.** 2015. 96 f. Dissertação

(mestrado em Engenharia de Recursos da Amazônia) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus.

US.EPA. Environmental Protection Agency of United State of America. **Toxicological review of trivalent chromium (CAS no. 16065-83-1).** Washington, DC, 1998a.

US.EPA. Environmental Protection Agency of United State of America. **Toxicological review of hexavalent chromium (CAS no. 18540-29-9).** Washington, DC, 1998b.

US.EPA. Environmental Protection Agency of United State of America**. IRIS - Integrated Risk Information System**. IRIS database for risk assessment, 2004.

VALÉRIO, M. S. E**. Caracterização geoquímica do Complexo Monsenhor Isidro através da análise química de sedimentos de corrente**. 2023. 80 f. Monografia (Graduação em Engenharia Geológica) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

VIANA, E. C. A. **Aspectos granulométricos, mineralógicos e químicos de sedimentos de praias (barras em pontal) do rio Acre e sua relação com a fertilidade.** Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal do Pará, Belém.