

**Roteiro para Avaliação de Risco à Saúde
Humana por Exposição a Emissões
Atmosféricas de Dioxinas e Furanos**

Aviso Legal

Este roteiro fornece orientações para avaliar se as emissões atmosféricas provenientes de uma nova instalação irão impor alterações da qualidade ambiental que representem riscos adicionais inaceitáveis à população circunvizinha. Trata-se de ferramenta da área ambiental e não elimina ou substitui as avaliações a cargo das autoridades de saúde pública federais, estaduais e municipais. Não pode ser aplicado a um indivíduo específico e não aborda os aspectos de morbidade e mortalidade da população.

Lista de Abreviaturas, Acrônimos e Siglas utilizados no texto

CDD - Dibenzo – *p* - dioxina clorada

CDF – Dibenzofurano clorado

COT UK – Comitê sobre Toxicidade da Agência de Padrões de Alimentos do Reino Unido

CREG - Guia de Avaliação de Risco de Câncer

CSF - Fatores de Inclinação para Câncer

FAO - Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura

FDA – Administração Federal de Alimentos e Drogas

MRL - Níveis de Mínimo Risco

NDAMN – Rede Nacional de Monitoramento de Dioxina no Ar

NOAEL – Nível de Efeito Adverso não Observado

OCDD - Octacloro dibenzo – *p*- dioxina

PCB – Bifenila policlorada

PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento

RfC - Concentração de Referência

RfD – Dose de Referência

TCDD - Tetracloro dibenzo – *p* - dioxina

TDI – Dose Diária Tolerável

TEF - Fatores de Toxicidade Equivalente

TEQ - Quociente de Toxicidade Equivalente

TMI – Dose Mensal Tolerável

USEPA – Agência Norte Americana de Proteção Ambiental

VC – Valor de Comparação

WHO (OMS) – Organização Mundial da Saúde

Roteiro para Avaliação de Risco à Saúde Humana por exposição a emissões atmosféricas de Dioxinas e Furanos

1. Introdução

Sempre que um novo projeto envolvendo o tratamento térmico de resíduos é colocado em discussão, os diversos atores envolvidos na questão manifestam diferentes questionamentos, incluindo aqueles relativos aos eventuais efeitos à saúde pública decorrentes das eventuais emissões de poluentes tóxicos pelo empreendimento, notadamente daqueles poluentes para os quais não foram ainda definidos padrões de qualidade do ar.

Para os poluentes tóxicos não regulados, grande parte dessas preocupações é originária em casos passados de grande apelo na mídia. Em muitos casos, posições são colocadas como verdadeiras, sem que um embasamento técnico/científico respalde essas afirmações.

As principais preocupações podem ser sintetizadas nas posições abaixo:

- Os moradores têm preocupações com os potenciais impactos da unidade de tratamento térmico que podem causar efeitos adversos na saúde das comunidades vizinhas tais como câncer, defeitos de nascença, envenenamento por metais, doenças dos rins e do fígado.
- Os moradores acreditam que estão sofrendo agravos à saúde como resultado direto da queima de resíduos nessa unidade.
- Os moradores reclamam que têm informações sobre um aumento das taxas de vários tipos de câncer e de outras doenças como asma, e esclerose.
- Os moradores dizem que “não há dúvida que incineradores agridem a saúde pública e o bem estar pela emissão de poluentes persistentes como dioxinas e metais”.
- Os moradores estão preocupados com problemas familiares de saúde como asma e dificuldades respiratórias, as quais acham estar diretamente relacionadas com as emissões dessa instalação.
- Algumas associações estão preocupadas com as emissões locais de gases, líquidos, material particulado, dioxinas e outros materiais.
- Os moradores temem “os potenciais sérios efeitos colaterais de envenenamento sobre a saúde das famílias” por que estão localizados na direção dos ventos à jusante da instalação.
- Os moradores expressam preocupações sobre os impactos da poluição do ar sobre a saúde do sistema respiratório, o que levará a comunidade a apresentar taxas mais elevadas de doenças respiratórias.

- Os moradores acreditam que os perigos à saúde colocados pela unidade de tratamento impõem um risco inaceitável e por isso não deve ser instalado.
- Algumas associações reiteram sua posição que os riscos dessa unidade são totalmente inaceitáveis e que a saúde pública local só será protegida se o empreendimento não for instalado.
- Os moradores acreditam que a unidade de tratamento impõe um risco desnecessário e evitável que, em contrapartida, não traz um benefício razoável ao público.
- Os moradores se preocupam com as emissões e deposição local dos contaminantes, os quais podem se acumular e adentrar à cadeia alimentar.
- Parcela da população acredita existir receio fundamentado de que o funcionamento de uma usina de recuperação de energia a partir do lixo possa causar danos à saúde pública e que, como a saúde é direito de todos, a atividade não pode ser autorizada a funcionar

Esses questionamentos não são característicos apenas dos moradores, mas refletem a percepção de uma parcela importante da população e não se limita apenas aos aspectos de emissão atmosférica, mas de qualquer atividade relacionada com manuseio e tratamento de resíduos (aspectos psicossociais conhecidos como NIMBY - "Not in my Backyard" e OSOM - "Out of Sight, Out of Mind").

Essa situação frequentemente coloca em polos opostos as agências reguladoras e os empreendedores, e de outro, a promotoria pública, as ONGs e a população em geral.

