

MANUAL SOBRE  
TOXICIDADE  
EM EFLUENTES  
INDUSTRIAIS

FIERGS  
CIERGS  
SEST  
SUDOESTE  
IEE

**FIERGS CIERGS**

MANUAL SOBRE  
TOXICIDADE  
EM EFLUENTES  
INDUSTRIAIS

## FICHA TÉCNICA

**Realização:** Federação das Indústrias do Rio Grande do Sul - FIERGS

**Coordenação:** Conselho de Meio Ambiente – CODEMA

### **Autores:**

- Alexandre Arenzon  
Biólogo - CRBio nº 09565 03 D
- Tiago José Pereira Neto  
Engenheiro Ambiental e de Segurança do Trabalho  
CREA/RS nº 145525
- Wagner Gerber  
Químico - CRQ nº 05100705

### **Contatos:**

codema@fiergs.org.br

---

A681    Arenzon, Alexandre  
Manual sobre toxicidade em efluentes industriais /  
Alexandre Arenzon; Tiago José Pereira Neto; Wagner Gerber. -  
Porto Alegre: CEP SENAI de Artes Gráficas Henrique d'Ávila  
Bertaso, 2011.

40 p.: il.

1. Efluente Industrial. 2. Meio Ambiente. I. Pereira Neto,  
Tiago José. II. Gerber, Wagner. III. Título.

CDU - 628.3

---

Bibliotecário Responsável: Isabel Del Ponte - CRB 1599/10

## SUMÁRIO

<b>CONCEITOS BÁSICOS DE TOXICIDADE</b> .....	5
O que é toxicidade? .....	5
Ensaio de toxicidade .....	5
Avaliação da toxicidade .....	5
Níveis tróficos.....	6
Organismos-teste .....	7
Tipos de ensaios de toxicidade .....	8
Expressão dos resultados .....	9
Confiabilidade dos resultados .....	11
Genotoxicidade.....	11
Prazos de entrega dos resultados .....	12
<b>REQUISITOS LEGAIS</b> .....	15
Resolução CONSEMA nº 129/2006 .....	15
Resolução CONSEMA nº 251/2010 .....	16
Necessidade de realização de ensaios .....	18
Resolução CONAMA nº 430/2011 .....	18
<b>MÉTODOS PARA INVESTIGAÇÃO DE TOXICIDADE</b> .....	21
Necessidade do histórico de dados de ensaios de toxicidade.....	21
Importância da realização conjunta de análises de parâmetros da Resolução CONSEMA nº 128/2006.....	22
Fontes de toxicidade .....	22
Avaliação da eficiência da ETE .....	23
Métodos de ensaios investigativos .....	24

<b>MITIGAÇÃO DA TOXICIDADE</b> .....	27
Primeiros passos.....	27
Ações para a redução da toxicidade .....	29
<b>APRESENTAÇÃO DE RELATÓRIO PARA O ÓRGÃO AMBIENTAL</b> .....	37
Relatórios exigidos pela Resolução CONSEMA n° 251/2010 .....	37
Conteúdo dos relatórios técnicos.....	37

## CONCEITOS BÁSICOS DE TOXICIDADE

### O QUE É TOXICIDADE?

Toxicidade refere-se à capacidade de determinada substância, produto ou conjunto de substâncias de provocar efeitos danosos aos organismos com os quais entra em contato. Estes efeitos podem ser desde alterações comportamentais, alteração de crescimento ou reprodução até a morte dos organismos.

A toxicidade de efluentes refere-se à capacidade das substâncias presentes no efluente de causarem impacto ao serem lançadas no corpo receptor.

### ENSAIOS DE TOXICIDADE

Para estimar o grau de impacto que um determinado efluente pode causar no corpo receptor realizam-se ensaios de toxicidade cujo objetivo é simular, em laboratório, os efeitos que poderiam ser observados no corpo receptor após o lançamento do efluente.

Ensaios de Toxicidade, Ensaios Ecotoxicológicos ou Testes de Toxicidade são sinônimos para denominar a principal ferramenta da Ecotoxicologia para avaliar a toxicidade de efluentes.

### AValiação DA TOXICIDADE

Uma amostra representativa do efluente (que seja característica de um dia de rotina da empresa) deve ser coletada e encaminhada ao laboratório para análise.

A amostra deve ser coletada imediatamente antes do ponto de lançamento no corpo receptor, no mesmo local onde são realizadas as amostragens para os parâmetros químicos. A amostra, mantida em bombona plástica, limpa e previamente ambientada, deve ser entregue ao laboratório no máximo 48 horas após a coleta. Neste intervalo, ela deve ser mantida refrigerada.

No laboratório é, então, avaliado o potencial de toxicidade da amostra do efluente. Organismos aquáticos pertencentes a diferentes níveis tróficos são utilizados para este fim.

Os organismos, chamados de organismos-teste, são expostos a diferentes concentrações do efluente (por exemplo, 100%, 50%, 25%, 12,5%, 6,25% etc.) e assim mantidos por um tempo pré-determinado, definido pelas normas técnicas que norteiam os métodos.

## NÍVEIS TRÓFICOS

Para atendimento da Resolução CONSEMA nº 129/2006, os efluentes não devem ultrapassar os limites de toxicidade nela definidos para diferentes níveis tróficos. Isso significa que as avaliações da potencial toxicidade dos efluentes devem ser realizadas não somente com organismos de diferentes espécies, mas também que representem as diferentes funções de um ambiente natural.

De forma geral, podem ser considerados quatro níveis tróficos: organismos produtores (algas), consumidores primários (microcrustáceos), consumidores secundários (peixes) e decompositores (bactérias).

Com relação ao grupo dos decompositores, a maior crítica a este grupo de organismos é que o método hoje padronizado utiliza como organismo-teste uma bactéria marinha (*Vibrio fischeri*) que exige salinidade mínima na

amostra para sua sobrevivência. Assim, em muitos casos a amostra precisa ser salinizada antes do início do ensaio, o que pode ser considerado como uma alteração de suas características. Além disso, sendo um organismo marinho e, por esta razão, resistente à salinidade, pode ser criticada sua utilização no monitoramento de ambientes de água doce.

