

©Copyright, 2006. Todos os direitos são reservados. Será permitida a reprodução integral ou parcial dos artigos, ocasião em que deverá ser observada a obrigatoriedade de indicação da propriedade dos seus direitos autorais pela INTERFACEHS, com a citação completa da fonte. Em caso de dúvidas, consulte a secretaria: [interfacehs@interfacehs.com.br](mailto:interfacehs@interfacehs.com.br)

## **AVALIAÇÃO DE RISCO COMO FERRAMENTA COMPLEMENTAR AO LICENCIAMENTO DE FONTES DE POLUIÇÃO ENVOLVENDO POLUENTES TÓXICOS DO AR**

Eduardo Antonio Licco

Prof. Dr. do Centro Universitário Senac  
[eduardo.alicco@sp.senac.br](mailto:eduardo.alicco@sp.senac.br)

### **RESUMO**

Este artigo faz uma análise crítica a respeito da efetividade do sistema de licenciamento de fontes de poluição, quando estiverem envolvidos poluentes atmosféricos tóxicos. A análise é realizada com base no estudo de caso da ampliação de uma unidade de galvanoplastia, localizada em área de ocupação residencial-industrial, que instalou uma linha de cromeação (cromo duro), com fontes de emissão de cromo hexavalente ( $\text{Cr}^{6+}$ ). O ponto de partida do estudo é de que a adoção da MTPD pode não ser uma medida suficiente para proporcionar proteção à saúde dos moradores do entorno. O trabalho compara o valor final da emissão da fonte, após aplicação de controle baseado na MTPD, com aquele obtido a partir da estimativa de risco individual de câncer por exposição da população no entorno da indústria ao contaminante em questão. Os resultados mostram uma emissão final pós-controle de  $374 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e um valor estimado de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para um risco individual de um caso de câncer em um milhão de expostos. Apesar das incertezas do processo de estimativa de risco, a ferramenta é útil como alerta aos gestores da qualidade do ar de que nem sempre a melhor tecnologia prática de controle assegura proteção à saúde de uma população.

**Palavras-chave:** cromo hexavalente; poluentes atmosféricos tóxicos; avaliação de risco.

Em áreas intensamente ocupadas, como as Regiões Metropolitanas de São Paulo, Belo Horizonte e Rio de Janeiro, não raro convivem, lado a lado, indústrias e residências. Na maioria dos casos essas indústrias passaram por um sistema de licenciamento ambiental, momento em que seus impactos ao meio ambiente e às comunidades vizinhas foram identificados e mitigados.

Ocorre, contudo, que o sistema de licenciamento ambiental não consegue abranger todos os perigos presentes nas emissões industriais. A ausência de limites de emissão específicos para substâncias pouco comuns permite que muitas atividades sejam licenciadas para funcionar com base apenas no controle dos possíveis incômodos que estas possam causar à vizinhança. Isto é freqüente no caso de pequenas e médias indústrias, nomeadamente do ramo químico. Para elas, a exigência geral de controle se constitui na aplicação da melhor tecnologia prática disponível – MTPD – e na ausência de qualquer tipo de incômodo à vizinhança resultante de sua operação.

A despeito de constituírem atividades com processos industriais conhecidos pelas autoridades ambientais e de saúde pública, muitas dessas empresas carecem de uma regulamentação específica para uma tipologia também específica de poluentes atmosféricos que emitem: os poluentes atmosféricos tóxicos (PAT). Para esses casos, a aplicação da melhor tecnologia prática disponível tem se mostrado adequada para evitar incômodos à população circunvizinha, mas nem sempre é suficiente para garantir concentrações atmosféricas seguras de PATs pós-controle.

Neste contexto, o presente artigo faz uma análise crítica a respeito da efetividade do sistema de licenciamento de fontes de poluição, quando estiverem envolvidos PATs. A análise é realizada com base no estudo de caso da ampliação de uma unidade de galvanoplastia, com a inserção do processo de cromeação (cromo duro), com fontes de emissão de cromo hexavalente ( $\text{Cr}^{6+}$ ), localizada em área de ocupação residencial-industrial. O valor final da emissão da fonte, após aplicação de controle baseado na MTPD, é comparado com aquele obtido a partir da estimativa de risco individual de câncer por exposição da população no entorno da indústria ao contaminante em questão. A hipótese de partida é de que a adoção da MTPD pode não ser uma medida suficiente para proporcionar plena proteção à saúde dos moradores próximos.

Os dados de emissão foram obtidos por meio de campanha de amostragem efetuada após o sistema de controle. Os valores da estimativa de risco foram obtidos com o auxílio de modelo matemático simplificado de dispersão atmosférica, e de informações de dose-resposta disponíveis na literatura.

## POLUENTES ATMOSFÉRICOS TÓXICOS

Toda atividade socioeconômica é, em maior ou menor intensidade, fonte de poluição. As perdas referentes à ineficiência das transformações da matéria e da energia são inexoravelmente liberadas no ar, águas ou solo, levando à degradação da qualidade ambiental e à poluição. O estabelecimento da condição de poluição se dá a partir do estabelecimento de parâmetros que designam os agentes causadores da poluição (poluentes) e por limites quantitativos (padrões) dos máximos permitidos que poderiam ser lançados (padrões de emissão) e dos máximos tolerados no ar ambiente (padrões de qualidade).

