

Série
Cadernos de Referência
Ambiental
v. 5

Ecotoxicologia do cromo e seus compostos

Carlos Sérgio da Silva

Doutor

Maria de Fátima M. Pedrozo

Doutor



Salvador
2001

Série Cadernos de Referência Ambiental, v. 5

Ecotoxicologia do cromo e seus compostos

Copyright © 2001 Centro de Recursos Ambientais - CRA

Todos os direitos reservados e protegidos pela Lei 5988 de 14/12/73.
Nenhuma parte deste livro poderá ser reproduzida ou transmitida sem autorização prévia por escrito da Editora, sejam quais forem os meios empregados: eletrônicos, mecânicos, fotográficos, gravações ou quaisquer outros.

GOVERNO DO ESTADO DA BAHIA

CÉSAR BORGES

SECRETARIA DO PLANEJAMENTO,

CIÊNCIA E TECNOLOGIA

LUIZ CARREIRA

CENTRO DE RECURSOS AMBIENTAIS - CRA

FAUSTO AZEVEDO



Catálogo na Fonte do Departamento Nacional do Livro

N194e

Silva, Carlos Sérgio da.

Ecotoxicologia do cromo e seus compostos /
Carlos Sérgio da Silva, Maria de Fátima M. Pedrozo. -
Salvador : CRA, 2001.

100 p. ; 15 x 21cm. - (Cadernos de referência
ambiental ; v. 5)

ISBN 85-88595-03-6

1. Cromo - Aspectos ambientais. 2. Cromo -
Toxicologia. I. Pedrozo, Maria de Fátima Menezes. II.
Centro de Recursos Ambientais (BA) III. Título. IV.
Série.

CDD - 363.738

CENTRO DE RECURSOS AMBIENTAIS - CRA

Rua São Francisco, 1 - Monte Serrat

42425-060 – Salvador - BA - Brasil

Tel.: (0**71) 310-1400 - Fax: (0**71) 314-1414

cra@cra.ba.gov.br / www.cra.ba.gov.br

Os metais apresentam uma longa e remota intimidade com a história da humanidade. Não fossem eles, seja por uma beleza encantadora, seja por características imediatamente úteis em cada momento próprio, e, por óbvio, não teríamos chegado até aqui, pelo menos na forma como hoje nos conhecemos.

Presentes nas ferramentas que permitiram grandes saltos evolutivos, presentes em processos de magia, nas artes também, e depois nas ciências, eles são, indubitavelmente, parceiros na grande escalada humana.

Mas apesar de tanta e tão extensa convivência, nem todos os registros são positivos. Isto é, muitos dos metais, ao lado de seus indiscutíveis benefícios, também se mostram associados a um legado de injúrias e dores, no plano coletivo e no individual. A bem da verdade, esses fatos negativos não derivaram de malignidades inerentes aos metais, porém de usos inadequados que, por várias vezes, deles foram feitos.

A pergunta que então se explicita é se podem eles, além de suas vantagens, muitas já bem conhecidas e dominadas, trazer embutidas quantidades de perigo e de ameaça. A resposta é sim. A pergunta subsequente automática fica sendo: e como tirar cada proveito de seu uso impedindo simultaneamente qualquer possibilidade ameaçadora?

Aí a resposta é uma só: conhecimento, o qual precisa ser permanentemente buscado e atualizado.

Eis o propósito desses sete volumes que inauguram a série *Cadernos de Referência Ambiental*, publicação do Núcleo de Estudos Avançados do Meio Ambiente (NEAMA), do CRA, cobrindo mercúrio, cobre, chumbo, ferro, cromo, cádmio e manganês.

Construir e estimular inteligência de gestão ambiental é o propósito do NEAMA. Tal missão se coaduna com o que acabamos de antes escrever. Destarte, poderíamos resumir assim: essa é uma modesta

contribuição para melhor virmos a entender, no ambiente local, a ecocinética e a ecodinâmica de alguns metais de nosso interesse imediato. Esses textos, ora entregues à comunidade, todos de alta qualidade científica, fazem parte de um grande esforço para planejar as ações de gerenciamento de suas presenças em nossos compartimentos ambientais. Às revisões monográficas devem-se seguir medidas concretas de determinação e vigilância ambientais e de inventário do uso corrente.

É motivo de múltiplo júbilo poder redigir esta singela nota. Primeiro, por um dia haver tido a pretensão de ser um profissional dessa especialidade: ecotoxicólogo. Segundo, por estar vivendo a honrosa oportunidade de liderar o CRA, quando a instituição lança ousados projetos de aprimoramento da gestão ambiental, inclusive no que concerne à produção, sistematização e circulação de informações técnico-científicas.

E, em terceiro lugar, por apresentar aos leitores um conjunto de textos produzidos por oito especialistas, de respeitáveis currículos em toxicologia e comprovadas experiências profissionais, e que nos têm distinguido com suas amizades.

Poucas vezes na história dos órgãos ambientais do país houve a feliz reunião dos fatores que levaram a este importante produto agora lançado pelo CRA. Que seu valor e sua utilidade atinjam a todos quanto estão empenhados em construir e garantir um ambiente melhor.

Centro de Recursos Ambientais

Fausto Azevedo

Diretor Geral



O Centro de Recursos Ambientais - CRA, ao criar o Núcleo de Estudos Avançados do Meio Ambiente - NEAMA, dá um passo significativo na busca da excelência técnico-científica sobre as questões ambientais e do desenvolvimento sustentável no Estado da Bahia.

As monografias sobre a ecotoxicologia dos metais Cádmio, Chumbo, Cobre, Cromo, Ferro, Manganês e Mercúrio marcam o início da publicação, pelo NEAMA, da Série Cadernos de Referência Ambiental, que divulgará o conhecimento técnico-científico de interesse das universidades, institutos de pesquisas, empresas, organizações governamentais e não governamentais como subsídio às ações e programas governamentais e privados e da sociedade, cujo desenvolvimento interfere na conservação e na qualidade ambientais.

Esta publicação fornece uma base sólida sobre a identificação de cada metal e seus compostos; as propriedades físico-químicas; a ocorrência, o uso e as fontes de exposição; o transporte, a distribuição e a transformação no meio ambiente; os padrões de contaminação ambiental e da exposição humana; as formas tóxicas e os efeitos à saúde; a avaliação dos riscos à saúde humana e ao meio ambiente.

Ao disponibilizar as investigações desenvolvidas por especialistas das diversas áreas do conhecimento, cumpre o NEAMA o seu papel de promover e apoiar o desenvolvimento de pesquisas em ciências ambientais, proporcionando a qualificação do capital humano e institucional em práticas aplicadas à gestão dos recursos naturais, inserindo a temática ambiental no âmbito da sociedade.

Centro de Recursos Ambientais

Teresa Lúcia Muricy de Abreu

Diretora de Recursos Ambientais

Série Cadernos de Referência Ambiental

v. 1 - Ecotoxicologia do mercúrio e seus compostos

v. 2 - Ecotoxicologia do cobre e seus compostos

v. 3 - Ecotoxicologia do chumbo e seus compostos

v. 4 - Ecotoxicologia do ferro e seus compostos

SOBRE OS AUTORES

Carlos Sérgio da Silva

Licenciado em Química pela Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo (USP). Bacharel em Química pelo Instituto de Química (IQ/USP). Mestre em Química Analítica (IQ/USP). Doutor em Ciências, área de Química Analítica (IQ/USP). Pesquisador da Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho (Fundacentro). Coordenador dos Projetos “Cromo”, “Segurança e Higiene em Galvânicas”, “Laboratório de Inorgânica” (Fundacentro). Coordenador do Comitê de Pós-Graduação e Chefe da Divisão de Riscos Químicos da Coordenação de Higiene do Trabalho (Fundacentro).

Maria de Fátima Menezes Pedrozo

Farmacêutica-bioquímica pela Faculdade de Ciências Farmacêuticas (FCF) da Universidade de São Paulo (USP). Mestre em Análises Toxicológicas (FCF/USP). Doutor em Toxicologia, área de Saúde Ambiental, pela Faculdade de Saúde Pública (USP). Realizou período de estudos na *Cattedra di Medicina del Lavoro dell'Università degli Studi di Brescia*, Itália. Perito Criminal Toxicologista no Núcleo de Toxicologia Forense do Instituto Médico Legal do Estado de São Paulo. Professor Adjunto, responsável pelas disciplinas Toxicologia Industrial e Análises Toxicológicas no Curso de Farmácia e Bioquímica da Universidade Paulista. Professor Adjunto, responsável pela disciplina de Toxicologia Geral e Análises Toxicológicas da Faculdade de Farmácia e Bioquímica da Universidade de Guarulhos (UNG). Docente responsável pela disciplina de Toxicologia Ocupacional e Forense do Curso de Especialização em Análises Clínicas e Toxicológicas (UNG).

PRODUÇÃO DE MONOGRAFIA

InterTox

www.intertox.com.br

intertox@uol.com.br

COORDENAÇÃO TÉCNICA

Alice A. M. Chasin

COORDENAÇÃO ADMINISTRATIVA

Moysés Chasin

TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO

Marcus E. M. da Matta

PRODUÇÃO EDITORIAL



alquimed@svn.com.br

COORDENAÇÃO EDITORIAL

E PROJETO GRÁFICO

Ricardo Baroud

REVISÃO DE TEXTOS

Ana Maria S. F. Teles

PRODUÇÃO ARTÍSTICA

lynunesmaia@bol.com.br

CONCEPÇÃO, COORDENAÇÃO

E CAPA

Magaly Nunesmaia

CAPA E ILUSTRAÇÕES

Antonello L'Abbate

PRODUÇÃO GRÁFICA



COORDENAÇÃO E IMPRESSÃO GRÁFICA

Jeffrey Bittencourt Ordine

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA

Patrícia Chastinet

Índice

1 Identificação do metal e seus compostos.....	13
1.1 Sinônimos e nomes comerciais.....	14
1.2 Identificadores.....	14
1.3 Aspecto e forma.....	14
2 Propriedades físico-químicas.....	17
3 Ocorrência, uso e fontes de exposição.....	21
3.1 Ciclo e ocorrência na natureza.....	22
3.2 Produção, importação, exportação e consumo interno	23
3.3 Uso industrial.....	24
3.4 Fontes de contaminação ambiental.....	27
3.4.1 Naturais.....	27
3.4.2 Antropogênicas.....	27
3.5 Contaminação ambiental.....	28
3.5.1 Ar.....	28
3.5.2 Água.....	30
3.5.3 Solo.....	33
3.5.4 Efluentes e lodo de esgoto.....	34
4 Transporte, distribuição e transformação no meio ambiente.....	37
4.1 Transporte ambiental e distribuição.....	38
4.1.1 Ar.....	40
4.1.2 Água.....	40
4.1.3 Sedimento e solo.....	42

4.2 Bioacumulação.....	43
4.2.1 Microrganismos.....	43
4.2.2 Plantas e animais aquáticos.....	43
4.2.3 Plantas e animais terrestres.....	47
4.3 Riscos ao meio ambiente e acidentes relatados.....	48
5 Padrões de contaminação ambiental e de exposição humana.....	51
5.1 Exposição ambiental.....	52
5.1.1 Ar.....	52
5.1.2 Água e sedimento.....	53
5.1.3 Solo.....	55
5.2 Exposição da população em geral.....	55
5.2.1 Ar.....	55
5.2.2 Alimentos e bebidas.....	56
5.2.3 Água para consumo.....	58
5.2.4 Outras exposições.....	58
5.3 Exposição ocupacional.....	58
5.3.1 Ambiente de trabalho.....	58
5.3.2 Limites de exposição ocupacional.....	59
5.4 Ingresso corpóreo humano total.....	60
6 Formas tóxicas e efeitos à saúde.....	65
6.1. Carcinogenicidade.....	67
6.2. Outros danos à saúde.....	69
7 Toxicocinética.....	73
8 Toxicodinâmica.....	77
9 Avaliação dos riscos à saúde humana e ao meio ambiente.....	81
10 Metodologia analítica.....	83
11 Gestão de resíduos.....	85
12 Conclusões e recomendações.....	89
Referências bibliográficas.....	91

Lista de Tabelas

TABELA 1 – Identificadores e propriedades físico-químicas do cromo e seus compostos.....	19
TABELA 2 – Reserva e produção mundial de cromo.....	23
TABELA 3 – Uso industrial e características do cromo e seus derivados.....	26
TABELA 4 – Emissões estimadas de cromo para a atmosfera americana a partir de diferentes fontes antropogênicas.....	29
TABELA 5 – Emissão mundial de cromo para a atmosfera, em toneladas, proveniente de variadas fontes.....	30
TABELA 6 – Quantidade mundial de cromo lançada nos ecossistemas aquáticos, proveniente de variadas fontes.....	32
TABELA 7 – Efeitos da fixação do cromo na perda por lixiviação dos elementos do preservante cromoarseniato de cobre, em pinho vermelho, após simulação de duas horas de chuva (precipitação).....	34
TABELA 8 – Quantidades de cromo em solos do mundo inteiro, procedentes de várias fontes e estimadas para o ano de 1998.....	35
TABELA 9 – Dados sobre acidentes com compostos de cromo	49

TABELA 10 – Níveis de concentração de cromo em ambiente aberto e ambiente interno.....	52
TABELA 11 – Concentrações de cromo no estreito de Jurujuba	54
TABELA 12 – Concentração média de cromo (ppm) encontrada em depósitos de lixo localizados junto à bacia do rio Piracicaba.....	56
TABELA 13 – Concentrações de cromo em alguns alimentos e bebidas.....	57
TABELA 14 – Exposição ocupacional ao cromo em diferentes indústrias.....	60
TABELA 15 – Comparação dos limites de tolerância de exposição ao cromo e seus compostos e a correspondente categoria carcinogênica em alguns países (ACGIH, 2000).....	61
TABELA 16 – Concentração de cromo em pessoas não-expostas ocupacionalmente.....	62
TABELA 17 – Ingestão diária recomendada (IDR) para cromo (em µg/g).....	63
TABELA 18 – Principais métodos adotados para a análise de cromo em diferentes matrizes.....	84

*Cromo, nome originado do grego *khroma* – cor – por causa do seu forte poder de coloração. A esmeralda, o rubi, a safira, o jade e outras pedras devem suas cores à presença do cromo em sua composição*



gravação em metal

Esboço da estrutura cristalina

1

Identificação do metal e seus compostos

1.1 Sinônimos e nomes comerciais

- **Cr** - cromo; *chromium*; *chrome* (francês); *chrom* (alemão)
- **CrO₃** - trióxido de cromo; ácido crômico; anidrido crômico; trióxido de cromo VI; óxido de cromo (VI); *anidrido cromica* (italiano); *triossido di cromo* (italiano); *chromsaeeureanhydrid* (alemão); *chromtrioxid* (alemão)
- **Cr₂O₃** - óxido crômico; óxido de cromo (III); óxido de cromo verde; *anhydride chromique* (francês); cromo verde; ácido crômico verde; pigmento de óxido de cromo; sesquióxido de cromo
- **Na₂CrO₄** - cromato de sódio; cromato de sódio neutro; cromato dissódio

1.2 Identificadores

- Nome Químico: cromo
- Fórmula Molecular: Cr
- Massa Molecular: 51,996
- N° CAS: 7440-47-3
- N° RTECS: NIOSH/GB4200000
- N° ONU (UN/NA): não fixado
- HSDB: 910
- N° de Resíduo Perigoso na EPA: D007

1.3 Aspecto e forma

O cromo é um metal cinza aço, com forma cristalina cúbica, sem odor e muito resistente à corrosão. O cromo é o sétimo mais abundante metal na Terra como um todo. O metal não é encontrado livre na natureza.

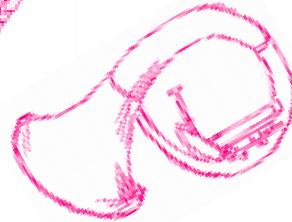
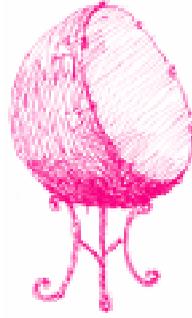
Os estados de oxidação mais comuns do cromo são: +2, +3, +6. São mais estáveis as formas tri e hexavalente, além da forma elementar,

aparecendo na composição de óxidos, sulfatos, cromatos, dicromatos, sais básicos e na forma elementar recobrimdo peças metálicas e plásticas nos processos de tratamento de superfície, etc.

O trióxido de cromo (VI) ou ácido crômico, é um composto cristalino, em flocos ou em pó, de cor vermelha escura, sem odor. O cromato de sódio é um sólido amarelo, sem cheiro. O óxido de cromo (III) aparece na forma de cristais hexagonais, de verde claro a verde escuro (HSDB, 2000; STERN, 1982).



Em virtude de sua inoxidabilidade e dureza é largamente utilizado para recobrir superfícies de metais oxidáveis, pela cromação eletrolítica



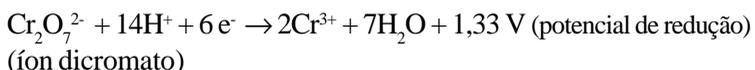
2

Propriedades físico-químicas

O cromo é uma mistura de quatro isótopos estáveis com números de massa iguais a 50 (4,31%), 52 (83,76%), 53 (9,55%) e 54 (2,38%). Cinco radioisótopos são conhecidos, mas dois outros também foram indicados (números de massa 46 e 47).

O cromo ocorre nos estados de oxidação -2 a +6, porém somente o Cr⁰, Cr (II), Cr (III) e Cr (VI) são os mais comuns. A forma bivalente é facilmente oxidada à forma trivalente pelo ar. Com relação à toxicidade para o homem somente as formas tri e hexavalente são importantes (WHO, 1988).

A relação entre os estados hexavalente e trivalente do cromo é descrita pela equação:



A diferença de potencial elétrico entre os dois estados reflete a propriedade oxidante do cromo hexavalente e a substancial energia necessária para oxidar a forma trivalente à hexavalente. Esta oxidação nunca ocorre em sistemas biológicos. A redução do Cr (VI) no organismo ocorre espontaneamente, a não ser que a espécie se encontre na forma insolúvel, como ilustra a TABELA 1. O cromato de chumbo usado como pigmento é um dos compostos insolúveis do cromo hexavalente (WHO, 1988; HSDB, 2000; ATSDR, 2000).

O número de complexos e quelatos de cromo é elevado, variando da forma hexavalente, ou complexos tetra-aquosos, para aquelas com ácidos orgânicos, vitaminas e aminoácidos. A velocidade de ligação dos complexos de cromo é lenta em relação a outros elementos de transição, sendo a maioria dos complexos de cromo (III) cineticamente estáveis em solução.

As principais propriedades físico-químicas do cromo e seus compostos estão relacionadas na TABELA 1.

TABELA 1 – Identificadores e propriedades físico-químicas do cromo e seus compostos

Propriedades físico-químicas	Cromo metálico	Ácido crômico	Cromato de sódio	Óxido de cromo III
Nº CAS	7440-47-3	1333-82-0	7775-11-3	1308-38-9
Nº ONU	Não fixado	1463		
Nº RTECS	GB4200000	GB6650000	GB2955000	GB6475000
Nº EU	231-157-5	215-607-8		215-160-9
EINECS/ELINCS				
Família Química	Cromo elemento	Óxido metálico	Sal de cromato	Compostos de cromo (III) e óxido
Fórmula molecular	Cr	CrO ₃	Na ₂ CrO ₄	Cr ₂ O ₃
Massa molecular	51,996	100,0	161,97	151,99
Fator de conversão	Não aplicável	1 ppm = 4,08 mg/m ³ ; 1 mg/m ³ = 0,245 ppm a 25°C	Nenhum dado	1 ppm = 6,20 mg/m ³ 1,0 mg/m ³ = 0,161 ppm a 25°C
Ponto de fusão (°C)	1.900	197	Não avaliado	2.435
Ponto de ebulição (°C)	2.672	250	792	3.000
Densidade relativa (20°C) (H ₂ O=1)	7,2	2,70 a 20°C	Não avaliada	5,22 a 25°C
Solubilidade em H ₂ O	Insolúvel	63 g/100 mL de água	Parcialmente solúvel	Insolúvel
Solubilidade em outros líquidos	Solúvel em ácido nítrico conc.	Solúvel em etanol, éter etílico, ácidos sulfúrico e nítrico	Parcialmente solúvel em metanol	Solúvel em ácidos e bases concentradas; insolúvel em etanol e outros álcoois e em acetona
Densidade do vapor	Não aplicável	Não avaliada	Não avaliada	Não aplicável
Pressão de vapor	Praticamente zero à temperatura ambiente	Muito baixa	Não avaliada	Não aplicável

FONTE – CHEMINFO, 1998

O cromo é um dos principais constituintes na fabricação do aço inoxidável



Na arte da fotografia está presente em equipamentos e processos

3

Ocorrência, uso e fontes de exposição

3.1 Ciclo e ocorrência na natureza

O cromo foi descoberto na Rússia em 1765 por P. S. Pallas, mas o elemento somente foi isolado em 1797 pelo químico francês Louis-Nicholas Vauquelin (ARFSTEN et al., 1998) que preparou o metal a partir do tratamento de crocoita ($PbCrO_4$) com ácido clorídrico diluído. O óxido crômico (CrO_3), resíduo da reação, quando aquecido em presença de carvão (agente redutor) produziu o metal Cr. O nome cromo ou cromio advém da palavra grega “chroma”, que significa “cor”, já que diferentes compostos de cromo são coloridos. Um ou dois anos após a descoberta de Vauquelin, o químico alemão Tassaert, trabalhando em Paris, encontrou o cromo em um novo minério chamado cromita $Fe (CrO_2)_2$ [WEBELEMENTSTM].

