

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MATO GROSSO DO SUL**

**FACULDADE DE MEDICINA**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SAÚDE E  
DESENVOLVIMENTO NA REGIÃO CENTRO-OESTE**

**GELSON MARTINS DA SILVA**

**Quantificação de metais pesados em tinta de cabelos e avaliação do potencial  
risco a saúde**

**CAMPO GRANDE  
2023**

**GELSON MARTINS DA SILVA**

**Quantificação de metais pesados em tinta de cabelos e avaliação do potencial  
risco a saúde**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Saúde e Desenvolvimento na Região Centro-Oeste, da Faculdade de Medicina da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como parte dos requisitos para a obtenção do título de mestre em Saúde e Desenvolvimento na região Centro Oeste. Linha de pesquisa: Tecnologia em Saúde.

Orientador: Prof. Dr. Valter Aragão do Nascimento

**CAMPO GRANDE  
2023**

**GELSON MARTINS DA SILVA****Quantificação de metais pesados em tinta de cabelos e avaliação do potencial risco a saúde**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Saúde e Desenvolvimento na Região Centro-Oeste, da Faculdade de Medicina da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como parte dos requisitos para a obtenção do título de mestre em Saúde e Desenvolvimento na região Centro Oeste. Linha de pesquisa: Tecnologia em Saúde.

Orientador: Prof. Dr. Valter Aragão do Nascimento

**Banca examinadora:****Nota/conceito**

---

**Prof. A**

---

**Prof. B**

---

**Prof. C**

---

**Prof. D****AValiação FINAL: ( ) Aprovado****( ) Reprovado**

## AGRADECIMENTO

Agradeço a Deus pelas oportunidades que foram concedidas até aqui, oportunidades que, dentro dos meus limites, aproveitei o máximo que pude.

A minha mãe, (em memória), agradeço pela atenção, compreensão e auxílio nos momentos difíceis pelos quais passei e por ser meu eterno exemplo e a grande incentivadora do meu retorno ao curso. Sem ela, provavelmente, a jornada teria sido muito mais difícil. Lamento hoje, não estar mais aqui para dividir comigo essa vitória.

Aos colegas do curso de mestrado em Saúde e Desenvolvimento na Região Centro-Oeste, da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, agradeço pelos momentos agradáveis que passamos juntos ao longo das disciplinas que cursamos. Foi uma experiência da qual não esquecerei.

Ao Grupo de Espectroscopia e Bioinformática Aplicados a Biodiversidade e a Saúde (GEBABS) no qual faço parte, gratidão pela parceria durante esses anos de estudo e aprendizado.

Ao Prof. Doutor Valter Aragão do Nascimento pela pessoa que é, pela orientação, atenção e compreensão para comigo durante a caminhada neste mestrado.

Aos professores do curso de mestrado, sou grato por compartilharem seu conhecimento e laboratórios para execução da pesquisa e, dessa forma, contribuírem com a minha formação enquanto pesquisador e profissional.

Aos servidores que atendem na secretaria do curso, meu muito obrigado pelo auxílio diligente com que me atenderam quando necessitei.

**“A vida sem ciência é uma espécie de morte”.**

Socrates

## RESUMO

Muitas pessoas encontram nas cores dos cabelos formas de expressar valores culturais e até mesmo sentimento. No processo de coloração podem existir alguns riscos que passam despercebidos, uma vez que há elementos químicos como por exemplo os metais pesados, que, a depender do nível de exposição, podem gerar uma toxicidade capaz de induzir estresse oxidativo via formação de radicais livres. Diante do exposto, objetivou-se neste trabalho quantificar as concentrações de metais pesados e metaloides obtidas em tinturas de diferentes fabricantes brasileiros e uma amostra internacional. Um procedimento de digestão ácida para as amostras de tintas de cabelos foi realizado e posteriormente quantificação dos elementos utilizando espectrometria de emissão óptica com plasma acoplada. Cálculos de riscos de uma possível exposição a partir do cálculo de absorção cutânea de elementos potencialmente nocivos em partículas aderidas à pele exposta (D<sub>dermal</sub>) foram realizados considerando um adulto com idade de 40 anos. Um total de 14 elementos foram quantificados nas amostras de tintas, sendo Al, Fe, Cr, Mg, As, Mn, Cu, Ba, Ni, Sr, Cd, Mo, As e Pb. Em relação a todas as amostras, os elementos Al e Fe possuem a maior concentração. De acordo com a análise de componente principal, a maior tendência de elementos quantificados está voltada para as amostras M1 e M6. Além disso, o quociente de risco (HQ) e índice de perigo (HI) são < 1, não causando potencial risco a saúde dentro do período de exposição estudado. Entretanto, os valores de risco carcinogênico (CR) variaram no intervalo de  $10^{-6}$  à  $10^{-5}$ , portanto, o risco estimado é considerado como baixo.

**Descritores:** metais pesados; avaliação de risco; tinta de cabelos; risco a saúde

## ABSTRACT

People find ways to express cultural values and feelings through hair colors. In the coloring process, some risks may go unnoticed since there are chemical elements such as heavy metals, which, depending on the level of exposure, can generate toxicity capable of inducing oxidative stress via the formation of free radicals. Given the above, this work aimed to quantify the concentrations of heavy metals and metalloids obtained in tinctures from different Brazilian manufacturers and an international sample. An acid digestion procedure for the hair dye samples was performed, and then quantification of the elements using coupled plasma optical emission spectrometry. Risk calculations of possible exposure from the calculation of cutaneous absorption of potentially harmful elements in particles adhered to exposed skin (Ddermal) were performed considering an adult aged 40 years. A total of 14 elements were quantified in the paint samples, namely Al, Fe, Cr, Mg, As, Mn, Cu, Ba, Ni, Sr, Cd, Mo, As, and Pb. About all samples, elements Al and Fe have the highest concentration. According to the principal component analysis, the most significant trend of quantified elements is focused on samples M1 and M6. In addition, the risk quotient (HQ) and hazard index (HI) are  $< 1$ , causing no potential health risk within the studied exposure period. However, carcinogenic risk (CR) values ranged from  $10^{-6}$  to  $10^{-5}$ . Therefore, the estimated risk is considered low.

**Descriptors:** heavy metals; risk assessment; hair dye; health risk.

## LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

MS	Ministério da Saúde
SUS	Sistema Único de Saúde
PNAISH	Programa Nacional de Atenção Integral a Saúde do Homem
OMS	Organização Mundial de Saúde
UFMS	Universidade Federal do Mato Grosso do Sul
HAS	Hipertensão Arterial Sistêmica
DM	Diabetes Mellitus
UBS	Unidades Básicas de Saúde
PSA	Antígeno Prostático Específico
ATSH	Área Técnica de Saúde do Homem
DAPES	Departamento de Ações Programáticas e Estratégicas
SESAU	Secretaria Municipal de Saúde
TCLE	Termo de Consentimento Livre Esclarecido
PNAB	Política Nacional da Atenção Básica
ESF	Estratégia de Saúde da Família
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ACS	Agente Comunitário de Saúde
NASF	Núcleo de Apoio à Saúde da Família

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	9
2	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	10
2.1	<b>Classificação dos metais pesados e suas particularidades</b> .....	10
2.2	<b>A toxicidade e contaminação pelos metais pesados</b> .....	15
2.3	<b>Metais pesados em tintas de cabelos</b> .....	18
3	<b>OBJETIVOS</b> .....	20
3.1	<b>Objetivo geral</b> .....	20
3.2	<b>Objetivos específicos</b> .....	20
4	<b>METODOLOGIA</b> .....	21
4.1	<b>Caracterização e critérios do estudo</b> .....	21
4.2	<b>Aspectos éticos</b> .....	21
4.3	<b>Seleção das amostras</b> .....	21
4.4	<b>Preparo do material para leitura das amostras</b> .....	22
4.5	<b>Preparo das amostras para digestão</b> .....	22
4.6	<b>Curvas de calibração externa</b> .....	22
4.7	<b>Espectrômetro de emissão óptico indutivamente acoplado com plasma de argônio (ICP OES)</b> .....	23
4.8	<b>Avaliação de exposição e caracterização de risco</b> .....	23
4.9	<b>Quociente de risco (<i>HQ</i>) e índice de perigo (<i>HI</i>)</b> .....	24
5	<b>ANÁLISES ESTATÍSTICAS</b> .....	26
6	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	26
6.1	<b>Concentração de metais e metaloides</b> .....	26
6.2	<b>Avaliação de exposição e caracterização de risco</b> .....	31
7	<b>CONCLUSÃO</b> .....	40
8	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	40

## 1. INTRODUÇÃO

Mudar a cor dos cabelos já faz parte da rotina das pessoas, elas sequer cogitam pensar em como isso pode trazer efeitos nocivos. É importante que lembremos que no organismo humano estão presentes vários elementos químicos que são importantes para o funcionamento do metabolismo dos indivíduos, que podem variar em diversas concentrações de acordo com a necessidade. No entanto, quando os seres humanos são expostos a altos índices de metais pesados existe um risco eminente para o acometimento de doenças, inclusive levar a morte (JAISHANKAR et al., 2014).

Alguns fatores devem ser levados em conta quando se trata da exposição a metais pesados, tais como a dose absorvida, o tempo de exposição e por qual via ocorreu esse contato, pois através desses chega-se ao valor toxicológico de cada metal. Este contato pode levar o organismo humano a adoecer causando danos e distúrbios provocados pelos radicais livres que induzem ao estresse oxidativo, impactando diretamente na qualidade de vida (ANDREA ZANDER, 2012; JAISHANKAR et al., 2014).

O processo de oxidação do cabelo se dá pela remoção de tintura através de branqueadores e hidrogênios. Há cerca de 4 milênios atrás, no antigo Egito, a tintura de cabelo mais duradoura era a de cor preta e se obtinha essa cor por meio da mistura de hidróxido de cálcio com óxido de chumbo, que fazia com que o cabelo obtivesse a coloração desejada em cerca de 3 dias. Pesquisas recentes sobre cabelos pigmentados com essas substâncias revelaram a existência de nanocristais de sulfeto de chumbo em sua composição.

Descobertas arqueológicas evidenciam que esta fórmula utilizada pelos egípcios posteriormente foi também repetida pelos romanos e gregos, sendo utilizada ainda nos dias de hoje com uma apresentação discretamente modificada. Por vezes os questionamentos que sugere as discussões sobre a temática são “Como se dá a análise realizada em amostras de cabelo e como se revelam o uso desses metais pesados?”.

O químico e pesquisador francês Eugene Schuller (1909), fundador da empresa L’Oreal, produziu um produto que coloria os cílios e a priori este foi denominado como “inofensivo”. Nos anos seguintes, pesquisas pontuaram que diferentes tipos de álcoois são utilizados nesses corantes capilares, que desidratam o cabelo, e identificaram também a existência de metais pesados como o Cádmio e Chumbo acima dos limites permitidos em alguns produtos cosméticos.

Com o avanço da tecnologia de análises, alguns pesquisadores têm quantificados vários elementos químicos em tintas de cabelos comumente utilizadas pela população (LAVILLA et

al., 2009; MIRANDA et al., 2021). Apesar do alto consumo de cosméticos, especialmente tinturas de cabelo no Irã, estudos quantificaram e analisaram a exposição humana a metais pesados devido ao uso desses produtos, ou seja, avaliaram o risco dérmico de metais pesados em diferentes marcas de tinturas de cabelo na região de Kashan. Neste estudo, foram selecionadas 36 amostras de tinturas de cabelo de quatro marcas mais vendidas no mercado de Kashan (Irã), onde quantificaram elementos como Pb, Cd, Cr, Ni e Co, respectivamente, estando abaixo do limite permitido. No entanto, os metais Cr, Ni e Co foram encontrados em concentrações acima do limite alergênico. De acordo com os resultados da pesquisa supracitada, mesmo com baixas concentrações de metais tóxicos e um baixo nível de exposição esses metais, pelos usuários de tintura de cabelo, destaca-se que ao longo prazo (uso) podem causar danos potenciais à saúde dos usuários (MOSTAFAII et al., 2022). Estudos no Paquistão envolvendo vários tipos de tintas de cabelos também têm sido realizados, onde elementos como Cr, Ni Pb, Cd e Fe foram quantificados (ULLAH et al., 2013; ARSHAD; MEHMOOD, 2020).

No Brasil, utilizou-se a metodologia de solução eletroanalítica para a determinação de  $Pb^{2+}$  em tinturas progressivas de cabelo usando o sensor de cortiça-grafite tem sido realizado (BARROS; SANTOS, 2021). Entretanto, estudos acerca desta temática ainda são escassos e muitas marcas de tipos de tintas de cabelos comercializadas no Brasil ainda não foram estudadas, quanto as suas composições químicas.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1. Classificação dos metais pesados e suas particularidades**

Os metais são elementos químicos que possuem brilho característico com a capacidade de conduzir calor e eletricidade, e são sólidos à temperatura ambiente. Dentre as principais características dos metais, em maioria, estes são rígidos, dúcteis e maleáveis (LIMA; MERÇON, 2011; RIBEIRO et al., 2012).