Os organismos-teste, assim como quaisquer outros organismos do ambiente, podem apresentar diferenças em sua sensibilidade às substâncias presentes nos efluentes. É possível, então, que os organismos-teste de diferentes níveis tróficos respondam diferentemente ao grau de toxicidade para um mesmo efluente. Da mesma forma, também não é possível eleger um nível trófico que, genericamente, será sempre o mais afetado pela toxicidade dos efluentes.

## ORGANISMOS-TESTE

Organismos-teste são espécies mantidas em laboratório e cujos conhecimentos de sua biologia são suficientes para que possam ser utilizadas como indicadores da toxicidade dos efluentes. Tanto a forma de cultivo como as metodologias de ensaio para estes organismos são definidas em normas técnicas, permitindo a reprodutibilidade dos resultados.

Estes organismos devem possuir uma relativa sensibilidade aos compostos presentes nos efluentes. Teoricamente, no momento que a toxicidade do efluente for reduzida e, desta forma, este não afetar os organismos-teste, as diferentes espécies presentes nos corpos receptores ficam protegidas.

Apresentam-se no Quadro 1 as espécies de organismos-teste comumente utilizadas nos ensaios de toxicidade de efluentes lançados em águas continentais do Brasil.

Quadro 1 - Espécies de organismos-teste para ensaios ecotoxicológicos utilizados no Brasil

Tipo de ensaios	Organismos - teste	Tipo de organismo	Nível trófico
agudo	Daphnia similis	microcrustáceo	consumidor primário
agudo	Daphnia magna	microcrustáceo	consumidor primário
agudo e crônico	Pimephales promelas	peixes	consumidor secundário
agudo e crônico	Danio rerio	peixes	consumidor secundário
agudo e crônico	Pseudokirchneriella subcapitata	algas	produtor
agudo e crônico	Desmodesmus subspicatus	algas	produtor
crônico	Ceriodaphnia dubia	microcrustáceo	consumidor primário
agudo	Vibrio fischeri	bactéria	decompositor

## TIPOS DE ENSAIOS DE TOXICIDADE

O tipo de ensaio de toxicidade a ser realizado (agudo ou crônico) dependerá das exigências presentes na Licença de Operação da empresa ou das exigências para atendimento da legislação ambiental.

### Ensaio de toxicidade aguda

Ensaio de toxicidade aguda avalia a capacidade do efluente de causar efeitos danosos (em geral morte ou imobilidade) aos organismos-teste

após um curto período de exposição à amostra (normalmente inferior a 96 horas). Se a amostra de efluente apresentar toxicidade aguda, significa que ela é tóxica o suficiente para matar os organismos, mesmo quando eles ficam expostos a ela por pouco tempo.

### **Ensaio de toxicidade crônica**

Ensaio de toxicidade crônica expõe os organismos-teste às amostras de efluentes por um intervalo de tempo mais significativo em relação ao seu ciclo de vida (em geral, superior a 72 horas). Neles são avaliados os efeitos mais sutis, como alteração sobre a reprodução e o crescimento, além da morte dos organismos expostos, mesmo que ocorra de forma mais lenta.

Quando a amostra avaliada apresenta toxicidade aguda, a morte dos organismos-teste impossibilita a observação dos efeitos crônicos. Assim, a menos que seja uma exigência do Órgão Ambiental, não faz sentido a empresa realizar, simultaneamente, ensaios de toxicidade aguda e crônica. Normalmente são realizados os ensaios de toxicidade aguda e, caso esta não ocorra na amostra, realizam-se então os ensaios de toxicidade crônica.

## **EXPRESSÃO DOS RESULTADOS**

Para **ensaios de toxicidade aguda**, a principal forma de expressão dos resultados, hoje, no Rio Grande do Sul é o Fator de Toxicidade (FT). Esta unidade representa quantas vezes o corpo receptor precisaria diluir o efluente para que ele deixe de ser tóxico para os organismos. Um efluente que, por exemplo, apresente um  $FT = 16$ , se ao chegar ao corpo receptor, não for diluído mais de 16 vezes, poderá causar mortalidade aos organismos ali presentes. Já um efluente que apresenta  $FT = 1$  não apresenta toxicidade aguda em sua forma integral, mesmo que não seja diluído pelo corpo receptor.

Apesar de os limites de emissão serem fixados em FT, os resultados dos ensaios de toxicidade aguda também podem ser expressos de outras formas, que trazem informações úteis às empresas no momento da comparação de dados sobre a toxicidade de seu efluente. Assim, a concentração de efeito ( $CE_{50}$ ), a concentração letal ( $CL_{50}$ ) ou a concentração de inibição ( $CI_{50}$ ) correspondem à concentração da amostra responsável pelo efeito em 50% dos organismos ensaiados. As formas de expressão dos resultados permitem calcular matematicamente concentrações intermediárias que correspondam ao efeito sobre 50% da população exposta. Quanto mais baixo for este valor, mais elevada será a toxicidade da amostra.

**Exemplos:**  $CL_{50} = 65,20\%$  - significa que uma concentração de 65,20% de efluente é suficiente para matar 50% da população exposta à amostra. Já uma  $CL_{50} = 2,15\%$  significa que são necessários apenas 2,15% de efluente para causar o mesmo efeito.

Nos **ensaios de toxicidade crônica** o objetivo é encontrar a **Concentração de Efeito Não Observado (CENO)**, que corresponde à mais alta concentração que não irá afetar o crescimento, a reprodução ou a sobrevivência dos organismos expostos. Para atendimento da Resolução CONSEMA nº 129/2006, os efluentes não podem apresentar toxicidade crônica para, pelo menos, dois dos organismos-teste avaliados.

Não apresentar toxicidade crônica significa possuir um  $CENO = 100\%$ . O efluente puro, sem nenhuma diluição, não deve causar toxicidade (aguda ou crônica) aos organismos-teste.

## CONFIABILIDADE DOS RESULTADOS

Ensaio de toxicidade são análises cujos resultados são baseados nas respostas apresentadas por organismos vivos. Desta forma, a qualidade dos organismos utilizados é fundamental para a confiabilidade dos resultados.

Os organismos-teste devem, preferencialmente, ser cultivados em laboratório, e deste modo pode-se conhecer informações importantes para a utilização dos organismos nos ensaios de toxicidade e evitar resultados falsos. A utilização de organismos estressados, mal-nutridos ou debilitados pode, por exemplo, indicar uma falsa toxicidade das amostras ensaiadas.