Em 1820, o dicromato de potássio já era usado como pigmento na indústria têxtil e, desde 1879, o minério cromita era rotineiramente utilizado na fabricação de refratários de altas temperaturas (ARFSTEN et al., 1998).

O minério cromita, é o mais abundante composto de cromo encontrado na natureza, de fórmula $FeO.Cr_2O_3$ ou $Fe (CrO_2)_2$, contendo de 40 a 50% de cromo (HSDB, 2000).

O cromo é encontrado naturalmente em rochas, animais, plantas, solo, poeiras e névoas vulcânicas (ATSDR, 2000; WHO, 1988). A concentração de cromo em rochas varia de 2 a 90 ppm em rochas graníticas, 1.000 a 3.400 ppm em rochas ultramáficas, 30 a 590 ppm em xisto e argila (HSDB, 2000).

No ar atmosférico, as concentrações de cromo encontradas são menores que $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, e em água não contaminada os valores estão na faixa de fração de $1,0 \mu\text{g}$ a poucas $\mu\text{g}/\text{litro}$. Na água do mar as concentrações encontradas estão numa faixa entre 1 e $10 \mu\text{g}/\text{kg}$, sendo que o nível permitido em água potável é de $50 \mu\text{g}/\text{kg}$. Na maioria dos solos, o cromo é encontrado em baixas concentrações ($2\text{-}60 \text{ mg}/\text{kg}$) e somente uma fração desse cromo está disponível para as plantas (WHO, 1988). Quase todo o cromo hexavalente existente no meio ambiente é proveniente das atividades humanas.

3.2 Produção, importação, exportação e consumo interno

Os maiores produtores mundiais de cromo são a África do Sul (que detém 73,4% das reservas mundiais), a Turquia, o Casaquistão e a Índia (DNPM, 2001). As reservas de cromita (como Cr_2O_3) do Brasil estão avaliadas em 6.800×10^3 toneladas, o que corresponde a 0,1 % da reserva mundial. As reservas brasileiras estão distribuídas em três estados: Bahia, com 70%, Amapá, com 24% e Minas Gerais com os restantes 6%.

A TABELA 2 apresenta a reserva e produção mundial referente aos anos de 1998 e 1999.

TABELA 2 – Reserva e produção mundial de cromo

Discriminação	Reservas ¹ (10^3 t)		Produção (10^3 t)		
	1999 ^(p)	%	1998 ^(r)	1999 ^(p)	%
Brasil	6.800	0,1	136	190	1,5
Albânia	6.100	0,1	100	100	0,8
Casaquistão	320.000	4,3	1.600	1.600	12,5
Estados Unidos	10.000	0,1	-	-	-
Finlândia	120.000	1,6	611	610	4,8
Índia	67.000	0,9	1.363	1.400	10,9
Irã	2.400	0,0	200	200	1,6
República da África do Sul	5.500.000	73,3	5.500	5.600	43,7
Rússia	460.000	6,2	130	130	1,0
Turquia	20.000	0,1	1.600	1.600	12,5
Zimbábue	930.000	12,5	660	660	5,2
Outros Países	57.700	0,8	800	710	5,5
TOTAL	7.500.000	100,0	12.700	12.800	100,0

NOTAS – ¹ inclui reservas medidas e indicadas; ^(p) dados preliminares; ^(r) revisado

FONTES – DNPM, 1999; FERBASA; Cia Ferro-ligas do Amapá; Magnesita S/A; Mineral Commodity Summaries, 2000

A produção interna de cromita em 1999 atingiu 420 mil t, o que corresponde a 190 mil t de Cr_2O_3 , sendo que 45% desse total foi absorvido pela demanda doméstica. Três grupos empresariais são responsáveis pela produção nacional: Cia Ferro-ligas do Amapá-CFA (55% da produção nacional), Cia Ferro-ligas da Bahia-FERBASA (42%) e Magnesita S/A (3%). O grupo FERBASA da Bahia é o único produtor nacional de ferro-ligas de cromo cuja produção atingiu a marca de 91 mil t, em 1999.

O Brasil importou, em 1999, 8.482 t de cromita correspondendo a 4.071 t de Cr_2O_3 , além de 5 mil t entre ligas e metal e 37 mil t em compostos químicos, despendendo, em todas as importações de cromo e seus derivados, um total de US\$ 45 milhões.

As exportações brasileiras de cromo atingiram, em 1999, um total de 194 mil t do concentrado que corresponde a 103 mil t em Cr_2O_3 , num valor aproximado de US\$ 12,7 milhões. Em termos de ferro-ligas e compostos químicos, exportou apenas 59 t e 86 t, respectivamente.

Quanto ao consumo interno, este apresentou os seguintes resultados, em 1999: cromita 91 mil t em Cr_2O_3 , 95 mil t em ferro-cromo e 38 mil t em compostos químicos. A cromita foi utilizada na fabricação de ferro-ligas (98,0%) e na indústria refratária (2,0%).

A participação do cromo (cromita) na Produção Mineral Brasileira - PMB, por substância, é de apenas 0,17 % e de 0,67% quando listada por classe (metálicos) (DNPM, 2001).

3.3 Uso industrial

O fluxograma da obtenção do cromo e seus compostos utilizados em escala industrial está representado na FIGURA 1 a seguir. Os principais produtos de cromo (sais, óxido, metal, ligas) são obtidos a partir do minério cromita, através de diferentes reações químicas. Utiliza-se 60% a 70% do volume total de cromo produzido na fabricação de ligas metálicas e estruturas de construção civil devido, principalmente, às suas propriedades mecânicas como dureza, resistência ao atrito, e às propriedades químicas como resistência à corrosão e ao desgaste (STERN, 1982).

Alguns tipos de aço inox são ligas de ferrocromo (ferrosas) que têm como constituintes básicos o ferro, o cromo e o níquel, sendo que as ligas não ferrosas têm como constituintes o alumínio e o cromo. (HSDB, 2000).

Por meio de processos químicos, a cromita é transformada em vários produtos químicos essenciais. Por exemplo: 4% da cromita são convertidos em óxido de cromo (VI), usado nas cromações (galvanoplastias) e como oxidante; 15% dela são destinados à fabricação de produtos químicos utilizados em curtumes, como pigmentos, preservativos para madeira (cromato de sódio), em sínteses orgânicas, em catálises e alóides fotossensíveis (HSDB, 2000).

Muitos tipos de fertilizantes contêm níveis apreciáveis de cromo, como os nitrogenados, os fosfatados, os superfosfatados (HSDB, 2000).

Nas atividades industriais ele encontra-se principalmente nas formas hexavalente, trivalente e elementar.

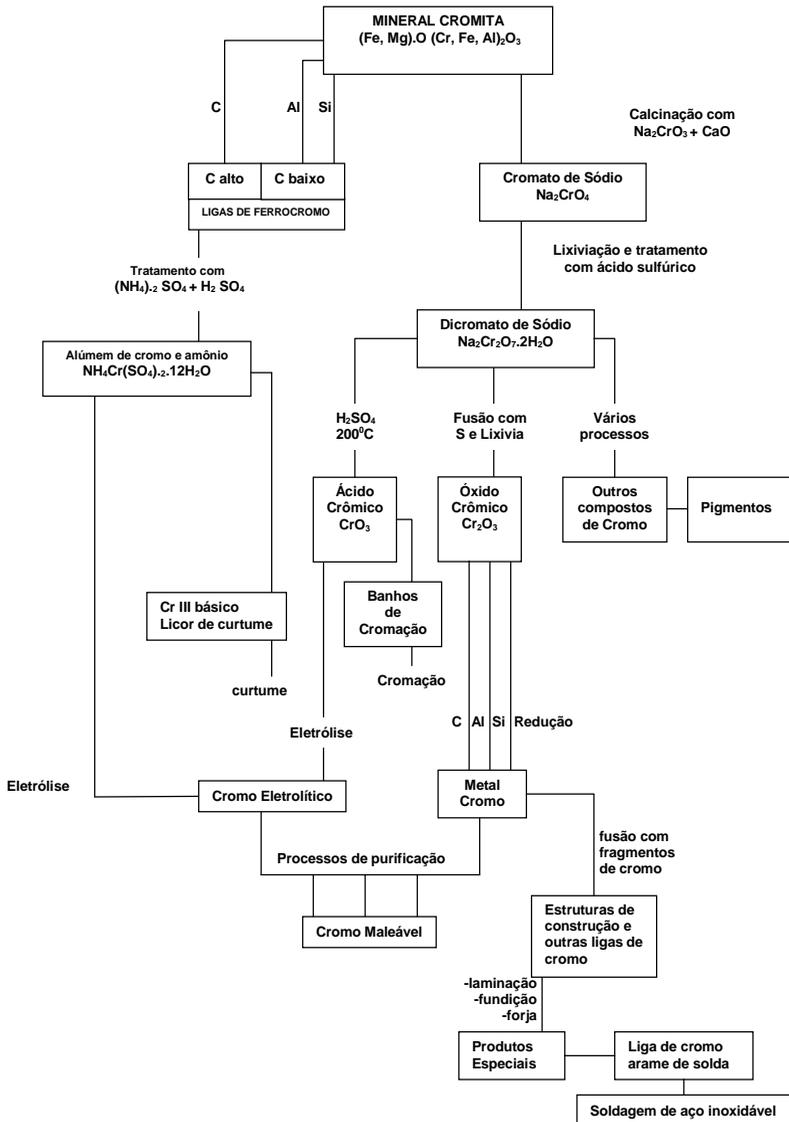


FIGURA 1 – Fluxograma da produção de ligas metálicas e compostos de cromo a partir da cromita

A TABELA 3 resume o uso industrial de alguns dos compostos de cromo, destacando a forma com que o produto é encontrado no ambiente de trabalho. Os efluentes líquidos, sólidos e gasosos resultantes destes processos devem ser tratados antes de sua liberação para o meio ambiente, evitando-se assim a contaminação (BIDSTRUP, WAGG, 1989; GALVÃO, COREY, 1987; LANGÄRD, VIGANDER, 1983; STERN, 1982; WHO, 1988).

TABELA 3 – Uso industrial e características do cromo e seus derivados

Nome do composto e fórmula	Valência do cromo	Solubilidade em água	Forma como se encontra no ambiente de trabalho	Processo produtivo	Usos
Ligas ferrosas (ferrocromo)	Zero, (III) e (VI)	Insolúvel	Sólida, fumos metálicos – Cr (III) e (VI)	fundição e siderurgia	aço inoxidável; construção civil
Ligas não ferrosas - Cr/Al	Zero	Insolúvel	Sólida	fundição	construção civil
Eletrodos Cr e outros materiais	Zero	Insolúvel	Fumos metálicos – óxidos de Cr (III) e (VI)	fábrica de eletrodos	soldagem
Anidrido crômico ou “ácido crômico” - CrO ₃	(VI)	67,5 g/100 mL a 100°C	Solução sulfúrica e névoas	indústria química	banhos galvanicos; inibidor de corrosão
Óxido crômico - Cr ₂ O ₃	(III)	Insolúvel	Sólida – em pó	fábrica de pigmentos; cerâmica e borracha	tintas; cerâmica refratária; borracha
Dióxido de cromo CrO ₂	(IV)	Insolúvel	Sólida – pó	fitas magnéticas	gravação
Cromato de chumbo PbCrO ₄	(VI)	Insolúvel	Sólida – pó	fábrica de pigmentos	tinta
Cromato de zinco - ZnCrO ₄	(VI)	Pouco solúvel	Sólida – pó	fábrica de pigmentos	tinta
Dicromato de potássio - K ₂ Cr ₂ O ₇	(VI)	Solúvel	Sólida – pó	indústria química	antioxidante utilizado na produção de compostos de cromo
Sulfato de cromo básico - Cr ₂ (SO ₄) ₃	(III)	Muito pouco solúvel	Sólida – precipitado e complexos	curtume	couro

FONTES – BIDSTRUP, WAGG 1989; GALVÃO, COREY, 1987; LANGÄRD, VIGANDER, 1983; STERN, 1982; WHO, 1988

3.4 Fontes de contaminação ambiental

3.4.1 Naturais

Entre as fontes naturais de contaminação ambiental estão os incêndios florestais e as erupções vulcânicas. Em áreas onde ocorrem depósitos significativos de cromo, as fontes de água podem apresentar concentrações superiores a 50,0 µg/L, valores estes que ultrapassam os padrões nacionais e internacionais para água potável (WHO, 1988).

3.4.2 Antropogênicas

As principais atividades humanas na qual o cromo e seus compostos são liberados para o meio ambiente, são (HSDB, 2000; ATSDR, 2000; WHO, 1988):

- emissões decorrentes da fabricação do cimento;
- construção civil, devido aos resíduos provenientes do cimento;
- soldagem de ligas metálicas;
- fundições;
- manufatura do aço e ligas;
- indústria de galvanoplastia;
- lâmpadas;
- minas;
- lixos urbano e industrial;
- incineração de lixo;
- cinzas de carvão;
- curtumes;
- preservativos de madeiras;
- fertilizantes.

Nestes processos ou fontes de contaminação, o cromo aparece nas formas trivalente, hexavalente e elementar.

Vários processos industriais foram responsáveis pela liberação de 100 mil toneladas de cromo para água e solo americanos, no período de 1987 a 1993. As indústrias que manuseiam materiais orgânicos e de fabricação do aço foram as principais responsáveis pela liberação do metal. Os estados americanos mais afetados foram o Texas e a Carolina do Norte (USEPA, 2000).

A utilização de resíduos sólidos, como o lixo doméstico e aqueles procedentes da agricultura em processos de compostagem, gera fontes riquíssimas de elementos metálicos, sendo o lixiviado oriundo destes processos ricos em metais (GROSSI, 1993).

GROSSI (1993) analisou 65 amostras (61 de “composto” de lixo doméstico em vários graus de maturação e quatro de biocomposto), provenientes de 21 usinas de compostagem brasileiras que operam com diferentes tipos de sistemas, para verificação das concentrações dos seguintes metais: Pb, Cu, Zn, Ni, Cr, Cd, Hg, Fe e Al. As amostras eram procedentes de usinas localizadas nos estados do Rio de Janeiro, São Paulo, Minas Gerais, Espírito Santo, Alagoas, Paraíba, Rio Grande do Norte, Rio Grande do Sul, Distrito Federal e Amazonas. O intervalo de concentração (em mg/kg) para o cromo, nas amostras de composto maduro, semimaduro e cru foram respectivamente de: 76-104; 60-218 e 33-133. A maioria dos resultados das análises das amostras de composto cru e semimaduro está acima dos valores aceitáveis adotados na Alemanha que são de 100 mg/kg, para uso em solo. Para as amostras de biocomposto, os resultados estão abaixo dos valores aceitáveis.

3.5 Contaminação ambiental

3.5.1 Ar

Sob condições normais, o cromo (III) e o cromo metal são relativamente não reativos na atmosfera, mas o cromo hexavalente no ar pode reagir com materiais particulados ou poluentes gasosos para formar cromo (III) (WHO, 1988).

A concentração de cromo no ar pode ser maior em áreas vizinhas a indústrias. Em 1973, as concentrações variaram de: 1 a 100 mg/m³ para usina de carvão mineral, de 100 a 1.000 mg/m³ para fábrica de cimento, de 10 a 100 mg/m³ para indústria de aço e ferro e de 100 a 1.000 mg/m³ para incineradores de lixo municipal (WHO, 1988).

Atualmente, com novas tecnologias e sistemas antipoluição, estas concentrações caíram drasticamente, como, por exemplo, em usinas de queima de carvão onde as concentrações de cromo no gás emitido, que eram de 0,22-2,2 mg/m³, caíram para 0,018-0,5 mg/m³ graças ao sistema de tratamento dos materiais particulados e gases (HSDB, 2000).

As concentrações de cromo em áreas rurais nos Estados Unidos são menores que o valor médio de 0,01 µg/m³ encontrado em áreas urbanas (HSDB, 2000). Segundo o ATSDR (2000), foram liberados para o ambiente 14.883.243 kg de cromo em 1997. A agência americana *Environmental Protection Agency*, listou em 1990, as quantidades liberadas por fontes antropogênicas, especificando a porcentagem de cromo hexavalente (TABELA 4).

TABELA 4 – Emissões estimadas de cromo para a atmosfera americana a partir de diferentes fontes antropogênicas

Categoria da fonte	Número estimado de fontes	Emissão de cromo (t/ano)	Estimativa de cromo hexavalente (%)
Combustão de carvão e óleo	muitas	1.723	0,2
Síntese de substâncias químicas (cromo derivados)	2	18	67
Torres de resfriamento nas sínteses químicas	2.039	43	100
Torres de resfriamento no refino de petróleo	475	32	100
Produção de aço	18	103	2,2
Galvanoplastia	4.000	700	~100
Torres de resfriamento na indústria têxtil	51	0,1	100
Produção de refratários	10	24	1,3
Produção de ferrocromo	2	16	5,4
Incineração de lodo de esgoto	133	13	< 0,1
Torres de resfriamento de tabaco	16	0,2	100
Refino de minério de cromo	6	4,8	< 0,1
Torres de resfriamento de pneus e borracha	40	0,2	100
Torres secundárias de resfriamento	38.000	7,2-206	100
Produção de cimento	145	3	0,2
Incineração de resíduos municipais	95	2,5	0,3

FONTE – ATSDR (2000)

A concentração média de cromo em 12 cidades canadenses, entre os anos de 1987 e 1990, variou de 0,003 a 0,009 µg/m³, enquanto os níveis em

áreas rurais foram normalmente menores que $0,001 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Na cidade de Hamilton (Ontário), onde há várias fábricas de ferro e aço, a concentração média de cromo em diversos locais variou de $0,006$ a $0,020 \mu\text{g}/\text{m}^3$ em 1990 (CANADIAN ENVIRONMENTAL PROTECTION ACT, 1994).

A faixa mundial de emissões de cromo para a atmosfera está entre 7.540 e 55.610 t/ano (THORNTON, 1995). A TABELA 5 fornece a emissão mundial de cromo, proveniente de variadas fontes, no ano de 1983.

CERCASOV et al. (1998) determinaram a concentração de diversos metais na atmosfera de Bucareste e Stuttgart demonstrando influências meteorológicas. As concentrações de cromo nestas localidades foram de 9,2 e 2,3 $\text{ng}/\text{m}^3/\text{ano}$, respectivamente. As condições meteorológicas, como temperatura do ar, velocidade dos ventos e umidade, influenciaram as concentrações de metais na atmosfera. Entretanto, a concentração do metal não variou com as estações do ano.

TABELA 5 – Emissão mundial de cromo para a atmosfera, em toneladas, proveniente de variadas fontes

Categoria da fonte	Faixa de quantidade (t)
Combustão de óleo (petróleo)	
- utilidades elétricas	18-72
- doméstica e industrial	87-580
Manufatura de aço e ferro-ligas	2.800-28.400
Incineração de resíduos	
- municipal	98-980
- borra de água de esgoto	150-450
Produção de cimento	890-1.780

FONTE – THORNTON, 1995

3.5.2 Água

A maioria do cromo em água superficial pode estar na forma de material particulado, ou depositado no sedimento. Algumas partículas podem permanecer como matéria suspensa e posteriormente ser depositadas nos sedimentos. A maioria dos compostos solúveis de cromo,

em água de superfície, pode estar presente como cromo hexavalente e, uma pequena parte, como cromo (III) em complexos orgânicos, sendo que o cromo hexavalente é mais estável na água do mar. O cromo hexavalente pode, entretanto, ser reduzido a cromo (III) por matérias orgânicas presentes na água e pode, eventualmente, depositar-se nos sedimentos (HSDB, 2000).