Dada a inexistência de padrões legais de qualidade do ar para esses poluentes orgânicos persistentes e a ausência de procedimentos estabelecidos e aceitos para avaliação de saúde para as situações de empreendimentos novos e existentes cujas emissões possam de alguma forma impactar as populações vizinhas, a discussão entre os diferentes atores via de regra padece de fundamentação técnica.

A ATSDR— *Agency for Toxic Substances and Disease Registry*, dos Estados Unidos desenvolveu um procedimento para avaliar os riscos à saúde advindos de possíveis ou reais exposições a contaminantes químicos, provenientes de uma determinada fonte real ou potencial de contaminação ambiental. Esse procedimento consta do primeiro documento a seguir listado. Pode-se observar que a metodologia proposta pela ATSDR é válida e aplicada para todo tipo de exposição às substâncias tóxicas (uma única ou diversas substâncias simultaneamente) independentemente da fonte de emissão. Também pode ser aplicado a uma fonte específica ou a um conjunto delas. Esse protocolo foi concebido para avaliar situações reais de exposição (seja de um antigo depósito de resíduos perigosos, seja de uma planta química em funcionamento ou de um conjunto delas), considerando as concentrações dos poluentes medidas nos diversos compartimentos ambientais e a situação de morbidade/mortalidade observada nas populações expostas. Caso fossem observadas alterações nas condições de morbidade e mortalidade esperadas para essa população e estas pudessem ser atribuídas ao incremento medido de poluentes, essas alterações levariam a adoção de ações de controle ambiental e de saúde objetivando a proteção da saúde pública.

Atualmente, o Ministério da Saúde adota para casos de deposição de resíduos e áreas contaminadas um procedimento baseado na metodologia da ATSDR, para avaliar os riscos à saúde advindos de possíveis ou reais exposições aos contaminantes químicos ali existentes.

Em tese, não há impedimento técnico para que o mesmo procedimento seja adaptado e aplicado no sentido de antever ou prever eventuais efeitos esperados de contaminantes que serão emitidos por instalações ainda em fase de projeto. As diferenças básicas seriam aquelas decorrentes de concentrações adicionais modeladas nos diferentes meios e seus possíveis efeitos potenciais à saúde pública. A parte relativa aos possíveis incrementos nas taxas de morbidade e mortalidade que seriam devidas ao aumento de concentração dos poluentes estaria prejudicada, pois esses poluentes não existiriam de fato e não poderiam estar relacionados às condições reais de saúde de uma população específica.

A cidade de São Paulo já contou com três unidades de incineração (incineradores da Ponte Pequena, Vergueiro e Pinheiros) que iniciaram operação na década de 60, operando até início deste século. Todos eles tinham concepção tecnológica ultrapassada e nunca foram modernizados de forma a atender padrões operacionais e de emissão minimamente adequados. O incinerador de Vergueiro começou a funcionar em 1968 e encerrou suas atividades em 2002. Esse equipamento foi concebido para incinerar lixo doméstico, mas passou a receber resíduos do sistema de saúde em 77. Um recente estudo epidemiológico (Gouveia & Prado, Ver. Bras. Epidemiol.: 13 (1): 3-10, 2010) mostrou a não existência de evidências que pudessem associar as emissões desse incinerador com um aumento na mortalidade por câncer na população exposta (a área estudada tinha 7 km de raio no entorno do incinerador, com 1.599.532 habitantes, sendo 92.894 crianças < 5 anos e 634.993 adultos ≥40 anos).

No sentido da obtenção de respostas objetivas cientificamente embasadas, ao se avaliar os potenciais efeitos à saúde, decorrentes da emissão de Dioxinas e Furanos por Unidades de Recuperação de Energia a partir de Resíduos – URES propõe-se a adoção deste roteiro técnico, que permite a avaliação das questões voltadas à proteção da saúde pública. O roteiro proposto é cientificamente embasado, tecnicamente sustentado e permite a obtenção de resultados reprodutíveis por qualquer indivíduo que se proponha a utilizá-lo.

Os documentos básicos que serviram para a elaboração deste roteiro foram:

- Public Health Assessment Guidance Manual (Update)* – ATSDR- 2005
- Diretrizes Para Elaboração De Estudo De Avaliação De Risco À Saúde Humana Por Exposição A Contaminantes Químicos – Ministério da Saúde - Brasília - 2010,
- Guidelines for Carcinogen Risk Assessment* – USEPA – 2005
- Statement On The Tolerable Daily Intake For Dioxins And Dioxinlike Polychlorinated Biphenyls* - Committee On Toxicity Of Chemicals In Food, Consumer Products And The Environment –COT UK

- *Health Risks from Dioxin and Related Compounds Evaluation of the EPA Reassessment* – The Nationals Academies - 2005
- *Update to the ATSDR Policy Guideline for Dioxins and Dioxin-Like Compounds in Residential Soil* - 2008 ATSDR
- *Exposure To Dioxins And Dioxin-Like Substances: A Major Public Health Concern* - WHO 2010
- *Assessment of the health risk of dioxins: re-evaluation of the Tolerable Daily Intake (TDI)* -WHO 1998,
- *Standards of Performance for New Stationary Sources and Emission Guidelines for Existing Sources: Large Municipal Waste Combustors; Final Rule*- 40 CFR Part 60 - 2006
- *SUMMARY AND CONCLUSIONS* - Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA) Fifty-seventh meeting Rome, 2001
- *Report on Tolerable Daily Intake (TDI) of Dioxins and Related Compounds - Environmental Health Committee of the Central Environment Council* - Environment Agency; Living Environment Council and Food Sanitation Investigation Council - Ministry of Health and Welfare, Japan 1999
- *Toxicological profile for chlorinated dibenzo-p-dioxins* – U.S. Department of Health and Human Services - Public Health Service - ATSDR – 1998
- *Addendum to the toxicological profile for chlorinated dibenzo-p-dioxins (cdds)* - U.S. Department of Health and Human Services - Public Health Service - ATSDR – 2011
- Análise espacial dos riscos à saúde associados à incineração de resíduos sólidos: avaliação preliminar – Gouveia N. , Prado R. R. - Revista Brasileira de Epidemiologia, v.13, n.1, p.3-10, 2010