Na impossibilidade de utilizar organismos-teste provenientes de cultivos próprios, o laboratório executor dos ensaios de toxicidade deve garantir e comprovar que o lote de organismos utilizados atende os padrões de qualidade exigidos pelo método.

## GENOTOXICIDADE

Respeitando os prazos estipulados pela legislação ambiental do Rio Grande do Sul, depois de a empresa provar que seu efluente não mais possui toxicidade aguda e crônica é necessário comprovar que o efluente não possui potencial mutagênico. Para esta avaliação são utilizadas as análises de genotoxicidade, cujo objetivo é avaliar se o efluente possui potencial para causar efeitos sobre o material genético dos organismos do corpo receptor.

A genotoxicidade pode ser definida como a capacidade de determinados agentes (químicos e físicos) de interagirem com o material genético dos organismos (DNA), produzindo alterações em sua estrutura e função.

Existem vários ensaios validados internacionalmente para a determinação do potencial genotóxico de substâncias, efluentes industriais e amostras ambientais.

No caso de amostras ambientais e efluentes industriais, o ensaio mais utilizado para a avaliação de mutagenicidade é o Teste de Ames, que detecta a presença de substâncias causadoras de mutações de diferentes tipos, sendo eficiente para detectar grande variedade de compostos mutagênicos. Um resultado positivo neste ensaio indica que existe, na amostra avaliada, alguma substância que interage com o DNA do organismo-teste, causando mutação.

Em geral, o ensaio é realizado com duas linhagens (TA100 e TA98) que detectam diferentes tipos de mutação.

Entretanto, sendo negativos os resultados com as linhagens, dependendo do caso pode ser solicitada a repetição dos ensaios com utilização de outras três linhagens (TA97a, TA102 e TA1535), que são mais sensíveis, para dar a certeza de que não existem substâncias que interagem com o DNA.

A legislação ambiental do Rio Grande do Sul exige mutagenicidade zero ao final dos prazos estipulados para este parâmetro; todavia, a presença de substâncias mutagênicas no efluente pode não ser solucionada rapidamente. Assim, é aconselhável que esta informação seja obtida o mais cedo possível, para ser passível de correção.

## PRAZOS DE ENTREGA DOS RESULTADOS

Considerando o tempo máximo previsto nas metodologias para a execução dos ensaios de toxicidade, tanto agudos quanto crônicos, os prazos não ultrapassam sete dias; no entanto, a maioria dos laboratórios

que realizam estas análises fornecem seus resultados de 20 a 30 dias após a entrega das amostras. Para ensaios de genotoxicidade, o prazo solicitado pelos laboratórios para envio dos resultados é de aproximadamente 60 dias.

O prazo solicitado pelos laboratórios é decorrente tanto da disponibilidade de organismos-teste na quantidade e qualidade necessárias à execução das análises como da possibilidade de repetições dos ensaios para a confirmação dos resultados. O acúmulo de amostras em determinadas épocas do ano também pode afetar o prazo de entrega dos resultados.

Apesar de as licenças emitidas pelo Órgão Ambiental fixarem, em geral, o período para que os resultados sejam protocolados, os ensaios podem ser realizados em qualquer época do ano. Desta forma, evitam-se atrasos na entrega dos dados.



## REQUISITOS LEGAIS

### RESOLUÇÃO CONSEMA Nº 129/2006

A Resolução CONSEMA nº 129/2006 dispõe sobre a definição de Critérios e Padrões de Emissão para Toxicidade de Efluentes Líquidos lançados em águas superficiais do Estado do Rio Grande do Sul. Dentre seus principais pontos estão: as definições sobre os termos técnicos relacionados à toxicidade; a definição dos ensaios de toxicidade a serem realizados: agudo, crônico e ensaios de genotoxicidade; a necessidade de laboratórios cadastrados na FEPAM para a realização das análises; padrões de toxicidade para a emissão dos efluentes e prazos para atendê-los.

O artigo 2º da Resolução CONSEMA nº 129/2006 apresenta uma série de definições importantes relacionadas ao assunto toxicidade de efluentes. As definições e os diferentes tipos de ensaios foram apresentados no capítulo anterior.

Outro ponto importante sobre os ensaios de toxicidade a serem contratados pelas empresas é a obrigatoriedade de serem realizados por laboratórios que possuem Certificado de Cadastro de Laboratório, conforme o disposto na Resolução nº 008/1994 do Conselho de Administração da FEPAM.

Cabe ressaltar que análises realizadas por laboratórios que não possuem Certificado de Cadastro na FEPAM não são validadas e aceitas pelo Órgão Ambiental.

## **Padrões de emissão**

A Resolução CONSEMA nº 129/2006 também estabelece os padrões de emissão para toxicidade em efluentes líquidos, sejam eles industriais ou sanitários.

O artigo 9º da referida Resolução apresenta uma tabela em que constam os valores máximos de toxicidade aguda, crônica e genotoxicidade que são permitidos para lançamento de efluentes em corpos hídricos superficiais. Além dos padrões de emissão, a tabela também apresenta prazos específicos para atendimento aos padrões de emissão de acordo com a vazão máxima de lançamento de efluente líquido do empreendimento, presente na Licença de Operação da empresa.

A tabela é dividida em cinco diferentes classes de vazão para o estabelecimento dos prazos e seus respectivos padrões de emissão para atendimento à toxicidade. Os prazos estabelecidos foram alterados pela Resolução CONSEMA nº 251/2010. As alterações dos prazos da tabela do artigo 9º serão abordadas no item próximo.

### **RESOLUÇÃO CONSEMA Nº 251/2010**

A Resolução CONSEMA nº 251, de 16 de dezembro de 2010, prorroga os prazos estabelecidos no artigo 9º da Resolução CONSEMA nº 129/2006. Seu artigo 1º prorroga por dois anos, a partir de dezembro de 2010, os prazos estabelecidos para o atendimento aos padrões de emissão para toxicidade definidos no artigo 9º da Resolução CONSEMA nº 129/2006.

O Quadro 2 apresenta um resumo dos novos prazos estipulados para atendimento da Resolução CONSEMA nº 129/2006 e os padrões de emissão estabelecidos para cada classe de vazão.