No Brasil existem padrões de qualidade do ar legalmente estabelecidos para sete poluentes: partículas totais em suspensão, fumaça, partículas inaláveis, dióxido de enxofre, monóxido de carbono, ozônio e dióxido de nitrogênio (BRASIL, 1990). Apesar de esses poluentes representarem uma parcela relevante da degradação da qualidade do ar em ambientes urbanos, eles não cobrem toda a faixa de substâncias químicas emitidas na atmosfera pelas diversas atividades socioeconômicas.

Segundo a Chemical Abstracts Service – CAS (2008) a contagem atual de substâncias químicas orgânicas e inorgânicas conhecidas chega a 33,9 milhões, sendo 19,2 milhões delas comercialmente disponíveis, 246.329 das quais inventariadas/regulamentadas. Considerando que no manuseio e transformação das substâncias químicas uma pequena parcela se perde na atmosfera, fica patente a preocupação dos gestores ambientais com referência aos riscos à saúde pública impostos pelos poluentes atmosféricos.

Os poluentes do ar, como substâncias químicas que são, podem ser classificados como perigosos ou não perigosos, dependendo da concentração com que se fazem presentes na atmosfera e de suas características físicas, químicas e toxicológicas. Os poluentes considerados perigosos podem ser subclassificados em tóxicos, corrosivos, inflamáveis, explosivos, ou infectantes. Os não perigosos, como 'incomodativos'.

Os poluentes atmosféricos tóxicos são compostos presentes no ar com potencial de causar sérios danos à saúde humana ou ambiental, caso estejam presentes em concentração e/ou por período de tempo suficiente para tal. São aqueles que, segundo a agência americana de proteção ambiental (USEPA, 2007a):

- a) causam ou são suspeitos de causar efeitos adversos agudos na saúde humana, em níveis de concentração esperados de existir além da área de propriedade da indústria, como resultado de emissões contínuas ou freqüentes;
- b) causam ou são suspeitos de causar efeitos como câncer, disfunções reprodutivas, desordens neurológicas, mutações genéticas hereditárias ou outros efeitos crônicos à saúde humana;
- c) são tóxicos, persistentes e tendem a se bioacumular no ambiente.

São exemplos de poluentes tóxicos do ar o benzeno, comumente encontrado na gasolina; o percloroetileno, emitido durante atividades de limpeza a seco; o cloreto de metileno, que é usado como solvente e removedor de tinta em várias indústrias; o tolueno, utilizado como solvente de cola; o asbesto, e metais como mercúrio, chumbo, cádmio e cromo, estes dois últimos empregados na proteção de superfícies metálicas por eletrodeposição.

A intensidade com que um poluente tóxico do ar afeta a saúde de uma pessoa depende de vários fatores, incluindo o seu estado de saúde e susceptibilidade, a quantidade do poluente à qual se expõe, a duração e a freqüência da exposição e o grau de toxicidade da substância. Os poluentes atmosféricos tóxicos que causam maior preocupação são aqueles emitidos em quantidades suficientemente grandes para se fazerem presentes na atmosfera em concentrações reconhecidamente tóxicas, e que atingem grandes populações.

No Brasil não há, atualmente, referências oficiais regulando os poluentes atmosféricos tóxicos; tampouco há maiores estudos sobre o potencial de danos à saúde humana decorrente da exposição a eles. Em muitos países, a ferramenta empregada para o estudo da exposição humana aos poluentes tóxicos é a avaliação de risco.

## **O CROMO E SUA TOXICOLOGIA**

O cromo é um elemento natural (metal) encontrado nas rochas, no material biológico, no solo e nas emissões vulcânicas. Apresenta estados de oxidação ou valências que variam do cromo 2- ao cromo 6+. O cromo elementar ( $\text{Cr}^0$ ) não tem ocorrência natural.

O cromo  $3^+$  é a forma mais estável do metal, considerada um elemento essencial, auxiliar na metabolização dos açúcares, gorduras e proteínas. Sua ocorrência natural é na forma de minérios, como a ferrocromita. A segunda forma mais estável do cromo é a hexavalente, geralmente produzida por fontes antropogênicas, assim como o  $Cr^0$ .

O cromo metálico ( $Cr^0$ ) é utilizado na produção de aço, com o  $Cr^{6+}$  e o  $Cr^{3+}$  sendo utilizados em cromeação, produção de tintas e pigmentos, no curtimento de couro e na preservação de madeira. O cromo chega ao ar, às águas e ao solo em suas formas trivalente ( $Cr^{3+}$ ) e hexavalente ( $Cr^{6+}$ ) (USEPA, 1984a).

No ar, os compostos do cromo estão presentes sob a forma de um particulado fino capaz de se depositar sobre o solo, construções, vegetação e corpos d'água. O cromo geralmente adere firmemente ao solo (adsorção) e, devido ao seu baixo produto de solubilidade, apenas uma pequena fração se dissolve em água ficando passível de ser carregada para camadas mais profundas, e eventualmente alcançar a água subterrânea.