Os elementos são classificados como “metais pesados” de acordo com propriedades químicas específicas apresentadas por pesquisas realizadas por especialistas nas últimas décadas (TAVARES et al., 2003; BRAGA et al., 2014). Dentre essas propriedades estão: (1) massa específica, pois esses elementos apresentam uma massa mais elevada que os demais, sendo maior ou igual ao valor de referência estipulado; (2) massa atômica: metais pesados apresentam também uma elevada massa atômica sendo o sódio (massa atômica: 23 u.) utilizado

como referência; e o número atômico, que usa como medida de comparação o elemento cálcio (número atômico: 20) (PAYE et al., 2010). Maiores informações sobre a peculiaridade dos principais metais pesados encontrados na natureza e utilizados pelos seres humanos estão apresentadas no quadro 1 abaixo.

**Quadro 1. Metais pesados e suas principais características e formas de uso, 2023.**

Elemento	Sigla	Informações
Ferro	Fe	<p>Massa atômica: 56 u.</p> <p>Número atômico: 26</p> <p>Quarto elemento mais abundante na natureza, utilizado no mundo todo</p> <p>Principal uso: metal utilizado como parte da produção de aço, construção civil, indústrias automobilísticas, eletrodomésticos e utensílios domésticos.</p>
Prata	Ag	<p>Massa atômica: 107,86 u.</p> <p>Número atômico: 47</p> <p>Três origens: a natural (encontrada na natureza), a industrial e a sintética (produzida em laboratório)</p> <p>Uso: Fabricação de joias, moedas e talheres, procedimentos odontológicos e tratamentos de irritação nas mucosas e olhos.</p>
Cobalto	Co	<p>Massa atômica: 59 u.</p> <p>Número atômico: 27</p> <p>Trata-se de um metal branco acinzentado com propriedades magnéticas e físicas similares ao ferro e ao níquel. Considerado raro, sendo o 30º elemento mais abundante no planeta</p>

		<p>Uso: sais de Co são utilizados na confecção de tintas e pigmentos, enquanto sua forma metálica utilizado na indústria metalúrgica para a produção de diferentes tipos de aço. A indústria química utiliza os óxidos de Co como catalisadores, em diversos tipos de reações</p>
Cromo	Cr	<p>Massa atômica: 51,99 u.</p> <p>Número atômico: 24</p> <p>Metal acinzentado e lustroso, sendo muito resistente à corrosão e ao ataque químico em temperatura ambiente. O Cr é o décimo elemento mais abundante da Terra, e no continente americano é produzido apenas no Brasil.</p> <p>O cromo metálico é obtido através da cromita, onde este mineral é fundido com carbonato de sódio.</p> <p>Uso: muito utilizado pela indústria metalúrgica pois melhora a resistência à oxidação (corrosão) e outros ataques químicos ao aço. Além disso, também é um material refratário, ou seja, mantém certas temperaturas. Nos últimos anos tem sido utilizado como catalisador e produção de pigmentos e tintas.</p>
Manganês	Mn	<p>Massa atômica: 54,93 u.</p> <p>Número atômico: 25</p> <p>Metal de transição duro e frágil na sua forma pura, sendo suscetível a corrosão quando entra em contato com o ar atmosférico e ambientes úmidos. É o quinto elemento mais abundante no planeta terra.</p> <p>Possui capacidade de assumir muitos estados de oxidação diferentes, resultando em compostos diversos</p>

		<p>Uso: muito utilizado nas siderúrgicas para fortalecer ligas metálicas. Além disso, é um importante reagente para as indústrias químicas e para a agropecuária, na produção de fertilizantes</p>
Bário	Ba	<p>Massa atômica: 137 u.</p> <p>Número atômico: 56</p> <p>O Ba possui coloração prateada em sua forma metálica sendo suas principais características: maleável, dúctil e frágil. O bário é encontrado na natureza com uma menor frequência do que outros metais alcalinoterrosos, como o cálcio e o magnésio. Sua principal fonte mineral é a barita.</p> <p>Uso: comumente utilizado em ligas metálicas como agente de desoxidação. Ainda, é utilizado pelas indústrias como pigmento branco, em papéis fotográficos, e na composição de tintas e plásticos.</p>
Cádmio	Cd	<p>Massa atômica: 122,41 u.</p> <p>Número atômico: 48</p> <p>Em sua forma metálica, apresenta coloração branco acinzentada ou branco azulada, sendo dúctil, maleável e reativo. É muito semelhante, quimicamente, ao elemento Zinco. A principal forma de obtenção de cádmio provém da produção de zinco.</p> <p>Uso: fabricação de baterias níquel-cádmio. Também é utilizado na produção de pigmentos dourados, com cores que podem variar do amarelo brilhante ao marrom.</p>
Cobre	Cu	<p>Massa atômica: 63,54 u.</p> <p>Número atômico: 29</p>

		<p>Metal utilizado por indústrias e empresas para a fabricação de fios condutíveis. Além disso, o Cu é dúctil, maleável e reciclável. É resistente à corrosão e a altas temperaturas, é também um bom condutor de eletricidade e calor.</p> <p>Uso: utilizado na produção de fios e cabos condutores de energia elétrica, tubos para gás e água quente, além de ser utilizado pela indústria química de diferentes formas.</p>
Chumbo	Pb	<p>Massa atômica: 207,2 u.</p> <p>Número atômico: 82</p> <p>O Pb é um metal pesado com baixa dureza, ou seja, é maleável, e comparado a outros metais, não é um bom condutor de eletricidade. É considerado um metal tóxico e bioacumulativo, caracterizado como contaminante ambiental, além de ser ofensivo à saúde humana.</p> <p>Uso: Utilizado como reagentes em processos químicos e aditivos.</p>
Alumínio	Al	<p>Massa atômica: 27 u.</p> <p>Número atômico: 13</p> <p>O Al é encontrado na natureza apenas na forma de minério como a bauxita, composta por óxido de alumínio hidratado. Este elemento apresenta uma elevada resistência à corrosão, pois não oxida na presença de umidade ou ar facilmente.</p> <p>Uso: utilizado na produção de latas (bebidas e conservas), utensílios de cozinha, fios elétricos, portas e janelas, estrutura de veículos e peças aeronáuticas.</p>

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Como citado anteriormente, a maioria desses metais estão em forma sólida e fazem parte da composição de outros materiais, portanto, necessita-se de uma técnica para a remoção desses metais, e a mais comumente utilizada é a de precipitação, geralmente com a elevação do pH e a formação de hidróxidos insolúveis (COSTA et al., 1998; RICCI; AMARAL, 2015).

Além das propriedades químicas supracitadas, outros aspectos também são apontados por outros pesquisadores como importantes para conceituar os elementos como metais pesados (HAWKES, 1997; DUFFUS, 2002; MALIK et al., 2019). Destaca-se que além da elevada massa específica, existem outras propriedades importantes para a sua definição, como a identificação de formação de sulfetos e hidróxidos insolúveis, e da formação de sais que geram soluções aquosas e de complexos coloridos (HAWKES, 1997; MALIK et al., 2019).

Nos últimos anos, o objetivo dos estudos com metais pesados, estavam associados não somente com seu uso de forma positiva, mas também com contaminações e potencial toxicidade e ecotoxicidade, relacionados com seu descarte incorreto, uso indevido e/ou em excesso (ZHUSHAN; SHUHUA, 2019). Portanto, no tópico a seguir, será discutido e apresentado dados da literatura que demonstram as problemáticas do uso desses metais pesados e que irão nortear a futura discussão do presente trabalho.

## **2.2 A toxicidade e contaminação pelos metais pesados**

A toxidade de um metal pesado, ou seja, sua capacidade de contaminar um sistema biológico, além de sua forma física no ambiente (ar/respiratório, água e solo/ingestão) deve-se levar em conta outros aspectos, como as vias de introdução/absorção do metal no organismo humano e a sua capacidade de biotransformação (ZHUSHAN; SHUHUA, 2019; SÁ et al., 2022). Com o estudo da toxicologia desses elementos, constatou-se que cada um deles pode vir a apresentar um efeito toxicológico específico sobre determinado ser vivo e que a biodisponibilidade e a espécie química também influenciam no nível toxicidade (SÁ et al., 2022).

Uma das maiores preocupações de contaminação por esses elementos estão em relação a água, por ser um insumo indispensável para os organismos vivos e, que também é utilizada na produção e cultivo de alimentos e na limpeza dos materiais do dia a dia (OBREGÓN et al., 2019). A toxicidade de um metal em água varia em função do pH, do carbono dissolvido e da suspensão, visto que os metais interagem com o carbono e seus compostos, formando complexos ou sendo adsorvidos (JOÃO; SILVA, 2019).

A forma mais tóxica de um metal não é a livre, mas quando este se encontra como cátion ou ligado a cadeias carbônicas. Nos organismos, o principal mecanismo de ação tóxica dos metais decorre de sua afinidade pelo enxofre (MOSCHEM; GONÇALVES, 2020). Assim, quando presentes em suas formas catiônicas, os metais reagem com o radical sulfidrílica (-SH) presente na estrutura proteica das enzimas, alterando suas propriedades, o que pode resultar em consequências prejudiciais ao metabolismo dos seres vivos (OBREGÓN et al., 2019).

A contaminação por esses metais pode propiciar o desenvolvimento de diversas doenças, sendo que estes podem ser absorvidos por órgãos e tecidos, por exemplo, através da pele, do sistema respiratório ou da ingestão desses elementos (LIANG et al, 2017; BUGS et al., 2018). Inúmeros casos de pessoas intoxicadas por metais pesados foram relatados e divulgados nos últimos anos, envolvendo desde o consumo de alimentos, exames médicos e produtos de beleza, como maquiagem e tinta para cabelos, fazendo com que órgãos de saúde como a OMS voltassem seus olhares para a composição desses produtos (ARSHAD et al., 2020).

Dentre os exemplos de produtos de beleza nos quais foram encontrados metais pesados estão os batons, onde o chumbo foi identificado e listado como um dos contaminantes mais comumente encontrados. Além do Pb, existem também casos frequentes em que o cádmio e o cromo foram identificados nas análises laboratoriais dos produtos labiais (ARSHAD et al., 2020). Estes elementos trazem um grande risco para a saúde das pessoas em virtude de uma de suas características químicas, a bioacumulação, ou seja, os indivíduos que entram em contato com esses metais não conseguem eliminá-los (FRIGO et al., 2021).

A tinta para cabelos é outro produto que está na lista dos que possuem metais pesados em sua composição (FACHINELLI et al., 2021). A fórmula dessas substâncias é complexa, contendo diversos componentes, que incluem corantes, antioxidantes, modificadores, alcalinizantes, amônia, sabões, fragrâncias, agentes umectantes e muitos outros materiais químicos. Nestes últimos, estão presentes os óxidos metálicos como dióxido de titânio, óxido de ferro e o sulfito de sódio, além de metais pesados, incluindo arsênico e chumbo (FACHINELLI et al., 2021).

O excesso desses metais na composição dos corantes para cabelo pode causar certas doenças, como o câncer, além de serem prejudiciais para a produção hormonal (CRUZ et al., 2021; BARBOSA; CONSOLIN, 2022). A Organização Mundial de Saúde destacou que diversas cores utilizadas na pigmentação dos cabelos nunca foram testadas, principalmente após o avanço das tecnologias que possibilitaram a reinvenção e criação de novas cores, sendo substâncias que podem ser nocivas para os seres humanos (CRUZ et al., 2021). Uma das explicações em relação a essa nocividade está em relação ao tempo de absorção desses metais

e de sua taxa de excreção, que são extremamente lentos ficando em circulação no corpo humano por tempo indeterminado (OBREGÓN et al., 2019).

Altos níveis de Pb, por exemplo, podem ter efeitos prejudiciais que impactam diretamente na qualidade de vida das pessoas, especialmente em crianças, mulheres grávidas e mulheres em idade fértil, ocasionando diversos problemas cardiológicos, respiratórios e gestacionais (até mesmo no desenvolvimento do embrião) (KING, 2000; TEIXEIRA et al., 2020).

Além deste elemento, a Agência Internacional de Pesquisa em Câncer ressaltou para os perigos relacionados com a exposição ao cobalto e seus compostos, que podem contribuir para o desenvolvimento de neoplasias, comprovados por estudos com modelo animal. Além disso, o contato com o Co em níveis extremos pode desencadear problemas respiratórios como diminuição da ventilação, congestão, edemas/hemorragias pulmonares, e diversos tipos de crises alérgicas (dermatológicas e respiratórias) (CRUZ et al., 2021).

Outro elemento que pode ser prejudicial à saúde trata-se do Bário considerado extremamente tóxico ao ser humano quando dissolvido, ocorrendo no Brasil em 2003 um caso com um desfecho trágico que veio à tona em todos os veículos de notícias e mídias sociais. Na ocasião, este elemento estava sendo utilizado na substância no exame de contraste radiológico, vendido como sulfato de bário, e seu uso resultou na morte de pelo menos 23 pessoas e de muitos casos de intoxicação (FOLHA, 2004).

A ingestão de cádmio, mesmo que em níveis reduzidos, durante um longo período pode afetar diretamente o funcionamento renal, podendo ocorrer a retenção desse elemento nos rins por 20 a 30 anos. Já em doses altas, o Cd pode ocasionar efeitos adversos no sistema respiratório e na composição óssea, enfraquecendo-a tornando os ossos quebradiços (NETO, 2020). A ingestão de alimentos com altas doses de Cd pode levar a quadros clínicos de irritação estomacal, provocando vômitos, diarreia e até mesmo a morte (NETO, 2020).