Quadro 2 - Classe de vazão, padrões de toxicidade e prazos para atendimento da Resolução CONSEMA nº 129/2006

Prazos	Vazão do Efluente (m <sup>3</sup> /dia)				
	< 100	100 a 500	500 a 1.000	1.000 a 10.000	> 10.000
2010				FT = 1	sem tox. crônica genotoxicidade
2012	1 < FT < 4	1 < FT < 4	1 < FT < 4	sem toxicidade crônica	
2014			FT = 1		
2016	FT = 1	FT = 1	sem toxicidade crônica	sem genotoxicidade	
2018		sem toxicidade crônica	sem genotoxicidade		
2020	sem toxicidade crônica	sem genotoxicidade			
2022	sem genotoxicidade				

É importante ressaltar que os padrões de emissão estabelecidos pela Resolução CONSEMA nº 129/2006 para toxicidade aguda devem ser atendidos até o mês de dezembro de cada ano apresentado no Quadro 2. Estes padrões devem ser atendidos para organismos-teste de três diferentes níveis tróficos (ver item Expressão de Resultados).

Deve-se observar que até o final de 2012 o padrão de emissão máximo aceito para as três primeiras classes de vazão (< 100 m<sup>3</sup>/dia, entre 100 e 500 m<sup>3</sup>/dia e entre 500 e 1.000 m<sup>3</sup>/dia) poderá sofrer a influência da vazão mínima no corpo receptor, sendo então reduzido de FT = 4 para

FT = 2 ou FT = 1, dependendo da relação vazão máxima do efluente / vazão mínima do corpo receptor.

A Resolução CONSEMA nº 251/2010 estabelece, no § 1º do artigo 1º, que durante o período de prorrogação de prazo para atendimento aos padrões de toxicidade os empreendimentos deverão apresentar ao Órgão Ambiental relatório e cronograma de ações visando ao atendimento dos padrões de toxicidade exigidos. Os prazos para a entrega do cronograma e dos relatórios técnicos devem ser normatizados pela FEPAM. Estes itens serão abordados no Capítulo Apresentação de Relatório para o Órgão Ambiental.

## NECESSIDADE DE REALIZAÇÃO DE ENSAIOS

A Resolução CONSEMA nº 129/2006 não estabelece a periodicidade para a realização dos ensaios de toxicidade; porém, durante o período estabelecido para as adequações necessárias ao atendimento dos padrões de emissão de toxicidade, as empresas devem realizar análises periódicas para monitoramento e constatação do atendimento ao requisito legal. Este aspecto será abordado com maior detalhamento nos Capítulos Métodos para Investigação da Toxicidade e Mitigação da Toxicidade.

O Órgão Ambiental licenciador também pode estabelecer a periodicidade de realização e apresentação das análises por meio das licenças ambientais, o que atualmente é praticado.

## RESOLUÇÃO CONAMA Nº 430/2011

Segundo o artigo 34 da Resolução CONAMA nº 357/2005, cabe ao Órgão Ambiental competente estabelecer os critérios de toxicidade dos

efluentes de cada Estado. Entretanto, seis anos após sua publicação, frente à inexistência de critérios em vários Estados da União, o Conselho Nacional de Meio Ambiente publicou a Resolução CONAMA nº 430/2011, que dispõe sobre condições, parâmetros, padrões e diretrizes para a gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores, alterando parcialmente e complementando a Resolução CONAMA nº 357/2005.

Segundo o texto da Resolução CONAMA nº 430/2011, ela deverá ser aplicada **quando se verificar a inexistência de legislação ou normas específicas, de disposições do Órgão Ambiental competente e de diretrizes da operadora dos sistemas de coleta e tratamento de esgoto sanitário**. Neste sentido, as exigências para o monitoramento dos efluentes mediante a utilização de ensaios de toxicidade passam, explicitamente, a vigorar em todos os Estados brasileiros.



## MÉTODOS PARA A INVESTIGAÇÃO DE TOXICIDADE

### NECESSIDADE DO HISTÓRICO DE DADOS DE ENSAIOS DE TOXICIDADE

Os ensaios de toxicidade refletem o efeito da interação de todos os constituintes do efluente sobre os organismos-teste. A avaliação de uma amostra do efluente corresponde a uma análise pontual, um retrato instantâneo. Toda e qualquer alteração do processo produtivo (linha de produção, fornecedores de matéria-prima e insumos) pode acarretar alterações nas características do efluente.

É muito arriscado tirar conclusões sobre a toxicidade do efluente, ou a ausência dela, com base em uma única avaliação. É impossível avaliar se a única análise realizada reflete a melhor ou a pior situação do efluente em relação a sua toxicidade.

Um bom conjunto de dados sobre a toxicidade do efluente é o primeiro passo para resolver este potencial problema. O conjunto de dados deve refletir a variabilidade da composição do efluente, proporcionando uma visão mais ampla sobre a potencial toxicidade. Estes dados fornecem maior embasamento, permitindo que se dimensione o problema e se estabeleçam as ações a serem tomadas.

Não existe um número mágico que defina quantas avaliações devem ser realizadas. Este número pode variar de empresa para empresa, dependendo de suas características produtivas e da variabilidade encontrada durante a geração do conjunto de dados.

Importante ressaltar que os resultados dos parâmetros químicos analisados não devem ser utilizados como critério para assegurar a variabilidade da toxicidade de um efluente. Os poucos parâmetros químicos analisados, em geral, são insuficientes para este fim.

## IMPORTÂNCIA DA REALIZAÇÃO CONJUNTA DE ANÁLISES DE PARÂMETROS DA RESOLUÇÃO CONSEMA Nº 128/2006

A toxicidade apresentada nos efluentes é causada pela interação conjunta dos diversos elementos neles presentes. Em função disso, é muito difícil buscar identificar as causas da toxicidade com base apenas nos resultados dos parâmetros fixados pela Resolução CONSEMA nº 128/2006 de forma isolada. De qualquer forma, é recomendado que, sempre que possível, os efluentes sejam caracterizados, com uma mesma amostra, baseando-se nos parâmetros das Resoluções CONSEMA nº 128/2006 e CONSEMA nº 129/2006.

Embora as análises e os ensaios não garantam a confirmação das causas da toxicidade, em alguns casos podem permitir um ponto de partida para a sua minimização.