2. Propósito e Aspectos de Saúde

O processo de avaliação de risco à saúde proposto envolve a análise de múltiplos conjuntos de dados. Esses incluem os conjuntos disponíveis de dados de qualidade ambiental, dados de exposição, dados de efeitos à saúde (toxicológicos) e as preocupações sobre saúde da comunidade. É importante conhecer o que a população da área conhece sobre o empreendimento/local (local entendido como área contaminada ou um depósito de resíduos) e sobre as exposições relacionadas a ele.

Esta avaliação de risco à saúde deve ser conduzida para determinar se, e em qual extensão, a população será exposta a dioxinas e furanos associados a um determinado empreendimento e, se verdadeiro, se essa exposição será danosa e deveria ser evitada. O processo permite a priorização e a identificação de etapas adicionais necessárias para responder às questões de saúde pública.

Existe um número de objetivos do processo que devem ser focados durante toda a avaliação:

- Avaliar as condições do empreendimento/local e determinar a natureza e extensão da potencial contaminação.

- Definir as rotas ou caminhos de exposição potencial aos receptores relativos aos contaminantes específicos do empreendimento/local.
- Examinar as implicações à saúde relativas às exposições locais, através do exame dos dados ambientais e de efeitos à saúde (toxicológicos).
- Considerar essas implicações recomendando ações relevantes de saúde pública para prevenir exposições danosas.
- Identificar e responder as preocupações de saúde da comunidade e comunicar com clareza os resultados da avaliação.

2.1. Fatores a Serem Considerados na Avaliação de Risco

Esses fatores podem ser agrupados conforme abaixo.

- *Natureza e extensão da contaminação* — Qual é a extensão espacial e temporal da contaminação relativa ao empreendimento/local? Essa contaminação migrou para fora da área? Qual meio será ou continua a ser afetado (água, solo, ar, cadeia alimentar (biota))?
- *Demografia*—Quem estará sendo exposto e alguma população especial precisa ser considerada (crianças, mulheres com bebês, fetos, mulheres lactantes, idosos)?
- *Caminhos ou rotas de exposição humana (futura)*—Como as pessoas podem ser expostas aos contaminantes do empreendimento/local (água potável, inalação, contato dérmico direto)? Quais são as condições potenciais de exposição específica do empreendimento/local (duração, frequência e magnitude da exposição)?
- *Efeitos à Saúde e dados relacionados a doenças*— Os níveis de exposição esperados do local para as substâncias tóxicas identificadas causariam efeitos à saúde da população e como essas concentrações se comparam com limites de tolerância ou de exposição recomendados (padrões de qualidade de água, padrões de qualidade do ar, valores orientadores de intervenção, por exemplo)?

3. Implicações dos Poluentes de Interesse na Saúde Pública

Informações Gerais – Dibenzo-p-Dioxinas Cloradas

Dibenzo-p-dioxinas cloradas (CDDs) são uma família de 75 diferentes compostos com efeitos variados. As CDDs são divididas em oito grupos de substâncias químicas baseados no número de átomos de cloro existente no composto. Por exemplo, tetra-cloro dioxina (TCDD) e octa-cloro dioxina (OCDD) contêm quatro e oito átomos de cloro respectivamente. A 2,3,7,8-TCDD (átomos de cloro nas posições 2,3,7 e 8 da molécula) é uma das mais tóxicas CDDs para mamíferos e merece a maior atenção. Assim, a 2,3,7,8-TCDD serve como um protótipo para as CDDs. As CDDs com propriedades tóxicas similares à 2,3,7,8-TCDD são chamadas de compostos “*dioxin like*”. As CDDs são mais frequentemente encontradas em mistura de que como compostos simples no ambiente e as atividades humanas são consideradas como fonte predominante.

A menos de pequenas quantidades requeridas para propósito de pesquisa, as CDDs não são propositalmente produzidas pela indústria. Essas substâncias são, entretanto, produzidas não intencionalmente por processos de combustão, por incineradores industriais, municipais e pela queima domiciliar. As CDDs são também naturalmente produzidas por combustão incompleta de materiais orgânicos em incêndios florestais e queimadas, além de atividades vulcânicas. As CDDs (principalmente a 2,3,7,8 TCDD) também são produzidas nos processos de branqueamento com cloro na produção de polpa e papel. Atualmente, a queima sem controle de resíduos domiciliares nas residências é considerada como a maior fonte de emissão de CDDs nos EUA.