As principais fontes antropogênicas que contaminam as águas superficiais e profundas são as operações de galvanoplastia, indústrias de tingimento de couro e manufatura de tecidos. A deposição de partículas de cromo presentes no ar atmosférico é também uma fonte de exposição significativa, ainda que não identificável (ATSDR, 2000).

Exceto em regiões contendo minério de cromo, as concentrações em águas superficiais e água potável são muito baixas, encontrando-se na faixa de 1 a 10 µg/L. A concentração de cromo é bem mais alta, em regiões onde há atividade industrial, tais como: Grandes Lagos (Canadá) - faixa de 0,2-19 µg/L; China (região rural de Tia-Ding/águas superficiais) - faixa de 0-80 µg/L; Polônia (Wilsa) - faixa de 31-112 µg/L; Estados Unidos (rio Illinois) - faixa de 5-38 µg/L (WHO, 1988).

Altas concentrações de cromo foram encontradas em água de superfície contaminada no Canadá, em 1988, sendo que, em Alberta, a faixa de concentração foi de 1-55,0 µg/L (PRIORITY, 1994).

A concentração de cromo nos rios dos Estados Unidos está normalmente entre 1 e 30 µg/L (HSDB, 2000). A concentração de cromo na água do mar está normalmente abaixo de 1,0 µg/L, encontrando-se em amostras coletadas: perto da costa do Japão 0,04-0,07 ppb; perto da Inglaterra 0,13-0,25 ppb; perto do mar da Irlanda 0,46 ppb (HSDB, 2000).

A quantidade de cromo nos ecossistemas aquáticos foi estimada em 45-239 t/ano (THORNTON, 1995).

A TABELA 6 apresenta as quantidades de cromo lançadas, em 1988, nos ecossistemas aquáticos do mundo inteiro, proveniente de variadas fontes.

O estudo realizado por ISLAM et al. (2000) em águas superficiais e solo de quatro regiões de Bangladesh, confirmou o esperado para regiões tropicais com aluvião. A concentração dos diferentes metais analisados

(Al, Mg, Ca, Na, K, As, Ba, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn) é maior do que os valores médios mundiais relatados. Para o cromo, as concentrações obtidas foram de 1,41, 5,65, 9,3 e 2,39 $\mu\text{g/L}$ em água não filtrada dos quatro distritos estudados e $< 0,02$, 0,63 e 0,69 $\mu\text{g/L}$ em água filtrada de três dos distritos estudados; o valor médio mundial reportado para o cromo foi de 0,7 $\mu\text{g/L}$.

TABELA 6 – Quantidade mundial de cromo lançada nos ecossistemas aquáticos, proveniente de variadas fontes

Categoria da fonte	Faixa de quantidade (t)
Resíduos de água residencial	14,1-78
Produção de manufaturados	
- metais	15-58
- produtos químicos	2,5-24
- polpa e papel	0,36-42
- produtos de petróleo	0-0,21
Partículas radioativas da atmosfera	2,2-16
Depósito de borra de águas residuais	5,8-32

FONTE – THORNTON, 1995

ADACHI et al. (1998) analisaram 609 amostras de água de chuva de três regiões da cidade de Kobe, Japão, coletadas durante cinco anos (janeiro de 1991 a dezembro de 1995). O cromo total e o manganês apresentaram as menores concentrações médias, da ordem de 0,04 a 0,08 $\mu\text{g/L}$, quando comparadas às concentrações dos outros metais analisados (cálcio, magnésio, potássio, sódio, ferro, alumínio, chumbo, cobre, níquel, zinco e cádmio).

O estudo realizado no grande canal que conecta Hanngzhou a Beijing, China, mostrou que a concentração de cromo no sedimento é várias ordens de magnitude maior do que sua concentração na água, respectivamente 88,12 mg/kg e 0,005 mg/L. Devido à elevada concentração de metais nas águas e sedimentos do canal, ocorre

contaminação dos bancos de areia, solo e difusão para o lençol freático, os quais apresentam concentrações médias de 59,30 mg/kg, 69,29 mg/kg e de 0,00252 mg/L, respectivamente. No lençol freático, os valores de referência citados foram de 0,0004 mg/L (WENG, CHEN, 2000).

As águas superficiais armênias recebem elevadas concentrações de metais, em decorrência do tratamento inadequado dos efluentes industriais e agrícolas e dos escoamentos superficiais urbanos. A concentração média de cromo em amostras de água coletadas do rio Hrazdan foi de 81,4 mg/L, excedendo a concentração máxima permitida adotada naquele país – equivalente a 5 mg/L – em 162 vezes (KURKJIAN, 2000).

MOLISANI et al. (1999) estudaram a contaminação por metais no rio Paraíba do Sul que atravessa regiões industrializadas dos Estados de São Paulo e Rio de Janeiro. Concentrações mais elevadas de cromo foram observadas no estuário do rio ($> 130 \mu\text{g/g}$) do que na porção fluvial ($90 \mu\text{g/g}$). Este aumento é provavelmente devido a associação do metal à matéria orgânica dissolvida.

Preservantes de madeira à base de arsenatos de cobre e cromo, muito utilizados em vigas de madeira de estacarias e docas, podem ser lixiviados para o ambiente aquático. Vários são os fatores que determinam a velocidade e quantidade dos elementos no lixiviado: o tipo de madeira – madeiras mais moles ricas em lignina fixam melhor o cromo –, a forma como foi aplicado o preservante – concentração e tempo de secagem pós aplicação –, pH do meio inferior a 4,5 e salinidade do meio elevada, favorecem a lixiviação. Uma correlação direta entre o nível de Cr (VI) não fixado no processo de tratamento da madeira e a concentração dos componentes do preservante no lixiviado é demonstrada na TABELA 7 (HINGSTON et al., 2001).

3.5.3 Solo

A concentração do cromo no solo dependerá do tipo de processo industrial existente na região. No Canadá, as concentrações do metal no solo de 173 localidades variaram de 10 a $100 \mu\text{g/g}$ (peso seco), com uma média de $43,0 \mu\text{g/g}$ (peso seco), mas, em regiões situadas perto de fundições (Belledune, New Brunswick), as concentrações foram de 40 a $120,0 \mu\text{g/g}$ (peso seco), e em Alberta, onde há estação geradora de queima de carvão, a concentração foi de $25,0 \mu\text{g/g}$ de peso seco (PRIORITY, 1994).

TABELA 7 – Efeitos da fixação do cromo na perda por lixiviação dos elementos do preservante cromoarseniato de cobre, em pinho vermelho, após simulação de duas horas de chuva (precipitação)

% fixação de Cr	Cr (VI)	Lixiviação ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)		
		Total Cr	Cu	As
68,2	799	1499	755	120
84,1	200	376	162	96
92,6	53	71	34	4
98,2	0,1	2	4	3

FONTE – HINGSTON et al., 2001

Em regiões, como Neepawa, Manitoba, onde existem fábricas de preservação de madeira que utilizam o cromo hexavalente como preservante, a concentração média foi de 243 $\mu\text{g}/\text{g}$ (peso seco), comparada com um solo não contaminado de uma localidade adjacente com uma média de 10,0 $\mu\text{g}/\text{g}$ (peso seco). Em outra localidade de Manitoba, Roblin, a concentração média foi de 718 $\mu\text{g}/\text{g}$ (peso seco), comparada com 30,0 $\mu\text{g}/\text{g}$ (peso seco) de uma localidade de controle (PRIORITY, 1994).

A estimativa da quantidade mundial de cromo em solos, proveniente de várias fontes, situa-se entre 484 e 1.309 t/ano (THORNTON, 1995). A TABELA 8 apresenta estas quantidades para o ano de 1988.

Os níveis de cromo em solos dos Estados Unidos variam de 1 a 1.500 ppm e em solos do Canadá de 20 a 125 ppm (HSDB, 2000).

3.5.4 Efluentes e lodo de esgoto

BERTI, JACOBS (1998) estudaram a distribuição de Cd, Cr, Cu, Pb, Ni e Zn em solos cultiváveis do estado de Michigan (EUA), tratados com esgoto municipal, durante o período de 1977 a 1986. Três áreas foram submetidas a tratamento utilizando-se esgotos de diferentes procedências e concentrações de metais. O total de cromo aplicado foi de 1.120 kg/ha na área 1, 3.000 kg/ha na área 2 e de

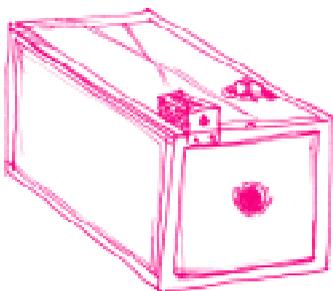
2.700 kg/ha na área 3. As análises dos solos coletados em 1989 e 1990 indicaram uma distribuição lateral dos metais associada à movimentação física das partículas do solo em função das práticas agrícolas. Os elementos, no entanto, encontravam-se entre 0 e 30 cm de profundidade.

O cromo nestas profundidades (0-30 cm) apresentou concentrações de 900 mg/kg na área 1, 1.080 mg/kg na área 2 e 1.530 mg/kg na área 3, enquanto a área controle apresentou uma concentração de cromo equivalente a 187 mg/kg. Os cálculos do balanço de massa demonstraram recuperações de 82 a 106 % do total de cromo aplicado. A técnica de amostragem e o método de digestão da amostra adotados podem explicar os resultados obtidos. Observou-se ainda que a lixiviação do solo e a remoção pelas plantas não são vias significativas para explicar a perda de cromo nas áreas analisadas.

TABELA 8 – Quantidades de cromo em solos do mundo inteiro, procedentes de várias fontes e estimadas para o ano de 1998

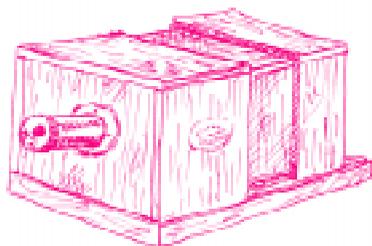
Categoria da fonte	Faixa de quantidade (t)
Agricultura e lixo de alimentos	4,5-90
Esterco e lixo de animais	10-60
Corte de árvores e outros lixos de madeira	2,2-18
Resíduo urbano	6,6-33
Borra de água usada municipal	1,4-11
Lixo de metais manufaturados	0,65-2,4
Cinzas de carvão e de sedimento levados pelo ar	149-446
Fertilizantes	0,03-0,38
Turfa de agricultura e uso de combustíveis	0,04-0,19
Quebra de produtos comerciais	305-610
Partículas radioativas da atmosfera	5,1-38

FONTE – THORNTON, 1995



O princípio básico da fotografia consiste em uma caixa fechada

onde a luz só pode penetrar através de uma abertura



com a finalidade de registrar imagens



sobre uma emulsão sensível à luz

4

Transporte, distribuição e transformação no meio ambiente

4.1 Transporte ambiental e distribuição

O cromo é emitido no ar não somente por processos industriais, mas também por processos de combustão, incluindo as queimas de florestas. O estado de oxidação do cromo nas emissões não está bem definido quantitativamente, mas pode-se assumir que o calor da combustão pode oxidar proporções desconhecidas do elemento para a forma hexavalente. Enquanto suspenso no ar, esta forma é provavelmente estável; ao depositar-se no solo, pode entrar em contato com matéria orgânica e reduzir-se a cromo trivalente (WHO, 1988).

O cromo está presente na atmosfera na forma particulada. O transporte e a distribuição da matéria particulada na atmosfera depende do tamanho e da densidade da partícula. As partículas são depositadas na terra e na água por sedimentação ou através das chuvas. O diâmetro médio das partículas de cromo é de aproximadamente $1\ \mu\text{m}$ e a velocidade de deposição é de $0,5\ \text{cm/segundo}$. Estas duas condições favorecem a deposição “seca” através do impacto inercial (ATSDR, 2000).

A remoção através das chuvas também é eficaz, aumentando com o tamanho da partícula e decrescendo com a intensidade da precipitação. Partículas de cromo de diâmetro $< 20\ \mu\text{m}$ podem permanecer na atmosfera por longos períodos e serem transportadas a distâncias maiores do que partículas de grande tamanho. A deposição seca de partículas de cromo na cidade de Bologna, Itália, variou entre 40 e $270\ \mu\text{g}/\text{m}^2/\text{mês}$, com os maiores valores ocorrendo nos meses de inverno (ATSDR, 2000).

Cerca de 40% do cromo está disponível na forma de cromo hexavalente, como cromato ou dicromato. O tempo de residência do metal na atmosfera é de cerca de 10 dias, sugerindo não haver transporte das partículas de cromo da troposfera para a estratosfera (ATSDR, 2000).

Efluentes industriais contendo cromo, alguns na forma hexavalente, são levados para rios e ar (WHO, 1988). Como os compostos de cromo não são voláteis, o transporte do cromo da água para a atmosfera não ocorre,

exceto através das neblinas de águas marinhas. A maior parte do cromo liberado na água deposita-se nos sedimentos. Uma pequena porcentagem pode estar presente na água nas formas solúvel e insolúvel. As formas solúveis encontram-se como cromo (VI) e complexos de cromo (III). Em fase aquosa, o cromo (III) ocorre como partícula sólida adsorvida a materiais argilosos, orgânicos ou a óxido de ferro. A determinação de cromo nas águas dos rios Amazonas e Yukon mostrou que aproximadamente 10,5-12,6% do metal estava em solução, o restante encontrava-se como partícula sólida em suspensão (ATSDR, 2000).

Grandes quantidades de matéria orgânica presentes na água podem reduzir o cromo (VI) a cromo (III). O cromo trivalente pode, então, ser adsorvido ao material particulado ou formar complexos polinucleares de baixa solubilidade, permanecendo em suspensão na forma coloidal e sendo transportado para o oceano ou precipitando-se e tornando-se parte dos sedimentos dos lagos e rios. Processo semelhante ocorre nos oceanos: cromo hexavalente é reduzido e se deposita no leito do oceano (ATSDR, 2000; WHO, 1988).

Estima-se que o tempo de residência do cromo (total) no lago Michigan varia entre 4,6 a 18 anos (ATSDR, 2000).

O cromo no solo está presente principalmente na forma de óxido insolúvel $\text{Cr}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, de baixa mobilidade no solo. O padrão de migração vertical do cromo no solo indica que, após um período inicial de mobilidade, o cromo forma complexos insolúveis, dificilmente lixiviados. O mesmo se dá horizontalmente, o cromo é pouco lixiviado por formar complexos com a matéria orgânica. Enchentes e subsequente decomposição anaeróbica de detritos de plantas podem elevar a mobilização do cromo (III) no solo devido à formação de complexos solúveis. Esta complexação é favorecida quando o pH do solo é baixo. Uma pequena porcentagem de cromo total no solo existe nas formas solúveis de cromo (VI) e cromo (III), de maior mobilidade no solo. A mobilidade destas formas depende das características de adsorção do solo: teor de argila e, em menor extensão, teor de Fe_2O_3 e de matéria orgânica. A matéria orgânica presente no solo pode converter o cromo (VI) a cromo (III). O cromo irreversivelmente adsorvido ao solo, por exemplo na rede mineral intersticial da geotita, FeOOH , não estará disponível a plantas e animais sob nenhuma circunstância (ATSDR, 2000).

O cromo pode ser transportado na atmosfera como aerossol. O escoamento superficial do solo pode transportar, tanto as formas solúveis

como os precipitados, para a água superficial. O cromo (VI) solúvel e não adsorvido e os complexos solúveis de cromo (III) podem ser lixiviados do solo para as águas profundas. Quanto maior o pH do solo maior a capacidade de lixiviação do cromo (VI). Por outro lado, o pH baixo presente nas chuvas ácidas pode facilitar a lixiviação no solo de compostos de cromo (VI) e (III) solúveis em ácido (ASTDR, 2000).

O transporte de cromo no ambiente está explanado na FIGURA 2 (WHO, 1988). Nota-se que há um completo ciclo das rochas e do solo para plantas, animais, homem, voltando para o solo. Somente uma parte do cromo é desviada para se depositar no leito do oceano. Esta parte consiste em cromo presente nos minérios e no solo, o qual é lixiviado pela água (poucos $\mu\text{g/L}$), e excretas de animais e de homens que podem encontrar seu caminho para os corpos d'água. O outro ciclo consiste em cromo presente no ar advindo de fontes naturais, tais como incêndios, e de fontes antropogênicas como as indústrias de cromato.

Parte do cromo completa o ciclo pela deposição na terra, mas uma significativa quantidade irá depositar-se no oceano, fixando-se no sedimento de seu leito.

Plantas e animais absorvem preferencialmente a forma hexavalente que, após a absorção, é reduzida à forma trivalente (WHO, 1988).

4.1.1 Ar

Na atmosfera, o cromo hexavalente pode ser reduzido a cromo (III), com uma significativa velocidade, por várias substâncias na forma iônica, tais como, vanádio (V^{2+} , V^{3+} e VO^{2+}), Fe^{2+} , HSO_3^- e As^{3+} . Por sua vez, o cromo (III) pode ser oxidado a cromo hexavalente, na atmosfera, na presença de pelo menos 1% de óxido de manganês. Estima-se que na atmosfera a meia-vida da redução de Cr (VI) para Cr (III) está na faixa de 16 horas a cinco dias (ATSDR, 2000).

4.1.2 Água

A redução do cromo hexavalente e a oxidação do cromo (III) em água foram bem estudadas. A redução do Cr (VI) pelos íons sulfeto e ferro (II), sob condições anaeróbicas, demonstrou ser rápida, apresentando uma meia-vida variando de instantes a poucos dias.

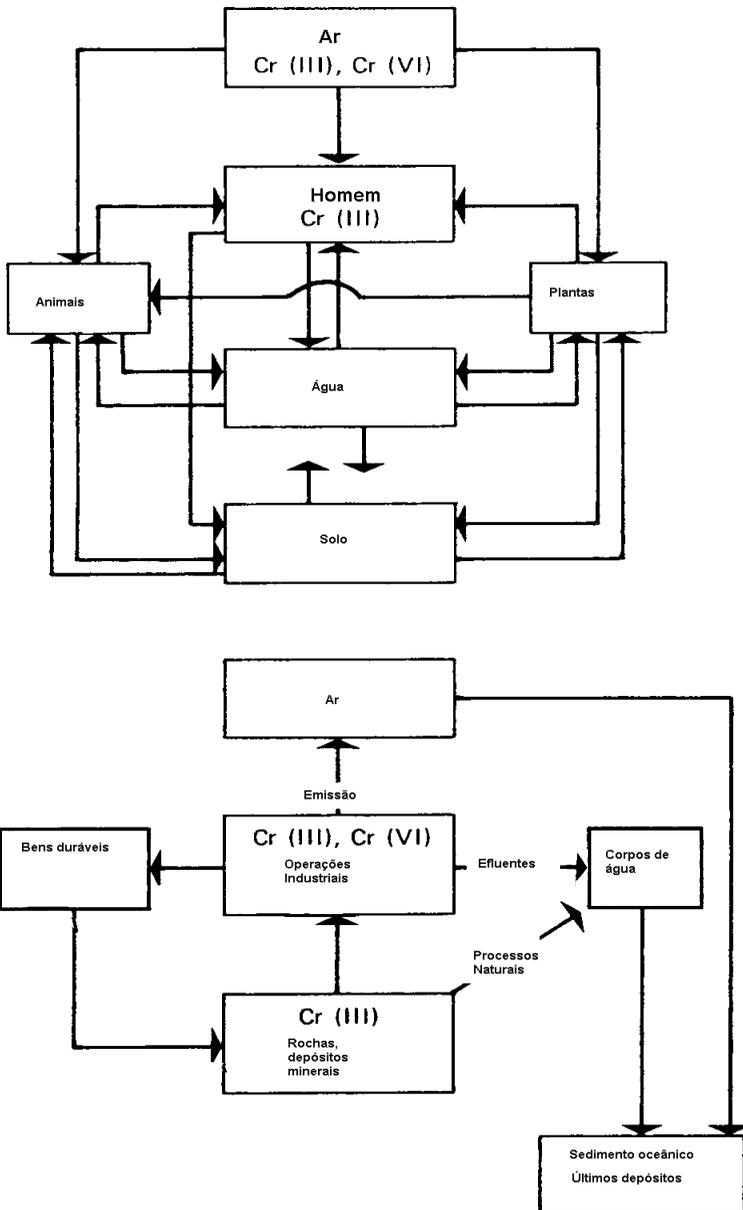


FIGURA 2 – Ciclo ambiental do cromo

A redução do Cr (VI) pela matéria orgânica presente em sedimentos e solos foi muito lenta e dependente do tipo e quantidade do material orgânico e das condições de oxidação da água. A reação foi geralmente mais rápida sob condições anaeróbicas do que em condições aeróbicas. Nestas condições, a meia-vida de redução do Cr (VI) variou de 4 a 140 dias (ATSDR, 2000).