## FONTES DE TOXICIDADE

Mesmo efluentes perfeitamente enquadrados nos padrões químicos de lançamento de efluentes podem apresentar toxicidade.

A toxicidade é resultante da interação de todos os constituintes do efluente, e não somente daqueles poucos parâmetros químicos analisados. Além disso, para alguns parâmetros as concentrações que podem causar toxicidade aos organismos são muito baixas, como as apresentadas no Quadro 3. As faixas de concentrações apresentadas são em função dos diferentes compostos encontrados.

Quadro 3: Exemplo de concentrações a partir das quais já é possível observar toxicidade aguda a organismos-teste de diferentes níveis tróficos

Elemento	Toxicidade (mg/L)	Organismos- teste
Cádmio	CE <sub>50</sub> : 48h 0,02 – 0,12	D. magna
	CL <sub>50</sub> : 96h 0,001 – 0,03	P. promelas
	CI <sub>50</sub> : 72h 0,03 – 0,13	P. subcapitata
Cobre	CE <sub>50</sub> : 48h 0,02 – 0,10	D. magna
	CL <sub>50</sub> : 96h 0,01 – 0,33	P. promelas
	CI <sub>50</sub> : 72h 0,006 – 0,02	P. subcapitata
Níquel	CI <sub>50</sub> : 72h 0,08 – 0,12	P.subcapitata
Zinco	CE <sub>50</sub> : 48h 0,07 – 3,58	D. magna
	CL <sub>50</sub> : 96h 0,24 – 2,66	P. promelas

## AValiação da Eficiência da ETE

Conhecer a eficiência do sistema de tratamento de efluentes para a redução da toxicidade é um dos primeiros passos para solucionar o problema. Em sua maioria, os atuais sistemas de tratamento de efluentes

foram construídos visando a uma eficiência na remoção de compostos químicos e orgânicos, e cuja eficiência é baseada na análise química de alguns poucos compostos. As Estações foram projetadas para atender especificamente os padrões de emissão, até então fixados pelo Órgão Ambiental, mas, em geral, se desconhece o quanto elas são eficientes na remoção da toxicidade.

A realização de ensaios de toxicidade com amostras da entrada e da saída do sistema de tratamento pode indicar a eficiência do sistema. Avaliações intermediárias, realizadas entre as etapas do sistema de tratamento, podem gerar informações importantes considerando-se que, em alguns casos, os insumos utilizados no sistema de tratamento podem agregar toxicidade aos efluentes.

## MÉTODOS DE ENSAIOS INVESTIGATIVOS

Os métodos investigativos são a forma mais eficiente de identificar e solucionar o problema de toxicidade de efluentes. As investigações podem ser realizadas nas correntes formadoras do efluente, tentando-se identificar a origem da toxicidade. Se houver sucesso na avaliação, a corrente poderá, dentro do possível, ser segregada e receber um tratamento específico ou um destino diferente do sistema de tratamento.

As investigações podem também ser realizadas diretamente no efluente final, tentando-se identificar os compostos ou o grupo de compostos causadores da toxicidade, como nos processos de Identificação e Avaliação da Toxicidade (TIE).

## **TIE (Toxicity Identification Evaluation)**

Este procedimento consiste de um protocolo recomendado pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) para a identificação da potencial causa da toxicidade de efluentes e corpos receptores. O método é dividido em três fases: Fase I: caracterizar; Fase II: identificar e Fase III: confirmar os compostos específicos, ou suas classes, responsáveis pela toxicidade da amostra.

O método prevê o fracionamento da amostra cuja toxicidade se pretende identificar, gerando 18 frações. Para isso, cada fração passa por um tipo específico de manipulação que visa à redução da toxicidade da amostra. São realizados, por exemplo, processos como filtração, alteração de pH, adição de produtos capazes de reagir com compostos do efluente, aeração etc. Após a manipulação, cada uma das frações geradas é avaliada quanto à toxicidade com vistas a avaliar se houve redução deste composto e em que grau.

Uma das principais vantagens do método é que ele pode indicar a causa da toxicidade e as alternativas para a solução dos problemas identificados, como, por exemplo, que tipo de tratamento deve ser dado ao efluente para se eliminar sua toxicidade, como uma filtração precedida de alteração de pH.

A principal desvantagem do método é o alto custo. Além dos custos do manuseio das amostras para gerar as frações, ao final do processo são analisadas, pelo menos, 54 amostras.

É recomendado que o procedimento seja repetido pelo menos três vezes com diferentes amostras, de forma a se avaliar possíveis variabilidades do processo industrial.



## MITIGAÇÃO DA TOXICIDADE

### PRIMEIROS PASSOS

Os técnicos e as empresas entendem que a adequação dos efluentes aos padrões de toxicidade passa por melhorias na ETE, com a inclusão ou substituição de etapas ou produtos químicos. Estes investimentos em fim de tubo devem ser encarados como provisórios e utilizados emergencialmente para soluções bem específicas. O planejamento para a mitigação da toxicidade deve migrar para ações mais preventivas, como o controle na fonte geradora, onde o objeto do estudo passa a ser o processo industrial, os procedimentos e os produtos utilizados. Não existe mitigação sem conhecimento das fontes geradoras.

As empresas normalmente buscam relacionar ou correlacionar os resultados dos ensaios de toxicidade nos três níveis avaliados – algas, microcrustáceos e peixes – primeiramente entre si. Quase sempre esta é uma busca interminável, e fica ainda mais complexa quando se busca relacionar com os resultados das análises físico-químicas.

As análises realizadas em um efluente por exigência de um Órgão Ambiental são insuficientes para relacionar com toxicidade e, muitas vezes, os limites fixados para os padrões físico-químicos de lançamento de efluentes apresentam toxicidade, no mínimo, em um dos níveis tróficos analisados. Há grande demanda de tempo e de recursos na busca de uma correlação que, na maioria dos casos, não apresenta resultado satisfatório e também não aponta para a empresa um caminho a ser seguido na busca da minimização da toxicidade.

Em inúmeros casos, o efluente está completamente adequado aos padrões de lançamento segundo a Resolução CONSEMA nº 128/06, por exemplo, e mesmo assim apresenta toxicidade.