Portanto, pesquisadores indicam uma análise química completa para investigar possíveis contaminantes inorgânicos devido as possíveis contaminações e adulterações que podem ocorrer durante as etapas de processamento, acondicionamento e armazenagem dos produtos (REGO et al., 2019). Dessa forma, fica garantido a qualidade e o uso com segurança destes produtos, evitando possíveis problemas e impactos para a qualidade de vida das pessoas.

### 2.3 Metais pesados em tintas de cabelos

Diante de exposto apresentado, fica evidente a importância estudos e da realização de testes mais rigorosos aos produtos de cosméticos nacionais e importados (AMARTEY et al., 2011). Existem pesquisas que apontam para altos níveis de metais pesados e elementos de baixo peso molecular, conhecidos como oligoelementos, que fazem parte da composição de produtos para cabelo (KARABEGOVIĆ, 2018).

Foi identificado também, que pessoas que residem próximo a áreas industriais, ao analisar amostras de seus cabelos foram encontrados metais pesados (NNOROM et al., 2005; PERUMAL; THANGAMANI, 2011). Ao buscar o teor dos metais pesados nesse tipo de análise, da amostra do cabelo humano, é possível evidenciar os níveis de intoxicação a qual foram acometidos (POON et al, 2004).

Frente a esta problemática, a Comissão Europeia se empenha cada vez mais para que os produtos de corantes capilares sejam produzidos somente com produtos que contenham substâncias seguras. Esta comissão estabeleceu a Diretiva 2012/21/UE que restringe a no máximo 45 produtos químicos nos corantes capilares, e a Diretiva 76/768/CE da União Europeia que regulamenta os produtos de maquiagem (CE) n.º 1223/2009 (EUROPE UNION, 2009). Geralmente os produtos de colorificação capilar comercializados possuem fórmulas complexas com uma gama amplamente variada de fórmulas e ingredientes que mudam o produto final de fabricante para fabricante.

Os produtos capilares contêm corantes, modificadores, antioxidantes, alcalinizantes, sabonetes, amônia, agentes umectantes, aromas e uma variedade de outros produtos químicos que, em geral, são utilizados de forma fracionada e equilibrada para um melhor resultado do procedimento no cabelo (como textura amaciante). Porém, os metais pesados estão presentes na maioria desses produtos, sendo os mais comumente encontrados: compostos amino, como 4-amino-2-hidroxitolueno e m-aminofenol, metal óxidos, dióxido de titânio e óxido de ferro (KARABEGOVIĆ, 2018).

Mesmo com o uso consciente de produtos que contenham certos elementos químicos como o antimônio (Sb), o arsênio (As), o cádmio (Cd), o cromo (Cr), o cobalto (Co) e o níquel (Ni), estes são proibidos na produção de cosméticos pelo anexo II da diretiva 76/768/CEE da União Europeia, pois são considerados inseguros por níveis elevados de toxicidade (MESSNER et al., 2009). No entanto, mesmo com essas medidas protetivas estes elementos são encontrados

nos cosméticos atuais devido à contaminação ocorrida no processo de produção (IWEGBUE et al., 2016).

Pesquisas atuais evidenciaram que os metais pesados que podem afetar o organismo humano resultam de uma exposição aos produtos tóxicos encontrados em tempo prolongado advindo dos corantes capilares. Um estudo recente realizado por Ahmed e colaboradores (2019) identificou que a de chumbo (Pb), cádmio (Cd) e mercúrio (Hg) na urina de indivíduos que haviam realizado procedimentos com tintura capilar. É conhecido que esses metais estão presentes em grande quantidade nos materiais usados para colorificação capilar que são comercializados nas lojas do ramo na Arábia Saudita, local de estudo da pesquisa citada (AHMED et al., 2019). Ao utilizar espectrometria de emissão óptica por plasma acoplado indutivo (ICP-OES) após rigorosa análise da urina e de amostras de cabelos tingidos por corantes capilares, foi possível constatar que a variação dos metais pesados encontrados ficava em torno de 0.0015-0.0035 ppm para o Cd, 0.003-0.014 ppm para o Pb, valores esses que se encontram dentro do limite internacional permitido. No entanto foi constatado altos índices de Hg (1,1 a 4.3 ppm) que ultrapassou o limite permitido. Quando utilizados na fabricação de produtos, a média da concentração permitida dos metais pesados é de 0.002, 0.011 e 1.3 ppm em amostras de Cd, Pb e Hg. Outrossim, no caso da análise da urina, a concentração de Pb ultrapassou o limite do padrão internacional permitido. Essa pesquisa conclui que os usuários dos produtos de coloração capilar estão expostos a diferentes níveis de metais pesados, podendo o contato excessivo com esse material causar grandes danos para quem o utiliza.

Pesquisadores chineses afirmaram que um dos principais poluentes são os metais pesados que vêm sendo produzido e comercializado através dos produtos de cosméticos e tintura para cabelo (WEI et al., 2008). Metais pesados foram analisados em um grupo de pessoas com cabelo tingido e outro grupo não tingido e através de espectroscopia com plasma (ICP-MS), apontaram que o cabelo tingido pode alterar o conteúdo de metais pesados no cabelo, mas em graus diferentes de danos a depender dos diferentes elementos: Mn, Fe, Ni, Cu, Cd e Sb foram mais expressivos em cabelos não tingidos, entretanto, os elementos As, Cr, Zn, Ag, Pb e Hg apresentaram resultados mais discretos. Tais resultados se deram provavelmente por maior teor de Mn, Fe, Ni, Cu, Cd e Sb nos corantes capilares e menor concentração de As, Cr, Zn, Ag, Pb e Hg no uso da colocação das amostras isso gera mudança no metabolismo e na eliminação de As, Cr, Zn, Ag, Pb e Hg do organismo humano.

Os corantes capilares podem trazer grandes problemas para a saúde de quem os utiliza, em virtude do contato com os metais pesados. As amostras de cabelo tingido pesquisadas

expressam os efeitos dos metais pesados e alguns desses elementos mostram-se excessivamente cancerígenos (KHALILI et al.,2019). Os dez metais presentes nas amostras foram: Fe, Ag, Co, Cr, Mn, Ba, Cd, Cu, Pb, e Al o ICP-MS determinou a presença desses elementos. Os resultados obtidos mostraram que as concentrações médias de Al, Ba e Fe são 0,54, 0,86 e 1,19 mg/kg e as de Cd, Cu e Pb como 0,45, 61,32 e 185,34 µg/kg, respectivamente. O chumbo (Pb) com coeficiente de risco (HQ) apresentou maior risco e o ferro (Fe) mostrou menor risco. Entre as tinturas investigadas por fabricantes iranianos, a cor que apresentou maior nível de risco foi a cor marrom escuro entre todas as amostras analisadas. Os índices de HQ e HI sinaliza a presença de metais pesados nas amostras que não apresentavam riscos não cancerígenos as pessoas que consumiram desses produtos.

Em relação a realidade brasileira, as marcas de corantes de cabelo são muitas, porém poucas foram analisadas com o propósito de identificar o teor de metais pesados. Por conta da pouca base de dados e pouquíssima fonte de literatura, se faz necessário maiores quantidades de pesquisa que definam e estabeleçam as quantificações de componentes químicos nos cosméticos que possam ser utilizados com uma margem de segurança para usuários do produto no Brasil.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo geral**

Quantificar metais metaloides em tinta de cabelos de diferentes marcas, nacionais e uma internacional, e avaliar o potencial risco a saúde humana devido a presença deste metais.

#### **3.2 Objetivos específicos**

- Quantificar metais e metaloides em tinta de cabelos
- Avaliar a exposição e caracterização de risco através do quociente de risco (*HQ*) e índice de perigo (*HI*)
- Avaliar o risco cancerígeno (*RC*)
- Avaliar o potencial risco a saúde humana devido à presença destes metais em contato com a derme.
- Comparar os resultados obtidos nas tintas deste estudo com aqueles publicados na literatura envolvendo outras tintas de cabelos.

## 4. METODOLOGIA

### 4.1 Caracterização e critérios do estudo

Trata-se de um estudo prospectivo descritivo e analítico. Foram incluídas no estudo apenas amostras de tintas para colorir cabelos com o prazo de validade dentro do período de execução do projeto. Foram excluídas as amostras de tintas para colorir cabelos com o prazo fora de validade, e ou embalagens danificadas. Amostras com tons acima ou abaixo de 7 (loiro médio) não serão consideradas em nosso estudo.

### 4.2 Aspectos éticos

Não existe a necessidade de aprovação de comitê de ética em pesquisa, tanto animal quanto humano, uma vez que o estudo desenvolvido de propôs investigar amostras de tinta de cabelo comercializadas livremente em vários estabelecimentos de comércio no Brasil.

### 4.3 Seleção das amostras

No total 32 amostras de tintas de cabelo na tonalidade loiro foram selecionadas neste estudo. As amostras foram adquiridas em junho de 2021 em farmácias localizadas na Cidade de Campo Grande/MS, Brasil. Cabe destacar que cinco das marcas incluídas no estudo (com cinco amostras de cada) são comercializadas no Brasil e apenas uma marca internacional, com sete amostras de lotes diferentes, foram adquiridas em Pedro Juan Caballero, no Paraguai, fronteira entre Mato Grosso do Sul e Brasil (Tabela 1).

Tabela 1. Informações sobre as amostras de corantes de cabelos utilizados na pesquisa.

<b>Quantidade/ Amostra</b>	<b>Descrição do rótulo:</b>		<b>Marcas</b>	<b>Tonalidade</b>
5	Tinta de Cabelo Permanente Imédia Excellence		Marca 1	tom loiro médio
5	Tinta de Cabelo Permanente Cor&Ton		Marca 2	tom loiro médio
5	Tinta de Cabelo Permanente Igora Royal		Marca 3	tom loiro médio
5	Tinta de Cabelo Permanente Maxton		Marca 4	tom loiro médio
5	Tinta de Cabelo Permanente Koleston		Marca 5	tom loiro médio
7	Tinta de Cabelo Permanente Koleston		Marca 6 Paraguaio	tom loiro médio

Fonte: elaborado pelo autor, 2023.

#### 4.4 Preparo do material para leitura das amostras

A limpeza dos instrumentos e equipamentos utilizados na análise de minerais é de grande importância, principalmente do material que é reutilizado, como a vidraria e tubos etc. Assim, todo o material utilizado nesta pesquisa passou por um processo de limpeza para retirar as impurezas sendo desmineralizados antes de serem utilizados. As vidrarias e tubos de plástico foram imersas em solução contendo Extran a 5% (v/v) e ácido nítrico (10% de concentração, Merck) por no mínimo 24h e em seguida enxaguados em água ultrapura e secos em estufa a 40 °C.

#### 4.5 Preparo das amostras para digestão

No processo de digestão ácida de amostras de tintas de cabelo, adaptamos a metodologia proposta por Pehlić et al., (2019). Uma quantidade de 0,50 g de cada amostra de tinta de cabelo foi pesada em uma balança analítica e em seguida acondicionadas em tubos Falcon DAp60, e então adicionou-se 1 mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (35%; Merck) e 5 mL de HNO<sub>3</sub> (65%; Merck) e 2 ml de água ultrapura (Milli-Q Biocel Water Purification System; Millipore, Germany). A digestão por micro-ondas (Speedwave4- Microwave Digestion System; BERGHOF Products + Instruments GmbH) foi realizada de forma que as primeiras amostras fossem aquecidas por 10 min, e ao final do resfriamento, conforme indicado pela programação de digestão da Tabela 2. Um branco analítico também foi realizado considerando as mesmas concentrações consideradas para as amostras de tintas. Todo o procedimento foi realizado em triplicata.

Tabela 2. Programa de aquecimento para digestão por micro-ondas de tintas de cabelos.

Etapas	Temperatura (°C)	Pressão (bar)	Ta (min)	Tempo (min)	Potência (W)
<b>1</b>	160	60	5	10	1100
<b>2</b>	160	60	1	10	1100
<b>3</b>					0
<b>4</b>					

Fonte: elaborado pelo autor, 2023.

#### 4.6 Curvas de calibração externa

As curvas de calibração/resposta foram obtidas a partir de 7 níveis de concentração dentro de um intervalo de 0.0001 mg/L 2.00 mg/L, no qual pode ser construída a partir de uma solução multielementar de 100 mg/L de cada metal (Ag, Cr, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, As, A, Pb, Ba e Zn, fabricante: Specsol, Brasil). Equações da reta de calibração foram obtidas e

para o coeficiente de correlação foi considerado o valor maior que 98%. Assim como realizado para as análises, também foi construída uma curva para o branco.

#### 4.7 Espectrômetro de emissão óptico indutivamente acoplado com plasma de argônio (ICP OES)

Realizado o procedimento de digestão, as amostras de corantes de cabelo foram conduzidas para a quantificação dos metais (Ag, Cr, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, As, Ag, Pb, Ba e Zn) através da espectroscopia de emissão de plasma acoplada indutivamente (ICP OES, iCAP 6300, Thermo Scientific, EUA) sob as condições de operações apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3. Parâmetros instrumentais do ICP OES.