A exposição ao metal pode ocorrer por ingestão de água ou alimentos contendo  $Cr^{3+}$  ou  $Cr^{6+}$ , por inalação de ar contaminado, ou por contato com a pele. Locais de disposição de resíduos contendo cromo e indústrias que trabalham com compostos desse elemento são fontes relevantes de exposição ao metal. A inalação de níveis elevados de cromo  $6^+$  pode causar irritação da mucosa nasal, hemorragias, úlceras e perfurações no septo nasal. A ingestão de concentrações elevadas de cromo  $6^+$  pode produzir mal-estar estomacal, úlceras, convulsões, danos ao fígado e rins, e até a morte. Contato da pele com certos compostos de cromo  $6^+$  pode gerar ulcerações (USEPA, 1984b).

Pessoas extremamente sensíveis ao metal em suas formas  $3^+$  e  $6^+$  apresentam reações alérgicas sérias, como vermelhidão e inchaço grave da pele. Vários estudos demonstram que os compostos de cromo  $6^+$  podem aumentar o risco de contrair câncer de pulmão. A Organização Mundial de Saúde (OMS) e a agência americana de proteção ambiental (Usepa) consideram o  $Cr^{6+}$  carcinogênico aos seres humanos. Não há evidências sobre efeitos teratogênicos dessa espécie química do metal (USEPA, 2007b).

## USO DO CROMO NA PROTEÇÃO DE SUPERFÍCIES

Para fins de proteção de superfícies, o cromo é aplicado por eletrodeposição. Trata-se de processo eletrolítico de revestimento de superfícies de peças metálicas com outros metais. Técnicas especiais podem ser usadas para fazer superfícies não metálicas,

como as dos plásticos, adequadas ao processo. A eletrodeposição é feita, geralmente, como proteção contra corrosão e/ou como acabamento estético. O processo utiliza uma célula eletrolítica contendo uma solução (banho) de sais iônicos do metal a ser depositado e dois eletrodos ligados a uma fonte de corrente contínua ou corrente alternada retificada. A peça a ser revestida deve funcionar como cátodo, devendo estar ligada ao pólo negativo da fonte. O ânodo, ligado ao pólo positivo da fonte, pode ser constituído por um material inerte (grafite ou platina) ou mesmo pelo metal com que se quer revestir a peça. Neste segundo caso, o processo eletrolítico ocorre com uma transferência do metal deste eletrodo para a peça, através da solução eletrolítica. O metal do ânodo se oxida, o cátion formado vai para a solução e o cátion da solução reduz no cátodo, ficando aderido na forma metálica. Quando o ânodo é um material inerte, nele ocorre a descarga da água da solução. O cátion da solução reduz no ânodo, ficando também aderido à peça.

Técnicas especiais podem ser empregadas para fazer superfícies não metálicas, como as dos plásticos, adequadas ao processo. O processo é o mesmo já descrito.

A eletrodeposição de cromo envolve as operações de anodização e deposição. A anodização com ácido crômico é o processo eletrolítico pelo qual uma camada de óxido é produzida na superfície de uma base de metal com propósitos funcionais, como por exemplo, maior resistência à corrosão ou isolamento elétrico. Nele, a parte a ser anodizada atua como ânodo no circuito elétrico, e a solução de ácido crômico como o eletrólito.

As operações de deposição incluem a eletrodeposição de cromo duro, eletrodeposição decorativa (em metais e plásticos), anodização com ácido crômico e deposição de cromo trivalente. Na deposição de cromo duro, uma camada relativamente grossa de cromo é depositada diretamente no metal base (geralmente aço) para propiciar uma superfície com alta resistência a desgaste, baixo coeficiente de atrito, dureza e resistência à corrosão, ou então para reconstituir superfícies que foram erodidas pelo uso. A deposição dura é normalmente usada para peças como cilindros e hastes, rolos industriais, moldes plásticos e componentes de motores (USEPA, 1995).

Os banhos de deposição com cromo hexavalente são os mais usados em cromeação. São compostos por ácido crômico, ácido sulfúrico e água. Enquanto o ácido sulfúrico no banho catalisa as reações de deposição, o ácido crômico é a fonte do cromo hexavalente que reage, deposita no metal e é emitido para a atmosfera. A geração de gás hidrogênio nas reações químicas no cátodo consome de 80 a 90% da energia fornecida ao banho, deixando restantes 10 a 20% para a reação de deposição. Quando o gás de

hidrogênio se desloca na solução, gera névoas de ácido crômico que resultam em emissões para a atmosfera.

As equações que representam o revestimento de uma peça com cromo, utilizando ânodo inerte (cromeação) são:



## AVALIAÇÃO DE RISCO

Avaliação de risco pode ser simplificada definida como o processo que estima a possibilidade de pessoas expostas a um agente perigoso virem a apresentar danos à saúde. Segundo o comitê da National Academy of Sciences dos Estados Unidos da América – CIMARPH (1983) a avaliação de risco é constituída de quatro etapas: identificação de perigos, avaliação da exposição, avaliação dose–resposta e quantificação do risco.

Para os efeitos carcinogênicos, os riscos podem ser estimados em termos de risco individual e risco populacional. O risco individual é o risco de câncer estimado de ocorrer em um indivíduo em função de exposição, a uma determinada concentração do agente carcinogênico por toda a sua vida. O risco populacional, também chamado de risco social, é a medida do número de casos de câncer em uma determinada população exposta ao carcinogênico. Segundo Patrick (1994), existem vantagens e desvantagens associadas ao uso de cada uma dessas abordagens. As observações do autor estão resumidas no Quadro 1.