A metodologia da USEPA, chamada TIE, apresentada anteriormente, fornece alguns caminhos também para a minimização da toxicidade e pode auxiliar na identificação de suas causas, além de apontar possíveis soluções para o problema. No entanto, a desvantagem deste método é o alto custo do processo, em função da quantidade de manipulações realizadas nas amostras e da quantidade de ensaios realizados, o que impede sua aplicação na maioria das empresas.

A metodologia TIE oferece uma ideia inicial para algumas técnicas corretivas que podem reduzir a toxicidade, uma vez que os métodos funcionam para a identificação das fontes e também funcionariam como alternativas numa ETE. Caso a amostra contenha metais, nos procedimentos analíticos eles seriam sequestrados, e o sequestro também poderia ser utilizado como mecanismo de tratamento na ETE, da mesma forma como se utiliza filtração com ajuste de pH, oxidação, aeração, entre outros métodos analíticos que também podem ser reproduzidos na ETE. Assim como estes métodos podem ser empregados na ETE, também podem ser adaptados para controle dos efluentes na fonte geradora.

As alternativas para buscar a fonte geradora dos efluentes – avaliar potenciais contribuintes para a toxicidade, estudar fichas de controle de produtos químicos e checar formulações de matérias-primas e insumos – podem dar informações relevantes para as causas da toxicidade. É importante investir tempo nesses levantamentos antes de submeter os efluentes à caracterização; ou seja, demandar mais tempo dentro da empresa e menos tempo e recursos para as análises. Este processo não substitui a caracterização dos efluentes, mas auxilia na interpretação dos resultados e na projeção das soluções.

A correta identificação dos insumos dos processos e dos procedimentos operacionais contribui na busca das causas da toxicidade e das alternativas para sua minimização e eliminação.

O primeiro passo real na busca da identificação na fonte geradora é a elaboração detalhada de um fluxograma dos processos produtivos, indicando todos os itens de entrada e saída, por etapa. Vale lembrar que a metodologia de Produção Mais Limpa é muito adequada para a busca de ações concretas que visem à redução da toxicidade de efluentes.

## AÇÕES PARA A REDUÇÃO DA TOXICIDADE

As ações para a redução da toxicidade dos efluentes podem ser divididas em três grandes grupos, que envolvem as ações no processo produtivo, as ações na ETE e as ações específicas para cada caso.

### **Avaliação do processo produtivo e dos insumos**

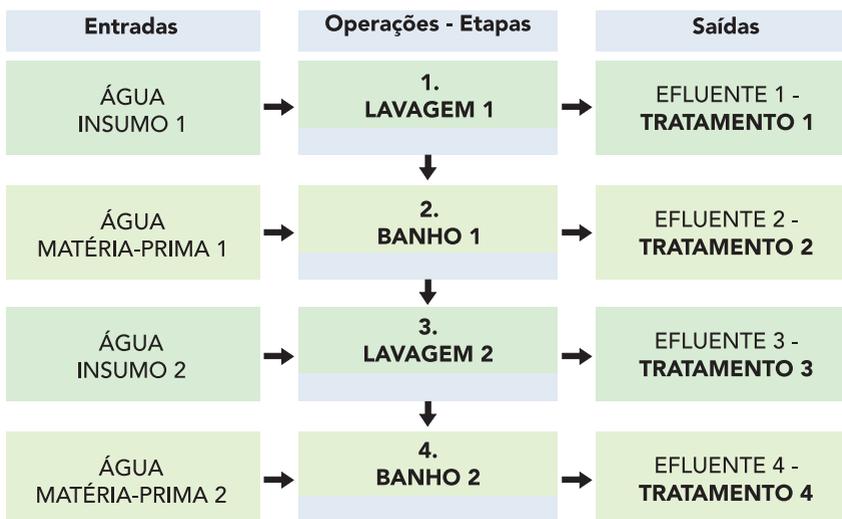
As alternativas para a redução de toxicidade dos efluentes passam primeiramente por um conhecimento completo dos processos existentes na empresa, associando matérias-primas, insumos e processos com a geração de efluentes, e a relação deles com a toxicidade. No entanto, existem várias barreiras na busca destas informações, como:

- custo dos ensaios de toxicidade;
- curto histórico de monitoramento;
- dificuldade de relacionar os resultados das análises físico-químicas com os resultados de toxicidade;
- falta de rastreabilidade das fontes geradoras;
- dificuldade de obter dados reais e número reduzido de publicações associando a toxicidade à fonte geradora;
- empresas não divulgam ou publicam resultados de estudos de toxicidade, exceto raros exemplos.

O conhecimento do processo envolve o mapeamento completo dos processos, associando as entradas (matérias-primas e insumos)

com as saídas (resíduos, efluentes, emissões e produtos), vinculadas especificamente às etapas dos processos, conforme é demonstrado na Figura 1.

Figura 1 – Fluxograma genérico da geração de efluentes em uma empresa



A avaliação das fontes geradoras reduz o tempo e os investimentos utilizados na investigação, trazendo resultados mais rápidos e condizentes com a dinâmica empresarial. A avaliação das fontes não elimina os ensaios de toxicidade, mas racionaliza os esforços, primeiramente, na busca da origem e, posteriormente, na seleção de alternativas para a redução. Diversas iniciativas de empresas buscam reduzir drasticamente a vazão de efluentes, incluindo a meta de efluente zero; entretanto, ocorre o aumento da concentração de boa parte dos parâmetros monitorados, o que pode conduzir a um aumento da toxicidade. As alternativas que envolvem somente a redução de vazão, sem associar a redução de carga, não se apresentam como solução para a minimização da toxicidade dos efluentes.

Pequenos descartes de efluentes, com baixas vazões e altas concentrações, vêm sendo negligenciados em boa parte das empresas. Alguns exemplos típicos de descartes que podem contribuir substancialmente para o aumento da toxicidade de efluentes são: águas de purga de caldeira, purga de sistemas de refrigeração e de ciclos de regeneração de resinas. Eles são descartados na rede de efluentes, onde são diluídos com os demais efluentes de baixa carga, mas contribuem para o aumento da toxicidade.