Parâmetros	ICP OES
Potência de radiofrequência	1150 W
Fluxo da bomba	50 rpm
Fluxo do Plasma do argônio	12,00 L min <sup>-1</sup>
Fluxo de o gás auxiliar	0,50 L min <sup>-1</sup>
Fluxo do nebulizador	0,70 L min <sup>-1</sup>
Modo de visão	Axial
	Elemento (Comprimento de onda)
	Cr (267,716 nm), Cd (226,502 nm),
	Co (228,616 nm), Cu (324,754 nm),
	Fe (259,940 nm), Mn (257,610 nm),
	Mo (202,030 nm), Ni (221,647 nm),
	As (228,812 nm), Al (396,100 nm),
	Pb (283,306 nm), Ba (455,40 nm),
	Ag (328,10 nm) e Zn (213,856 nm)

Fonte: elaborado pelo autor, 2023.

#### 4.8 Avaliação de exposição e caracterização de risco

Para avaliar os níveis de exposição a metais pesados devido à utilização de corantes de cabelos (tintas capilares), foi utilizada a Eq.1, no qual a exposição da pele a metais pesados e a corantes capilares é dado por (ZHENG et al., 2010).

$$D_{\text{dérmico}} = \frac{C \times SA \times SL \times ABS \times EF \times ED}{AT \times BW} \quad \text{Eq.(1)}$$

onde  $D_{\text{dérmico}}$  (mg/kg/dia) é a exposição média diária ao metal pesado via contato dérmico, ou seja, exposição a metais pesados através da exposição da pele a corantes capilares,  $C$  (mg/kg) é a concentração média de metais na tintura capilar obtidas através do ICP OES,  $SA$  (cm<sup>2</sup>) é a área da pele/couro cabeludo,  $SL$  (mg/cm<sup>2</sup>) é o fator de absorção cutânea,  $ABS$  (sem unidade) é o fator de absorção de profundidade da pele,  $FE$  (dia/ano) é a frequência de exposição,  $ED$  (ano) é a duração da exposição,  $WB$  (kg) é o peso corporal e  $AT$  (dia) é o tempo médio de exposição. O parâmetro  $AT$  é obtido usando a Eq. 2 abaixo (ZHENG et al., 2010):

$$AT = ED \times 365 \quad \text{(Eq.2)}$$

Para o cálculo de  $D_{\text{dérmico}}$  (mg/kg/dia) (Eq. 1) devido a exposição da pele a corantes capilares, consideramos, para a realização da estimativa os seguintes valores:

- $C$  (mg/kg) é a concentração média de metais na tintura capilar obtidas por técnicas espectroscópicas de acordo com Santos e Pierre (2019).
- $SA$ : área de pele exposta; neste estudo 5.700 cm<sup>2</sup> para adultos (USEPA, 2001).
- $SL$ : fator de aderência da pele, neste estudo, 0,07 mg /cm<sup>2</sup>h para adultos (USEPA, 2001), ou, para o valor de adultos, 16,8 mg/cm<sup>2</sup>dia
- $ABS$ : fator de absorção dérmica (sem unidade), neste estudo, 0,001 para todos os elementos químicos, porém para As o valor é 0.03 (ZHENG et al, 2010).
- $EF = 200$  dias/ano (dos 365 dias por pessoa, se a pessoa pinta todo o mês, então passa aproximadamente 200 dias com o cabelo pintado, ou seja, sua frequência de exposição é de 300 dias/ano)
- $ED = 40$  anos, idade de uma pessoa adulta
- $BW = 70$  kg, peso considerado conforme trabalhos já publicados na literatura.
- $AT = ED \times 365$  dias por ano = 40 ano x 365 dias/ano = 3650 dias

Na Eq. 2,  $ED$  (ano) é o número de anos em que as tintas são consumidas.

#### 4.9 Quociente de risco ( $HQ$ ) e índice de perigo ( $HI$ )

Além disso, considerando as informações disponíveis, os efeitos de quociente de risco à saúde ( $HQ$ ) não cancerígenos foram avaliados através da Eq.3:

$$HQ = \frac{D_{\text{dermico}}}{RfD} \quad \text{(Eq. 3)}$$

Onde  $D_{dermica}$  foi obtido pela Eq.1, e o termo  $RfD$  (mg/kg/dia) é a dose de referência dérmica ( $RfD_{dermica}$ ), e  $HQ$  não possui unidade, quando  $HQ > 1$  significa que efeitos adversos à saúde podem ocorrer, porém se  $HQ < 1$  menor possibilidade de efeitos.

Para avaliar o potencial geral de riscos não cancerígenos apresentados pela exposição a múltiplos elementos, o Índice de Hazard (HI) foi estimado como a soma dos HQs, assumindo efeitos aditivos (USEPA 2022), ou seja, o  $HI$  (índice de risco crônico/perigo crônico) é obtido pela Eq.4, considerando a soma mais de um  $HQ$  resultante de diferentes elementos ou de diferentes condições.

$$HI = \sum_{k=1}^n \frac{D_{dermico}}{RfD_k} = \sum_{k=1}^n HQ_k \quad (\text{Eq. 4})$$

Nas Eqs. 3-4, os valores de  $RfD$  foram retirados da USEPA (2020), por outro lado, alguns provem dos calculados realizado no trabalho de Shomar e Rashkeev (2021). Os valores de  $RfD$  para cada elementos são os seguintes: Al 1,0 mg/kg/dia, Fe 0,7 mg/kg/dia, Cr  $1,95 \times 10^{-2}$ , Mg não determinado, As  $3,00 \times 10^{-4}$  mg/kg/dia, Mn  $9,60 \times 10^{-4}$  mg/kg/dia, Cu 0,04 mg/kg/dia, Ba 14,0 mg/kg/dia, Ni  $5,40 \times 10^{-3}$  mg/kg/dia, Cd  $1,25 \times 10^{-5}$  mg/kg/dia, Mo  $5,00 \times 10^{-3}$  mg/kg/dia, As  $3,00 \times 10^{-4}$  mg/kg/dia, Pb 0,04 mg/kg/dia, Sr  $1,2 \times 10^{-1}$  mg/kg/dia (FAIZ et al., 2012).

Em relação aos valores de  $HQ$  e  $HI$ , vale a pena destacar que quanto maiores forem os valores de  $HI$  e  $HQ$  ( $>1$ ), maior a probabilidade de ocorrência de efeitos perigosos não cancerígenos.

O risco cancerígeno ou cancerígeno (CR) corresponde à probabilidade de um indivíduo desenvolver qualquer tipo de câncer por meio da exposição a um potencial cancerígeno. Para o cálculo dos CRs, a dose ( $D_{dermico}$ ) é multiplicada pelo fator de inclinação (SF) correspondente, ou seja:

$$CR = D_{dermico} \times SF \quad (Eq.5)$$

SF é o fator de inclinação do câncer para cada elemento. Os seguintes valores foram considerados para Fatores de Inclinação do Câncer (SF); CF dérmico:  $1,5 \text{ (mg/kg/dia)}^{-1}$ . Os limites permitidos são considerados  $10^{-6}$  e  $< 10^{-4}$  para um único elemento carcinogênico e carcinógenos multi-elementos. O nível de risco carcinogênico foi classificado como Risco  $< 10^{-6}$  estimado como nível muito baixo,  $10^{-6} - 10^{-5}$  – estimado como nível baixo,  $10^{-5} - 10^{-4}$  – o nível médio,  $10^{-4} - 10^{-3}$  – nível alto e  $> 10^{-3}$  – estimado como nível muito alto.

## 5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os resultados são expressos pela média das triplicatas  $\pm$  desvio padrão. Foi utilizado o Origin 9.0 para a realização das estatísticas. Como critérios de comparação os achados do presente estudo foram comparados com aqueles publicados na literatura.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 Concentração de metais e metaloides

Diante dos objetivos propostos, o presente estudo analisou amostras de seis marcas de tinta para cabelo e identificou a presença de 14 metais pesados na composição destas. As quantidades (mg/kg) de cada um dos elementos encontrados nas marcas investigadas estão sendo apresentadas na Tabela 4. Os elementos quantificados na Tabela 4 podem ser organizados de acordo com seus valores de concentrações em ordem decrescente para cada marca como segue:

M1: Al > Fe > Cr > Mg > As > Mn > Cu > Ba > Ni > Sr > Cd > Mo > As > Pb;

M2: Al > Fe > Mg > As > Cr > Ni > Mn > Cu > Ba > Cd > Ag > Mo > Sr > Pb;

M3: Al > Fe > Cr > Mg > Ag > Cr > Ni > Ba > Sr > Cu > Ag > Cd > Pb > Mo;

M4: Al > Fe > Cr > As > Mg > Ni > Mn > Cu > Ba > Pb > Sr > Cd > Mo > Ag;

M5: Al > Fe > Mg > Cr > As > Cu > Ni > Mn > Ba > Sr > Pb > Ag > Cd > Mo;

M6: Al > Fe > Mg > As > Cr > Ni > Mn > Sr > Cu > Ba > Pb > Mo > Cd > Ag.

Notou-se que dois elementos, Al e Fe, apresentaram maiores concentrações quando comparadas as outras amostras (Figura 1). Ao assumirmos que os dados não possuem uma distribuição normal, o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis foi utilizado para comparar os grupos independentes. Segundo o teste Kruskal-Wallis, existe diferença entre os grupos ( $p = 6,33 \times 10^{-9}$ ). Além disso, foi utilizado o teste post hoc de Dunn (Dunn 1964) que é um teste emparelhado frequentemente realizado após um teste significativo de Kruskal-Wallis, e de acordo com o teste, existe diferença da concentração entre as marcas para os elementos Pb, Cr, Mn, Mg, As e Ni. Existem diferenças entre as concentrações de Cu e os elementos Cr, Mo, Mg, As; assim como diferenças entre Cd e Cr, Mn, Mg, As e Ni; Cr e No, Sr, Ag e Ba; diferença entre Mn e Mo e Ag; Mo e Mg, As e Ni; Sr e Mg e As; Mg entre Ag e Ba, e diferenças entre As e Ag e Ba. Em todos os casos  $p < 0.05$ . Além disso análise de componentes principais também foram utilizadas.

Os dados da concentração desses elementos estão apresentados na Figura 1, no qual consta os valores de Fe e Al (Fig.1a) e sem Fe e Al (Fig.1b). Dentre as marcas analisadas, em duas delas (marcas 2 e 6) foram identificadas concentrações superiores de alguns metais pesados, sendo considerado como potencial risco de contaminação, podendo ser prejudicial para a saúde das pessoas que as utilizam. Na marca identificada como número 2, foi encontrado o elemento arsênio (As) em excesso e na marca 6, além de também possuir o As, identificou-se os metais Cromo (Cr) e Molibdênio (Mo), como apresentado na tabela 1.

Além disso, no estudo realizado por Mostafaii e colaboradores (2022) utilizando tintas de cabelos comercializadas no Iran, a concentrações de Pb (1,825 mg/kg), Cd (0,525 mg/kg), Cr (48,15 mg/kg) e Ni (2,975 mg/kg) são maiores que aqueles obtidas na Tabela 4 para as 5 marcas brasileira e uma amostra proveniente do Paraguai. Os resultados da Tabela 4, para elementos como Pb e Cr, Cd, Ni e Cu também estão abaixo daqueles obtidos em pesquisas realizados na Nigéria para corante mineral puro, o qual quantificaram  $97,10 \pm 0,013$  mg/kg de Pb,  $42,45 \pm 0,002$  mg/kg e Cr,  $3,80 \pm 0,005$  mg/kg de Cd,  $7,40 \pm 0,008$  mg/kg de Ni e  $65,10 \pm 0,003$  mg/kg de Cu (YASHIM, Z.I et 2020). Por outro lado, os resultados para os elementos Cd e Pb (Tabela 4) estão acima daqueles obtidos em tintas de cabelos provenientes da Arábia Saudita na cidade de Riad, no qual as concentrações variaram de 0.0015-0.0035 mg/kg para o Cd, e 0.003-0.014 mg/kg para o Pb, valores esses que se encontram dentro do limite internacional permitido (AHMED et al., 2019).

A comparação dos resultados obtidos no Iran (KHALILI et al.,2019), para tintas de cabelos com aqueles obtidos na Tabela 4, revelaram que as concentrações médias de elementos obtidos em seu trabalho como Al (0,54 mg/kg) estão abaixo dos valores apresentados na Tabela

4, por outro lado, neste mesmo estudo KHALILI et al.,(2019), os elementos como Ba (0,86 mg/kg) e Fe (1,19 mg/kg), Cd (0,45, mf/kg), Cu (61,32 mg/kg) e Pb (185,34 µg/kg) possuem valores de concentrações acima dos obtidos na Tabela 4. Entretanto, a concentração de média de Pb ( $0.011 \pm 0.001$  mg/kg) na Marca 1 (Tabela 4) é próxima aos resultados obtidos por Santos e Pierre, (2019), cujo valor de Pb foi de 0,01 mg/Kg.

Tabela 4. Concentração de Pb, Fe, Cd, Cr, Mn, Mo, Sr, Mg, As, Al, Ag, Ba e Ni (mg/kg) quantificados nas marcas de tintas de cabelo.