A oxidação do Cr (III) para Cr (VI) pelo oxigênio dissolvido em águas naturais é praticamente inexistente. Em estudo realizado por SALEH (1989), citado por ATSDR (2000), o Cr (III) adicionado à água de lago sofreu uma vagarosa oxidação a Cr (VI), correspondendo à meia-vida de oxidação de nove anos; a mesma foi reduzida para dois anos com a adição de 50 mg/L de óxido de manganês. Desta forma, o processo de oxidação pode ser insignificante em águas naturais.

A oxidação do cromo (III) a cromo (VI), durante a cloração da água, demonstrou ser maior em pH entre 5,5 e 6,0. Entretanto, este fenômeno raramente ocorre durante a cloração da água distribuída à população em geral, pelo fato das concentrações do metal serem baixas e pela presença de matéria orgânica favorecendo a complexação do cromo III e protegendo-o contra a oxidação (ATSDR, 2000).

A especiação do cromo em águas profundas depende do potencial redox e do pH do aquífero. A espécie cromo (VI) predomina em condições oxidantes elevadas; o inverso ocorre para o cromo (III). Condições oxidantes são encontradas em águas mais superficiais enquanto as condições redutoras são observadas em águas mais profundas. Na água do mar, a espécie predominante é o cromo (VI), geralmente estável. Em águas subterrâneas naturais, de pH entre 6 e 8, as espécies predominantes são CrO_4^{2-} e $\text{Cr}(\text{OH})^{1+}$. Estas e outras espécies de cromo (III) predominam em pH ácido; $\text{Cr}(\text{OH})_3$ e $\text{Cr}(\text{OH})_4^{1-}$ em águas alcalinas (ATSDR, 2000).

4.1.3 Sedimento e solo

O destino do cromo no solo é dependente da especiação do metal, que se dá em função do potencial redox e do pH do solo. Na maioria dos solos há predominância de Cr (III). Esta forma apresenta baixa solubilidade e reatividade, resultando em baixa mobilidade no ambiente e baixa

toxicidade para os organismos vivos. Sob condições oxidantes, o Cr (VI) pode estar presente no solo na forma de íon cromato ou cromato ácido, formas relativamente solúveis, móveis e tóxicas para os organismos vivos (ATSDR, 2000).

Em solos profundos, sob condições anaeróbicas, o Cr (VI) pode ser reduzido a Cr (III) pelos íons sulfeto e ferro (II) presentes no solo. Esta redução também é possível em solos anaeróbios contendo fontes de energia orgânica apropriada para produzir a reação redox. O pH baixo do solo favorece esta redução (EPA, 1990).

A oxidação do cromo (III) a cromo (VI), no solo, é facilitada pela presença de substâncias orgânicas de baixo potencial de oxidação, oxigênio, dióxido de manganês e umidade. As formas orgânicas de cromo (III) (complexos como o ácido húmico, por exemplo) são mais facilmente oxidáveis que os óxidos insolúveis (ATSDR, 2000).

4.2 Bioacumulação

4.2.1 Microrganismos

A maioria dos microorganismos (protozoários, fungos, algas, bactérias) é capaz de absorver cromo. Encontraram-se níveis de 0,6 mg (peso seco) presentes em 1 litro de amostras de micróplâncton coletadas na baía de Moterey, Califórnia, e de 21,4 mg/litro em amostras de fitoplâncton coletadas no Oceano Pacífico (WHO, 1988).

Foram observados (HSDB, 2000) os seguintes fatores de bioconcentração (FBC):

- em algas, 1.600
- em fitoplâncton, 2.300
- em zooplâncton, 1.900

Em geral, a toxicidade para a maioria dos microrganismos ocorre na faixa de 0,05-5 mg de Cr/kg (WHO, 1988).

4.2.2 Plantas e animais aquáticos

O cromo está presente em todas as plantas, mas não há evidências científicas de que seja essencial às mesmas. Diversos fatores afetam a

disponibilidade do cromo para as plantas, incluindo o pH do solo, interação com outros minerais ou compostos orgânicos complexados e concentrações de oxigênio e gás carbônico (WHO, 1988).

Encontrou-se alta concentração de cromo em plantas em crescimento em solos contendo alta concentração de cromo, ou por serem locais perto de minas de cromo ou regiões que possuem indústrias que emitem cromo para a atmosfera e solo fertilizado com lodo de esgoto, comparada com a de plantas em crescimento em solos normais. A maior parte do cromo é retida nas raízes e somente uma pequena parcela é transportada para as partes superiores das plantas, sendo improvável a bioacumulação do cromo do solo nessas partes (ATSDR, 2000).

O Cr (VI) é acumulado pelas espécies aquáticas por difusão passiva. Fatores ecológicos, no ambiente abiótico e de vida, estão envolvidos neste processo. O estado fisiológico e a atividade de peixes também podem afetar aquela acumulação. Analisando órgãos e tecidos de um peixe semelhante à carpa, constataram-se concentrações de cromo no baço, brônquios e intestinos entre 30 e 37,5 mg/kg, sendo de 10 a 30 vezes maiores que as encontradas no coração, pele, músculos e escamas (WHO, 1988).

Foram observados (HSDB 2000) os seguintes fatores de bioconcentração (FBC):

- em ostras, 125-192
- em trutas, menor que 3
- em lesmas, 1×10^6

Os peixes podem ser afetados por altas concentrações de cromo, tendo como exemplo, a espécie *Salmo salar* L. “salmão do Atlântico”, com uma mortalidade de cerca de 10% quando submetida, por 68 dias de exposição, às concentrações de 10 µg/L de Cr (VI), e de 70% quando a concentração do mesmo composto foi aumentada em 10 vezes (CANADIAN ENVIRONMENTAL PROTECTION ACT, 1994).

O Cr (III) é menos tóxico que o Cr (VI). Exposição de *Daphnia magna* a 2,5 µg/L de Cr (VI), por sete dias, causou uma redução de 22% no número de jovens produzidos. A menor concentração letal média (LC₅₀) de Cr (III) para aquela espécie foi de 6 µg/L (CANADIAN ENVIRONMENTAL PROTECTION ACT, 1994).

As concentrações de Cu, Cd, Cr, Pb e Zn foram determinadas em duas plantas marinhas e dois moluscos, coletados na costa da Sicília, Itália. O chumbo e o cromo concentram-se preferencialmente nos rizomas das folhas (5,81 e 1,16 contra 2,72 e 0,59 $\mu\text{g/g}$, respectivamente). Com relação aos moluscos, as concentrações médias de cromo foram de 0,31 $\mu\text{g/g}$ para o *Patella caerulea* e de 0,32 $\mu\text{g/g}$ para o *Monotonda turbinata*. Na água do mar não filtrada, os valores foram de 10,16 $\mu\text{g/L}$ e na filtrada de 0,09 $\mu\text{g/L}$. A alga marrom mostrou-se o melhor bioacumulador de cromo. Outros estudos realizados no mar mediterrâneo apresentaram concentrações de cromo em plantas marinhas de 0,50 a 3,65 $\mu\text{g/g}$, não diferindo substancialmente das obtidas por CAMPANELLA et al. (2001).

SZEFER et al. (1998), acreditando que parasitas sejam biomonitores muito sensíveis, estudaram a concentração de Cd, Pb, Cu, Zn, Cr, Co, Ni, Mn e Fe em quatro nematódios presentes nos pulmões de botos do mar Báltico. Observou-se uma variação na concentração dos metais estudados e uma significativa variação inter-espécie nessas concentrações que, para o cromo, variaram de 4,71 a 15,3 $\mu\text{g/g}$. Estes elementos bioacumularam-se preferencialmente no nematódio adulto, através de seu trato digestivo, por apresentar um processo de eliminação menos eficiente do que o do hospedeiro. As concentrações dos metais nos nematódios em relação ao hospedeiro (pulmão do boto) foram cerca de três vezes maiores para o Cu, Cr, Fe, aproximadamente 13 vezes maiores para o Cd e Zn e 45 vezes maiores para o Mn.

Alguns peixes do mediterrâneo (*Mugil cephalus*, *Mullus barbatus* e *Caranx crysos*) são importantes fontes de alimento para as populações mediterrâneas. As concentrações médias de cromo detectadas nas guelras, fígado e músculos destas espécies foram, respectivamente, de 4,03, 2,03 e 1,29 $\mu\text{g/g}$, para o *M. cephalus*, 5,67, 1,65 e 1,52 $\mu\text{g/g}$ para o *M. barbatus* e 5,67, 2,48 e 1,55 $\mu\text{g/g}$ *C. crysos*. Ainda que as três espécies de peixe do NE do mediterrâneo apresentem diferentes necessidades ecológicas, as concentrações do metal detectadas em seus tecidos foram elevadas, principalmente nas guelras e fígado devido ao papel fisiológico destes órgãos no metabolismo dos peixes (KALAY et al., 1999).

HOLSBECK et al. (1998), para avaliar a eficácia das medidas adotadas quanto à disposição de metais pesados no NE do Atlântico, determinaram a concentração de vários metais em 36 golfinhos encontrados mortos na costa francesa, nos períodos de 1977 a 1980 e de

1984 a 1990. Exceto para o mercúrio, não se observou o aumento da concentração dos metais Ti, Cr, Cu, Zn e Cd nos músculos, rins ou fígado com a idade, ainda que as maiores concentrações de cromo (9 µg/g de peso seco) tenham sido encontradas em adultos. Não se constatou, também, diferença na contaminação nos dois períodos estudados.

LIANG et al. (1999) verificaram que o acúmulo de metais em vísceras de peixes de água doce (carpa comum, carpa prateada, carpa *grass*, *big head* e tilapia) é inversamente proporcional ao tamanho do peixe. Parece que a energia metabólica é o fator determinante do acúmulo de metais em peixes e está relacionada ao comprimento do animal, o qual influencia a velocidade metabólica, esta, por sua vez, correlacionada à velocidade de sequestração e eliminação. Peixes menores apresentariam uma velocidade de absorção maior dos metais, e estes se concentrariam nas vísceras. As concentrações médias de cromo nas vísceras e nos músculos dos peixes estudados foram, respectivamente, de 1,1 µg/g de peso seco e de 0,44 µg/g, sugerindo que o acúmulo do metal nas vísceras está relacionado à sua toxicocinética. Como os metais analisados – Zn, Cu, Cd, Cr, Ni e Pb – encontravam-se abaixo do limite de detecção nas águas do pesqueiro de Au Tau, Hong Kong, os hábitos alimentares influenciaram na bioacumulação.

A suscetibilidade do embrião e das larvas do peixe gato africano (*Clarias gariepinus*) a metais foi testada por NGUYEN et al. (1999). O córion (casca do ovo) é permeável à água e a moléculas pequenas, durante a fertilização, e endurece com o seu desenvolvimento. Consequentemente, a permeabilidade do córion decresce e o ovo torna-se mais resistente às condições externas. O cromo em concentrações de 36 mg/L afeta a sobrevivência do embrião. Larvas no estágio de duas a quatro células tiveram seu desenvolvimento alterado quando as concentrações de cromo no meio encontravam-se em 20 mg/L; no estágio de blástula, estes efeitos foram observados em concentrações de 114 mg/L de cromo.

O camarão sete barbas – *Xiphopenaeus kroyeri* – é o crustáceo de maior importância comercial da megafauna bêntica da costa NE do estado de São Paulo. Espécies coletadas em três locais da baía de Ubatuba, durante o ano de 1995, apresentaram concentrações de cromo que variaram de 1,39 a 5,25 µg/g. Concentrações mais elevadas foram observadas nas amostras coletadas durante o verão. Deve-se considerar que estes crustáceos ocupam o nível trófico mais elevado da cadeia alimentar dos omnívoros, com conseqüente poder de bioacumulação. Os

níveis elevados de cromo podem provocar efeitos nocivos à saúde de quem os consome (MANTELATTO et al., 1999).

As ostras são vastamente utilizadas para monitorizar ambientes marinhos e estuáricos devido à sua capacidade em concentrar poluentes em várias ordens de magnitude acima dos níveis ambientais do entorno. Devido a esta habilidade e seu consumo humano, a espécie *Crassostrea iridescens*, encontrada na região costeira do NE do México, foi utilizada para avaliar a contaminação desta região por metais, no ano de 1994. As concentrações de cromo foram determinadas no órgão de filtração, músculos, gônadas e manto, variando de 1,0 a 4,6 µg/g de peso seco. As concentrações mais elevadas foram detectadas no inverno e na primavera. Os principais fatores que regulam a concentração de metais em bivalvulares são a quantidade destes metais na coluna d'água (dissolvidos ou como partículas) e alguns parâmetros biológicos, como o ciclo reprodutivo e a grande variedade de estruturas intracelulares, ligadas à membrana destes organismos, passíveis de se ligarem a compostos eletrofílicos. Estas estruturas estão associadas aos tecidos digestivos e excretores daqueles invertebrados (FRIAS-ESPERICUETA et al., 1999).

4.2.3 Plantas e animais terrestres

O cromo está presente em solos, normalmente na forma de Cr (III) que tem pouca mobilidade, a não ser quando há Cr (VI) envolvido no processo. O Cr (III) é absorvido em terra argilosa e em partículas de materiais orgânicos, podendo ser mobilizado se complexado com moléculas orgânicas (HSDB, 2000).

Tanto o Cr (III) como o Cr (VI) estão igualmente disponíveis para o crescimento de plantas em soluções nutrientes, e o resultado da maioria dos estudos indica que o Cr VI é mais tóxico que o Cr (III). Níveis de 200 µg/g (peso seco) de Cr (III) em solo resultou numa redução de 23 a 36% na produção de capim, alface e rabanete; níveis de 5 µg/g (peso seco) retardam o desenvolvimento do tabaco e inibem o aproveitamento dos nutrientes pela soja (CANADIAN ENVIRONMENTAL PROTECTION ACT, 1994).

Existem poucos estudos sobre a toxicidade do cromo em animais terrestres. Em um estudo realizado com galinhas turcas, adicionou-se à dieta destas aves 10,0 µg/g (peso seco) de Cr (III), tendo sido verificada

uma diminuição significativa na produção de ovos em relação ao grupo controle. Pássaros da região de *Rhode Island* nos Estados Unidos, onde altos níveis de cromo foram detectados no solo, no ar e nas águas de superfície, não tiveram seu crescimento afetado e reproduziram-se com sucesso. Entretanto, um elevado nível de ácido úrico foi constatado em relação ao mesmo tipo de aves de outros locais. Esta elevação do nível de ácido úrico sugere uma alteração na função renal devido a uma dieta com níveis de cromo acima de 7,6 µg/g (peso seco), mais altos do que os existente em locais não contaminados (CANADIAN ENVIRONMENTAL PROTECTION ACT, 1994).

Líquens do gênero *Sphagnum* foram utilizados para monitorizar metais pesados que apresentavam um grande número de grupos funcionais aniônicos protonados na forma de ácidos urônicos. Amostras de *S. auriculatum* foram coletadas em dois pontos de um pântano próximo à cidade do Porto, Portugal, limpas e colocadas vivas em sacos plásticos. Dentre os vários metais analisados, as concentrações médias de Cr obtidas foram de 0,02 e 0,9 µg/g por dia. Os resultados mostraram que esta espécie de líquen pode estimar quantitativamente a concentração de metais pesados na atmosfera urbana desde que a calibração específica seja realizada e o tempo se apresente seco (VASCONCELOS, TAVARES, 1998).

O processo de absorção e acumulação de metais em diferentes plantas depende da concentração dos metais disponíveis no solo, de sua solubilidade e da espécie de planta cultivada naquele determinado solo. Assim, o uso de lodo de esgoto industrial na agricultura pode favorecer a bioacumulação de metais. BARMAN et al. (2000) estudaram dez espécies diferentes de plantas coletadas em áreas agrícolas da região de Uttar Pradesh, Índia, onde aquela prática é adotada. Concentrações elevadas de cromo foram encontradas em trigo e mostarda. As espécies que apresentaram maior bioacumulação sem comprometimento do crescimento foram *Alternanthera sessilis* e *Cynodon dactylon*.

4.3 Riscos ao meio ambiente e acidentes relatados

O cromo hexavalente está classificado pela CERCLA - *The Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability* (1997) em 16º lugar na lista das substâncias perigosas.

Os acidentes ocorridos com compostos de cromo encontram-se na TABELA 9 a seguir.

TABELA 9 – Dados sobre acidentes com compostos de cromo

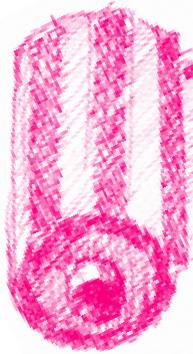
Dados sobre o acidente	Primeiro acidente	Segundo acidente	Terceiro acidente	Quarto acidente	Quinto acidente
Data do acidente	10/05/1979	17/01/1986	06/10/1986	29/06/1998	9/10/2000
Local	Darlington, County Durham, Reino Unido	Ashtabula, OHIO, Estados Unidos	Guarulhos, SP, Brasil	Farmingville, NY, Estados Unidos	North Amityville, NY, Estados Unidos
Nome do material	Trióxido de cromo	Dicromato de potássio	Ácido crômico	Compostos de cromo	Cromo hexavalente
Tipo de material	Sólido	Sólido	Sólido	Sólido	Sólido
Código do material	1463	1439	1463	Não comunicado	Não comunicado
Tipo de acidente	Liberação	Explosão	Tombamento de caminhão	Escavação	Fogo em prédio industrial
Origem	Transporte de containers	Pressão nos vasos do processo	Desconhecida	Local contaminado	Desconhecida
Numero de pessoas afetadas	Mortas = 0 Feridas = 0	Mortas = 2 Feridas = 18	Mortas = 0 Feridas = 0	Mortas = 0 Feridas = 3	Mortas = 0 Feridas = 3
Causa geral	Evacuadas = 0 Falha mecânica	Evacuadas = 0 Violenta reação	Evacuadas = 0 Desconhecida	Evacuadas = 0 Exposição ao produto	Evacuadas = 0 Desconhecida
Fonte de informação	OSH ROM MHIDAS	OSH ROM MHIDAS	CETESB	CIRC	CIRC

FONTES – MHIDAS - *Major hazard incident data service*; CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental da Secretaria do Meio Ambiente do Governo do Estado de São Paulo; CIRC - *Chemical Incident Reports Center*

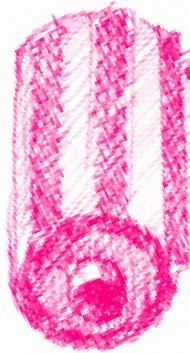
Além destes acidentes ambientais e industriais, há casos relatados de pessoas que ingeriram alimentos contaminados ou beberam água contaminada com compostos de cromo, ou mesmo de incidentes com ingestão de soluções de cromo.

KAUFMAN et al. (1970), apud ATSDR (2000), relatam um caso de óbito de uma criança de 14 anos de idade após a ingestão de 7,5 mg/kg de dicromato de potássio. Antes do óbito, a criança apresentou fortes dores abdominais e vômito. Alto nível de enzimas hepáticas foi encontrado no soro após 24 h da ingestão. Um exame pós-morte mostrou necrose de fígado e rins, além de edema renal.

PARTINGTON (1950), apud ATSDR (2000), relata o caso de duas pessoas que ingeriram aveia contaminada com dicromato de potássio e apresentaram sinais e sintomas agudos de intoxicação, como dores abdominais, vômitos e diarreia.



*Sobre o filme fica
impressa uma
imagem latente,*



*provocada pela
ação da luz sobre
os sais de prata*

5

Padrões de contaminação ambiental e de exposição humana

5.1 Exposição ambiental

5.1.1 Ar

Os dados existentes sobre a concentração total de cromo no ar em diferentes localidades, assim como em ambiente interno, em zonas urbanas, e não urbanas estão apresentados na TABELA 10.