As CDDs são contaminantes disseminados no ambiente. Elas são encontradas em níveis muito baixos no ambiente e são normalmente medidas em microgramas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ou picogramas por metro cúbico (pg/m^3). A maior parte da população estará exposta a níveis basais muito baixos quando respiram, ou quando têm contato dérmico com algum material contaminado com CDDs. Entretanto, a exposição majoritária é associada com a ingestão de alimentos (primeiramente carne, derivados de leite e pescados). Essas fontes de alimentos são afetadas porque as dioxinas se ligam ao carbono orgânico dos solos, sedimentos e particulados e se bioacumulam nos tecidos gordurosos dos animais. De acordo com o documento “Inventários de Dioxinas e Furanos” do PNUD - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, a principal rota de exposição humana para esses compostos é via ingestão de alimentos (95%). O relatório conclui que os aportes de CDD e CDF através da água e do solo, da inalação e do contato dérmico são de menor preocupação. As pessoas que se alimentam de produtos cultivados em áreas contaminadas estão sob um risco maior de exposição. Entretanto, os aportes reais em uma área contaminada dependem da quantidade e do tipo de alimento consumido e do nível de contaminação.

Uma vez no corpo humano, as CDDs podem ser encontradas na maior parte dos tecidos, em maiores quantidades no fígado e na gordura corporal. O corpo humano pode estocar esses compostos por vários anos antes de sua eliminação. Muitos estudos têm examinado como as CDDs podem afetar a saúde humana. Estudos mais recentes mediram as concentrações de 2,3,7,8 – TCDD no sangue e nos tecidos gordurosos de populações expostas para estimar a extensão da exposição passada. O efeito à saúde mais evidente encontrado em pessoas expostas a relativamente altas quantidades de 2,3,7,8-TCDD foi uma severa doença de pele chamada Cloroacne (lesão parecida com acne geralmente na face e parte superior do corpo). Os dados epidemiológicos disponíveis para 2,3,7,8-TCDD não permitem, entretanto, a determinação de uma dose mínima (minimum threshold dose) que leve ao aparecimento de cloroacne. Outros efeitos têm sido relacionados como decorrência de exposição aos compostos mais tóxicos de CDDs (isto é: efeitos sobre o fígado e desordens pulmonares, neurológicas e renais). A EPA determinou que o composto mais tóxico 2,3,7,8-TCDD é provavelmente carcinogênico para humanos, é carcinogênico para animais e, para trabalhadores altamente expostos; um aumento nas taxas de morte por câncer foi documentada.

Informações Gerais - Dibenzofuranos Clorados

Dibenzofuranos clorados (CDFs) são uma família de substâncias químicas (135 compostos ou congêneres) que contêm de um até oito átomos de cloro ligados aos átomos de carbono. O CDF com átomos de cloro ligados nas posições 2,3,7 e 8 são especialmente perigosos. Como as CDDs, os CDFs não são deliberadamente produzidos pela indústria (exceto pequenas quantidades usadas para pesquisas). Os CDFs são gerados como impurezas não desejadas em certos processos e produtos que utilizam compostos clorados. Apenas uns poucos compostos dos 135 congêneres têm sido estudados para avaliação de suas toxicidades.

Pequenas quantidades de CDFs entram no ambiente por incêndios acidentais em transformadores, capacitores e outros equipamentos elétricos contendo PCBs. CDFs também são formados pela queima de resíduos municipais e industriais, queima de carvão, madeira ou óleo. Também são gerados durante a manufatura de produtos químicos para tratamento de madeira, de alguns metais e na produção de papel. Como as CDDs, CDFs não se dissolvem na água muito facilmente, são liberados lentamente para o ambiente e podem permanecer no solo por anos. A criação de animais que se alimenta de plantas contaminadas por deposição aérea pode produzir leite e carne com grandes quantidades de CDF. Pássaros e mamíferos vivendo próximos a corpos d'água contaminados com CDF, assim como humanos que ingerem peixes são subsequentemente expostos. A ingestão de grandes quantidades de peixes gordurosos oriundos de rios contaminados pode aumentar a exposição. A exposição pelo ar e por ingestão de água é menor do que pela ingestão de alimento.

Os CDFs são frequentemente encontrados associados com as CDDs, as quais causam efeitos tóxicos similares. Os efeitos à saúde dos CDFs foram principalmente derivados de estudos de envenenamento acidental onde pessoas ingeriram altas doses em alimentos cozidos com óleos contaminados com bifenilas policloradas (PCBs) contendo CDFs. Irritações dos olhos e da pele (acne), escurecimento da cor da pele, inchaço das pálpebras com secreções desenvolveram-se semanas ou meses após a exposição. Os CDFs também causaram vômitos e diarreias, anemia, infecções pulmonares mais frequentes, dormência e outros efeitos no sistema nervoso, além de alterações brandas no fígado. Muitos dos efeitos à saúde que ocorreram com humanos acidentalmente expostos também ocorreram com animais de laboratório que foram alimentados com CDFs. Esses animais apresentaram perda de peso e seus estômagos, fígados, rins e sistemas imunológicos foram seriamente afetados. Alguns submetidos a altas doses também morreram. Os CDFs também causam malformações de nascença e defeitos testiculares em animais. A EPA não classificou a carcinogenicidade dos CDFs.