	Elementos								
	Pb	Cu	Fe	Cd	Cr	Mn	Mo	Sr	Mg
<b>Marca 1</b>	0,011± 0,001	0,354± 0,032	14,716± 0,484	0,028± 0,001	5,073± 0,099	0,774± 0,010	0,017± 0,001	0,209± 0,006	2,485± 0,0002
<b>Marca 2</b>	0,0293± 0,0002	0,580± 0,012	25,596± 0,3195	0,155± 0,006	2,879± 0,078	0,720± 0,008	0,0398± 0,0003	0,0396± 0,003	4,138± 0,075
<b>Marca 3</b>	0,0164± 0,0002	0,0314± 0,0016	11,679± 1,267	0,0204± 0,0007	2,266± 0,1235	0,654± 0,005	0,0097± 0,0002	0,218± 0,006	1,615± 0,225
<b>Marca 4</b>	0,243± 0,003	0,497± 0,010	20,699± 0,375	0,0218± 0,0005	2,026± 0,0166	0,604± 0,001	0,004± 0,0007	0,154± 0,002	1,395± 0,148
<b>Marca 5</b>	0,153± 0,002	0,549± 0,002	16,977± 1,253	0,027± 0,002	1,882± 0,021	0,456± 0,007	0,022± 0,0005	0,218± 0,005	3,261± 0,193
<b>Marca 6 (Paraguai)</b>	0,318± 0,006	0,658± 0,039	30,033± 1,142	0,0526± 0,0002	3,204± 0,224	1,068± 0,1024	0,194± 0,258	0,679± 0,0072	6,496± 0,057
	<b>As</b>		<b>Al</b>		<b>Ag</b>		<b>Ba</b>		<b>Ni</b>
<b>Marca 1</b>	2,070± 0,022		50,708± 0,561		0,0157± 0,0001		0,339± 0,0155		0,267± 0,0079
<b>Marca 2</b>	2,899± 0,053		69,911± 0,330		0,0652± 0,00031		0,478± 0,00034		1,611± 0,0118
<b>Marca 3</b>	1,5247± 0,0014		60,298± 0,725		0,02558± 0,00034		0,2503± 0,0076		0,331± 0,0586
<b>Marca 4</b>	1,978± 0,0199		45,490± 0,276		0,0512± 0,0009		0,2015± 0,00015		0,9563± 0,00015
<b>Marca 5</b>	1,360± 0,007		30,473± 0,0179		0,0316± 0,0011		0,252± 0,0017		0,4635± 0,0196
<b>Marca 6 (Paraguai)</b>	4,170± 0,1620		130,276± 0,144		0,0424± 0,00021		0,5848± 0,0141		1,350± 0,127

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

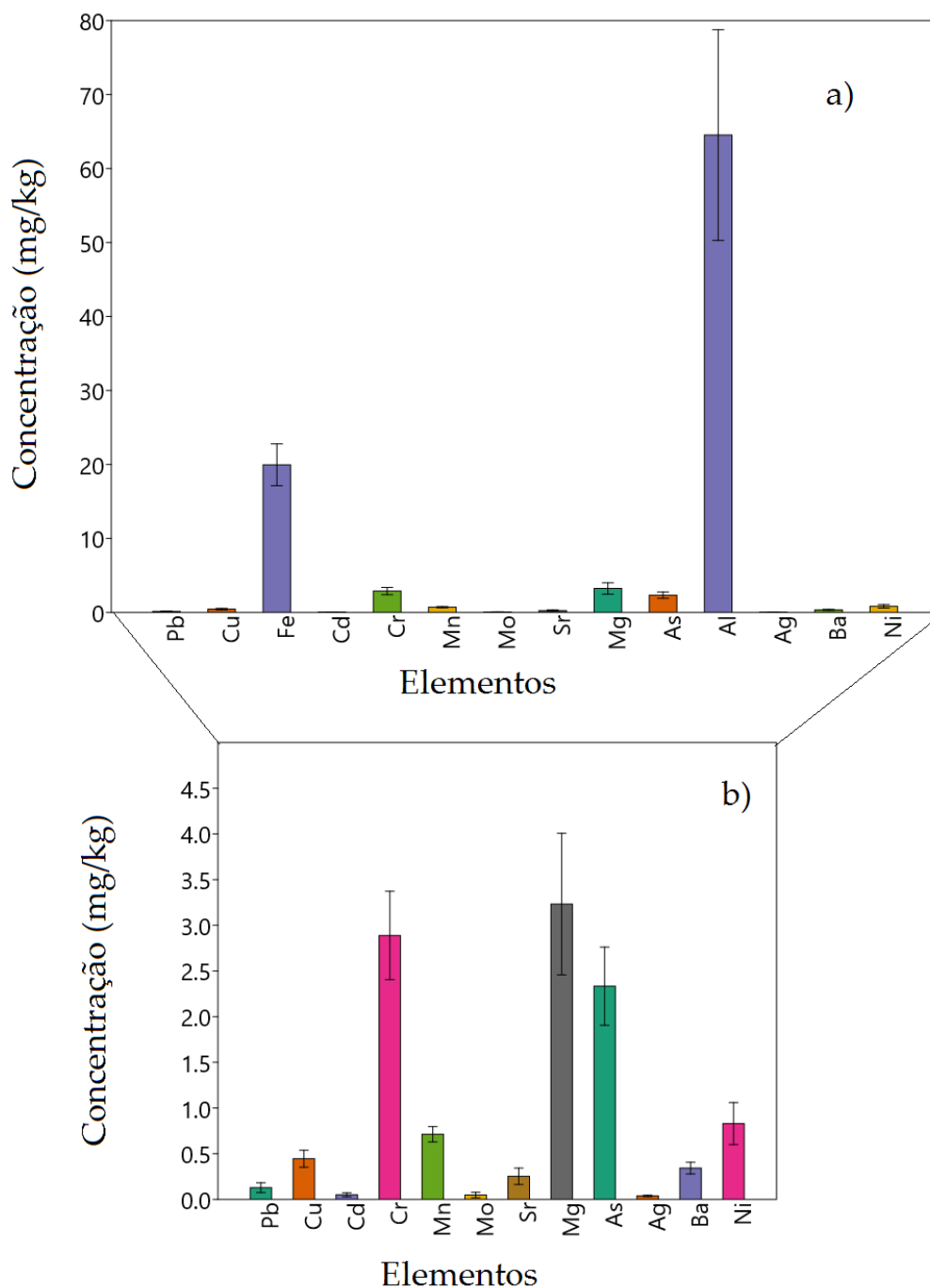


Figura 1. a) Concentração de elementos químicos (mg/kg) para todos os elementos, b) concentração de elementos químicos sem Al e Fe.

A análise de componente principal foi utilizada para averiguarmos em quais das marcas prevalecem a maior concentração de elementos. De acordo com a PC, a componente 1 (PC1) descreve os resultados com variância de 72.754% e a componente 2 (PC2) com 20.966% de variância. Conforme podemos observar na Figura 2, os elementos químicos possuem uma tendência para amostras M1, M2 e M6. Segundo a Tabela 4, maiores concentrações de Cr

foram obtidas para a amostra M1 (PC2), por outro lado, altas concentração de As foram quantificadas em amostras M2 e Ni e Mg em M6 (PC1).

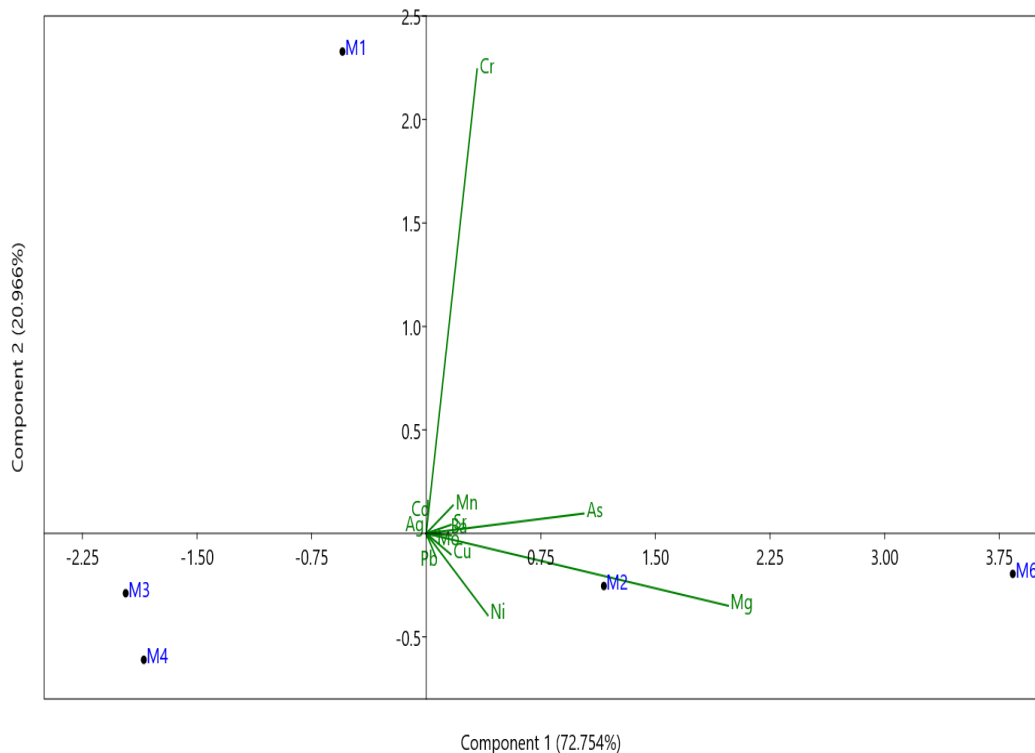


Figura 2. Análise de componente principal: Scatter plot (Gráfico de pontuação) das componentes PC1 versus PC2: Cr, Mg, As, Mn, Cu, Ba, Ni, Sr, Cd, Mo, As e P são variáveis utilizadas na PCA. Pontos referentes a figura esboçam as amostras de tintas estudadas.

#### 4.2 Avaliação de exposição e caracterização de risco

Para avaliar os níveis de exposição a metais pesados devido à utilização de corantes de cabelos (tintas capilares), foi utilizada a Eq.1, no qual a exposição da pele a metais pesados e a corantes capilares é dado por (ZHENG et al., 2010). Os resultados dessa avaliação estão apresentados na Tabela 5 abaixo.

Como citado anteriormente, o contato com esses metais em grandes quantidades pode ser extremamente prejudicial para a saúde dos seres humanos, podendo ocasionar desde reações alérgicas, doenças crônicas e até mesmo o câncer (ARSHAD et al., 2020). Portanto, a presença de metais pesados em excesso desses elementos nos produtos para cabelo pode contribuir para essas problemáticas.

Tabela 5. Exposição de dose média diária ( $D_{dermica}$ ) de metais pesados por via de dérmica para adultos (obtido através da Eq.1)

	Elementos								
	Pb	Cu	Fe	Cd	Cr	Mn	Mo	Sr	Mg
<b>Marca 1</b>	$2,95 \times 10^{-10}$	$9,49 \times 10^{-9}$	$3,94 \times 10^{-7}$	$7,51 \times 10^{-10}$	$1,36 \times 10^{-7}$	$2,07 \times 10^{-8}$	$4,56 \times 10^{-10}$	$5,60 \times 10^{-9}$	$6,66 \times 10^{-8}$
<b>Marca 2</b>	$7,85 \times 10^{-10}$	$1,55 \times 10^{-8}$	$6,86 \times 10^{-7}$	$4,15 \times 10^{-9}$	$7,72 \times 10^{-8}$	$1,92 \times 10^{-8}$	$1,06 \times 10^{-9}$	$1,06 \times 10^{-9}$	$1,10 \times 10^{-7}$
<b>Marca 3</b>	$4,39 \times 10^{-10}$	$8,42 \times 10^{-10}$	$3,13 \times 10^{-7}$	$5,47 \times 10^{-10}$	$6,07 \times 10^{-8}$	$1,75 \times 10^{-8}$	$2,60 \times 10^{-10}$	$5,84 \times 10^{-9}$	$4,33 \times 10^{-8}$
<b>Marca 4</b>	$6,51 \times 10^{-9}$	$1,33 \times 10^{-8}$	$5,52 \times 10^{-7}$	$5,84 \times 10^{-10}$	$5,43 \times 10^{-8}$	$1,62 \times 10^{-8}$	$1,07 \times 10^{-9}$	$4,13 \times 10^{-9}$	$3,74 \times 10^{-8}$
<b>Marca 5</b>	$4,104 \times 10^{-9}$	$1,47 \times 10^{-8}$	$4,55 \times 10^{-7}$	$7,24 \times 10^{-10}$	$5,04 \times 10^{-8}$	$1,22 \times 10^{-8}$	$5,90 \times 10^{-10}$	$5,84 \times 10^{-9}$	$8,74 \times 10^{-8}$
<b>Marca 6</b> <b>(Paraguai)</b>	$8,52 \times 10^{-9}$	$1,76 \times 10^{-8}$	$8,13 \times 10^{-7}$	$1,41 \times 10^{-9}$	$8,59 \times 10^{-8}$	$2,86 \times 10^{-8}$	$5,20 \times 10^{-9}$	$1,82 \times 10^{-8}$	$1,74 \times 10^{-7}$
	As	Al	Ag	Ba	Ni				
<b>Marca 1</b>	$1,66 \times 10^{-6}$	$1,36 \times 10^{-6}$	$4,21 \times 10^{-10}$	$9,09 \times 10^{-9}$	$7,16 \times 10^{-9}$				
<b>Marca 2</b>	$2,32 \times 10^{-6}$	$1,68 \times 10^{-3}$	$1,74 \times 10^{-9}$	$1,78 \times 10^{-8}$	$4,32 \times 10^{-8}$				
<b>Marca 3</b>	$1,22 \times 10^{-6}$	$1,61 \times 10^{-6}$	$6,84 \times 10^{-10}$	$6,71 \times 10^{-9}$	$8,87 \times 10^{-9}$				
<b>Marca 4</b>	$1,59 \times 10^{-6}$	$1,22 \times 10^{-6}$	$1,37 \times 10^{-9}$	$5,40 \times 10^{-9}$	$2,56 \times 10^{-8}$				
<b>Marca 5</b>	$1,09 \times 10^{-6}$	$8,17 \times 10^{-7}$	$8,47 \times 10^{-1}$	$6,75 \times 10^{-9}$	$1,24 \times 10^{-8}$				
<b>Marca 6</b> <b>(Paraguai)</b>	$3,35 \times 10^{-6}$	$3,49 \times 10^{-6}$	$1,13 \times 10^{-9}$	$1,56 \times 10^{-8}$	$3,62 \times 10^{-8}$				

Fonte: elaborado pelo autor, 2023.