Para efeitos não carcinogênicos, a estimativa do risco é feita a partir da comparação dos valores de dose ou de concentração, medidos ou calculados, com os valores de referência. Uma forma de expressão do risco é por meio do chamado ‘índice de perigo’, definido como o quociente entre a concentração (medida ou estimada) e o valor de referência, para um determinado efeito (GRATT, 1996).

## LICENCIAMENTO AMBIENTAL

O Licenciamento Ambiental é um procedimento pelo qual o órgão ambiental competente permite a instalação, ampliação e operação de empreendimentos e atividades que utilizam recursos ambientais, que possam ser consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras, ou que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental (CETESB, 2007). Enquanto instrumento de caráter preventivo, o Licenciamento é fundamental para garantir a preservação da qualidade ambiental, avaliando aspectos de ligação entre a atividade produtiva e seus reflexos sobre a saúde pública e o meio ambiente.

Nos dias atuais é evidente a preocupação dos empreendedores em conciliar desenvolvimento econômico com questões ambientais e de saúde pública. Neste contexto ganha destaque a provisão de condições ambientais básicas capazes de proteger contra efeitos danosos a comunidade e o local onde os empreendimentos serão instalados.

**Quadro 1 -** Vantagens e desvantagem no uso de abordagens focadas no risco individual e no risco populacional

Tipo de Risco	Vantagens	Desvantagens
Individual	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Foca atenção no risco dos indivíduos, freqüentemente aqueles submetidos às maiores exposições;</li> <li>2. Não é muito influenciado pela presença de outras fontes de emissão, distribuição ou dispersão da população;</li> <li>3. Mais fácil de estimar do que o risco populacional.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Desconsidera segmentos potencialmente relevantes da população que ficam expostos a baixas concentrações do carcinogênico;</li> <li>2. Geralmente superestima o risco em função de suposições conservativas que são utilizadas como, por exemplo, a exposição por 70 anos.</li> </ol>
Populacional	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fornece uma estimativa mais realística do risco a que se submete a maioria da população exposta;</li> <li>2. Aplica-se a toda a população que pode ser exposta e não apenas àqueles indivíduos expostos às concentrações mais elevadas.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tira a ênfase da estimativa do risco experimentado pelos indivíduos que ficarão mais expostos, como aqueles residindo mais próximo da fonte;</li> <li>2. Mais complicado de estimar por requerer um considerável conjunto de dados sobre a distribuição e característica da população exposta.</li> </ol>

Fonte: PATRICK, 1994. Adaptado pelo autor.

Neste aspecto, o Licenciamento Ambiental desempenha um importante papel como ferramenta de planejamento. De forte caráter preventivo, ele permite que o gestor

identifique precocemente possíveis efeitos ambientais do seu negócio e busque formas econômicas para bem gerenciá-los.

Em sua ação prática, o licenciamento de fontes de poluição se baseia em uma análise preliminar dos possíveis impactos de uma atividade, considerando aspectos como: localização, ocupações próximas, processo de produção, matérias-primas, produtos, subprodutos e resíduos, tipos e formas de emissões, e medidas de mitigação e de reparação. Quando esta análise mostra que os benefícios da atividade superam os impactos ambientais a licença é concedida, ficando válida por um período determinando, ao final do qual uma nova avaliação é feita para verificar se permanece a conformidade com os requisitos de lei. As emissões são reguladas por meio de padrões de lançamento ou de emissão, e a qualidade ambiental resultante é regulada por padrões de qualidade.

Uma clara limitação ao bom desempenho do licenciamento ambiental é o fato de não haver padrões de emissão, nacionais ou estaduais, estabelecidos para poluentes outros que não aqueles para os quais existem padrões de qualidade. E mesmo quando estabelecidos, estes abrangem apenas uma restrita gama de atividades industriais. Para as situações em que não há um padrão de emissão específico estabelecido, tem sido uma prática dos sistemas de licenciamento a exigência da instalação de equipamentos de controle de poluição baseados na melhor tecnologia prática disponível. Outra ação freqüente de controle é a exigência de não percepção de odores além dos limites da propriedade da fonte e ausência de qualquer tipo de incômodo à vizinhança.

## **O CASO ESTUDO**

O caso selecionado para dar suporte a este estudo trata do licenciamento (regularização de ampliação) de uma empresa de galvanoplastia, prestadora de serviços para a indústria automotiva, instalada em uma área de ocupação mista (industrial-residencial). A empresa pretendia instalar uma unidade de cromeação (cromo duro), para operar das 8 às 18 horas, com funcionamento efetivo de 8 horas consecutivas por dia, 6 dias por semana. Como não havia registros de que a operação até então da empresa causava incômodos à população vizinha, o pedido de ampliação foi autorizado com a exigência de instalação da melhor tecnologia prática disponível para os banhos de cromo duro. Neste caso a MTPD compreendia lavador de gases de alta eficiência, tipo Venturi, seguido de torre de recheio como complemento. Instalados equipamentos de produção e