TABELA 10 – Níveis de concentração de cromo em ambiente aberto e ambiente interno

Área	Faixa de concentração – média aritmética (ng/m ³)	Quantidade de locais monitorados	Ano	Referências
Urbana e não urbana	5-525	2.106	1977- 1984	EPA, 1990
Corpus Christi, Texas	fábrica de cromato (máximo) = 5.500 cidade (média anual) = 400	NR	1981	ATSDR, 2000
Ar interior de residências – Hudson County, New Jersey	Cr (VI): 0,38-3.000 1,2 (média)	NR	1990	ATSDR, 2000
Área industrial de produção de cromita – ar interior – Hudson County, New Jersey	Cr (VI): 0,23-11 Cr total: 4,1-130	25	1990	ATSDR, 2000
Área industrial de produção de cromita – ar externo – Hudson County, New Jersey	Cr (VI): 0,013-15,3 Cr total: 1,9-84,5	25	1990	ATSDR, 2000

NR = não relatado

Níveis de risco mínimo de 0,000005 mg/m³ foram estabelecidos para o cromo (VI) na exposição intermediária (915-364 dias) a névoas de ácido crômico e outros aerossóis de cromo hexavalente. Na exposição a partículas de cromo (VI), o nível de risco mínimo estabelecido foi de 0,001 mg/m³ (ATSDR, 2000). O nível de risco mínimo (NRM) é uma estimativa da exposição humana diária a substâncias perigosas, presentes no meio ambiente, sem o risco considerável de se observar efeitos adversos durante um determinado tempo de exposição. A *Agency for Toxic Substances*

and Disease Registry (ASTDR, 2000) usa a relação dose de nenhum efeito adverso observado (DNEAO) sobre os fatores de incerteza na dedução do NRM. Este é definido abaixo dos níveis capazes de promover um efeito nocivo na população, suscetível à interação com determinada substância, e é dependente do modelo matemático e do fator de incerteza utilizados, bem como dos objetivos das instituições que o adotam.

Os NRMs são estabelecidos para diferentes espaços de tempo e condições de exposição: aguda (1-14 dias), intermediária (15-364 dias) e crônica (365 dias ou mais), para as vias de introdução oral e pulmonar. Geralmente baseados no efeito tóxico mais relevante para a população humana, efeitos irreversíveis, tais como danos renal e hepático irreversíveis, malformações congênitas ou carcinomas, não são utilizados para fundamentar aquela extrapolação.

5.1.2 Água e sedimento

As concentrações de cromo em rios dos Estados Unidos encontram-se normalmente na faixa de $< 1-30 \mu\text{g/L}$ com uma média de $10,0 \mu\text{g/L}$ e as concentrações em águas de lagos não excedem $5,0 \mu\text{g/L}$ (ATSDR, 2000).

Em 11 rios canadenses que cruzam a Columbia Britânica, a concentração média de cromo total encontrada foi de $6,9 \mu\text{g/L}$ (faixa de $0,3-165 \mu\text{g/L}$), e em águas superficiais coletadas nos Grandes Lagos ficou na faixa de $0,09$ a $0,82 \mu\text{g/L}$ (CANADIAN ENVIRONMENTAL PROTECTION ACT, 1994).

Em águas marinhas na costa leste dos Estados Unidos, as concentrações de cromo encontradas estavam na faixa de $2,8-130,9 \mu\text{g/g}$, em 1994 (ATSDR, 2000).

O estudo realizado por BAPTISTA NETO et al. (2000) no estreito de Jurujuba, em Niterói, na entrada da baía de Guanabara, Brasil, demonstrou a contaminação do local por metais, por meio da coleta de 64 amostras de sedimentos de superfície. A região recebe descarga de esgoto sem tratamento e possui escoamento superficial das ruas; além do cromo, vários outros metais foram determinados, tais como chumbo, zinco, cobre, níquel e manganês. Os níveis de cromo encontrados nas amostras coletadas nas diversas localidades da região estão apresentados na TABELA 11.

TABELA 11 – Concentrações de cromo no estreito de Jurujuba

Localidade	Faixa de concentração de Cr (ppm)	Média e desvio padrão
Estreito de Jurujuba	10-223	89 ± 57
Areia do sedimento do estreito de Jurujuba	3-25	16,1 ± 69
Lama do sedimento do estreito de Jurujuba	79-230	118 ± 38
Níveis em lamas dos sedimentos de Jurujuba	30-49	40,5 ± 7,7
Solos da área	24-116	77 ± 25

FONTE – BAPTISTA NETO et al., 2000.

Os referidos autores citam as concentrações de cromo encontradas em várias regiões marinhas: no golfo de Venice, Itália = 10-254 ppm; em Belfast, Reino Unido = 150-335 ppm; no estuário de Ganges, Índia = 21-100 ppm.

Elevadas concentrações de cromo foram encontradas em sedimentos de água doce em regiões industrializadas canadenses, quando comparadas às concentrações obtidas em regiões não industrializadas – 10 µg/g (peso seco). Foram elas: rio Santa Mary, em Ontário = 31.000 µg/g (peso seco) e rio Welland (entorno de indústria de aço) = 5.120 µg/g (peso seco) (CANADIAN ENVIRONMENTAL PROTECTION ACT, 1994).

AVELAR et al. (1997) em estudo realizado para determinar a poluição por metais pesados proveniente de uma indústria de couro, na bacia do rio Sapucaí-Mirim, São Paulo, Brasil, avaliaram a água do rio e o seu sedimento, nos meses de julho, setembro e novembro, coletando amostras em três localidades. Os valores encontrados estavam na faixa de:

- água, 0,006-0,168 µg/mL
- sedimentos, 16,860-242,425 µg/g

Segundo a resolução do CONAMA (1986) as concentrações máximas permitidas para o Cr trivalente são da ordem de 0,5 mg/L, estando

assim, os valores encontrados na água do rio Sapucaí-Mirim, dentro desse padrão.

A *Environmental Protection Agency* dos EUA (USEPA, 2000), estabelece os seguintes parâmetros para cromo na água:

- nível máximo de concentração: 0,1 mg/L;
- concentração máxima em águas subterrâneas: 0,05 mg/L;
- padrão para água de beber: 0,1 ppm;
- critério de qualidade ambiental da água: Cr (III) - 170 mg/L; Cr (VI) - 0,05 mg/L (ATSDR 2000).

5.1.3 Solo

Os níveis de concentração de cromo em solos variam muito, dependendo do tipo e da composição do solo. Nos solos canadenses a concentração variou de 5 a 1.500 mg/kg, com média igual a 43 mg/kg (ATSDR, 2000).

Os níveis de cromo em solos dos Estados Unidos variaram de 20 a 125 ppm (HSDB, 2000). HEITZMANN JUNIOR (1999) estudou as alterações da composição do solo nas proximidades de depósitos de lixo, localizados junto à bacia do rio Piracicaba, São Paulo, Brasil. Três localidades foram avaliadas – Itatiba, Piracicaba e Paulínea – nos períodos chuvoso e seco. As concentrações de vários metais, incluindo o cromo, foram determinadas e seus valores comparados aos níveis encontrados em solo de referência (sem a ação antropogênica), estabelecendo-se os fatores médio e máximo de enriquecimento do solo pelo metal (divisão dos valores encontrados pelo valor de referência). Os resultados obtidos estão listados na TABELA 12 e mostram, por meio da análise dos fatores médio e máximo, que o nível de enriquecimento do solo pelo cromo (fator máximo) atingiu, na localidade de Piracicaba, até três vezes o correspondente ao solo de referência.

5.2 Exposição da população em geral

5.2.1 Ar

A população em geral, comparada com a população de trabalhadores expostos aos compostos de cromo, está exposta a níveis menores destes compostos (HEMMINKI, VANIO, 1984).

TABELA 12 – Concentração média de cromo (ppm) encontrada em depósitos de lixo localizados junto à bacia do rio Piracicaba

Localidade	Níveis de referência	Período chuvoso Média e faixa (ppm)	Período seco Média e faixa (ppm)	Fatores médio ($F_{\text{médio}}$) e máximo ($F_{\text{máximo}}$) de enriquecimento do solo
Itatiba	17	29 (12-47)	22 (8-33)	1,5 $F_{\text{médio}}$ 2,8 $F_{\text{máximo}}$
Piracicaba	35	63 (42-110)	52 (41-63)	1,7 $F_{\text{médio}}$ 3,2 $F_{\text{máximo}}$
Paulínea	62	70 (25-87)	60 (7-84)	1,1 $F_{\text{médio}}$ 1,4 $F_{\text{máximo}}$

FONTE – HEITZMANN JUNIOR, 1999

Em avaliações realizadas na década de 70 em Osaka, Japão, as concentrações do ar daquela região estavam na faixa de 17 a 87 ng/m³ (WHO, 1988).

As concentrações de cromo na atmosfera em áreas afastadas, não poluídas, estão na faixa de 0,005 a 2,6 ng/m³, comparando-se os níveis medidos em 51 cidades dos Estados Unidos, no período de 1968-1971, com os dados de 1975-1983 da *EPA's National Aerometric Data Bank*. Os níveis verificados no início de 1980 foram menores que os determinados nas décadas de 60 e 70 (ATSDR, 2000). A concentração média de cromo em 12 cidades canadenses, durante o período de 1987 a 1990, variou de 3 a 9 ng/m³, enquanto os níveis em áreas rurais foram menores que 0,001 µg/m³ (CANADIAN ENVIRONMENTAL PROTECTION ACT, 1994).

5.2.2 Alimentos e bebidas

Na maioria dos alimentos, o cromo existe em baixa concentração. Dentre os alimentos mais ricos em cromo estão o peixe, a lagosta, o frango e o levedo de cerveja. O teor máximo permitido pela legislação brasileira é de 1,0 µg/mL para Cr (III) e 0,05 µg/mL para Cr (VI) (SILVA, 1997).

Em estudos realizados na província de Tarragon, Espanha, para verificar a concentração de cromo em vegetais comestíveis, níveis elevados foram encontrados em raízes de rabanetes e em espinafre, mas não houve diferença significativa nas amostras coletadas numa região industrial ao norte e em outra, agrícola, ao sul do país. As faixas de concentração

encontradas foram de 0,01 µg/g a 0,21 µg/g (área industrial) e de 0,01 µg/g a 0,22 µg/g (área agrícola) (ATSDR, 2000).

Alimentos ácidos, que ficam em contato com superfícies de aço inoxidável durante a colheita, processo e preparação, podem apresentar, algumas vezes, concentração mais alta de cromo por causa das condições de lixiviação. O processamento dos alimentos remove uma alta porcentagem do cromo neles contido. O pão de trigo integral contém 1.750 µg de cromo/kg do produto, enquanto no processado a concentração é aproximadamente 10 vezes menor (140 µg de cromo/kg do produto). O melado contém 260 µg de cromo/kg do produto e o açúcar refinado apresenta apenas 20 µg de cromo/kg (ATSDR, 2000).

A TABELA 13 indica as concentrações encontradas em diferentes produtos alimentícios.

TABELA 13 – Concentrações de cromo em alguns alimentos e bebidas

Alimentos	Concentração média (µg/kg de peso seco)	Faixa de concentração (µg/kg de peso seco)
Farinha refinada	< 20	
Grãos e cereais		40-220
Óleo vegetal		0,03-0,23
Açúcar refinado		< 20
Ovo	200	
Queijo		10-130
Batata		0,04-0,26
Legumes		0,04-0,16
Frutas		0,05-0,09
Peixe total		50-80
Molusco		100-600
Frutos do mar		120-470
Cogumelo	1,92	
Leite integral	10	
Bebidas		0,03-0,07

FONTES – WHO, 1988; HSDB, 2000; ATSDR, 2000

Segundo ATSDR (2000), o FDA (*Food and Drug Administration*) estabelece como limite de cromo em água engarrafada o valor de 0,1 mg/L, e o de 120 µg como sendo a ingestão diária de referência para vitaminas e minerais contendo cromo.

5.2.3 Água para consumo

A EPA - *Environmental Protection Agency* estabelece o nível máximo de 100 µg/L de Cr (III) e Cr (VI), ou seja, cromo total, para a água de consumo nos Estados Unidos (EPA, 2000).

A faixa de concentração de cromo encontrada na água de consumo nos Estados Unidos, em estudo realizado entre os anos de 1974 e 1975, variou entre 0,4 e 8,0 µg/L, com a média de 1,8 µg/L. A concentração do metal na água de torneira pode ser maior, devido à corrosão nos encanamentos que contêm cromo; em Boston, Massachusetts, um valor máximo de 15 µg/L foi ali encontrado (ATSDR, 2000).

O estudo realizado no período de 1976-1977, em 115 cidades canadenses, demonstrou que a concentração de cromo na água para consumo dessas localidades variou entre 2,0 e 8,0 µg/L (ATSDR, 2000).

5.2.4 Outras exposições

Vários produtos utilizados cotidianamente contêm cromo em sua composição. Entre eles encontram-se cimento, produtos têxteis, couro, madeira tratada, materiais de limpeza, óleo lubrificante, etc. O contato com estas substâncias pode provocar dermatites. As crianças são mais suscetíveis, pelo hábito de levar as mãos ou os produtos à boca (WHO, 1988).

O estudo realizado por FAGLIANO et al. (1997), apud ATSDR (2000), demonstrou que o nível de cromo urinário em crianças de cinco anos e jovens foi significativamente mais elevado do que os níveis em adultos. Estes indivíduos residiam em área próxima a locais onde escória de cromo era usada como material de enchimento. A tendência das crianças a ingerirem solo ao levarem a mão à boca foi bem documentada.

5.3 Exposição ocupacional

5.3.1 Ambiente de trabalho

Não havendo, no processo industrial, ventilação local exaustora, ou confinamento do processo, o trabalhador estará exposto a diferentes

formas de contaminantes, tais como, fumos metálicos nos processos de solda, névoas de ácido crômico nas cromações, poeiras e névoas em curtume e poeira no caso da fabricação de pigmentos (TABELA 14).

Como a principal via de introdução no organismo é a respiratória, a absorção destes contaminantes, pelas vias aéreas superiores e pulmões, dependerá do tamanho da partícula, da solubilidade da mesma e da valência do cromo, já que o Cr (VI) atravessa mais facilmente as membranas celulares, o mesmo não ocorrendo com o Cr (III). Portanto, nem sempre a maior concentração de um contaminante, no ar do ambiente de trabalho, significará maior excreção urinária de cromo (SILVA, 1997).

Na TABELA 14 apresentam-se dados sobre a exposição ocupacional ao cromo.

5.3.2 Limites de exposição ocupacional

A legislação brasileira (BRASIL, 1978), na Norma Regulamentadora 15, define limite de tolerância (LT): “entende-se por limite de tolerância, para fins desta Norma, a concentração ou intensidade máxima ou mínima, relacionadas com a natureza e o tempo de exposição ao agente, que não causará dano à saúde do trabalhador, durante a sua vida laboral”.

No Brasil, quando não há limite de tolerância para determinado composto, a legislação brasileira (BRASIL, 1978), de acordo com a NR9 - 9.3.5.1. alínea “c”, utiliza os valores da ACGIH, ou aqueles que venham a ser estabelecidos em negociação coletiva de trabalho, desde que mais rigorosos do que os critérios técnico-legais estabelecidos.

No caso do cromo, o único limite que consta é para o ácido crômico (cromo hexavalente), composto solúvel, com LT de 0,04 mg/m³.

A TABELA 15 compara os limites dos vários compostos de cromo adotados por vários países, ou entre as diversas instituições do mesmo país, bem como a categoria carcinogênica daqueles compostos (ACGIH, 2000).

Como os limites de tolerância são parâmetros utilizados na proteção à saúde dos trabalhadores, é importante considerar a bem cuidada revisão da história dos limites de tolerância, realizada por ARCURI, CARDOSO (1991), e os estudos realizados por CASTLEMAN, ZIEM (1988), nos

quais os autores concluíram “que não estão disponíveis dados suficientes de exposição a longo prazo, nem de estudos em animais, com relação a 90% das substâncias químicas que têm os seus LTs estabelecidos”.

TABELA 14 – Exposição ocupacional ao cromo em diferentes indústrias

Tipo de indústria e/ou Profissão	Cr no ar ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) média ou faixa	Cr-U ($\mu\text{g}/\text{g}$ creatinina) média e/ou faixa	Tipos de danos à saúde constatados	País	Referências
Naval/soldador	10,0 (1,0-80,0)	30,0 (3,6-152,6)	Não mencionado	Alemanha	RAHKONEN, 1983
Cromação-cromo duro/cromadores	5,5-49,0	2,2-35,3	90% de ulcerações do septo nasal e 35% de perfurações do septo nasal	Brasil	SILVA, 1991
Cromação/cromadores	8,3 (4,0-20,0)	6,0 (3,2-12,7)	Não mencionado	Itália	CAVALLERI et al., 1990
Fabricação de dicromato	93,7 (56,0-195,0)	49,7 (29,7-121,4)	Não mencionado	Itália	CAVALLERI et al., 1990
Cromação/cromadores	não realizado	9,5	29% de perfurações do septo nasal e 41% de rinite atrófica	Itália	BOLLA et al., 1990
Cromação/cromadores	89,7 (0,7-168,3)		35% de perfurações do septo nasal e 68% de ulcerações do septo nasal	Taiwán - Rep. da China	LIN et al., 1994
Fabricação de tanques/soldadores	160,0-840,0	9,0 (3,1-36,3)	Não mencionado	Itália	MUTTI et al., 1979
Cromação/cromadores	2,0-20,0	24,5-33,3	Não mencionado	Suécia	LINDBERG, 1983
Cromação/cromadores	100-1.000	Não realizado	38,4% de ulcerações e 24% de perfurações do septo nasal	Brasil	GOMES, 1972
Indústria de máquinas/soldadores	20-500	15-150	irritações nas vias aéreas superiores	Finlândia	TOLA et al., 1977
Indústria de máquinas/soldadores	100	17,2	retenção de poeiras magnéticas no pulmão	Finlândia	SJÖGREN et al., 1983
Curtume	13 (4-29)	4,8-62	Não mencionado	Finlândia	AITIO et al., 1984

O biomarcador da exposição ao metal, segundo a legislação brasileira, é o cromo urinário Cr-U, com o IBMP (Índice Biológico Máximo Permitido) de 30,0 mg/g de creatinina.

5.4 Ingresso corpóreo humano total

Os níveis de cromo no ar ($< 0,01-0,03 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e na água de torneira ($< 2\mu\text{g}/\text{L}$) têm sido usados para estimar o ingresso diário de cromo via inalação ($< 0,2-0,6 \mu\text{g}$) e via água de torneira ($< 4 \mu\text{g}$).

TABELA 15 – Comparação dos limites de tolerância de exposição ao cromo e seus compostos e a correspondente categoria carcinogênica em alguns países (ACGIH, 2000)

Substância	EUA ACGIH TLVs (2000)		EUA OSHA PELs (1993)		EUA NIOSH RELs (1994)		Brasil LTs		Reino Unido		Categoria Carcinogênica
	ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³	
Cromo		0,5		1,0		0,5				0,5	IARC -3 TLV-A4
Compostos de Cr (III)		0,5		0,5		0,5		0,5		0,5	EPA-D EPA-CBD IARC-3 TLV-A4
Compostos solúveis de Cr (VI)		0,05		STEL/ CEIL (C) 0,1				0,04		0,05	EPA-A EPA-K IARC-1 NIOSH-Ca NTP-K TLV-A1
Compostos insolúveis de Cr (VI)		0,01		STEL/ CEIL (C) 0,1		0,001				0,05	EPA-A EPA-K IARC-1 NIOSH-Ca NTP-K TLV-A1

LEGENDA – **ACGIH** - American Conference of Governmental Industrial Hygienists; **OSHA** - Occupational Safety and Health Administration; **NIOSH** - National Institute for Occupational Safety and Health; **EPA** - U.S. Environmental Protection Agency; **IARC** - International Agency for Research on Cancer; **NTP** - National Toxicology Program; **TLVs** (Threshold Limit Values) - Valores Limites; **PELs** (Permissible Exposure Limits) - Limites de Exposição Permitida; **RELs** (Recommended Exposure Limits) - Limites de Exposição Recomendada; **LTs** - Limites de Tolerância; **TWA** (Time-Weighted Exposure Concentration) - Concentração Média Ponderada pelo Tempo para 8 horas diárias ou 10 horas diárias e quarenta horas por semana; **STEL** - (Short-Term Exposure Limit) - Concentração Média Ponderada pelo Tempo normalmente de 15 minutos, não podendo ser ultrapassada em nenhum momento da jornada de trabalho; **CEIL** (Ceiling C) - concentração que não pode ser excedida em nenhum momento da jornada de trabalho; **EPA A** - Carcinogênico para o homem; **EPA B** - Provável carcinogênico para o homem; **EPA C** - Possível carcinogênico para o homem; **EPA D** - Não classificado como carcinogênico para o homem; **EPA K** - Conhecido carcinogênico humano; **IARC 1** - Carcinogênico para o homem; **IARC 3** - Não classificado como carcinogênico para o homem; **NIOSH-Ca** - carcinogênico ocupacional; **NTP-K** - Conhecido por ser carcinogênico humano **TLV-A1** - Confirmado como carcinogênico humano; **TLV-A4** - Não classificado como carcinogênico humano

Estas estimativas são baseadas no fato de que um indivíduo inala cerca de 20 m³/dia de ar e consome 2,0 L/dia de água. Um cálculo de ingresso corpóreo diário de cromo para a população dos Estados Unidos (dieta com 25 a 43% de gordura) foi estimado na faixa de 25 a 224 µg, com uma média de 76 µg (ATSDR, 2000).