Fatores de Toxicidade Equivalente (TEF) e Quociente de Toxicidade Equivalente (TEQ)

As CDDs e os CDFs ocorrem juntos no ambiente, são compostos altamente persistentes e resistentes à degradação microbiológica. A 2,3,7,8-TCDD é uma das mais tóxicas e extensivamente estudadas CDDs e serve como protótipo para os compostos

toxicamente relevantes ou “*dioxin like*”. Usando as informações aprendidas com os estudos em animais, os cientistas expressam a toxicidade dos compostos “*dioxin like*” como uma fração da toxicidade atribuída à 2,3,7,8-TCDD. Por exemplo, as toxicidades dos compostos “*dioxin like*” e os CDFs podem ser 1/2 ou 3/10 ou qualquer fração da toxicidade da 2,3,7,8-TCDD. Os cientistas chamam essas frações como Fator de Toxicidade Equivalente (TEF). A potência tóxica de uma mistura de congêneres (isto é: a TEQ) é a soma dos produtos das TEFs para cada congêneres com sua respectiva concentração na mistura. Assim, TEQs representam a toxicidade de uma mistura de CDDs e CDFs expressa como equivalente à toxicidade da 2,3,7,8-TCDD. Esses valores estão apresentados no Apêndice C.

Avaliação de Efeitos Crônicos e Carcinogênicos

O potencial de ocorrência dos efeitos crônicos e carcinogênicos à saúde é avaliado através da comparação com os VCs – Valores de Comparação baseados em risco à saúde desenvolvidos por diferentes entidades (ATSDR, Connecticut State Department of Energy and Environmental Protection e State Department of Health Service, California Office of Environmental Health Hazard Assessment, Ontário Ministry of the Environment, Japan Ministry of the Environment, etc.). As concentrações modeladas de máximo impacto são calculadas conforme acima descrito. Caso essas concentrações sejam inferiores aos VCs, não são esperados efeitos à saúde decorrente de exposição ao ar ambiente.

Os efeitos potenciais à saúde decorrentes de uma exposição combinada devido ao ar ambiente e a alimentação também podem ser avaliados. Usando a tabela do Apêndice B pode-se calcular a dosagem média diária por inalação utilizando os dados de modelagem para um cenário de pior caso e os dados da maior concentração dos níveis de base. Pode-se também estimar os níveis de exposição que resultam do consumo de alimentos (por exemplo: United States Food and Drug Administration’s (FDA) - Total Diet Study). Os resultados da dose de exposição combinada do ar ambiente e da alimentação são então comparados com a Dose Mensal Tolerável (TMI) da Organização Mundial da Saúde (OMS) de 70,0 pg/kg/mês. Esse valor garante proteção para efeitos carcinogênicos e não carcinogênicos (ver Apêndice A).

Considerações Sobre a Saúde das Crianças

Existem muitas diferenças entre adultos e crianças com respeito aos efeitos adversos devidos à poluição do ar. Durante exercícios, as crianças inalam entre 20 e 40% mais ar por unidade de peso corpóreo que adultos em atividades comparáveis. Quando a poluição do ar está em níveis altos, as crianças são mais suscetíveis a esses efeitos. Crianças gastam mais tempo ao ar livre que adultos e frequentemente durante períodos quando a poluição do ar está mais acentuada (por exemplo, no fim das tardes

de verão quando as concentrações de ozônio atingem picos). Um adulto típico passa de 85 a 95% do seu tempo em ambientes fechados, comparado com menos de 80% pelas crianças. Quando brincam em ambiente aberto geralmente se exercitam mais que os adultos.

Uma das mais importantes diferenças entre adultos e crianças com relação à poluição do ar é que as crianças estão crescendo e se desenvolvendo. Durante esse aumento do tamanho de seu corpo, seus pulmões estão crescendo e mudando. Os pulmões humanos contêm mais de 40 tipos diferentes de células. Cada um desses tipos é importante para a saúde e desenvolvimento. A poluição do ar pode causar danos temporários ou definitivos às células do pulmão. Se essas células, que têm um papel importante no desenvolvimento dos pulmões de uma criança, forem danificadas pela poluição do ar, então os pulmões podem não crescer e desenvolver completamente quando essa criança se transformar em um adulto. O uso de VCs conservativos na avaliação de risco à saúde assegura que os interesses de saúde das crianças foram considerados em cada uma das etapas dessa avaliação.

4. Metodologia Proposta para Avaliação de Risco

A metodologia proposta usa um enfoque conservativo para determinar se os níveis dos poluentes atmosféricos se constituem em um risco potencial à saúde. Em geral isso envolve uma metodologia de duas fases para avaliar a maioria dos poluentes identificados.

Primeiramente, os dados de monitoramento da qualidade do ar são obtidos e uma lista abrangente dos poluentes emitidos pelas diversas fontes é compilada. No segundo passo se usam valores de comparação baseados em saúde (VC) para identificar os poluentes que não possuem uma possibilidade realística de causar efeitos adversos à saúde (por exemplo, os valores de concentração medidos estão muito abaixo dos valores NOAEL, padrão de qualidade ambiental, padrão de potabilidade, ou outro valor, ou são compostos reconhecidamente não tóxicos ou carcinógenos). Esses poluentes são então excluídos das análises posteriores. Os contaminantes remanescentes são denominados poluentes de interesse e se utilizam dados de literatura científica para determinar se os níveis medidos apresentam um risco à saúde pública. No caso em pauta esses contaminantes já estão definidos (dioxinas e furanos).