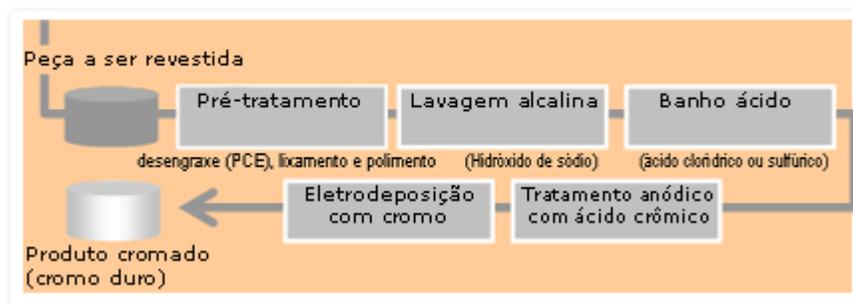
de controle ambiental, as amostragens do efluente gasoso mostraram uma média de emissões de cromo 6<sup>+</sup> de 374 µg/m<sup>3</sup>.

Considerando o potencial carcinogênico do Cromo 6<sup>+</sup>, e a hipótese de que o emprego da melhor tecnologia prática disponível poderia ser não suficiente para plena proteção da saúde da comunidade vizinha à empresa, foi realizado um estudo estimativo do risco individual de câncer por exposição ao contaminante na área do entorno da indústria, buscando verificar se a concentração pós-controle efetivamente garantia a proteção da saúde da população exposta.

## O PROCESSO INDUSTRIAL

O processo de cromeação instalado se inicia com as peças a serem revestidas sendo desengraxadas, lixadas e polidas. Uma lavagem alcalina elimina eventuais resíduos existentes de óleo ou graxa. Um banho ácido neutraliza a peça e a prepara para o tratamento anódico com ácido crômico. Após a primeira deposição, faz-se a eletrodeposição de cromo com a espessura determinada. A cromeação dura é realizada com densidades de corrente variando de 1.600 a 6.500 A/m<sup>2</sup> para um tempo total de eletrodeposição de 20 minutos a 36 horas, dependendo da espessura da camada a depositar. A Figura 1 esquematiza o processo de cromeação de peças metálicas utilizado.

**Figura 1** – Vantagens e desvantagem no uso de abordagens focadas no risco individual e no risco populacional

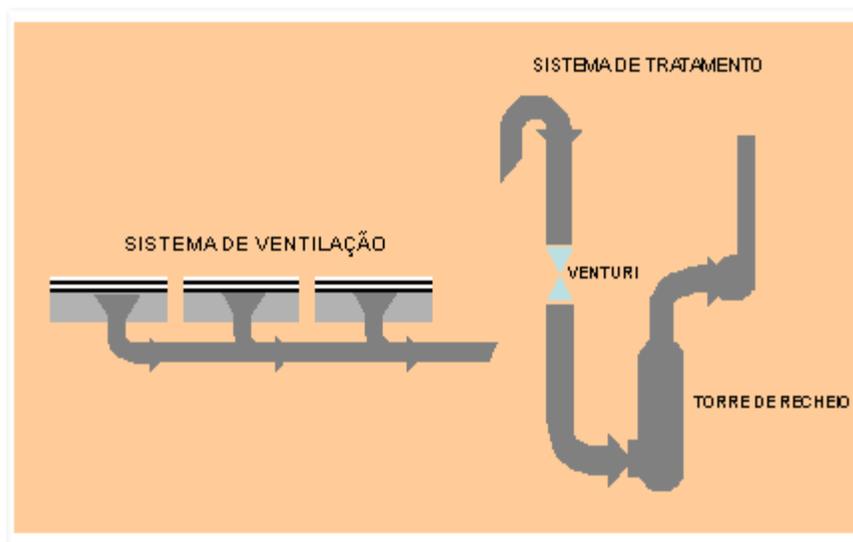


## EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

Para muitos metais, os banhos de deposição possuem alta eficiência catódica, de forma que a geração de névoa é mínima. Contudo, a eficiência do cátodo nos banhos de cromo é muito baixa (10 a 20%), gerando uma substancial emissão de névoas de ácido crômico, devidas à geração de hidrogênio e oxigênio. Esses gases são formados nos banhos, na superfície das peças submersas, ou nos ânodos/cátodos. Conforme as bolhas de gás rompem-se, produzem microgotículas de líquido que se dispersam no ar atmosférico, gerando uma névoa ácida que arrasta uma quantidade considerável de ácido crômico. A intensidade de geração de névoa é uma função da atividade química ou eletroquímica que se desenvolve no tanque e aumenta com a agitação da solução, com sua concentração e com a temperatura. Os tanques de eletrodeposição possuem injeção de ar comprimido pelo fundo para manter uniformidade na concentração e temperatura do banho, o que também favorece a geração de névoas ácidas.

No caso em estudo, o controle das emissões para a atmosfera é feito por meio de sistema de ventilação local exaustora instalado nos três banhos, com os gases gerados sendo tratados em lavador de alta eficiência, tipo Venturi, seguido de torre de recheio operando com fluxo em contracorrente (Figura 2).

Figura 2 - Esquema dos sistemas de ventilação e controle de névoas ácidas



Os dados de emissão referentes à fonte estudada, obtidos por amostragem dos seus efluentes gasosos, estão sumarizados na Tabela 1.

Durante a campanha de amostragem os equipamentos operavam de acordo com as determinações constantes nas licenças obtidas.