A média diária de ingresso do cromo por meio do ar, da água e do alimento foi estimada em aproximadamente 0,3 µg, 4,0 µg e 280 µg, respectivamente (HSDB, 2000).

O *National Research Council* (NRC) recomenda uma ingestão diária de cromo (III) segura e adequada de 50-200 µg/dia (ATSDR, 2000).

Na TABELA 16 encontram-se os níveis de cromo em alguns fluídos biológicos de população não-exposta ocupacionalmente. Os dados referem-se a populações japonesa e finlandesa. No Brasil, praticamente não há estudo detalhado sobre aqueles níveis, os quais são importantes uma vez que o cromo participa de diversos processos metabólicos.

TABELA 16 – Concentração de cromo em pessoas não-expostas ocupacionalmente

Matriz	Nº de sujeitos	Unidade	Cr Média (d.p.)	Referências
Urina	91	µg/g creatinina	0,48 ± 0,42	NOMIYAMA et al., 1980
Urina	34	µg/g creatinina	0,54	KIILUNEN, 1994
Urina	41	µg/g creatinina	0,21 (0,1)	KIILUNEN, 1994
Urina	51	µg/g creatinina	1,10	KIILUNEN, 1994
Sangue	20	µg/L	23,8 (5,3)	KIILUNEN, 1994
Soro	42	µg/L	0,06 (0,02)	KIILUNEN, 1994
Fezes	10	µg/g		KIILUNEN, 1994

d.p.= desvio padrão

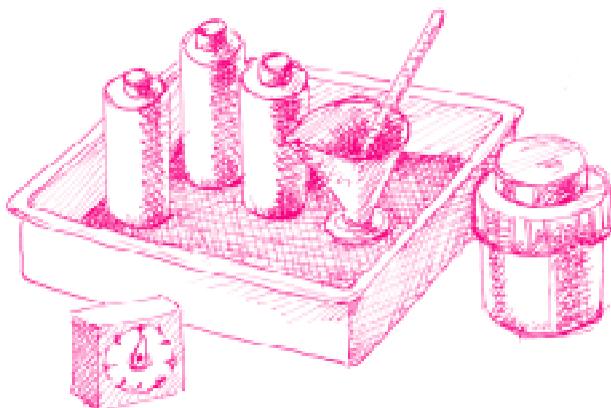
Com base na resolução Mercosul GMC nº 18/94, estabelecida pelo *Committee on Dietary Allowances, Food and Nutrition Board. Recommended Dietary Allowances (RDA), 10th revised edition, National Academy of Science (NAS), Washington D.C., 1989,*

procedeu-se à elaboração da Portaria nº 33, da ANVISA, que dispõe sobre a adoção de Ingestão Diária Recomendada (IDR) de vitaminas, minerais e proteínas, a ser utilizada como parâmetro de ingestão desses nutrientes por indivíduos e diferentes grupos populacionais. A TABELA 17 mostra a ingestão diária recomendada para o cromo, segundo a referida portaria.

TABELA 17 – Ingestão diária recomendada (IDR) para cromo (em µg/g)

Nutriente	Adultos	Lactante Idade (anos) (0 - 0,5)	Crianças – Idade (anos)				Gestante	Para Lactantes	
			0,5 - 1	1 - 3	4 - 6	7 - 10		Primeiros 6 meses	Segundos 6 meses
Cromo	200 µg/g	10-40	20-60	20-80	30-120	50-200	50-200	50-200	

FONTE – BRASIL, 1998



*Com a
revelação a
imagem
torna-se
visível. Pode
ser feita em
câmara escura
ou no interior
de recipientes
apropriados*

6

Formas tóxicas e efeitos à saúde

No homem e em animais, o cromo trivalente é um nutriente essencial que desempenha papel importante no metabolismo de glicose, gorduras e proteínas. Acredita-se que a forma biologicamente ativa do complexo de cromo (III) orgânico facilite a interação da insulina com seus receptores celulares. A molécula biologicamente ativa do cromo (III), comumente referida como GTF, parece ser um complexo do tipo dinicotinato de cromo (III)-glutathione. Esta molécula não foi ainda totalmente caracterizada, mas sabe-se que ela facilita a interação da insulina com seu receptor, influenciando, assim, o metabolismo de glicose, proteína e lipídeos. Compostos inorgânicos de cromo não apresentam esta atividade. Entretanto, o homem e os animais são capazes de converter os compostos de cromo inativos a formas biologicamente ativas. O mecanismo exato desta interação é desconhecido. Os estudos realizados demonstraram que a suplementação de cromo na deficiência do metal melhora o metabolismo de glicose, proteína e lipídios (ATSDR, 2000).

Os sintomas de deficiência do metal baseiam-se em poucos casos relatados. Neuropatia periférica, perda de peso e disfunção do metabolismo de glicose foram descritos. Em animais, a deficiência severa de cromo resultou em hiperglicemia, perda de peso, níveis elevados de colesterol, aterosclerose, opacidade da córnea, disfunção da fertilidade e letalidade. A administração de compostos de cromo trivalente resultou em diminuição dos níveis séricos de glicose e colesterol e regressão da aterosclerose (ATSDR, 2000).

Ainda que a incidência de deficiência severa de cromo seja baixa, a ocorrência de concentrações de cromo próximas aos valores marginais da homeostase pode ser comum. Tanto o homem como os animais são capazes de converter o cromo (III) inativo a formas fisiologicamente ativas. Ainda que a exposição a elevadas concentrações desta forma do metal possa levar à observação de efeitos adversos, a maioria dos estudos sobre os efeitos à saúde envolve a exposição a cromo metálico e cromo (VI) (ATSDR, 2000).

Dentre os fatores que devem ser considerados na avaliação da toxicidade dos compostos de cromo, destaca-se a pureza desses compostos; os compostos de cromo (III) podem estar contaminados com pequenas quantidades de cromo (VI), o que dificultaria a interpretação dos estudos com animais de experimentação e a avaliação da exposição no ambiente ocupacional. Outrossim, como o cromo (VI) é rapidamente reduzido a cromo (III) no organismo, torna-se difícil distinguir os efeitos nocivos de cada espécie em separado. (ATSDR, 2000).

O cromo metálico parece não ser nocivo à saúde. Os compostos de cromo (VI) podem provocar efeitos nocivos na pele, no trato respiratório e, em menor extensão, nos rins. O cromo (III) é menos tóxico (ATSDR, 2000).

6.1 Carcinogenicidade

BIDSTRUP, CASE (1956) relataram carcinomas pulmonares em trabalhadores de três indústrias produtoras de dicromatos, situadas em diferentes locais da Grã Bretanha. Em 1949, o número de trabalhadores expostos era de 723; 59 foram a óbito, 12 dos quais em consequência de câncer pulmonar. A expectativa de mortalidade para este tipo de neoplasia era de 3,3 casos/ano.

ENTERLINE (1974), por meio de estudo epidemiológico realizado em sete fábricas de produção de cromatos a partir do minério cromita, no período de 1930 a 1947, verificou que o risco relativo de câncer pulmonar era 20 vezes maior para estes trabalhadores expostos do que para trabalhadores de refinaria de petróleo (grupo controle).

LANGÄRD et al. (1980), estudando trabalhadores expostos a ferrocromo na Noruega, entre os anos de 1928 e 1977, verificaram a incidência de câncer em 976 trabalhadores incluindo aposentados. Encontraram sete casos de câncer no trato respiratório, no grupo exposto ao ferrocromo, quando o esperado (E) eram 3,10 ($O/E = 2,26$). Foram observados (O) dois casos para o esperado de 6,35 ($O/E = 0,31$), quando usaram, como grupo controle, trabalhadores da mesma indústria não expostos ao ferrocromo.

SATOH et al. (1981), em estudo realizado com 896 trabalhadores de uma fábrica de compostos de cromo em Tóquio, no período de 1918 a

1975, encontraram 31 casos de óbito por câncer no trato respiratório para o esperado de 3,36 (O/E = 9,52). Porém, quando estes casos de óbito foram estratificados por tempo de exposição, verificaram: cinco casos observados para 1,181 esperado, para tempo de exposição entre 1 e 10 anos; nove casos observados para 1,2 esperado para tempo de exposição entre 11 e 20 anos; 17 casos observados para 0,973 esperado, para 21 ou mais anos de exposição, indicando aumento de risco com o tempo de exposição.

LANGÄRD, VIGANDER (1983) verificaram a ocorrência de câncer pulmonar em 133 trabalhadores de uma fábrica de produção de pigmentos – cromato de zinco, na Noruega. O período estudado foi de 1948 a 1972. Foram encontrados 13 casos de câncer, sendo sete de câncer pulmonar. Quatro novos casos de câncer apareceram durante o período de estudo. Fazendo uma sub-coorte, de 24 trabalhadores com mais de três anos de exposição, constataram seis casos de câncer pulmonar para um esperado de 0,135 (referência nacional) ou para 0,08 usando a referência local.

FRANCHINI et al. (1983) estudaram a mortalidade em 178 cromadores italianos no período de 1951-1981. Cento e dezesseis deles trabalhavam em empresas de cromo duro e sessenta e dois em empresas de cromo decorativo. Observaram-se nos cromadores de cromo duro, para um período de exposição inferior a 10 anos: três óbitos por câncer pulmonar para 0,6 esperado para a população local; dois casos de câncer gastrointestinal para 1,0 esperado; um caso de câncer de estômago para 0,06 esperado. Em relação aos cromadores do cromo decorativo, constataram um caso de câncer gastrointestinal para 0,26 esperado e um de estômago para 0,02 esperado.

MELKID et al. (1989) estudaram a incidência de câncer entre 4.778 trabalhadores de um estaleiro norueguês, incluindo 783 soldadores num estudo de coorte histórico. O período estudado foi de janeiro de 1946 a março de 1977, com operários trabalhando há pelo menos três meses. Foram observados 53 óbitos por câncer pulmonar para 31,3 esperados (O/E = 1,69) e 22 casos de câncer nos olhos (provocando cegueira) para 15,2 esperados (O/E = 1,45).

TAKAHASHI et al. (1990), por meio de estudo de coorte prospectivo em 415 pequenas indústrias cromadoras do Japão, verificaram mortalidade entre 1.193 trabalhadores masculinos (626 cromadores e 567

não cromadores) no período de 1970 a 1976. Os óbitos por câncer pulmonar foram significativamente maiores que o esperado (16 observados para 8,9 esperados, O/E = 1,79).

O estudo epidemiológico realizado por KORALLUS et al. (1993), em trabalhadores alemães de duas fábricas de produção de cromatos, permitiu avaliar a incidência de carcinoma brônquico nesta população. Foram estudados um total de 1.417 trabalhadores com no mínimo um ano de exposição, no período de 1958 a 1988, em uma das fábricas, e de 1964 a 1988, na outra. O início de cada período correspondia às modificações efetuadas no processo produtivo. De 739 trabalhadores dessas empresas, 432 foram a óbito durante o período de observação, 66 por câncer brônquico (razão O/E igual a 2,27). Para o grupo coorte de 678 trabalhadores, expostos após a modificação do processo produtivo a razão O/E foi igual a 1,26. Neste grupo observaram-se nove casos de câncer brônquico. A diminuição do índice O/E indicou, segundo os autores, o provável sucesso da modificação do processo produtivo.

A IARC (1990) relata a elevada incidência de câncer pulmonar em trabalhadores de fábricas de produção de cromatos localizadas na Alemanha, nos Estados Unidos e na Inglaterra, no período de 1930 a 1956. Os vários estudos realizados neste período demonstraram associação entre a exposição aos pigmentos contendo cromatos e o carcinoma pulmonar observado.

6.2 Outros danos à saúde

A maioria dos efeitos tóxicos induzidos pelo cromo ocorrem no trato respiratório, quando a via de introdução é a pulmonar. Alguns efeitos sistêmicos são relatados em concentrações bastante elevadas mas, geralmente, de menor prevalência. Os efeitos tóxicos em indivíduos expostos ocupacionalmente a elevadas concentrações de cromo, particularmente cromo (VI), incluem ulceração e perfuração de septo nasal, irritação do trato respiratório, possíveis efeitos cardiovasculares, gastrintestinais, hematológicos, hepáticos e renais, além do risco elevado de câncer pulmonar.

Após a exposição oral, os efeitos mais prevalentes ocorrem a nível hepático e renal. Os estudos de efeitos sistêmicos após a exposição

por via dérmica são limitados, sendo a própria pele o local da ação tóxica (ATSDR, 2000).

Coriza, perfuração de septo nasal e ulcerações nas mãos e nos dedos são relatadas em trabalhadores de galvanoplastia. Os problemas dermatológicos causados pelo cromo são devidos à não utilização dos equipamentos de proteção individual (EPI), como luvas de cano longo, avental e botas de borracha. É importante ressaltar que o tipo de processo industrial pode dificultar o uso destes equipamentos (NIOSH, 1973).

A incidência de lesões cutâneas e de mucosas foi estudada em 303 trabalhadores brasileiros de galvanoplastia, expostos ao ácido crômico. Perfuração e ulceração do septo nasal foram observadas, respectivamente, em 24% e aproximadamente 39% dos trabalhadores. Mais de 50% dos trabalhadores examinados apresentavam ulcerações nas mãos, nos braços e pés (GOMES, 1972).

MUTTI et al. (1979) constataram disfunção renal em soldadores expostos a alta concentração de cromo, caracterizada por excreção urinária das proteínas beta-glicuronidase e lisozima. Os soldadores expostos a menores concentrações de cromo não apresentaram disfunção renal.

VERSCHOOR et al. (1988), em estudo realizado com 29 cromadores, 45 soldadores e 18 caldeireiros, não evidenciaram alteração na função renal destes trabalhadores quando comparados ao grupo controle. O mesmo foi observado por VYSKOCIL et al. (1992) em 52 soldadores de aço inoxidável expostos a cromo e níquel.

LANGÄRD (1980), examinando 140 trabalhadores de fábrica de ferrosilício e ferrocromo, constatou dificuldades respiratórias em 39% dos trabalhadores do setor de ferrosilício, em 18% do setor de ferrocromo e em 30% dos trabalhadores da manutenção de ambos os setores. Observou ainda elevada incidência de tosse, respiração ofegante e bronquite no grupo exposto, em comparação ao grupo controle.

LINDBERG (1983), examinando a função pulmonar e vias aéreas superiores de 104 trabalhadores suecos de galvanicas, constatou irritação da mucosa nasal naqueles expostos a concentrações menores que $2,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de ácido crômico. Dos trabalhadores expostos a concentrações entre $2,0$ e $20,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, oito apresentavam ulcerações e duas perfurações

do septo nasal. Segundo o pesquisador, “se a meta é evitar sintomas e atrofia do septo nasal e, conseqüentemente, preservar a saúde do trabalhador, a média ponderada pelo tempo não poderia exceder a $1,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de ácido crômico”. É importante ressaltar que o limite de tolerância para o ácido crômico é de $20,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na Suécia.

BOLLA et al. (1990) estudaram 26 trabalhadores de uma galvanica, sendo nove cromadores e 17 polidores. Dos primeiros, sete apresentaram rinite atrófica e dois perfuração do septo nasal; dos 17 polidores, cinco apresentaram perfuração do septo nasal, três rinite atrófica, cinco rinite subatrófica e quatro rinite hipertrófica. A rinite atrófica e a perfuração do septo nasal são danos irreversíveis.

SILVA (1991) avaliou 17 cromadores de nove cromações. Dez destes cromadores, de cromo duro, estavam sendo submetidos a concentrações de ácido crômico na faixa de $4,1$ a $72,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (avaliação individual): 60% deles apresentaram perfuração de septo nasal; 20%, ulceração profunda do septo nasal e freqüente sangramento (etapa anterior à perfuração do septo); 20%, discreta ulceração do septo nasal e irritação na garganta. Dos sete cromadores, de cromo decorativo, submetidos a concentrações de ácido crômico na faixa de $0,3$ a $64,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (avaliação individual), dois apresentaram ulceração profunda do septo nasal e freqüente sangramento e quatro discreta ulceração, coceiras no nariz e corrimento nasal.

SILVA, VIEIRA SOBRINHO (1992) avaliaram quatro cromações no Brasil, uma de cromo duro e três de cromo decorativo. Dos quatro cromadores de cromo duro, três tiveram o septo nasal perfurado e o quarto apresentou abundante sangramento nasal. A concentração de cromo no ar na avaliação individual foi de $49,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (média ponderada) e, nas avaliações fixas, as concentrações situaram-se na faixa de $30,0$ a $175,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Nas empresas de cromo decorativo, dois cromadores, submetidos a concentração de cromo inferior a $1,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (média ponderada), relataram queimação na garganta. Os outros cromadores submetidos, respectivamente, a concentrações de $9,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $2,1$ e $64,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, apresentaram ulceração no septo nasal e abundante sangramento. Nas avaliações fixas, as concentrações médias durante a semana de trabalho foram de $128,0$ e $79,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, com as bombas colocadas em dois tanques, numa altura de $1,70$ m do piso. É importante ressaltar que dois

daqueles cromadores, com 18 e 19 anos de idade, estavam expostos havia entre 20 e 40 dias. O limite de tolerância estabelecido pela legislação brasileira – Portaria 3214 – é de 40,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (BRASIL, 1978).

LIN et al. (1994) avaliaram a incidência de perfuração do septo nasal em 79 trabalhadores de sete cromações chinesas, utilizando como grupo controle 40 trabalhadores de eletrodeposição de alumínio. Da população exposta, 16 cromadores apresentaram perfuração do septo nasal, 42 ulceração do septo nasal e 10, úlceras de pele. Nenhum trabalhador do grupo controle apresentou perfuração do septo nasal ou problemas dermatológicos.

SILVA et al. (1996) avaliaram 22 cromadores brasileiros expostos a cromo hexavalente. Destes, 17 apresentaram lesões avançadas no septo nasal; em 41% evidenciou-se isquemia, em 27% ulcerações e em 9% perfurações.

LIMA et al. (1996) realizaram um estudo prospectivo, no estado de São Paulo, em 459 trabalhadores de 22 galvânicas. As biópsias realizadas em anodizadores, niqueladores e cromadores e os exames histopatológicos de cinco cromadores mostraram erosão, ulceração e infiltração de células inflamadas. Dois cromadores com perfuração do septo nasal desenvolveram essas lesões após 6 a 18 meses de exposição.

Além da ação sobre a pele e o septo nasal, a inalação de partículas de cromo (VI) pode levar ao aparecimento de eritema facial, tosse e asma. Dispnéia, tosse e espirros são relatados na inalação de grandes quantidades de cromo (III) (ATSDR, 2000).

*Usam-se três tipos
de soluções – o
"revelador",*

*que, após certo tempo, é
substituído pelo
"interruptor"*



*e, para finalizar o
processo, utiliza-se
o "fixador"*



*que dissolve os sais de prata não
afetados pela luz, assegurando a
inalterabilidade da imagem*

7

Toxicocinética

A toxicocinética dos compostos de cromo depende do estado de oxidação do átomo e da natureza da ligação neste composto. Em geral, os compostos de ocorrência natural apresentam o metal no estado trivalente, e os industrialmente produzidos no estado hexavalente. A absorção dos compostos de cromo (VI) é maior do que a dos compostos de cromo (III). O ânion cromato (CrO_4)²⁻ penetra facilmente nas células através dos canais aniônicos não específicos. Já os compostos de cromo III são absorvidos por difusão passiva ou fagocitose (ATSDR, 2000).

A principal via de introdução dos compostos de cromo é a pulmonar. Estes compostos atingem o trato respiratório nas formas de vapores, névoas, fumos e poeiras, nos estados metálico, hexavalente e trivalente. A velocidade de absorção depende do diâmetro aerodinâmico da partícula, da solubilidade do composto nas membranas celulares e do número de oxidação do cromo no composto, além da atividade dos macrófagos alveolares. A absorção diminui com o aumento do diâmetro da partícula e aumenta com a hidrossolubilidade do composto de cromo. Vapores e névoas de cromo (VI) hidrossolúvel são absorvidos em todo o trato respiratório. Os compostos de cromo hexavalente são mais solúveis que os trivalentes e são, provavelmente, os mais absorvidos. O cromo (VI) é reduzido no trato respiratório inferior pelo fluido epitelial e pelos macrófagos alveolares. O cromo trivalente é pouco absorvido pelo organismo, independentemente da via de introdução (LANGÅRD, 1983; LANGÅRD, 1979; WHO, 1988; WHO, 1996).