Os Valores de Comparação (VC) utilizados representam concentrações de contaminantes que a literatura científica corrente considera como não perigosas à saúde (harmless). Os VC são conservadores e incluem diversos fatores de segurança voltados para proteção de populações sensíveis como crianças, idosos e aqueles com doenças respiratórias crônicas. Assim, esses VCs garantem a saúde pública na grande maioria das situações de exposição. Se o nível de concentração é menor que seu valor de comparação (VC) se espera que não ocorram efeitos danosos e esse contaminante é excluído das avaliações posteriores. Se a concentração de um contaminante excede seu VC uma ou mais vezes durante o período de monitoramento, esse contaminante é

designado como poluente de interesse e examinado em grande detalhe. Isso é feito com uma análise comparativa com dados da literatura científica disponível para determinar se os níveis presentes são um risco à saúde pública. Como os VCs são calculados baseados em premissas conservadoras, a existência de concentrações superiores aos VCs não necessariamente indicam que efeitos adversos à saúde irão efetivamente ocorrer entre a população exposta. Por outro lado, valores de concentração abaixo desses VCs garantem uma situação de, no mínimo, risco aceitável.

Os VCs normalmente usados incluem Níveis de Mínimo Risco para inalação crônica (ATSDR MRLs), Guias de Avaliação de Risco de Câncer (ATSDR CREGs), Concentrações de Referência para substâncias químicas específicas (EPA RfCs), Doses de Referência (EPA RfDs), Fatores de Inclinação para Câncer (EPA CSFs). Um MRL é uma estimativa feita pela ATSDR para uma exposição humana diária a uma dose de uma substância química que não apresenta um risco apreciável de um efeito não carcinogênico para uma específica duração de exposição. Um CREG é uma concentração estimada de um contaminante em um meio específico (por exemplo: ar) para a qual se estima a ocorrência de um caso adicional de câncer em uma população de um milhão de indivíduos expostos durante o período de vida. Esse nível aceitável de risco de 1 para um milhão é mais conservativo que os níveis aceitos hoje para gestão de passivos ambientais. As Doses de Referência e as Concentrações de Referências são similares aos MRLs. Elas são estimativas de uma exposição diária a um contaminante para as quais não se espera um efeito não carcinogênico adverso durante o período de vida. Por último, os Fatores de Inclinação para câncer (CSFs) ajudam na determinação de uma estimativa teórica de risco de câncer pelo período de vida associado a uma exposição a um conhecido, provável ou possível carcinógeno. Quando não forem estabelecidos os MRL, CREG, RfC, RfD ou CSF, outras fontes de comparação podem ser usadas (por exemplo: valores estabelecidos em regulamentos, em convenções internacionais e outros).

4.1 Caminhos ou Vias de Exposição

Uma contaminação ambiental não pode afetar a saúde de um indivíduo a menos que exista um caminho ou via completa de exposição. Um caminho ou via de exposição completa existe quando todos os cinco elementos a seguir estiverem presentes:

- 1) uma fonte de contaminação;
- 2) um mecanismo de transporte através de um meio físico;
- 3) um ponto de exposição;
- 4) uma rota de exposição humana (inalação, ingestão e contato dérmico), e
- 5) uma população exposta.

Esses cinco elementos não definem uma exposição, ao invés disso, eles contribuem para determinar a probabilidade de exposição.

A maioria da população recebe quase toda a dioxina e furanos dos alimentos que ingere (mais de 95%), primeiramente de gorduras animais e de derivados de leite. A

grande maioria desses alimentos é obtida através de fornecedores comerciais. Como a maioria desses produtos consumidos não é produzida localmente, mas transportados de diferentes localidades, a maior parte da exposição à dioxinas não provem da localidade onde o receptor está.

4.2. Dados Necessários para Avaliação

Conforme já descrito, para a condução dessa avaliação será necessário obter dados sobre as fontes de emissão, sobre o uso e ocupação do solo, sobre as populações expostas, dados meteorológicos, direção e velocidade de ventos predominantes, os dados sobre os poluentes de interesse, os dados topográficos e de localização das populações expostas e a definição de um modelo matemático para cálculo das concentrações de poluentes nos pontos de exposição. Da mesma forma será necessário definir quais seriam os valores orientadores acima dos quais um risco inaceitável estaria imposto.

4.3. Descrição da Instalação

A instalação objeto dessa avaliação deve ser descrita em termos dos seus processos produtivos, capacidade nominal e operacional, principais matérias primas, produtos elaborados, etc. de forma a permitir um conhecimento geral do que ocorrerá no seu interior. Também uma planta baixa com a identificação dos diferentes processos e seus pontos de interesse, incluindo os pontos de emissão de efluentes deve ser apresentada. A localização georreferenciada dos diferentes pontos de emissão deve ser apresentada.

As emissões esperadas devem ser apresentadas em concentração e taxa de emissão.

4.4 Fontes de Emissão

Todas as fontes de emissão devem ser caracterizadas em termos de localização georreferenciada, alturas de chaminé, diâmetros, vazões, concentrações e taxas de emissão.

Eventualmente podem existir outras fontes semelhantes de emissão no entorno imediato da instalação em avaliação as quais devem também ser caracterizadas e terem suas emissões avaliadas em conjunto.

4.5 Uso da Área e Demografia

A área no entorno do empreendimento deve ser mapeada quanto aos seus usos legais atuais e futuros e a caracterização demográfica desse entorno deve ser apresentada.

Normalmente essa área corresponde a área de influência direta do empreendimento e o objetivo primordial nesse caso é identificar e local georreferencialmente aonde os receptores de risco principais se encontram (crianças, adolescentes e idosos, além daqueles menos capacitados). Nesse sentido devem ser identificadas as creches, escolas, faculdades, casas de repouso e hospitais.

4.6 Dados Meteorológicos

A lista abaixo mostra algumas variáveis que podem afetar a dispersão de poluentes e a sua concentração nos pontos de interesse.