É importante lembrar que, mesmo um sistema de filtração, seja ele nano ou ultrafiltração, ainda vai gerar uma fração que é descartada muito mais concentrada do que o efluente original antes do tratamento. O mesmo ocorre com um sistema de osmose reversa, onde o grande gargalo tecnológico passa a ser a destinação da fração descartada. É possível esperar um crescimento da remoção destes descartes em fase sólida viabilizando, inclusive, a evaporação de efluentes.

Cabe lembrar que a inclusão de sistemas de tratamento como osmose reversa em etapas do processo produtivo pode ser entendida como uma alternativa de controle na fonte bem superior a uma ação na ETE, mas mesmo nesta abordagem haveria uma fração a ser descartada que necessitaria de adequação complementar.

Uma questão de grande importância é o risco de haver misturas de efluentes industriais com águas pluviais ou efluentes sanitários dentro das áreas industriais. A ação na fonte também auxilia na identificação de potenciais pontos de contaminação e mistura de efluentes.

Neste contexto, espera-se para os próximos anos uma modificação do enfoque das soluções, passando de abordagens quase exclusivamente de fim de tubo para alternativas mais preventivas. A abordagem da Produção Mais Limpa privilegia as soluções voltadas à prevenção e à minimização dos impactos ambientais, sugerindo que as empresas atuem na fonte geradora, buscando alternativas para o desenvolvimento de processos mais eficientes.

Resumo das alternativas preventivas:

**Alternativas preventivas:**

Modificação nos processos de produção e nos insumos utilizados nos processos – Produção Mais Limpa; busca contínua de processos e procedimentos para reduzir na fonte a toxicidade, não somente a redução de vazão e carga de efluentes (lembrando que efluentes mais concentrados, mesmo em pequenos volumes, poderão ser mais tóxicos; somente um aumento da concentração de sais ou da condutividade elétrica pode aumentar a toxicidade dos efluentes); estudos detalhados dos processos de reuso e fechamento de circuitos de águas, pois nem sempre será a solução para a redução de toxicidade.

**Avaliação da ETE**

As alternativas de fim de tubo não serão descartadas para a redução da toxicidade dos efluentes, mas deverão evoluir para soluções que também considerem a avaliação da toxicidade como critério de seleção de processos e insumos utilizados no tratamento de efluentes.

A tendência que vem se confirmando, principalmente nos últimos anos, é que as indústrias voltaram sua atenção para seus processos produtivos, procurando otimizá-los antes de investirem nas tradicionais ETEs. Para quem gosta de dar definições claras, já está ficando um tanto complicado definir o conceito atual de uma ETE, onde realmente começa e onde termina uma estação de tratamento de efluentes industriais.

Com a finalidade de atender adequadamente a demanda de um cliente industrial, os fabricantes de equipamentos, os consultores de processo e de fim de tubo aliam-se a fabricantes de produtos químicos para formar um consórcio ambiental, onde os dirigentes industriais catalisam o processo.

Mesmo com todas as minimizações e racionalizações de processos produtivos, não se pode ainda prescindir da estação de tratamento de efluentes. O mercado de equipamentos e sistemas integrados é muito promissor, pois foram criadas novas demandas em função das alterações da composição do efluente a ser tratado, associadas à redução de vazão e à necessidade de atender os padrões de toxicidade. A instalação de diferentes sistemas de filtração e recirculação dentro da planta industrial é parte integrante da ETE, obrigando a utilização de equipamentos mais confiáveis e necessitando de maior cuidado operacional. Neste novo ambiente industrial, o papel do operador da ETE passou a ter importância vital, exigindo treinamento especializado, capacidade de agir sob circunstâncias adversas e flexibilidade para atuar em qualquer posição.

Entretanto, deixar para a ETE todo o trabalho de minimizar ou eliminar a toxicidade é inviável do ponto de vista ambiental, técnico e econômico. As ETEs não estão preparadas para receber efluentes com concentrações elevadas, e também não foram dimensionadas especificamente para reduzir a toxicidade. Mesmo que alguns sistemas indiretamente a reduzam, o objetivo principal planejado não era este. Dependendo do projeto da ETE, alguns sistemas implantados reduzem a toxicidade, dependendo da composição do efluente, como, por exemplo, sistemas de correção de pH seguidos de filtração, ou até mesmo precedidos de coagulação.

Sistemas biológicos podem reduzir a toxicidade de efluentes, e também os sistemas de oxidação, aeração e quelação, entre outros. A escolha do sistema a ser adotado dependerá diretamente do conhecimento da qualidade do efluente e de seu mecanismo de formação, podendo direcionar ações específicas de solução.

**Resumo das alternativas de fim de tubo:**

Alternativas de fim de tubo: modificações nos processos e sistemas e nos produtos químicos do tratamento de água e de efluentes; alteração drástica no tratamento físico-químico de efluentes, buscando produtos e sistemas que considerem a toxicidade; redução dos descartes de pequenos volumes com alta carga na rede de efluentes e crescimento da destinação de pequenos volumes como resíduo sólido; soluções setoriais de segregação na fonte e de tratamentos específicos.

**Resumo das alternativas específicas de solução:**

Alternativas específicas: crescimento do uso dos processos físicos de tratamento, como ultrafiltração, osmose reversa e evaporação de efluentes; crescimento do uso de sistemas biológicos de tratamento para a redução de toxicidade, principalmente os sistemas naturais, como banhados construídos – Sistema PAE ou wetlands.

**Uso de ensaios expeditos**

O uso de ensaios expeditos ou de resposta rápida pode, em alguns casos, apresentar indicações importantes do caminho a ser seguido na busca da adequação aos padrões de toxicidade. Neste sentido, a respirometria, utilizando bactérias presentes do lodo biológico da ETE ou bactérias padronizadas para os ensaios, pode dar um auxílio na tomada de decisão.

Normalmente os equipamentos para respirometria são de grande porte e os ensaios levam alguns dias para dar resultados. Entretanto, já existem no mercado equipamentos portáteis capazes de gerar resultados

confiáveis em aproximadamente 10 minutos. Equipamentos como o Baroxymeter já são encontrados no Brasil e são capazes de indicar a potencial toxicidade dos efluentes sobre a respiração (inibição da respiração) de bactérias.

A principal aplicação deste equipamento é a seleção prévia de amostras em campo ou dentro da empresa, avaliando as mais diversas fontes de efluentes, e pode apresentar uma rápida resposta sobre a inibição da respiração das bactérias utilizadas no ensaio.