Estudos realizados em animais evidenciaram a absorção dos cromatos solúveis e do cloreto de cromo (III) a nível pulmonar. O cromo hexavalente foi mais rapidamente transportado dos pulmões para outros tecidos que o cromo (III), mas partículas insolúveis são fagocitadas e liberadas vagarosamente (BAETJER et al., 1959).

No caso das galvânicas, o ácido crômico pode estar no ar do ambiente de trabalho na forma de névoas, se não houver um sistema eficiente de exaustão. As névoas em geral têm diâmetros que variam de 0,01 a 100 μm . As medidas efetuadas por LINDBERG et al. (1985), em uma empresa de

cromo duro, indicaram que os diâmetros aerodinâmicos das partículas logo acima do tanque estavam entre 0,1 e 12 μm ; no centro da fábrica, a dois metros acima do piso, os diâmetros variaram entre 0,1 e 3,4 μm . Partículas menores que 2,0 μm penetram até os alvéolos pulmonares e as de maior tamanho são depositadas na mucosa nasal, traquéia e brônquios e expectoradas pela ação dos cílios que revestem o trato respiratório (WHO, 1988).

A absorção por via oral é variável. Os compostos insolúveis de cromo (III), como o óxido de cromo, praticamente não são absorvidos por esta via de introdução; 0,5 a 2% dos compostos de cromo (III) presentes na dieta são absorvidos pelo trato gastrointestinal e, aproximadamente, de 2 a 10% de cromo (VI), como os cromatos de potássio e de sódio, são por ali absorvidos. Na ingestão de cromo hexavalente, este é rapidamente reduzido pelos compostos presentes na saliva e no suco gástrico a cromo (III), menos absorvido (WHO, 1996).

Tanto o cromo (III) como o cromo (VI) podem penetrar através da pele humana, especialmente se houver qualquer solução de continuidade. Toxicidade sistêmica foi observada após a exposição dérmica a compostos de cromo, indicando a significativa absorção cutânea. A velocidade de absorção depende das propriedades físico-químicas do composto, do veículo e da integridade da pele. Soluções concentradas de compostos contendo cromo (VI), como o cromato de potássio, podem causar queimaduras químicas e facilitar a absorção (ATSDR, 2000; WHO, 1996).

Uma vez absorvido, o cromo é transportado pelo sangue para vários órgãos e tecidos. O cromo (III) liga-se principalmente a proteínas séricas, especialmente a transferrina. O cromo (VI) penetra rapidamente nos eritrócitos (KIILUNEN, 1994). O estado de oxidação do metal apresenta um papel fundamental na distribuição pelo sangue e na retenção pelos diferentes órgãos (FRANCHINI, 1984). O cromo transportado pelo sangue concentra-se, especialmente, no fígado, rim, baço e pulmão. Os dados da exposição humana a cromo referem-se, quase exclusivamente, ao seu acúmulo nos pulmões em consequência da inalação das partículas do metal (WHO, 1996).

A distribuição do cromo, após a exposição por via oral, leva ao acúmulo do metal em nível renal, hepático, pulmonar, cardíaco e pancreático. O metal pode ser transferido para o feto através da passagem transplacentária, e para crianças via leite materno (ATSDR, 2000).

O metabolismo do cromo (VI) verificado *in vitro* e *in vivo*, nos pulmões de ratos, demonstrou que aquele pode ser reduzido a cromo (III) pelo ascorbato, o que diminuiria o tempo de permanência do metal naqueles órgãos, constituindo-se em mecanismo de defesa pulmonar contra agentes oxidantes. Quando o ascorbato é depletado dos pulmões, o cromo (VI) pode ser reduzido pela glutathione. Esta redução é, entretanto, mais lenta.

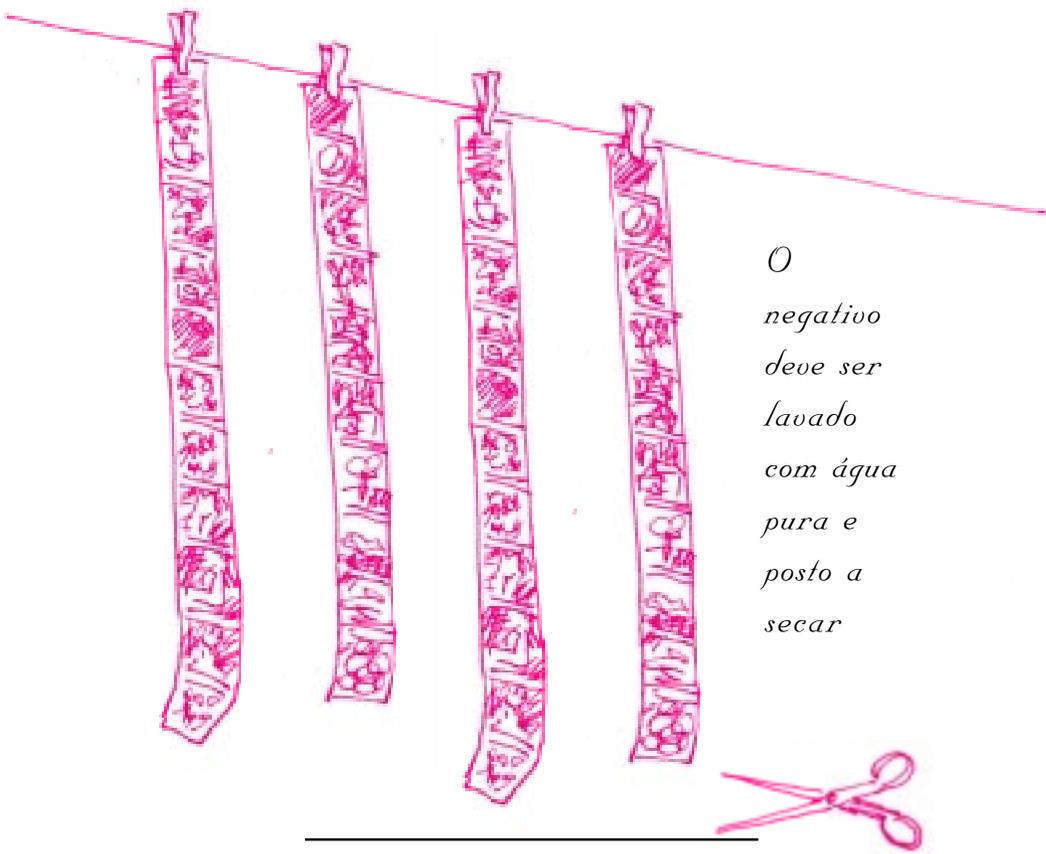
A redução do cromo (VI) a cromo (III) também ocorre quando a via de introdução é a oral, pela ação das enzimas gástricas e na presença do ascorbato. Nos eritrócitos, a redução ocorre por ação da glutathione e, como a membrana celular é permeável somente ao cromo (VI), o cromo trivalente formado fica aí retido (ATSDR, 2000).

O cromo é preferencialmente excretado pelos rins. Os níveis urinários normais de cromo no homem encontram-se entre 0,24 e 1,8 µg/L. Trabalhadores expostos a 0,05-1,7 mg/m³ de cromo (III), como sulfato de cromo, e 0,01-0,1 mg/m³ de cromo (VI), como cromato de potássio, apresentam concentrações urinárias de 0,0247 a 0,037 mg/L de cromo (III). Os indivíduos expostos preponderantemente a cromo (VI) apresentam níveis urinários de cromo mais elevados do que os expostos a cromo (III). A análise do metal na urina não detectou a forma hexavalente, demonstrando a rápida redução do cromo (VI) a cromo (III) antes de sua excreção. Uma parte do cromo inalado é excretado através da via fecal (ATSDR, 2000).

Após a introdução por via oral e intravenosa, o cromo também é preponderantemente excretado pelos rins; uma pequena porcentagem é excretada pela bile e pelas fezes. O estudo realizado, utilizando-se a via intravenosa como via de introdução, demonstrou que 40% da dose injetada de cromo (III) é excretada na urina e 5% nas fezes; para o cromo (VI), 40% da dose foi excretada igualmente na urina e nas fezes, durante um período de quatro dias. Na introdução por via oral, 80% da dose administrada de cromo (VI) foi recuperada na urina, no período de quatro dias (ATSDR, 2000).

A meia-vida de eliminação do cromo, administrado como cromato de potássio, é de 35 a 40 horas. O estudo realizado com trabalhadores expostos a cromo (III), baseado no modelo cinético de um compartimento, permitiu verificar a meia-vida urinária de 4 a 10 horas para esta espécie do metal (ATSDR, 2000).

O cabelo, as unhas, o leite e o suor são vias de excreção de menor importância.



*O
negativo
deve ser
lavado
com água
pura e
posto a
secar*

8

Toxicodinâmica

A toxicidade do cromo depende do seu estado de oxidação, sendo o cromo (VI) de maior toxicidade que o cromo (III). Acredita-se que um dos fatores que contribui para esta elevada toxicidade seja a grande habilidade do cromo (VI) em penetrar nas células, em comparação com o cromo (III). O cromo (VI) existe como ânion cromato tetraédrico em pH fisiológico, e assemelha-se a outros ânions naturais como sulfato e fosfato, permeáveis através dos canais da membrana celular. O cromo (III), entretanto, forma complexos octaédricos e não pode penetrar facilmente através daqueles canais. Portanto, a baixa toxicidade do cromo (III) se deve, em parte, a esta dificuldade de penetração celular. A redução extracelular do cromo (VI) a cromo (III) diminui a penetração intracelular do cromo, reduzindo assim a sua toxicidade (ATSDR, 2000).

Uma vez dentro das células, o cromo (VI) sofre redução a cromo (III), com o cromo (V) e cromo (IV) como intermediários. Estas reações geralmente envolvem espécies intracelulares, como o ascorbato, a glutatona ou os aminoácidos. As espécies cromo (VI), cromo (V) e cromo (IV) estão envolvidas no ciclo oxidativo de Fenton, gerando radicais livres. Dificilmente, em condições fisiológicas normais, o cromo (III) gera este tipo de radicais (ATSDR, 2000).

Os produtos da redução do cromo (VI) – radicais livres, cromo (IV) e (V) – e o cromo (III) parecem ser os responsáveis pelos efeitos carcinogênicos observados. A interação destes produtos com o DNA pode resultar em danos estrutural e funcional do mesmo e em efeitos celulares. Os danos estruturais sobre o DNA incluem quebra na fita, adutos cromo-DNA e aberrações cromossômicas. Os danos funcionais incluem seqüestração de DNA polimerase e RNA polimerase, mutagênese e alteração da expressão gênica. A formação de adutos e a ligação entre DNA e proteínas podem interferir na replicação e transcrição do DNA ou, ainda, promover ou inibir a expressão de genes regulatórios celulares. A alteração da regulação celular pode

levar à carcinogênese. As alterações estruturais e funcionais podem inibir o crescimento celular. O mecanismo de apoptose, induzido pelo cromo, não está totalmente explicado; sabe-se, entretanto, que há a participação do estresse oxidativo, da ligação cruzada DNA-DNA e da inibição da transcrição (ATSDR, 2000).

A história da fotografia tem registrado um aperfeiçoamento contínuo dos materiais, técnicas e equipamentos ... ampliando também as possibilidades de expressão artística



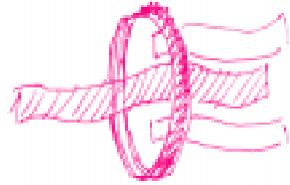
9

Avaliação dos riscos à saúde humana e ao meio ambiente

Para elementos essenciais como o cromo há riscos associados ao ingresso corpóreo, tanto de baixas como de elevadas concentrações do metal. A faixa de concentração que preenche os requisitos biológicos e previne a toxicidade pode ser estreita. Assim, na avaliação do risco, estes dois aspectos – essencialidade e toxicidade – devem ser considerados tanto para o homem como para outras espécies do meio ambiente.

A população em geral está exposta ao cromo pela inalação do ar ambiental, ingestão de água e alimentos contaminados. O espectro dos efeitos tóxicos promovidos pelos cromos (VI) e (III) incluem a ação carcinogênica para o homem, atribuída ao cromo (VI), as dermatoses, ulcerações e perfurações do septo nasal, rinite atrófica e lesões renais, demonstrando a necessidade de se evitar a exposição a concentrações excessivas do metal, bem como à contaminação ambiental. A espécie essencial para o homem é o Cr (III), atuando no metabolismo do colesterol, de ácidos graxos e da glicose.

Além do homem, plantas e animais aquáticos e terrestres podem, quando expostos a cromo (VI), apresentar distúrbios dos processos metabólicos. Desta forma, a espécie do metal e sua concentração devem ser observadas para que não ocorra deficiência ou intoxicação.



*Por meio
de
iluminação
especial,
filtros de
luz,
diferentes
tipos de
lentes*



*e do domínio
das técnicas
de revelação
e de
impressão
pode-se
criar
variedade
de efeitos*

10

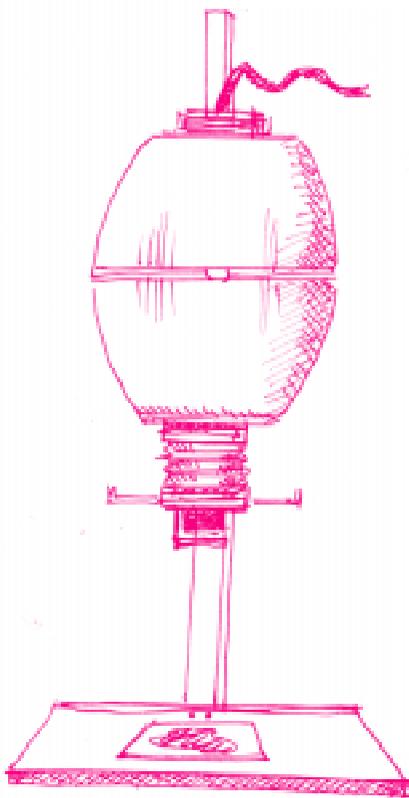
Metodologia analítica

A TABELA 18 apresenta, para várias matrizes, as diferentes técnicas utilizadas na análise, os respectivos limites de detecção, a precisão e a exatidão dos métodos utilizados.

TABELA 18 – Principais métodos adotados para a análise de cromo em diferentes matrizes

Matriz	Coleta e Preparação da amostra	Método	Limite de detecção	Precisão	Exatidão	Recuperação eficiência
Ar (cromo total)	Filtro de éster de celulose de 0,8 µm, fluxo 2 L/min dissolvido com ácido nítrico	EAA com chama	0,06 µg/amostra	NR		98%
Ar Cr (VI)	Filtro de PVC 5,0 µm, fluxo de 1 a 4 L/min; volume mínimo 100 litros; volume máximo 1.000 L; extração com 2% NaOH / 3% Na ₂ CO ₃	Cromatografia de íons	3,5 µg/amostra	0,043	± 0,31%	
Água Cr (VI)	Complexar o Cr (VI) com APDC em pH 2,4 e extrair com metilisobutilcetona	EAAFG	2,3 µg/L	NR	NR	NR
Água (cromo total)	Adicionar nitrato de cálcio, cromo é convertido a Cr (III) por acidificação/água oxigenada	EAAFG ou ICP	1,0 µg/L - EAAFG mg/L - ICP	NR	NR	97-101% de 19-77 µg/l
Lixo industrial, solo, sedimentos	Digestão com ácido nítrico/água oxigenada	ICP-EEA	7,0 µg/L	NR	NR	100% até 10,0 µg/l
Água subterrânea, doméstica e lixo industrial Cr (VI)	Cr (VI) é coprecipitado com sulfato de chumbo, reduzido e ressolubilizado com ácido nítrico	EAA ou EAAFG	0,05 mg/L (EAA) e 2,3 µg/l (EAAFG)	NR	NR	93-96% até 40 µg/l
Urina	Coleta em frasco polietileno no início e final do dia/período de trabalho / Nenhuma preparação de amostra	EAAFG	0,0052 µg/L método de diluição (1: 5)	0,8 %	NR	NR
Sangue ou tecido	Diluição com Triton-X 100 / Digestão ácida com HNO ₃ : HClO ₄ : H ₂ SO ₄	ICP-EEA	1 µg/100 g de sangue e 0,2 µg/100 g de tecido	4,7 % (sangue)	NR	114% sangu

EAA = espectrofotometria de absorção atômica; EAAFG = espectrofotometria de absorção atômica com forno de grafite; ICP = plasma indutivamente acoplado; EEA = espectrofotometria de emissão atômica; NR = não relatado



*Para
obter cópias
positivas, o
negativo é
colocado
em um
amplificador.
Exposto a
um foco de
luz vai
impressionar
o papel
fotográfico*

11

Gestão de resíduos

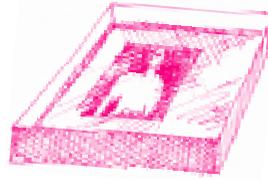
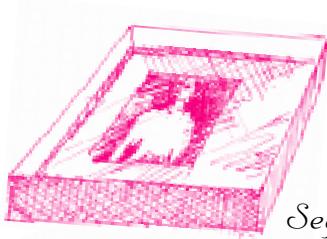
CHEN, HAO (1998), apud ATSDR (2000), estudaram a redução do Cr (VI) para Cr (III) por ação de bactérias. Os fatores que afetam esta redução incluem a concentração de biomassa, a concentração inicial do Cr (VI), temperatura, pH, fonte de carbono, potencial de oxi-redução e a presença de oxiânions e cátions dos metais. Altas concentrações de Cr (VI) são tóxicas para a maioria das bactérias, mas diversas espécies resistentes têm sido identificadas, podendo ser utilizadas naquele processo.

Ferro metálico, sulfeto de sódio, bissulfito de sódio, metabissulfito de sódio, dióxido de enxofre e hidroquinona, têm também sido estudados no referido processo de redução e na sua aplicação como técnica para descontaminação de solo. A limitação e eficiência destes redutores dependem da facilidade de incorporação dos mesmos ao solo (ATSDR, 2000).

A EPA (1994) desenvolveu um projeto denominado “Sistema de extração ácida para tratamento de solos contaminados com metais”, que teve como objetivo determinar a eficiência e a viabilidade econômica do processo. Cinco tipos de solos foram submetidos a tratamento com ácido clorídrico, lavados em seguida com água e centrifugados, sendo que, na escala-piloto, a capacidade de tratamento ficou entre 20 e 100 kg de solo por hora. O tempo de contato do solo com o ácido no tanque de extração foi de 10 a 40 minutos – pH da mistura na faixa de 1,8 a 2,2. Dos solos contaminados com cromo, a faixa de concentração do metal era de 1.020-1.640 mg/kg. Após a descontaminação, a máxima concentração determinada foi de 7,10 mg/L. O tratamento apresentou elevada eficiência para o cromo e demais metais testados.

No Brasil, o tratamento de efluentes de galvânicas que contenham cromo exige a sua redução a cromo trivalente, utilizando-se sulfito ou metabissulfito de sódio. O cromo trivalente resultante é precipitado com hidróxido de sódio e o precipitado é filtrado. O lodo formado está sendo queimado por “plasma”, por meio de um processo desenvolvido pelo IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas. O material resultante apresenta-se

na forma de cerâmica vitrificada, de utilização variada, onde o metal se encontra imobilizado. Anteriormente, aquele lodo era queimado nos fornos das indústrias de cimento e os metais incorporados ao mesmo provocavam o aparecimento de dermatites, quando da manipulação do cimento pelos trabalhadores (ALI, 2001).



*Segue-se nova
etapa de revelação,*

*transferindo
para o papel a
imagem real*

*Com a
incorporação
de pequenas
quantidades
de corantes
sensibilizadores,*



*abriu-se
caminho para
a fotografia a
infravermelho
e em cores*

12

Conclusões e recomendações

Nos diferentes processos industriais, em que o cromo aparece, e nas minas de onde este último é extraído na forma de cromita, o metal e seus compostos, em decorrência da manipulação inadequada, devido à inexistência de sistemas de ventilação local exaustora nas diferentes etapas do processo, à não utilização dos equipamentos de proteção individual e até à falta de programa educacional, causam sérios danos aos trabalhadores.

A não observância de medidas de ordem técnica adequadas, permite a emissão de partículas para a atmosfera e o lançamento de efluentes contaminados para os corpos receptores, poluindo a água e o solo do entorno. É necessário que se proceda ao correto tratamento dos efluentes líquidos e das partículas (filtros eletrostáticos, lavagem dos gases e névoas), antes da liberação daqueles para o meio ambiente.

A tecnologia hoje existente, nos mercados nacional e internacional, é bastante avançada no sentido de que os processos industriais não contaminem o ambiente de trabalho e nem tampouco o meio ambiente, preservando desta forma a saúde pública e as demais espécies do ecossistema.