Condições que Afetam a Estabilidade da Pluma Atmosférica:

- Velocidade dos Ventos
- Direção dos Ventos
- Variabilidade na Direção dos Ventos
- Precipitação
- Temperatura
- Horário do Dia
- Parâmetro dos Gases de Chaminé - Emissões

Para estimar as concentrações de poluentes na atmosfera, usualmente, se utilizam modelos matemáticos que simulam a dispersão da pluma. Qualquer que seja o modelo a ser adotado para avaliação das concentrações dos poluentes nos pontos de exposição será fundamental conhecer o comportamento dos parâmetros meteorológicos do próprio local ao longo do tempo. Para a realização de estudos desta natureza, é recomendável consultar a CETESB sobre a forma correta de utilização de modelos de dispersão e dados meteorológicos.

4.7 Poluentes Potenciais de Interesse

Dioxinas, Furanos e compostos semelhantes no ar ambiente são muito difíceis de serem mensurados e os resultados se mostram de pequeno valor na determinação de contribuição de cada fonte ou mesmo nos níveis de exposição humana. As concentrações de dioxinas no ar ambiente são extremamente baixas implicando em períodos de amostragem superiores a 30 dias para se coletar quantidades mensuráveis. Em adição, o monitoramento de dioxinas no ar ambiente requer equipamentos de amostragem de ar e instrumentos analíticos especializados e de alto custo. As amostras só podem ser analisadas em um número reduzido de laboratórios devido a infra-estrutura de alto custo requerida, tornando o monitoramento de dioxinas no ar de difícil realização. Além disso, estudos de monitoramento conduzidos no passado nos EUA e Europa somente puderam demonstrar que as concentrações em áreas rurais são menores do que em áreas urbanas, independentemente da existência de fontes de emissão.

Como uma alternativa para o monitoramento direto, recomenda-se utilizar estimativas de “pior caso” de concentrações no ar através de análise de modelagem analítica de modelos de dispersão. Modelos de dispersão podem utilizar dados de amostragem de chaminé. Nos EUA é comum utilizar o software AERMOD para modelagem, o qual é aprovado pela EPA para estimar concentrações de poluentes nos pontos de exposição. (gratuito em: http://www.epa.gov/scram001/dispersion_prefrec.htm#aermod)

4.8 Confrontação dos Valores Modelados com os Valores de Comparação

Os resultados de modelagem de dispersão no ar, em geral, refletem um cenário de exposição conservativo decorrente das emissões das fontes avaliadas. As CDD/CDFs, entretanto são emitidas por outras fontes de interesse. A National Dioxin Air Monitoring Network (NDAMN) conduziu, entre junho de 1998 até dezembro de 2002, campanha de monitoramento em 34 locais nos EUA, distribuídos entre locais rurais e locais remotos. O propósito desse estudo foi obter níveis basais para dioxinas/furanos no ar. Os resultados obtidos em locais rurais indicaram médias anuais de CDD/CDF (TEQ) variando entre $1,04 \times 10^{-8}$ e $1,139 \times 10^{-8} \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Assim, o valor de pior caso para uma exposição anual é calculado pela soma do maior nível basal anual com a maior concentração de máximo impacto modelada. O resultado dessa soma é comparado com os VCs adotados. Como não existem dados equivalentes para o Brasil, sugere-se adotar os mesmos níveis basais utilizados nos Estados Unidos, ou seja $1,14 \times 10^{-8} \mu\text{g}/\text{m}^3$ (TEQ).

A tabela na página seguinte mostra as concentrações de referência utilizadas em diferentes localidades para proteção à saúde.

Tabela n.º 2 – Níveis de Concentração Aceitáveis

Local	Níveis aceitáveis de concentração ambiental na atmosfera de Dioxinas e Furanos (TEQ $\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Referência
	24 horas	Anual	
Connecticut		1×10^{-6}	State Department of Energy and Environmental Protection State Department of Health Services
Califórnia		$4,0 \times 10^{-5}$	California Office of Environmental Health Hazard Assessment - Chronic Reference Exposure Level (REL)
Japão	-	$6,0 \times 10^{-7}$	Japan Ministry of the Environment
Ontário	$1,0 \times 10^{-7}$	-	Ontario Ministry of the Environment (1)
Local	Níveis aceitáveis de concentração ambiental na atmosfera de 2,3,7,8, TCDD ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Referência
	24 horas	Anual	
Arizona	$1,1 \times 10^{-2}$	$3,0 \times 10^{-5}$	NATICH 1992 – National Air Toxics Information Clearinghouse
Florida - Pinella	-	$2,2 \times 10^{-8}$	
Indiana	-	$3,0 \times 10^{-8}$	
Maine	$3,5 \times 10^{-6}$	$2,5 \times 10^{-7}$	
Michigan	-	$2,3 \times 10^{-8}$	
Carolina do Norte	-	$3,01 \times 10^{-6}$	
Carolina do Norte - Forco	-	$8,00 \times 10^{-6}$	
Pensilvania	-	$3,50 \times 10^{-5}$	
Virginia	3,00	-	
Washington	-	$3,0 \times 10^{-8}$	
New Hampshire	$2,3 \times 10^{-7}$	$2,3 \times 10^{-7}$	New Hampshire Department of Environmental Services
USA	$7,4 \times 10^{-7}$	$7,4 \times 10^{-7}$	ASTDR (2)

(1) No cálculo da somatória para determinar o valor TEQ estão incluídos 12 espécies de PCBs, conforme especificado na referência: ONTARIO'S AMBIENT AIR QUALITY CRITERIA. Os demais 197 outros possíveis PCBs, (i.e., os PCBs que não se comportam como dioxinas(non-dioxin-like)) devem continuar a ser avaliados e confrontados com o valor AAQS especificado para PCBs.