A partir dos resultados citados, obtive-se dados secundários que estão sendo apresentados na Tabela 6 a seguir. Entretanto não existem valores de RfD para o elemento Mg, portanto os cálculos de HQ e HI não foram realizados. Vale a pena destacar que na Tabela 6, todos os valores de HQ são menores que 1, ou seja, significa que menores efeitos adversos ou não à saúde podem ocorrer. Tal afirmativa não garante que não ocorrerá qualquer efeito a saúde devido ao contato dérmico com metais pesados como Al, Fe, Cr, Mg, Mn, Cu, Ba, Ni, Sr, Cd, Mo, e principalmente As e Pb, que por sua vez são ambos cancerígenos.

Tabela 6. Quociente de risco (*HQ*) e índice de perigo (*HI*) de metais pesados por via dérmica para adultos

	<i>HQ Elementos</i>								
	<i>HQ Pb</i>	<i>HQ Cu</i>	<i>HQ Fe</i>	<i>HQ Cd</i>	<i>HQ Cr</i>	<i>HQ Mn</i>	<i>HQ Mo</i>	<i>HQ Sr</i>	<i>HQ Mg</i>
<b>Marca 1</b>	7,35x10 <sup>-9</sup>	2,37x10 <sup>-7</sup>	5,62x10 <sup>-7</sup>	6,0x10 <sup>-5</sup>	6,97x10 <sup>-7</sup>	2,15x10 <sup>-5</sup>	9,12x10 <sup>-8</sup>	4,66x10 <sup>-8</sup>	ND
<b>Marca 2</b>	1,96x10 <sup>-8</sup>	3,87x10 <sup>-7</sup>	9,80x10 <sup>-7</sup>	3,32x10 <sup>-4</sup>	3,95x10 <sup>-6</sup>	2,0x10 <sup>-5</sup>	2,12x10 <sup>-7</sup>	8,83x10 <sup>-9</sup>	ND
<b>Marca 3</b>	4,39x10 <sup>-10</sup>	2,10x10 <sup>-8</sup>	4,47x10 <sup>-7</sup>	4,37x10 <sup>-5</sup>	3,11x10 <sup>-6</sup>	1,82x10 <sup>-5</sup>	5,2x10 <sup>-8</sup>	4,86x10 <sup>-8</sup>	ND
<b>Marca 4</b>	1,09x10 <sup>-8</sup>	3,32x10 <sup>-7</sup>	7,88x10 <sup>-7</sup>	4,67x10 <sup>-5</sup>	2,78x10 <sup>-6</sup>	1,6x10 <sup>-5</sup>	2,14x10 <sup>-7</sup>	3,44x10 <sup>-8</sup>	ND
<b>Marca 5</b>	1,026x10 <sup>-7</sup>	3,67x10 <sup>-7</sup>	6,50x10 <sup>-7</sup>	5,79x10 <sup>-5</sup>	2,58x10 <sup>-6</sup>	1,2x10 <sup>-5</sup>	1,118x10 <sup>-7</sup>	4,86x10 <sup>-8</sup>	ND
<b>Marca 6</b> (Paraguai)	2,13x10 <sup>-7</sup>	4,40x10 <sup>-7</sup>	1,16x10 <sup>-6</sup>	1,12x10 <sup>-4</sup>	4,40x10 <sup>-6</sup>	2,97x10 <sup>-5</sup>	1,04x10 <sup>-6</sup>	1,51x10 <sup>-7</sup>	ND
	<i>HQ As</i>	<i>HQ Al</i>	<i>HQ Ag</i>	<i>HQ Ba</i>	<i>HQ Ni</i>	<i>HI</i>			
Marca 1	5,53x10 <sup>-3</sup>	1,36x10 <sup>-6</sup>	2,10x10 <sup>-5</sup>	6,49x10 <sup>-10</sup>	1,32x10 <sup>-6</sup>	5,636x10 <sup>-3</sup>			
Marca 2	7,33x10 <sup>-3</sup>	1,68x10 <sup>-3</sup>	8,7x10 <sup>-5</sup>	1,27x10 <sup>-9</sup>	8,0x10 <sup>-6</sup>	9,46x10 <sup>-3</sup>			
Marca 3	4,06x10 <sup>-3</sup>	1,61x10 <sup>-6</sup>	3,42x10 <sup>-5</sup>	4,79x10 <sup>-10</sup>	1,64x10 <sup>-6</sup>	4,16x10 <sup>-3</sup>			
Marca 4	5,30x10 <sup>-3</sup>	1,22x10 <sup>-6</sup>	6,85x10 <sup>-5</sup>	3,85x10 <sup>-10</sup>	4,74x10 <sup>-6</sup>	5,44x10 <sup>-3</sup>			
Marca 5	3,63x10 <sup>-3</sup>	8,17x10 <sup>-7</sup>	4,23x10 <sup>-5</sup>	4,82x10 <sup>-10</sup>	2,29x10 <sup>-6</sup>	3,74x10 <sup>-3</sup>			
Marca 6 (Paraguai)	0,011	3,49x10 <sup>-6</sup>	5,65x10 <sup>-5</sup>	1,11x10 <sup>-9</sup>	5,92x10 <sup>-6</sup>	3,84x10 <sup>-3</sup>			

Fonte: elaborado pelo autor, 2023.

Segundo a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA), que é uma agência federal do governo dos Estados Unidos da América, a concentração dos elementos químicos presentes em um meio poderá causar danos à saúde sob vários aspectos a serem considerados como o tempo a curto ou longo prazo de interação com um metal através da ingestão, inalação e principalmente dérmico, ou seja, ambos são fatores que devem ser considerados e relevantes para qualquer estimativa de risco.

Em relação aos cálculos realizados utilizando a Eq. 5 para o risco cancerígeno, temos a Tabela 7, no qual consta apenas o risco devido ao contato dérmico para o elemento As. Conforme resultados podemos observar que os valores de CR variaram no intervalo de  $10^{-6}$  a  $10^{-5}$ , portanto, o risco estimado é considerado como baixo.

Tabela 7. Risco carcinogênico devido ao contato dérmico considerando o elemento As.

	<i>D<sub>dermico</sub></i>	CR	Nível de risco:
<b>Marca 1</b>	$1,66 \times 10^{-6}$	$2,49 \times 10^{-6}$	nível baixo
<b>Marca 2</b>	$2,32 \times 10^{-6}$	$3,48 \times 10^{-6}$	nível baixo
<b>Marca 3</b>	$1,22 \times 10^{-6}$	$1,83 \times 10^{-6}$	nível baixo
<b>Marca 4</b>	$1,59 \times 10^{-6}$	$2,38 \times 10^{-6}$	nível baixo
<b>Marca 5</b>	$1,09 \times 10^{-6}$	$1,63 \times 10^{-6}$	nível baixo
<b>Marca 6</b>	$3,35 \times 10^{-6}$	$5,02 \times 10^{-6}$	nível baixo

Fonte: elaborado pelo autor, 2023.

Portanto, a partir da Tabela 6 foi estipulado o risco à saúde de adultos com idade de 40 anos devido ao uso das tinturas de cabelos. Embora tais valores de HQ e HI serem menor que 1, não significa que vários elementos não sejam ou causam danos à saúde humana. Dentre eles, destaca-se o chumbo (Pb), por ser um dos mais tóxicos para os seres humanos, (KOYASHIK et al., 2010), onde a exposição em grande quantidade, poderia ser caracterizada como envenenamento e ocasionar efeitos nocivos imediatos como cólicas, anemia e fadiga (GUIMARÃES et al., 2019). De fato, o Pb é extremamente tóxico para crianças, pois a excreção por via renal nesta faixa etária se dá de maneira menos eficaz, e a absorção do elemento no aparelho gastrointestinal é ainda maior (KOYASHIK et al., 2010). No período embrionário, há inclusive uma maior susceptibilidade cerebral aos efeitos lesivos do Pb em relação ao sistema nervoso central dos adultos (SCHNAAS et al., 2006). O acetato de chumbo e o fosfato de chumbo são provavelmente cancerígenos para humanos, o que está baseado na evidência de tumores renais e cerebrais em estudos com animais (GUIMARÃES et al., 2019).

As exposições primárias mais comuns ao elemento ocorrem através do contato dérmico, ingestão por via oral e inalação.

Outro elemento caracterizado como possível oncogênico é a prata (Ag), onde estudos comprovaram sua citotoxicidade, ou seja, a capacidade deste de ser absorvido pelas células animais, onde ocorre o acúmulo deste metal nos núcleos celulares. Além disso, resultados demonstraram uma variedade de alterações cromossômicas mediadas pela interação do material com as células utilizadas.

Já o Cádmiu, que geralmente tem a contaminação por via oral, através da alimentação, é mais conhecido por sua característica de ser um agente irritativo do sistema endócrino (AFRIDI et al., 2011). Sabe-se que a exposição ao Cd pode, como os outros elementos, contribuir para o desenvolvimento de câncer de mama e de próstata, bem como gerar danos sistêmicos que, em sua grande maioria, são irreversíveis, como disfunções renais, hepáticas, pressóricas e reprodutivas (RAHMAN; ISLAM, 2010; HAO et al., 2013). Além disso, foi comprovado que um dos efeitos da exposição contínua ao cádmio pode modificar a expressão gênica, inclusive de oncogenes, contribuindo para que ocorra erros durante o ciclo celular o que poderia implicar no desenvolvimento de certas doenças, como o surgimento de tumores (LUBOVAC-PILAV et al., 2013).

Em relação ao desenvolvimento tumoral, o elemento cobalto (Co), também foi relacionado com etiologia dessas anomalias celulares em pesquisas de modelo animal. Outro elemento que implica diretamente no funcionamento do metabolismo celular é o cobre (Cu), que atua positivamente como um componente fundamental do metabolismo enzimático utilizado para a síntese de hemoglobina, uma metaloproteína transportadora de oxigênio sistêmico, e quando está em falta pode prejudicar os sistemas osteoarticular, como a osteoporose, e vascular (FAILLA et al., 2001), gerando problemas como déficits de células do sangue (eritrócitos, neutrófilos) (ANGELOVA et al., 2011).

No entanto, o excesso de Cu intracelular pode propiciar comorbidades como a doença de Menes e de Wilson. Além disso, esse elemento se deposita nos mais diversos tipos de tecidos celulares e uma das manifestações clínicas mais famosas é por meio de anéis de Kayser-Fleischer, que se assemelham com anéis escuros (marrons ou verdes) na porção da íris. Quando ingerido em grandes quantidades, o cobre pode gerar danos renais mais imediatos e até ser fatal (U.S.D.H.S, 2004). Em 2002, Guecheva promoveu um estudo que avaliou o potencial de toxicidade e genotoxicidade deste metal por meio de biomonitoramento ambiental,

identificando uma possível contribuição deste metal para o processo de carcinogênese. O valor de  $C$  obtido no estudo de Santos e Pierre (2019) para o cobre foi de 0,04 mg/Kg, realizando o cálculo na Eq.1, obteve-se o resultado de  $D_{Cu} = 0,026 \times 10^{-6}$  mg/kgdia. Com este resultado (Eq.1) e o valor de RfD para o Cu, que é 0,04 mg/kgdia e Eq. 3, obtemos o quociente de risco HQ Cu =  $0,65 \times 10^{-6}$ .

O elemento zinco (Zn) também participa como cofator no metabolismo celular, contribuindo para atividades do ácido ribonucleico (RNA) e do ácido desoxirribonucleico (DNA) na expressão gênica de mais de 300 enzimas diferentes (SONG et al., 2010). No entanto, como outros elementos, em quantidades excessivas esse metal se torna tóxico (recomendado de 200 a 800 mg/dia), que pode causar vômitos e diarreia e quando crônico resulta na deficiência de cobre e prejuízos no sistema nervoso (ANJOS et al., 2021).

Outro metal encontrado nas amostras de tinta para cabelo foi o ferro (Fe). Mesmo tendo a ciência de que este metal é de extrema importância para os seres humanos, atua por exemplo no transporte de oxigênio no sangue, quando em excesso torna-se tóxico e pode propiciar o surgimento de inúmeros casos clínicos (GROTTO, 2010). O excesso desse elemento provoca a hemocromatose, sendo uma doença que se caracteriza pelo acúmulo de ferro na forma de ferritina (proteína que armazena o nutriente) em diversos órgãos e tecidos como: nos músculos, no fígado, no pâncreas, nas articulações e no coração (ANJOS et al., 2021). O manganês (Mn), mesmo não sendo um elemento muito tóxico, uma absorção em excesso desse metal também o torna capaz de gerar alguns problemas de saúde, como neurológicos e psiquiátricos (PERL; OLANOW, 2007).