Referências bibliográficas

[ACGIH] AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS. **Guide to occupational exposure values**. Cincinnati: American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 2000. 146 p.

ADACHI, A.; OKIAYU, M.; KOBAYASHI, T. Metal levels in rain water from Kobe city in Japan. **Bull. Contam. Toxicol.**, n. 60, p. 892-897, 1998.

AITIO, A.; JÄRVISALO, J.; KIILUNEN, M.; TOSSAVAINEN, A.; VAITTINEN, P. Urinary excretion of chromium as an indicator of exposure to trivalent chromium sulphate in leather tanning. **Int. Arch. Occup. Environ. Health**, v. 54, p. 241-249, 1984.

ALI, S. A. **Dermatoses ocupacionais**, São Paulo: Fundacentro, 1997.

ARCURI, A. S. A.; CARDOSO, L. M. N. Limites de tolerância? **Rev. Bras. Saúde Ocup.**, v. 19, n. 74, p. 99-106, 1991.

ARFSTEN, D. P.; AYLWARD, L. L.; KARCH, N. J. Chromium. In: ZELIKOFF, J. T.; THOMAS, P. T. **Immunotoxicology of environmental and occupational metals**. London: Taylor & Francis, 1998. p. 63-92.

[ATSDR] AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY. **Toxicological profile for chromium**. Syracuse: U.S. Department of Health & Human Services, 2000.

AVELAR, W. E. P.; ROMA, F.; LONGO, L. L. Poluição por metais pesados na bacia do rio Sapucaí-Mirim (Nordeste do Estado de São Paulo, Brasil), pela indústria do couro. **Arq. Biol. Tecnol.**, v. 40, n. 1, p. 205-212, 1997.

BAETJER, A. M.; LOWNEY, J. F.; STEEFFEE, H.; BUDACZ, V. Effect of chromium on incidence of lung tumors in mice and rats. **Arch. Ind. Health**, v. 20, p. 124-135, 1959.

BAPTISTA NETO, J. A.; SMITH, B. J.; McALLISTER, J. J. Heavy metal concentrations in surface sediments in a near shore environment, Jurujuba Sound, Southeast Brazil. **Environ. Poll.**, v. 109, p. 1-9, 2000.

BARMAN, S. C.; SAHU, R. K.; BHARGAVA, S. K.; CHATERJEE, C. Distribution of heavy metals in wheat, mustard, and weed grown in field irrigated with industrial effluents. **Bull. Environ. Contam. Toxicol.**, v. 64, p. 489-496, 2000.

BERTI, W. R.; JACOBS, L. W. Heavy metals in the environment. Distribution of trace elements in soil from repeated sewage sludge applications. **J. Environ. Qual.**, v. 27, p. 1280-1286, 1998.

BIDSTRUP, P.L.; CASE, R. A. M. Carcinoma of the lung in workmen in the bichromates. Producing industry in Great Britain. **Br. J. Ind. Med.**, v. 3, p. 260-264, 1956.

_____; WAGG, R. Chromium, alloys and compounds. In: PARMEGGIANI, L. (Ed.). **ILO encyclopaedia of occupational health and safety**. 3. ed. Geneva, 1989. v. 1, p. 468-473.

BOLLA, L.; GARIBOLDI, L.M.; GABRIELLI, M.; BALDO, D.; ROMANELLI, A.; TUBERTI, E.; MAGNANI, F. Rinopatia da esposizione professionale a cromo nell'industria galvanica: aspetti citomorfologici. **Med. Lavoro**, v. 81, p. 390-398, 1990.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Portaria nº 33, de 13 de janeiro de 1998. Dispõe sobre adoção de ingestão diária recomendada (IDR) de vitaminas, minerais e proteínas. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 16 jan. 1998. Seção I-E, p. 5.

_____. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 20**: estabelece a classificação das águas e os níveis de qualidade exigidos. Disponível em: <<http://www.mma.gov/port/conama/res/res86/res2086.html>>. Acesso em: 10 mar. 2001.

_____. Normas regulamentadoras aprovadas pela Portaria nº 3214, de 8 de junho de 1978, atualizadas até 18 de julho de 1997. In: **Segurança e medicina do trabalho**. 38. ed. São Paulo: Atlas, 1997.

CAMPANELLA, L.; CONTO, M. E.; CUBADDA, F.; SUCAPANE, C. Trace metals in sea-grass, algae and molluscs from uncontaminated area in Mediterranean. **Environ. Poll.**, v. 111, p. 117-126, 2001.

CASTLEMAN, B. I.; ZIEM, G. E. Corporate influence on threshold limit values. **Am. J. Ind. Med.**, v. 13, p. 531-539, 1988.

CAVALLERI, A.; MINOIA, C. Monitoraggio biologico dell'esposizione a Cr III e Cr VI. Analisi multicompartimentale del cromo in urine, plasma ed emazie. In: CONGRESSO NAZIONALE DELLA SOCIETÀ ITALIANA DI MEDICINA DEL LAVORO E IGIENE INDUSTRIALE, 53., 1990. Stresa, Itália Fotocópia.

[CHEMINFO] CHEMICAL INFORMATION. Canadian Center for Occupational Health and Safety. **Promotes a safe and healthy working environment by providing information and advice about occupational health and safety.** Canada, 1998. Disponível em: <<http://www.ccohs.ca>>. Acesso em: 18 mar. 2001

CHEN, J. M.; HAO, O. J. Microbial chromium (VI) reduction. **Crit. Ver. Environ. Sci.**, v. 28, n. 3, p.219-251, 1998.

CERCASOV, V.; PANTELICA, A.; SALAGEAN, M.; SCHREIBER, H. Comparative evaluation of some pollutants in the airborne particulate matter in eastern and western Europe: two-city study, Bucharest-Stuttgart. **Environ. Poll.**, v. 101, p. 331-337, 1998.

[DNPM] DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **Informe mineral.** Brasília: Diretoria de Desenvolvimento e Economia Mineral/Divisão de Economia Mineral, 1999.

_____. **Cromo.** Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/suma2000/cromo.doc>>. Acesso em: 10 mar. 2001.

_____. **Produção das 1.553 minas do Brasil.** Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/brasil.htm>>. Acesso em: 5 maio 2001.

ENTERLINE, P. E. Respiratory cancer among chromate workers. **J. Occup. Med.**, v. 16, n. 8, p. 523-526, 1974.

FRANCHINI, I.; MAGNANI, F.; MUTTI, A. Mortality experience among chromeplating workers. **Scand. J. Work Environ. Health**, v. 9, p. 247-252, 1983.

FRANCHINI, R.; MUTTI, A.; CAVATORTA, E.; PEDRONI, C.; BORGHETTI, A. Chromium. In: ALESSIO, L. et al. (Eds.). **Biological indicators for the assessment of human exposure to industrial chemicals.** Luxembourg: Commission of the European Communities, 1984. p. 31-51.

FRIAS-ESPERICUETA, M. G.; OASUNA-LÓPEZ, J. I.; SANDOVAL-SALAZAR, G.; LÓPEZ-LÓPEZ, G. Distribution of trace metals in different tissues in the rock oyster *Crassostrea iridescens*: seasonal variation. **Bull. Environ. Contam. Toxicol.**, v. 63, p. 73-79, 1999.

GALVÃO, L. A. C.; COREY, G. **Cromo**. Geneva: Centro Panamericano de Ecologia Humana y Salud, Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud, 1987.

GOMES, E. R. Incidence of chromium - induced lesions among electroplating workers in Brasil. **Ind. Med.**, v. 41, p. 1-25, 1972.

GROSSI, M. G. L. **Avaliação da qualidade dos produtos obtidos de usinas de compostagem brasileiras de lixo doméstico através de determinação de metais pesados e substâncias orgânicas tóxicas**. 1993. 222 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo.

HEITZMANN JUNIOR, J. F. **Alterações na composição do solo nas proximidades de depósitos de resíduos domésticos na Bacia do Rio Piracicaba, São Paulo, Brasil**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, 1999. p. 66. Síntese de Tese n. 9.

[HSDB] HAZARDOUS SUBSTANCE DATA BANK. Copper. In: TOMES CPS™ SYSTEM. **Toxicology, occupational medicine and environmental series**. Englewood: Micromedex, 2000. CD-ROM.

HEMMINKI, K.; VANIO, H. Human exposure to potentially carcinogenic compounds. **IARC Scientific Publ.**, n. 59, p. 37-45, 1984.

HINGSTON, J. A.; COLLINS, C. D.; MURPHY, R. J.; LESTER, J. N. Leaching of chromated copper arsenate wood preservatives: a review. **Environ. Poll.**, n. 11, p. 53-60, 2001.

HOLSBECK, L.; SIEBERT, U.; JOIRIS, C. R. Heavy metals in dolphins stranded on the French Atlantic coast. **Sci Total Environ.**, n. 217, p. 241-249, 1998.

IARC. **Chromium, nickel and welding**. Lyon: WHO/IARC, 1990. (IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risk of chemical to man, v. 49).

ISLAM, R.; LAHERMO, P.; SALMINEN, R.; ROJSTACZER, S.; PEURANIOEMI, V. Lake and reservoir water quality affected by metals leaching from tropical soils, Bangladesh. **Environ. Geol.**, v. 39, n. 10, p. 1083-1089, 2000.

KALAY, M.; AY, Ö.; CANLI, M. Heavy metal concentrations in fish tissues from the northeast Mediterranean sea. **Bull. Environ. Contam. Toxicol.**, v. 63, p. 673-681, 1999.

KIILUNEN, M. **Occupational exposure to chromium and nickel in Finland and its estimation by biological monitoring**. 1994. Tese (Doutorado) - University

Publications of Natural and Environmental Sciences, Kuopio, Finlândia. 17. p. 95.

KORALLUS, U.; ULM, K.; STEINMANN-STEINER-HALDENSTAETT, W. Bronchial carcinoma mortality in the German chromate-producing industry: the effects of process modification. **Int. Arch. Occup. Environ. Health**, v. 65, p. 171-178, 1993.

KURKJIAN, R. Metal contamination in the Republic of Armenia. **Environ. Manag.**, v. 2, n. 5, p. 477-483, 2000.

LANGÅRD, S.; NORSETH, T. Chromium. In: FRIBERG, L. (Ed.). **Handbook on the toxicology of metals**. Amsterdam: Elsevier/North-Holland Biomedical Press, 1979.

_____. A survey of respiratory symptoms and lung function in ferrochromium and ferrosilicon workers. **Int. Arch. Occup. Environ. Health**, v. 46, p. 1-9, 1980.

_____; ANDERSEN, A.; GYLSETH, B. Incidence of cancer among ferrochromium and ferrosilicon workers. **Br. J. Ind. Med.**, v. 37, p. 114-120, 1980.

_____. **Chromium**. Porsgrunn: Arbete och Hälsa, 1983. (Criteria Document for Swedish Occupational Standards, 5).

_____; VIGANDER, T. Occurrence of lung cancer in workers producing chromium pigments. **Br. J. Ind. Med.**, v. 40, p. 71-74, 1983.

LIANG, Y.; CHEUNG, R. Y. H.; WONG, M. H. Reclamation of wastewater for polyculture of freshwater fish: bioaccumulation of trace metals in fish. **Wat. Res.**, v. 33, n. 11, p. 2690-2700, 1999.

LIMA, E. H.; CRUZ, O. L. M.; SILVA, C. S.; GRASEL, S. S. Chromium induced nasal lesions: why do they remain so common? **Otolaryngol. Head Neck Surg.**, v. 115, n. 2, p. 175, 1996.

LIN, S.; TAI, C.; CHAN, C.; WANG, J. Nasal septum lesions caused by chromium exposure among chromium electroplating workers. **Am. J. Ind. Med.**, v. 26, p. 221-228, 1994.

LINDBERG, E.; HEDENSTIERNA, G. Chrome plating: symptoms, findings in the upper airways, and effects on lung function. **Arch. Environ. Health**, v. 38, p. 367-374, 1983.

LINDBERG, E.; EKHOLM, V.; ULFVARSON, U. Extent and conditions of exposure in the Swedish chrome plating industry. **Int. Arch. Occup. Environ. Health**, v. 56, p. 197-205, 1985.

MANTELATTO, F. L. M.; AVELAR, W. E. P.; SILVA, D. M. L.; TOMAZELLI, A. C.; LOPEZ, J. L. C.; SHUHAMA, T. Heavy metals in the shrimp *Xiphopenaeus kroyeri* (Heller, 1862) (crustacea, Penaeidae) from Ubatuba bay, São Paulo, Brazil. **Bull. Environ. Contam. Toxicol.**, v. 62, p. 152-159, 1999.

MELKID, A.; LANGÅRD, S.; ANDERSEN, A.; TONNENSSSEN, J. N. S. Incidence of cancer among welders an other workers a Norwegian shipyard. **Scand. J. Work Environ. Health**, v. 15, p. 387-394, 1989.

MOLISANI, M. M.; SALOMÃO, M. S. M. B.; OVALLE, A. R. C.; REZENDE, C. E.; LACERDA, L. D.; CARVALHO, C. E. V. Heavy metals in sediments of lower Paraíba do Sul river and estuary, R.J., Brazil. **Bull. Environ. Conttam. Toxicol.**, v. 63, p. 682-690, 1999

MUTTI, A.; CAVATORTA, A.; PEDRONI, C.; BORGHI, A.; GIAROLI, C. e FRANCHINI. The role of chromium accumulation in the relationship between airborne and urinary chromium in welders. **Int. Arch. Occup. Environ. Health**, v. 43, p. 123-133, 1979.

NGUYEN, L. T. H.; JANSSEN, C. R.; VOLCKAERT, F. A. M. Susceptibility of embryonic and larval African catfish (*Clarias gariepinus*) to toxicants. **Bull. Environ. Contam. Toxicol.**, v. 62, p. 230-237, 1999.

[NIOSH] NATIONAL INSTITUTE OF OCCUPATIONAL AND SAFETY HEALTH. **Occupational exposure to chromic acid criteria**. Cincinnati, 1973.

_____. **Manual for analytical methods**. 3. ed. Cincinnati: US Department of Health and Human Services, 1984. Method 7300.

_____. **Manual for analytical methods**. 4. ed. Cincinnati: US Department of Health and Human Services, 1994. Method 7604.

_____. **Manual for analytical methods**. 4. ed. Cincinnati: US Department of Health and Human Services, 1994. Method 8005.

NOMIYAMA, H.; YOTORIYAMA, M.; NOMIYAMA, K. Normal chromium levels in urine and blood of Japanese subjects determined by direct flameless atomic absorption specrophometry, and valency of chromium in urine after exposure to hexavalent chromium. **Am. Ind. Hyg. Assoc. J.**, v. 41, p. 98-102, 1980.

PRIORITY SUBSTANCES LIST ASSESSMENT REPORT. **Chromium and its compounds**. Santé, Canadá: Canadian Environmental Protection Act, 1994. p. 59.

RAHKONEN, E.; JUNTILA, M. L.; KALLIOMÄKI, P. L.; OLKINUORA, M.; KOPONEN, M.; KALLIOMÄKI, K. Evaluation of biological monitoring among stainless steel welders. **Int. Arch. Occup. Environ. Health**, v. 52, p. 243-255, 1983.

SATOH, B. K.; FUKUDA, Y.; TORII, K.; KATSUNO, H. Epidemiological study of workers engaged in the manufacture of chromium compounds. **J. Occup. Med.**, v. 23, p. 835-838, 1981.

SJÖGREN, B.; HEDSTRÖM, L.; ULFVARSON, U. Urine chromium as an estimator of air exposure to stainless steel welding fumes. **Int. Arch. Occup. Environ. Health**, v. 51, p. 347-354, 1983.

SILVA, C. S. **Determinação de cromo hexavalente no ambiente de trabalho de galvanoplastias e em fluido biológico de trabalhadores**. 1991. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo.

_____; VIEIRA SOBRINHO, F. Medical, biological and workplace environmental monitoring of hexavalent chromium, including exhaust systems evaluation. **Toxicol. Lett.**, suppl. 144, [summary P7/P9], 1992.

_____; OLIVEIRA, J. P.; GRASEL, S. S. Medical, biological and workplace environmental monitoring of hexavalent chromium and acid mists. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON OCCUPATIONAL HEALTH, 25., 1996, Solna, Sweden. Book of Abstracts. p. PS405. Solna: National Institute for Working Life, 1996. [Poster 082].

_____. **Um estudo crítico sobre a saúde dos trabalhadores de galvanicas, por meio das relações entre as avaliações ambientais, biológicas e otorrinolaringológicas**. 1997. 168 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo.

STERN, R. M. **Chromium compounds production and occupational exposure**. Glostrup: The Danish Welding Institute, 1982. 73 p.

SZEFER, P.; ROBICKI, J.; FRELEK, K.; SKÓRA, K.; MALINGA, M. Bioaccumulation of selected trace elements in lung nematodes, *Pseudalius inflexus*, of harbor porpoise (*Phocoena phocoena*) in Polish zone of Baltic Sea. **Sci. Total Environ.**, n. 220, p. 19-24, 1998.

TAKAHASHI, K.; OKUBO, T. A prospective cohort study of chromium plating workers in Japan. **Arch. Environ. Health**, v. 45, p. 107-111, 1990.

TOLA, S.; KILPIÖ J.; VIRTAMO M.; HAAPA, K. Urinary chromium as an indicator of the exposure of welders to chromium. **Scand. J. Work. Environ. Health**, v. 3, p. 192-200, 1977.

TOSSAVAIEN, A.; NURMINEN, M.; MUTANEN, P.; TOLA, S. Application of mathematical modeling for assessing the biological half-times of chromium and nickel in field studies. **Br. J. Ind. Med.**, v. 37, p. 285-291, 1980.

THORNTON, I. **Metals in the global environmental: facts and misconceptions**. London: The International Council on Metals and the Environment, 1995.

UNITED STATES CHEMICAL SAFETY AND HAZARD INVESTIGATION BOARD. **Chemical Incident Reports Center**. Washington D.C. Disponível em: <<http://www.chemsafety.gov/circ>>. Acesso em: 5 maio 2001.

[USEPA] UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Chromium (atomic absorption, furnace technique): method 7191**. Test methods for evaluating solid waste. Vol. 1A: Laboratory manual physical/chemical methods 3rd ed. SW-846, Office of Solid Waste and Emergency Response, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C., 1986.

_____. **Drinking water standards and health advisories**. Washington, 2000.

_____. **Health assessment document: chromium**. Research Triangle Park, NC: Environmental Assessment and Criteria Office, U.S. Environmental Protection Agency. EPA 600/8-83-014F, 1984.

_____. **Interim methods for development of inhalation reference concentrations**. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, Office of Health and Environmental Assessment, Office of Research and Development, Environmental Criteria and Assessment Office. EPA 600/8-90/066A, 1990.

_____. PAFF, S. W.; BOSILOVICH, B. E.; KARDOS, N. J. **Site emerging technologies: acid extraction treatment system for treatment of metal contaminated soils**. Order number PB94-188109/AS. Cincinnati, OH 45268, 1994.

VASCONCELOS, M. T. S. D.; TAVARES, H. M. F. Atmospheric metal pollution (Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb and Zn).in Oporto city derived from results for low-volume aerosol samplers and for the moss *Sphagnum auriculatum* bioindicator. **Sci. Total. Environ.**, v. 21, p. 11-20, 1998.

VERSCHOOR, M. A.; BRAGT, P. C.; HERBER, R. F. M.; ZIELHUIS, R. L.; ZWENNIS, W. C. M. Renal function of chrome-plating workers and welders. **Int. Arch. Occup. Environ. Health**, v. 60, p. 67-70, 1988.

VYSKOCIL, A.; SMEJKALOVA, J.; TEJRAL, J.; EMMINGER, S.; VINCENTOVA, M.; ETTLEROVA, E.; LAUWERYS, R.; BERNARD, A. Lack of renal changes in stainless steel welders exposed to chromium and nickel. **Scand. J. Work Environ. Health**, v. 18, p. 252-256, 1992.

WEBELEMENTS™. The periodic table on the WWW. United Kingdom: Mark Winter [The University of Sheffield and WebElements Ltd], 2001. Disponível em: URL.: <<http://www.webelements.com>>. Acesso em: 5 maio 2001.

WENG, H.; CHEN, X. Impact of polluted canal water on adjacent soil and groundwater systems. **Environ. Geology**, v. 39, n. 28, p. 945-950, 2000.

[WHO] WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Chromium**. Geneva, 1988. (Environmental Health Criteria, 61).

_____. **Biological monitoring of chemical exposure in the workplace**. Geneva, 1996. v. 1, p. 91-111.