(2) ATSDR - Cancer Risk Evaluation Guide (CREG)

APENDICE A

Dioxinas e Furanos - Doses Diárias Toleráveis Adotadas por Diferentes Países		
Organização	TDI (tolerable daily intake)	Países
WHO (1998)	1-4 pg TEQ/kg/Day	França Alemanha Holanda Nova Zelândia
JECFA (2001)	2.3 pg TEQ/kg/day i.e., 70 pg TEQ/kg/month	Austrália Canada
Japanese Environmental Agency (1999)	4 pg/kg/day	Japão
COT	2 pg/kg/day	Reino Unido
ECSCF	1-3 pg/kg/day	União Européia
Nordic Council	5 pg/kg/day	Dinamarca Finlândia Suécia

TDI (dose diária tolerada) é um valor calculado como um índice de efeitos à saúde quando um aporte diário continua por toda a vida.

WHO = World Health Organization; JECFA = Joint (FAO/WHO) Expert Committee on Food Additives; FAO = Food and Agriculture Committee of the United Nations; JEA= Japanese Environmental Agency; COT=Committee on the Toxicity of Chemicals in Food; ECSCF =European Commission Scientific Committee on Food

Fonte: ADDENDUM TO THE TOXICOLOGICAL PROFILE FOR CHLORINATED DIBENZO-*p*-DIOXINS (CDDs)

U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES

Public Health Service

Agency for Toxic Substances and Disease Registry

Abril 2011

APENDICE B

Cálculos de Exposição CDD/CDF (combinado exposição ar ambiente e alimentação) Resultados expressos em 2,3,7,8 TetracloroDibenzo-p-Dioxina - TEQ

Concentração de máximo impacto(modelagem)	xxxxxpg/m ³
Concentração no ar (maior nível de fundo anual)(USNDAMN)	1,14 x10 ⁻⁵ pg/m ³ (EUA)
<hr/>	
Concentração total no ar	xxxxxxpg/m ³
Taxa de inalação (adolescentes 12 a 14 anos)	14 m ³ /dia
Peso corpóreo	50 kg
<hr/>	
Dose média diária (ar)	xxpg/kg/dia
Dose média mensal(ar)	xxpg/kg/mês
Dose mensal ingestão (alimentação USFDA)	9,9 pg/kg/mês
<hr/>	
Dose mensal média total (inalação + alimentação)	xxxpg/kg/mês
Dose Tolerável Mensal (OMS)	70pg/kg/mês

Dose média diária= concentração x taxa de inalação/peso corpóreo.

Apêndice C

Congêneres	Fator de Toxicidade Equivalente
mono-,di-, e tri-CDDs (mono-,di- e tri-cloro-dibenzo-p-dioxinas)	0
2,3,7,8TCDD (tetracloro-dibenzo-p-dioxina)	1
outrosTCDDs (tetracloro-dibenzo-p-dioxinas).	0
1,2,3,7,8PeCDD (pentacloro-dibenzo-p-dioxina)	0,5
outrosPeCDDs (pentacloro-dibenzo-p-dioxinas)	0
1,2,3,4,7,8HxCDD(hexacloro-dibenzo-p-dioxina)	0,1
1,2,3,6,7,8HxCDD(hexacloro-dibenzo-p-dioxina)	0,1
1,2,3,7,8,9HxCDD(hexacloro-dibenzo-p-dioxina)	0,1
outrosHxCDDs (hexacloro-dibenzo-p-dioxinas)	0
1,2,3,4,6,7,8HpCDD (heptacloro-dibenzo-p-dioxina)	0,01
outrosHpCDDs(heptacloro-dibenzo-p-dioxinas)	0
OCDD (octacloro-dibenzo-p-dioxina)	0,001
Mono-,di-, tri-CDFs (mono-,di- e tri-clorosdibenzofuranos)	0
2,3,7,8TCDF (tetracloro-dibenzofurano)	0,1
outrosTCDFs (tetracloro-dibenzofuranos)	0
1,2,3,7,8PeCDF(pentacloro-dibenzofurano)	0,05
2,3,4,7,8PeCDF(pentacloro-dibenzofurano)	0,5
outrosPeCDDs (pentacloro-dibenzofuranos)	0
1,2,3,4,7,8HxCDF(hexacloro-dibenzofurano)	0,1
1,2,3,6,7,8HxCDF(hexacloro-dibenzofurano)	0,1
1,2,3,7,8,9HxCDF(hexacloro-dibenzofurano)	0,1
2,3,4,6,7,8HxCDF(hexacloro-dibenzofurano)	0,1
outrosHxCDDs (hexacloro-dibenzofuranos)	0
1,2,3,4,6,7,8HpCDF(heptacloro-dibenzofurano)	0,01
1,2,3,4,7,8,9HpCDF(heptacloro-dibenzofurano)	0,01
outrosHpCDFs (heptacloro-dibenzofuranos)	0
OCDF (octacloro-dibenzofurano)	0,001

Fatores de Toxicidade Equivalente - TEF para Congêneres de dioxinas e furanos

Fonte: Resolução SMA 79/2009