**Tabela 1** - Dados de emissão\* da fonte estudada

Parâmetro	Valor
Vazão média dos gases ventilados	2.035 m <sup>3</sup> /h
Concentração média de Cr <sup>6+</sup> nos gases sem controle	7.290 mg/m <sup>3</sup>
Taxa média de emissão atmosférica sem controle	4.120 mg/s
Taxa média de emissão atmosférica com controle	374 µg/s
Eficiência média de remoção de Cr <sup>6+</sup>	99,99%
Diâmetros do duto de saída dos gases	0,3 m
Altura do ponto de descarga atmosférica dos gases	8 m
Temperatura dos gases na saída do duto de descarga	30°C
Velocidade de saída dos gases no duto de descarga	8 m/s

\* Valores médios, resultantes de três amostras coletadas.

## ESTIMATIVA DO RISCO POR EXPOSIÇÃO AO CROMO 6<sup>+</sup>

A estimativa das concentrações atmosféricas de cromo no entorno da empresa foi feita utilizando-se o modelo Screen 3, disponibilizado pela Usepa para cálculo preliminar da dispersão atmosférica proveniente de fontes contínuas de emissão (USEPA, 2006a). A área ao redor da fonte foi dividida em uma grade de 20 m x 20 m, e em cada centróide calculada a concentração do poluente no nível do solo. Estas concentrações (médias de 1 hora) foram multiplicadas pela frequência do vento, ou a fração de tempo que o vento soprou naquela direção para determinação da exposição em cada ponto da localidade circunvizinha, durante o período de operação da indústria. Os dados sobre a frequência de distribuição de ventos (velocidade e direção) foram obtidos junto a uma empresa próxima, que mantém uma estação meteorológica para uso particular. A instalação e operação da estação meteorológica seguiam as normas da World Meteorological Organization – WMO (1983).

Os dados utilizados de velocidade e direção dos ventos estão sumarizados na Tabela 2. As condições de estabilidade atmosférica adotadas foram definidas a partir de Turner (1994), referência usualmente utilizada para esse fim.

## CÁLCULO DO RISCO

O excesso de risco de câncer na população do entorno, localizada a uma dada distância da empresa, em virtude da exposição a determinada concentração de Cr6+ no ar local por determinado período, foi calculado segundo a expressão:

$$ECC = C_{mh} * \% t * UR * 10^6 \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

$ECC$  = número de casos de câncer, em uma população de um milhão de pessoas expostas, devido à inalação de cromo 6<sup>+</sup>, por um período de 70 anos *(adimensional)*

$C_x$  = Concentração média do contaminante no nível do solo, a uma determinada distância da fonte. É função da taxa de emissão, da velocidade do vento e da estabilidade atmosférica *( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )*

$\%t$  = porcentagem do tempo em que o vento soprou em dada direção com determinada velocidade, sob diversas condições de estabilidade atmosférica *(h/horas totais)*

$C_{mh} = C_x * \%t$  *( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )*

$UR$  = fator unitário de risco (probabilidade de câncer por unidade de concentração no ar do poluente) *( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )<sup>-1</sup>*

O valor do fator unitário de risco para o cromo hexavalente foi de 0,012 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )<sup>-1</sup> obtido em Usepa (2006b).

**Tabela 2** - Freqüência do tempo em que o vento soprou de uma determinada direção, em diferentes velocidades

Direção do vento (°)	Freqüência do vento (%)			
	0-2 m/s	2-3 m/s	3-5 m/s	Total
0	0	2	3	5
30	2	1	3	6
60	1	2	0	3
90	3	1	2	6
120	5	1	2	8
150	10	7	5	22
180	2	2	5	9
210	2	2	4	8
240	5	3	3	11
270	2	3	1	6
300	2	3	2	7
330	4	3	2	9

Os valores calculados de Cx são apresentados na Tabela 3. A Tabela 4 traz valores de Cmh e ECC calculados para a distância de 100 m da fonte, em função da direção e freqüência dos ventos. A distância de 100 m é aquela onde o modelo aponta a ocorrência da máxima concentração do poluente no nível do solo.

A zona de impacto, área ao redor da fonte onde ECC supera o valor unitário (nível de risco de referência de 1 caso de câncer em 10<sup>+6</sup> expostos) aparece destacada na Figura 3. A linha perimetral é o lugar geométrico dos pontos com ECC = 1, obtida por interpolação de valores. Os valores estimados de ECC estão bastante próximos daqueles apresentados pela Usepa (2006b) em termos de relação 'nível de risco' *versus* 'concentração do contaminante no ar', o que confere consistência à abordagem seguida.