Um tipo de metal que também não é considerado altamente tóxico é o alumínio (Al), contudo a exposição em grandes quantidades desse elemento pode gerar vários efeitos nocivos, como ulceração de lábios e boca, dermatites na pele, anemia microcítica, osteomalácia, intolerância à glicose devido à uremia e até mesmo uma parada cardíaca (INSTITUT DE VEILLE SANITAIRE, 2003).

A exposição crônica ao Al, por sua vez, pode apresentar encefalopatia (neurotoxicidade proveniente da degeneração neurofibrilar e morte neuronal por apoptose geradas pela presença do elemento no cérebro), distúrbios psicomotores, danos osteoarticulares, prejuízos ao sistema hematopoiético e há, ainda sem comprovação de fato, associações com o desenvolvimento da Doença de Alzheimer. Há estudos que indicam efeitos deletérios originados do consumo de alimentos e água contendo elevados teores de alumínio, com certa associação ao

desenvolvimento de doenças neurodegenerativas (BAKAR et al., 2010; ROSALINO et al., 2011).

O bário (Ba) é um elemento muito comum de ser encontrado no corpo humano, como por exemplo, na mucosa intestinal, na medula óssea, no pulmão, no baço e nos tecidos ósseos (BEATO et al., 2000). No entanto, de acordo com pesquisas realizadas por Klaassen, (2013), este elemento não é essencial aos humanos e sua via de exposição geralmente se dá pela ingestão de água e alimentos. Mesmo que em pequenas quantidades, se ingerido em curtos períodos de tempo pode provocar sintomas gastrointestinais como vômitos, cólicas, diarreias, desconforto respiratório, alteração dos níveis pressóricos, adormecimento da face (parestesia) e debilidade muscular (KLASSEN, 2013).

A exposição em excesso ao Ba, pode alterar o ritmo cardíaco e gerar parada cardiorrespiratória, levando a óbito se não houver prestação de socorro imediato. De acordo com Savazzi, et al., (2013), os compostos de bário podem causar a hipocalcemia, diminuindo a concentração sérica de potássio no sangue, podendo ocasionar taquicardia ventricular, descontrolado pressórico e miastenia (fraqueza muscular). Além desses efeitos tóxicos, a *Agency for Toxic Substances Disease Registry* (ATSDR) afirma que os efeitos à saúde associados à exposição a diferentes compostos de bário são dependentes de sua solubilidade, que pode ocorrer tanto na água quanto no estômago.

Em relação ao elemento químico Níquel (Ni), este não é comum de ser encontrado no meio ambiente. Em questões toxicológicas, esse metal vem sendo associado ao funcionamento de mecanismos oncogênicos, além de que, seu acúmulo pode ocasionar sintomas clínicos pulmonares que vão desde agudos, inflamatórios, quanto crônicos, enfisematosos (BARCELOUX, 1999; SALNIKOW; KASPRZAK, 2005; FORTI et al., 2011).

Portanto, diante das análises estatísticas realizadas com cada um dos elementos presentes nas tinturas de cabelo, identificou-se que dentre os elementos estudados, aquele que apresentou o maior risco à saúde (HQ) foi o Arsênio, com valor de HQ igual a  $9363,3 \times 10^{-6}$ , e aquele que apresentou o menor foi o Bário, com valor de HQ igual a  $0,62 \times 10^{-6}$ . Ainda que, numericamente, os valores sejam provavelmente insuficientes a ponto de causar problemas aos usuários destes tipos de produto, pelo menos de imediato, quanto maior for o tempo de uso, a área de absorção e o tempo de exposição, tais riscos podem aumentar.

Do mesmo modo, ao considerar todos os outros produtos industrializados que o ser humano faz uso rotineiramente e que podem, assim como as tintas de cabelo, conter componentes nocivos como o Arsênio e o Chumbo, o aumento do consumo voltado à estética

e, portanto, do contato entre estes produtos com a pele, as consequências do abuso dessas substâncias podem não estar tão distantes quanto se imagina.

Quando analisamos metais pesados, podemos realizar uma divisão simples entre aqueles tidos como essenciais e os não essenciais. O chumbo e o cádmio, por exemplo, estudados neste trabalho, pertencem à classe dos não essenciais e, por sua natureza químico-física, são nocivos aos organismos, independentemente da quantidade, ainda que esta não seja grande o suficiente para causar repercussões clínicas. O ferro e o cobre, por outro lado, são essenciais, e possuem funções específicas em nossos organismos. Vale lembrar que o ferro, cujo metabolismo foi estudado por muitos autores, apresenta funções vitais na construção dos glóbulos vermelhos sanguíneos e, portanto, estão intimamente ligados ao transporte de oxigênio sistêmico e, portanto, constitui uma função que, por si só, é imprescindível à vida humana.

Em relação ao contato com o metal Arsênio, de acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), a quantidade diária tolerável de As inorgânico, para um peso corporal de 68 kg, é 0,146 mg/dia (WHO, 2020). Níveis alterados de Arsênio na composição dessas tintas podem causar inúmeros danos à saúde, como problemas dérmicos, neurológicos, reprodutivos, gestacionais, cardiovasculares, diabetes mellitus, doenças dos sistemas respiratório, gastrointestinal e neoplasias.

O Departamento de Saúde e Serviços Humanos dos Estados Unidos (USDHS, 2013) trouxe uma associação deste elemento com diversas formas de câncer: de pele, pulmão, bexiga, rins e fígado, especialmente quando a ingestão se dá pela via oral, por meio do consumo de água contaminada. Além disso, a inalação deste metal por trabalhadores de minas e indústrias madeireiras (em que é usado para conservar certos tipos de produtos), seu potencial oncogênico se mostrou ainda maior para câncer de pulmão.

## CONCLUSÃO

Neste trabalho, foram quantificados Al, Fe, Cr, Mg, As, Mn, Cu, Ba, Ni, Sr, Cd, Mo, As e Pb em todas as 6 amostras de tintas de cabelos. Além disso, de acordo com a comparação entre resultados entre amostras, constatou-se que as maiores concentrações foram para Al e Fe.

O valor da concentração de elementos como Pb e As nas tintas de cabelo proveniente do Paraguai possui concentração maiores que aqueles brasileiras. Os valores de concentrações de elementos como Pb, Cd, Cr e Ni nas tintas de cabelos brasileiras são inferiores àqueles publicados em países como Iran e Nigéria. Por outro lado, os resultados para os elementos Cd e Pb estão acima daqueles obtidos em tintas de cabelos provenientes da Arábia Saudita.

Existe um risco cancerígeno devido ao contato dérmico quando exposto ao elemento As. Conforme resultados podemos observar que os valores de CR variaram no intervalo de  $10^{-6}$  a  $10^{-5}$ , portanto, o risco estimado é considerado como baixo.

Embora seja de fácil acesso os limites toleráveis por quilograma desses elementos nas amostras de tintas e estudos que tragam seus valores permitidos em produtos estéticos ou de uso tópico, como os esmaltes, cremes hidratantes e, é claro, as tinturas capilares, são escassos.

## REFERÊNCIAS

AFRIDI, H. I.; KAZI, T. G.; KAZI, N.; KANDHRO, G. A.; BAIG, J. A.; JAMALI, M. K., SHAH, A. Q. Interactions Between Cadmium and Zinc in the Biological Samples of Pakistani Smokers and Nonsmokers Cardiovascular Disease Patients. **Biol Trace Elem Res**, v. 139, p. 257-268, 2011. DOI:10.1007/s12011-009-8607-3

AGÊNCIA FOLHA. **Saiba mais sobre as mortes causadas pelo medicamento Celobar**. 2004.

AHMED, H. A. M.; GOHER, A.S.; ALZUBAIDI, A.A.A.M. Risk assessment of heavy metals content in different hair dyes and their users' urine samples. **International Journal of Environmental Analytical Chemistry**, 2019. DOI: 10.1080/03067319.2019.1677900

AMARTEY, E.O.; ASUMADU-SAKYI, A.B.; ADJEI, C.A.; QUASHIE, F.K.; DUODU, G.O.; BENTIL, N.O. Determination of heavy metals concentration in hair pomades on the

Ghanaian market using atomic absorption spectrometry technique. **Br. J. Pharmacol. Toxicol**, v. 2, p. 192–198. 2011.

ANDREA-ZANDER, M. et al. **Heavy Metal Poisoning Signs & Symptoms**. 2012.

ANGELOVA, M.; ASENOVA, S.; NEDKOVA, V.; KOLEVA-KOLAROVA, R. Copper in the Human Organism. **Trakia Journal of Sciences**, v. 9, n. 1, p. 88-98, 2011.

ANJOS, E. E. P.; ANJOS, E. P.; SPINOLA, A. D. X.; AZEVEDO, G. F. Avaliação dos aspectos gerais da hemocromatose doença genética causada por alterações no metabolismo do ferro. **Revista Multidisciplinar em Saúde**, v. 2, n. 1, 2021.

ARSHAD, H.; MEHMOOD, Z. M.; SHAH, M. H.; ABBASI, A. M. Evaluation of heavy metals in cosmetic products and their health risk assessment. **Saudi Pharmaceutical Journal**, v. 28, n. 7, p. 779-790, 2020.

BAKAR, C.; KARAMAN, H. I.; BABA, A.; SENGÜNALP, F. Effect of High Aluminum Concentration in Water Resources on Human Health, Case Study: Biga Peninsula, Northwest Part of Turkey. **Arch Environ Contam Toxicol**, v. 58, p. 935-944, 2010.

BARBOSA, K. C.; CONSOLIN, M. F. B. **Identificação de metais em cosméticos: uma revisão bibliográfica dos últimos sete anos**. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2022.

BARCELOUX, D. G. Nickel. **Clin. Toxicol**, v. 37, p. 239-258, 1999.

BARROS, T. M.; SANTOS, E. V. **Determinação de chumbo em amostras de corante usando um sensor composto de cortiça e grafite**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Bacharelado), Instituto de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2021.

BRAGA, E. R.; BRAGA, M. S.; BORYSOW, W.; GOMES, O. F.; SALCEDO, W. J. **Reconhecimento e classificação de metais pesados em água através da mudança de cor da molécula difeniltiocarbozona**. XIV Safety, Health and Environment World Congress, Cubatão, Brazil, 2014.

BUGS, L. C.; CUPERTINI, P. M.; WOLF, T. C.; TREINCHEL, H. Use of algae biomass as a biosorbent for the removal of heavy metals: a review. **Revista CIATEC**, v. 10, n. 1, p. 53-67, 2018.

CHASAPIS, C. T.; LOUTSIDOU, A.; SPILIOPOULOU, C. A.; STEFANIDOU, M. E. Zinc and Human Health: An Update. **Arch Toxicol**, v. 86, n. 4, p. 521-534, 2012. DOI: 10.1007/s00204-011-0775-1

COSTA, L. M.; OLIVEIRA, T. S.; CRUZ, C. D. Importância relativa dos metais pesados do solo na identificação e separação de materiais de origem. **Revista Ceres**, 1998.

CRUZ, J. V. B.; SANTOS, E. P.; SILVA, N. J.; LIMA, F. L. O.; MARTINELLI, P. P.; VASCONCELLOS NETO, J. R. T. Influence of heavy metals on cancer accommodation: A literature review. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 6, p. e45810615992, 2021.

DUFFUS, J. H. "Heavy metals" a meaningless term? (IUPAC Technical Report). **Pure and Applied Chemistry**, v. 74, n. 5, p. 793-807, 2002.

EUROPE UNION. **REGULATION (EC) no 1223/2009 of the European Parliament and of the Council on Cosmetic Products**. Official Journal of the European Union L 342/59. 2009.

FACHINELLI, V. P.; FERIS, L. A.; PACHECO, N. K. G. **Tratamento de efluentes provenientes de coloração capilar: uma revisão da literatura**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Química), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2021.

FAILLA, M. L.; JOHNSON, M. A.; PROHASKA, J. R. **Copper**. In: Present Knowledge in Nutrition. Washington D.C.: Life Sciences Institute Press. p. 373-383, 2001.

FAIZ, Y.; SIDDIQUE, N.; TUFAIL, M. Pollution level and health risk assessment of road dust from an expressway. **Journal of Environmental Science and Health**, v. 47, n. 6, p. 818-829, 2012.

FOLHA DE SÃO PAULO. **Saiba mais sobre as mortes causadas pelo medicamento Celobar**, 2004. Disponível em: <<https://www1.folha.uol.com.br/folha/cotidiano/ult95u89963.shtml>>.

FORTI, E.; SALOVAARA, S.; CETIN, Y.; BULGHERONI, A.; TESSADRI, R.; JENNINGS, P.; PRIETO, P. In Vitro Evaluation of the Toxicity Induced by Nickel Soluble and Particulate Forms in Human Airway Epithelial Cells. **Toxicology in Vitro**, v. 25, n. 2, p. 454-461, 2011. DOI:10.1016/j.tiv.2010.11.013.

FRIGO, F. Q.; RODELA, I. C.; PEREIRA, G. M.; OLIVEIRA, J. R. S. Cosméticos e Saúde: Avaliação quantitativa de metais tóxicos em produtos cosméticos por espectrometria de emissão ótica por plasma acoplado. **ULAKES Journal of Medicine**, v. 1, n. 2, 2021.