Estes ensaios expeditos ainda não são padronizados no Brasil e não substituem os métodos tradicionais aceitos como forma de monitoramento dos efluentes. Sua principal vantagem está na avaliação comparativa de uma série de amostras em um curto período de tempo, utilizando-se um pequeno volume de amostra.

### **Influência do reuso e do fechamento de circuitos de águas**

Existem muitos estímulos para que as empresas busquem realizar procedimentos de reuso de efluentes e o fechamento do circuito de águas. São muitos os exemplos de reuso de efluente tratado para fins menos nobres, como o preparo de produtos químicos, a reposição de banhos e a descarga em vasos sanitários, entre outros. Também é bastante comum a busca do destino final de efluentes para irrigação superficial ou recarga de aquíferos.

Os sistemas de reuso e recirculação devem prever o controle do aumento da concentração de sais, o que deve ser redobrado quando estes efluentes forem submetidos a ensaios de toxicidade. Somente o aumento de sais solúveis como os cloretos, por exemplo, já é suficiente para apresentar toxicidade em algum nível trófico.

Recomenda-se uma investigação detalhada das vantagens de realizar inúmeros ciclos sucessivos sobre o aumento da salinidade do efluente e também sobre o aumento da complexidade do tratamento dele. O estudo deve contemplar os pontos mais indicados para abrir o sistema, ou seja, os pontos de descarte. É importante lembrar que não é recomendado o descarte de pequenas vazões com grandes concentrações, de qualquer parâmetro de monitoramento, na rede de efluentes. Diante disso, a atenção deve ser redobrada para o lançamento de purgas das caldeiras, drenagem do sistema de refrigeração, purga de banhos, entre tantos outros pequenos descartes que até então são sistematicamente colocados na rede de efluentes. Esta prática pode contribuir para o aumento da toxicidade do efluente e, nestes casos, recomenda-se que os descartes devam ser retirados da rede e destinados a tratamento externo ou em fase sólida.

Mesmo que os ensaios de toxicidade não sejam solicitados para efluentes destinados à irrigação, também é recomendado o mesmo cuidado anterior, visando não concentrar sais nestes efluentes.

## APRESENTAÇÃO DE RELATÓRIO PARA O ÓRGÃO AMBIENTAL

### RELATÓRIOS EXIGIDOS PELA RESOLUÇÃO CONSEMA Nº 251/2010

Durante o período de prorrogação de prazo para atendimento aos padrões de emissão de toxicidade, o § 1º do artigo 1º da Resolução CONSEMA nº 251/2010 exige a apresentação de relatório técnico e cronograma de ações ao Órgão Ambiental competente, visando à redução da toxicidade. O § 2º do artigo 1º estabelece que a Fundação Estadual de Proteção Ambiental - FEPAM normatizará a apresentação e o conteúdo dos relatórios.

Tanto o relatório como o cronograma têm o objetivo de manter o Órgão Ambiental informado sobre quais ações as empresas vêm desenvolvendo para investigar e reduzir a toxicidade de seus efluentes.

### CONTEÚDO DOS RELATÓRIOS TÉCNICOS

Os relatórios a serem entregues aos Órgãos Ambientais competentes devem ser elaborados de forma objetiva e neles constarão: 1) informações técnicas contendo as justificativas para o não-atendimento à Resolução CONSEMA nº 129/2006; ou seja, as possíveis correntes de efluentes que são tóxicas e/ou possíveis matérias-primas e insumos que podem ter originado a toxicidade e a ineficiência do atual sistema de tratamento de efluentes na redução da toxicidade, se for o caso; 2) os resultados dos ensaios de toxicidade realizados durante o processo de investigação; 3) propostas técnicas contendo as providências adotadas, ou a serem adotadas, visando à melhoria do sistema de tratamento e/ou processos produtivos (tecnologia de produção e/ou tratamento de efluentes, parâmetros operacionais, matérias-primas e insumos de processo e tratamento de efluentes) para a conseqüente eliminação de

efeitos tóxicos no sistema de produção industrial e/ou de descarga de efluentes; e 4) cronograma físico de acompanhamento da realização de análises, implantação e execução das propostas técnicas apresentadas para a redução da toxicidade.

Estes relatórios servirão como base de informações para que o Órgão Ambiental acompanhe as ações que estão sendo desenvolvidas nas empresas para a redução da toxicidade, bem como a dedicação e o tempo necessário para a realização da investigação, a definição e a implantação de ações para a redução da toxicidade.

Não pode ser menosprezado o tempo necessário para a geração dos dados que representem, de forma significativa, o grau de toxicidade dos efluentes das empresas e dos dados necessários para identificar potenciais fontes no processo produtivo ou no tratamento.

Também não devem ser confundidos os prazos para a apresentação dos resultados dos ensaios de toxicidade exigidos pelo Órgão Ambiental (mensal, bimensal, trimestral, quadrimestral ou semestral) com os prazos necessários para a identificação do problema, suas causas e a implantação das ações necessárias para o atendimento aos padrões de toxicidade. O prazo para investigação é específico para cada empresa e pode ser gerado em um curto período, desde que seja representativo da variabilidade das características do efluente. A variabilidade depende das mudanças internas em cada empresa, como linhas de produção, fornecedores de matéria-prima e insumos, por exemplo. Desta forma, a frequência da realização dos ensaios de toxicidade para gerar os dados históricos e para a identificação das fontes de toxicidade deve ser definida internamente em cada empresa conhecedora das variabilidades de seus processos.

No prazo definido pelo Órgão Ambiental para atendimento aos padrões de toxicidade as empresas devem: caracterizar a toxicidade dos efluentes (gerar histórico), identificar as fontes de toxicidade ou as etapas a serem implantadas para reduzir a toxicidade, efetivar as medidas necessárias e comprovar a eficiência das ações realizadas.

Produção Gráfica:

CEP SENAI de Artes Gráficas  
Henrique d'Ávila Bertaso



# **FIERGS CIERGS**

Av. Assis Brasil, 8787  
91140-001 Porto Alegre - RS  
Fone: (51) 3347.8882  
Fax: (51) 3364.3632  
[www.fiergs.org.br](http://www.fiergs.org.br)  
E-mail: [codema@fiergs.org.br](mailto:codema@fiergs.org.br)