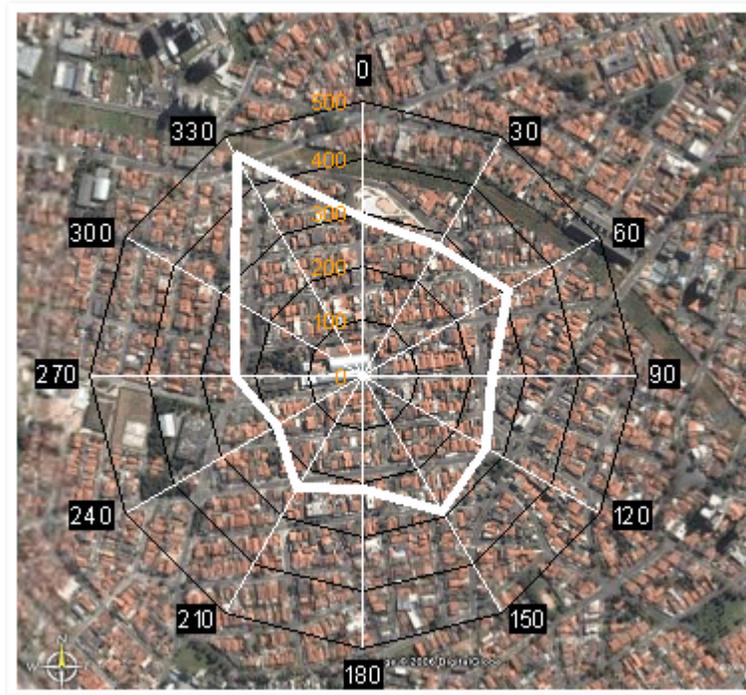
**Tabela 3 -** Valores de  $C_x$  em função da distância da fonte para uma emissão de 374  $\mu\text{g/s}$  de  $\text{Cr}^{6+}$  lançada a 8 metros de altura, com velocidade de saída dos gases de 8  $\text{m/s}$

Distância fonte–receptor (m)	$C_x$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
100	6,9683E-03
200	1,7749E-03
300	7,7755E-04
400	4,3007E-04
500	2,7081E-04
600	1,8570E-04
700	1,3670E-04
800	1,0768E-04
900	8,9827E-05
1.000	7,8044E-05

**Tabela 4 -** Valores de  $C_{mh}$  a 100 m de distância da fonte e o respectivo valor de ECC em função da direção e frequência do vento

Direção do vento	Frequência (%)	$C_{mh}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	ECC
0	5	0,0003485	4,182
30	6	0,0004182	5,0184
60	3	0,0002091	2,5092
90	6	0,0004182	5,0184
120	8	0,0005576	6,6912
150	22	0,0015334	<b>18,401</b>
180	9	0,0006273	7,5276
210	8	0,0005576	6,6912
240	11	0,0007667	<b>9,2004</b>
270	6	0,0004182	5,0184
300	7	0,0004879	5,8548
330	9	0,0006273	7,5276

**Figura 3 -** Contorno da área ao redor da fonte onde o risco de câncer é maior que um caso em um milhão de pessoas expostas



Na distância de cem metros da fonte identifica-se, na direção 330°, o ponto de maior risco pela exposição ao  $\text{Cr}^{6+}$ , com 18 casos potenciais de câncer em uma população de um milhão de indivíduos expostos. Nesta posição há quatro residências, com 17 moradores permanentes. Na posição 60°, observa-se o segundo maior nível de risco a cem metros da fonte, com seis residências, 26 residentes permanentes, e uma possibilidade de nove casos de câncer por  $10^6$  indivíduos expostos.

O total de residências dentro da área considerada de alto risco, ou seja, aquela dentro da linha perimetral, é de 87, e o total de moradores de 282.

### INCERTEZAS NA ESTIMATIVA DE RISCOS

Por sua natureza, as estimativas de risco não podem ser totalmente acuradas. O principal problema enfrentado é a ausência de informações suficientes a respeito da exposição real e de como os PATs ameaçam a saúde humana. As avaliações de exposição freqüentemente se apóiam em modelos matemáticos quando as quantidades de poluentes vindas da(s) fonte(s) para a população não podem ser facilmente medidas.

Relações de dose–resposta se baseiam em assunções de efeitos de poluentes, convertendo resultados de experimentos com animais em altas doses, para exposições humanas a baixas doses. Quando a informação não é completa ou é incerta, os analistas de risco fazem assunções que tendem a superestimar os riscos potenciais, ou seja, suas respostas embutem uma margem de segurança para proteção da saúde humana.

Neste estudo observa-se que a estimativa de risco adotou parâmetros e procedimentos que apresentam margem de segurança, e fez assunções sempre conservativas. Desta forma, os resultados decorrentes devem ser vistos como uma primeira aproximação ao problema.

## DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

Seguindo os procedimentos geralmente adotados pelas agências de controle, o emprego da melhor tecnologia prática disponível levou a uma emissão final de cromo 6<sup>+</sup> de 374 µg/m<sup>3</sup>. Levando em conta este dado, foi possível estimar o risco individual de câncer na população vizinha à empresa, e o total de pessoas expostas.

De acordo com critérios utilizados em outros países, o valor de risco considerado tolerável para uma população residente é da ordem de 1:10<sup>-6</sup> (1 caso em 10<sup>+6</sup>). Como os valores obtidos na área circunvizinha à empresa ultrapassam em muito esse patamar, o risco deveria – segundo esses critérios – ser minimizado.

Em termos quantitativos isso representa reduzir a emissão da fonte pós-tratamento de 374 para 50 µg/m<sup>3</sup>, ou seja, uma redução total na emissão de cromo de 99,999%. Este grau de redução seria obtível somente com um elevado investimento em equipamentos de produção, para aumento na eficiência do processo, e de controle. As duas ações se mostram pouco viáveis do ponto de vista técnico e econômico.