GUIMARÃES, R. M.; ROHLFS, D. B.; BAÊTA, K. F.; DOS SANTOS, R. D. Estabelecimento de agentes e atividades ocupacionais carcinogênicas prioritárias para a vigilância em saúde no Brasil. **Rev. bras. med. trab**, p. 254-259, 2019.

GROTTO, H. Z. W. Iron physiology and metabolism. **Revista Brasileira de Hematologia e Hemoterapia**, v. 32, 2010.

HAO, Y.; CHEN, L.; ZHANG, X.; ZHANG, D.; ZHANG, X.; YU, Y.; FU, J. Trace Elements in Fish from Taihu Lake, China: Levels, Associated Risks, And Trophic Transfer. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 90, p. 89-97, 2013. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2012.12.012.

HAWKES, S. J. What Is a "Heavy Metal"?. **Journal of Chemical Education**, v. 74, n. 11, p.1374, 1997.

INSTITUT DE VEILLE SANITAIRE. **Evaluation des risques sanitaires liés à l'exposition da la population française à l'aluminium. Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments**, 2003.

IWEGBUE, C. M. A. et al. Evaluation of human exposure to metals from some commonly used hair care products in Nigeria. **Toxicology reports**, v. 3, p. 796-803, 2016. DOI: 10.1016/j.toxrep.2016.10.001

JAISHANKAR, M.; TSETEN, T.; ANBALAGAN, N.; MATHEW, B. B.; BEEREGOWDA, K. N. Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. **Interdiscip. Toxicol**, v. 7, n. 2, p. 60–72, 2014.

JOÃO, J. J.; SILVA, C. S. Evaluation of toxic metal contamination and determination of Lagoa Imaruí water quality of the Lagunar complex. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 12, 2019.

KARABEGOVIĆ, I. **New Technologies, Development and Application**, Springer, 4th International Conference on “New Technologies and Applications (NT-2018),” held in Sarajevo, Bosnia and Herzegovina during June 28–30, 2018.

KHALILI, F.; MAHVI, A. H.; NASSERI, S.; et al. Health Risk Assessment of Dermal Exposure to Heavy Metals Content of Chemical Hair Dyes. **Iranian Journal of Public Health**, v. 48, n. 5, p. 902-911, 2019.

KING, J. C. Determinants of Maternal Zinc Status During Pregnancy. **Am J Clin Nutr**, v. 71, p. 1334-1343, 2000.

KLAASSEN, C. D. **Casarett and Doull's Toxicology: the basic science of poisons**. 8th ed. 2013.

KOYASHIKI, G. A. K.; PAOLIELLO, M. M. B.; TCHOUNWOU, P. B. Lead Levels in Human Milk and Children's Health Risk: A Systematic Review. **Reviews on Environmental Health**, v 25, n. 3, p. 243-254, 2010. DOI: 10.1515/REVEH.2010.25.3.243

LAVILLA, I.; CABALEIRO, N.; COSTAS, M.; DE LA CALLE, I.; BENDICHO, C. Ultrasound-assisted emulsification of cosmetic samples prior to elemental analysis by different atomic spectrometric techniques. **Talanta**, v. 80, p. 109–116, 2009.

LIANG, Z.; SHI, W.; ZHAO, Z.; SUN, T.; CUI, F. The retained templates as “helpers” for the spherical meso-silica in adsorption of heavy metals and impacts of solution chemistry. **Journal Of Colloid and Interface Science**, v. 496, p.382-390, 2017. DOI: 10.1016/j.jcis.2017.02.024

LIMA, V. F.; MERÇON, F. Metais pesados no ensino da química. **Química nova na escola**, v. 33, n. 4, 2011.

LUBOVAC-PILAV, Z.; BORRÀS, D. M.; PONCE, E.; LOUIE, M. C. Using expression profiling to understand the effects of chronic cadmium exposure on MCF-7 breast cancer cells. **PLoS One**, v. 8, n. 12, p. 84646, 2013. DOI: 10.1371/journal.pone.0084646

MALIK, L. A.; BASHIR, A.; QUREASHI, A.; PANDITH, A. H. Detection and removal of heavy metal ions: a review. **Environmental Chemistry Letters**, v.17, p. 1495-1521, 2019.

MESSNER, B.; KNOFLACH, M.; SEUBERT, A.; RITSCH, A.; PFALLER, K.; HENDERSON, B.; BERNHARD, D. Cadmium is a Novel and Independent Risk Factor for Early Atherosclerosis Mechanisms and in Vivo Relevance. **Arterioscler Thromb Vasc Biol**, p. 1392-1398, 2009. DOI:10.1161/ATVBAHA.109.190082.

- MIRANDA, C. C. S.; LIMA, H. R. S.; BRITO, A. O.; FEITOSA, A. T. O.; et al. A presença de metais pesados em cosméticos e malefícios atribuídos aos usuários. **Revista de Casos e Consultoria**, v. 12, n. 1, p. e24789, 2021.
- MOSCHEM, J. C.; GONÇALVES, P. R. Impacto Toxicológico de Metais Pesados: Uma Análise de Efeitos Bioquímicos e Celulares. **Health and Biosciences**, v. 1, n. 2, 2020.
- MOSTAFAILI, G.; KARAMALI, F.; ABOOSAEDI, Z.; ATOOF, F.; HESAMI, A. M.; MIRANZADEH, M. B. Determination of Heavy Metals in Hair Dye Sale in Iranian Market: Dermal Sensitivity and Carcinogenicity Assessment. **Biol Trace Elem Res**, v. 200, n. 3, p. 1464-1472, 2022.
- NETO, R. A. B. Intoxicação por Cádmio. **Medicina Net (Online)**, 2020.
- NNOROM, I. C.; IGWE, J. C.; EJIMONE, J. C. Multielement analyses of human scalp hair samples from three distant towns in southeastern Nigeria. **Afr. J. Biotech**, v. 4, n. 10, p. 1124–1127, 2005.
- OBREGÓN, P. L.; QUIÑONES, F. R. E.; SILVA, E. B.; JUNIOR, C. C. Elevadas concentrações de metais em águas do Córrego São José, Cascavel (PR), e possíveis riscos à saúde. **Saúde e Pesquisa**, v. 12, n. 1, 2019. DOI: 10.17765/2176-9206.2019v12n1p51-61
- PAYE, H. S.; MELLO, J. W. V.; ABRAHÃO, W. A. P.; FILHO, E. I. F.; et al. Valores de referência de qualidade para metais pesados em solos no Estado do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 6, 2010.
- PEHLIĆ, E.; NANIĆ, H.; JUKIĆ, H.; ALDŽIĆ, A. Determination of Heavy Metals in Hair Dyes by the Atomic Absorption Spectrophotometry. **LNNS**, v. 42, p. 561–567, 2019.
- PERL, D. P., OLANOW, C. W. The Neuropathology of Manganese-Induced Parkinsonism. **J. Neuropathol. Exp. Neurol**, v. 66, p. 675-682, 2007.
- PERUMAL, A. S.; THANGAMANI, A. AAS determination of heavy metals lead and chromium levels in human hair of people living in Katpadi and Yelagiri Hills of Vellore district. **Int. J. Res. Ayurveda Pharm**, v. 2, n. 5, p. 1568–1570, 2011.
- POON, W. T.; LING, S. C.; CHAN, A. Y.; MAK, T. W. Use of hair analysis in the diagnosis of heavy metal poisoning: report of three cases. **Hong Kong Med. J**, v. 10, n. 3, p. 197–200, 2004.

RAHMAN, M.; ISLAM, M. Adsorption of Cd (II) ions from Synthetic Waste Water Using Maple Sawdust. **Energy Sources**, v. 32, p. 222-231, 2010. DOI:10.1080/15567030802459297.

REGO, R. F.; MACHADO, L. O. R.; SILVA, G. A.; FALCÃO, I. R. Implantação de protocolo de vigilância e atenção à saúde de ex-trabalhadores e população exposta a chumbo, cádmio, cobre e zinco em Santo Amaro, Bahia. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, v. 44, p. e28, 2019.

RIBEIRO, E. V.; MAGALHÃES-JUNIOR, A. P.; HORN, A. H., TRINDADE, W. M. Metais pesados e qualidade da água do rio São Francisco no segmento entre Três marias e Pirapora - MG: índice de contaminação. **Genomos**, v. 20, n. 1, 2012.

RICCI, B. C.; AMARAL, M. C. S. **Avaliação do uso de processos de separação por membranas na remoção de metais, recuperação de ácido sulfúrico e na geração de água de reúso a partir de efluente de indústria de mineração de ouro.** Dissertação (Mestrado Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos), Universidade Federal de Minas Gerais, 2015.

ROSALINO, M. R. R.; ALMEIDA, M. G. **Potenciais efeitos da presença de alumínio na água de consumo humano.** Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente), Faculdade de Ciências e Tecnologias, 2011.

SÁ, A. S.; OLIVEIRA, A. L. P.; COLLETO, P. B. C.; XIMENES, H. C. C.; MALTA, A. P. C. B.; QUEIROZ, A. T. A. et al. Peso mortal: a toxicologia dos metais pesados. **Mostra de Inovação e Tecnologia São Lucas**, v. 3, n. 1, 2022.

SALNIKOW, K.; KASPRZAK, K. S. Ascorbate Depletion: A Critical Step in Nickel Carcinogenesis?. **Environmental Health Perspectives**, v. 113, n. 5, p. 577–584, 2005. DOI:10.1289/ehp.7605.

SANTOS, C. C. C. A.; PIERRE, T.D.S. **Estudo de preparo de amostra de tintas para cabelo para análise multielementar por icp-ms.** Departamento de química, 2019.

SAVAZZI, E. A. **Sugestão de valores de referência de qualidade para os elementos químicos cobalto, estanho, fósforo, lítio, molibdênio, níquel, prata, tálio, titânio e vanádio em amostras de água subterrânea coletadas nos Aquíferos Bauru e Guarani.** Tese (Doutorado em Toxicologia), Faculdade de Ciências Farmacêuticas de Ribeirão Preto,

Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2013. DOI:10.11606/T.60.2013.tde-13122013-105325.

SCHNAAS, L.; ROTHENBERG, S. J.; FLORES, M.; MARTINEZ, S.; HERNANDEZ, C.; OSORIO, E.; PERRONI, E. Reduced Intellectual Development in Children with Prenatal Lead Exposure. **Environmental Health Perspectives**, v. 114, n. 5, p. 791-797, 2006. DOI:10.1289/ehp

SHOMAR, B.; RASHKEEV, S. N. A comprehensive risk assessment of toxic elements in international brands of face foundation powders. **Environmental Research**, v. 192, 2021. DOI: 10.1016/j.envres.2020.110274

SONG, Y.; ELIAS, V.; LOBAN, A.; SCRIMGEOUR, A. G.; HO, E. Marginal Zinc Deficiency Increases Oxidative DNA Damage in the Prostate After Chronic Exercise. **Free Radical Biology and Medicine**, v. 48, p. 82-88, 2010. DOI :10.1016/j.freeradbiomed.2009.10.030

TAVARES, G. A.; FERREIRA, J. R.; OLIVEIRA, C. R. Histórico da presença de metais pesados (Hg, Cu, Mn, Cr e Ni) na lagoa rio das pedras, bacia do rio Mojiguaçu -SP, Brasil. **HOLOS Enviroment**, v. 3, n. 2, p. 74-84, 2003.

TEIXEIRA, D. C. L.; MOREIRA, I. F. G.; COELHO, M. A.; AMARAL, Y. F. Q.; CUPERTINO, M. C. Exposure to inorganic environmental contaminants and damage to human health. **Brazilian Journal Of Development**, v. 3, n. 4, 2020.

ULLAH, H.; NOREEN, S.; FOZIA, R. A.; WASEEM, A.; ZUBAIR, S.; ADNAN, M.; AHMAD I. Comparative study of heavy metals content in cosmetic products of different countries marketed in Khyber Pakhtunkhwa, Paskistan. **Arab. J. Chem.** 2013

United States Environmental Protection Agency (USEPA). **Guidelines for human exposure assessment. (EPA/100/B-19/001)**. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. Risk Assessment Forum, U.S. EPA, 2020.

United States Environmental Protection Agency (USEPA). **The Screening Level (RSL) – Generic Tables of November 2022**. 2022.

WEI, Z. L.; RUI, Y. K.; SHEN, L. Effects of hair dyeing on the heavy metals content in hair. **Guang Pu Xue Yu Guang Pu Fen Xi**, v. 28, n. 9, p. 2187-2188, 2008.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Health risks of heavy metals from long-range transboundary air pollution, Germany, 2020. Disponível em:

<<http://www.euro.who.int/pubrequest>>.

YASHIM, Z. I.; DALLATU, Y. A.; BOLARIN-AKINWADE, O. O.; OBEBE, E. O.

Valuation of heavy metals level in hair dyes and their potential health risk. **Nigerian Research Journal of Chemical Sciences**, v. 8, n. 2, 2020.

ZHENG, N.; LIU, J.; WANG, Q.; et al. Health risk assessment of heavy metal exposure to street dust in the zinc smelting district, Northeast of China. **Sci Total Environ**, v. 408, n. 4, p. 726–733, 2010.

ZHUSHAN, F. U.; SHUHUA, X. I. The effects of heavy metals on human metabolism.

**Toxicology Mechanisms and Methods**, v. 30, n. 3, p. 167-176, 2019.