Outra forma de redução de risco seria o aumento da altura da chaminé e/ou a diluição dos gases com ar falso, provocando uma maior dispersão/diluição do contaminante, e a redução das concentrações na área de maior impacto. Esta solução se sustenta do ponto de vista técnico e econômico, mas se mostra frágil do ponto de vista ético. Se por um lado contribui para a redução das concentrações de Cr<sup>6+</sup> na área próxima da empresa, minimizando o risco individual, por outro lado aumenta a área atingida, fazendo que mais pessoas sejam expostas ao contaminante, o que implica maior risco social.

A questão do risco social é extremamente relevante, considerando-se a possibilidade de existência de outras fontes de emissão de  $\text{Cr}^{6+}$  na região, o que implicaria um acréscimo na concentração de fundo (*background*), e no risco de câncer.

Há que se destacar mais uma vez que a estimativa do risco foi feita com instrumentos simples de modelagem atmosférica (*screening*), o que poderia levar a resultados pouco acurados. No entanto, independentemente deste aspecto, o uso da ferramenta se justifica. Em termos práticos a análise de risco alerta para a possibilidade de a MTPD não ser suficiente para proteção da saúde da população exposta ao  $\text{Cr}^{6+}$ .

Diante desse quadro, é recomendável a realização de uma avaliação de risco mais sofisticada, com maior grau de precisão. Em se confirmando um risco intolerável, seguem duas possibilidades: ou o empreendimento faz as adequações necessárias, ou perde a autorização para a ampliação de suas atividades naquele local.

A Usepa publicou uma listagem com cerca de duzentas substâncias consideradas tóxicas, que poderia dar suporte às agências ambientais durante seus processos de licenciamento. Nos casos em que estivessem envolvidos quaisquer dos TAPs, deveria ser obrigatória a adoção das tecnologias de produção e controle que resultassem nas menores emissões possíveis, e a realização de um estudo de risco estimando o impacto das concentrações atmosféricas pós-controle na população vizinha à fonte. Se os resultados mostrassem inviabilidade técnica ou econômica, a licença seria negada.

## AGRADECIMENTO

Meus agradecimentos ao Prof. Luiz Alexandre Kulay pelas observações e sugestões feitas.

## REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Resolução Conama 3/90*. 1990. Disponível em: [www.mma.gov.br](http://www.mma.gov.br). Acesso em: 22 dez. 2007.

CAS (Chemical Abstracts Service). *Registry number and substance counts*. 2008. Disponível em: [www.cas.org/cgi-bin/cas/regreport.pl](http://www.cas.org/cgi-bin/cas/regreport.pl). Acesso em: 15 jul. 2007.

CETESB. *Licenciamento ambiental*. 2007. Disponível em: [www.cetesb.sp.gov.br/licenciamentoo/onde\\_fazer/define\\_licenciamento.asp](http://www.cetesb.sp.gov.br/licenciamentoo/onde_fazer/define_licenciamento.asp). Acesso em: 14 fev. 2008.

CIMARPH (Committee on the institutional means for assessment of risks to Public Health). *Risk Assessment in the Federal Government*. Washington (DC): NA Press, 1983.

GRATT, L. B. *Air toxic risk assessment and management*. New York: Van Nostrand, 1996.

LICCO, E. A. Poluentes tóxicos do Ar. In: III ENCONTRO DE MEIO AMBIENTE DO VALE DO PARAÍBA, 10, Taubaté, 2005.

PATRICK, D. R. *Toxic air pollution handbook*. New York: Van Nostrand, 1994.

TURNER, D. B. *Workbook of atmospheric dispersion estimates*. 2.ed. Boca Raton: Lewis Publishers, 1994.

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

\_\_\_\_\_. *Health effects assessment for hexavalent chromium*. Report to Office of Emergency and Remedial Response, Environmental Criteria and Assessment Office, Cincinnati (OH), 1984b.

\_\_\_\_\_. *Compilation of air pollutant emission factors*. 5.ed. v.I, Metallurgical industry: Electroplating. Triangle Park, 1995.

\_\_\_\_\_. *Screen 3 model program*. 2006a. Disponível em: [www.epa.gov/scram001/dispersion\\_screening.htm](http://www.epa.gov/scram001/dispersion_screening.htm). Acesso em: 8 nov. 2006.

\_\_\_\_\_. *Integrated Risk Information System – IRIS*. 2006b. Disponível em: [www.epa.gov/iris/](http://www.epa.gov/iris/). Acesso em: 15 dez. 2006.

\_\_\_\_\_. *Risk assessment for toxic air pollutants: a citizen's guide*. 2007a. Disponível em: [www.epa.gov/ttn/atw/3\\_90\\_024.html](http://www.epa.gov/ttn/atw/3_90_024.html). Acesso em: 11 jan. 2008.

\_\_\_\_\_. *Chromium (VI) (CASRN 18540-29-9) Integrated Risk Information System – IRIS*. 2007b. Disponível em: [www.epa.gov/iriswebp/iris/subst/0144.htm](http://www.epa.gov/iriswebp/iris/subst/0144.htm). Acesso em: 11 jan. 2008.

WMO. *Guidance to meteorological instruments and methods of observation*. (World Meteorological Organization, n.8). 5.ed. Geneva, 1983.

Artigo recebido em 12.02.08. Aprovado em 03.03.08.