

***Avaliação de risco ecológico em ambientes  
hídricos do Estado de São Paulo***

**Thais Pinheiro Muniz**

Dissertação de mestrado apresentada ao Departamento de Saúde Ambiental da Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, para a obtenção do grau de mestre em Saúde Pública.

Área de concentração: Saúde Ambiental

Orientador:  
Prof. Dr. Aristides Almeida Rocha

**São Paulo  
2004**

Autorizo, exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação, por processos fotocopiadores.

Assinatura: 

Data: 27/01/04

*“Você, velho rio, de quem os homens sugam sangue arterial e devolvem sangue venoso  
Você, velho rio, precisa ser assistido, em seu leito, por uma alma movida pelo amor  
Num brado de algum poeta que consiga sensibilizar os homens da estupidez que é a sua destruição  
Pois destruí-lo é destruir a vida neste vale de sonhos”.*

*Josemar Coimbra - CEIVAP*  
Poema em homenagem ao Rio Paraíba do Sul

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, primeiramente aos meus pais Maria e Gentil, pelo amor e educação que me deram, moldando o ser humano que sou hoje.

Agradeço à CETESB, companhia onde obtive experiência, fiz grandes e verdadeiros amigos e também onde tive meus primeiros contatos com a Ecotoxicologia.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Aristides Almeida Rocha, pela orientação, pelas conversas agradáveis, pela confiança depositada e por sempre acreditar no meu potencial como pesquisadora.

Ao amigo Eduardo Bertoletti, pelo imenso apoio dado durante todo o desenvolvimento deste trabalho, pela paciência em sanar todas as minhas inúmeras dúvidas e pela preciosa amizade.

Ao professor Dr. José Luiz Negrão Mucci, pela amizade e pelo imenso apoio dado nas disciplinas cursadas.

Ao amigo Pedro Antônio Zagatto, pela oportunidade de trabalho dada e pela amizade que, juntamente com sua família, dedicou a mim de maneira tão carinhosa, enquanto morei em Piracicaba.

Ao Dr. Benjamin Parkhurst, do grupo CADMUS, que pacientemente sanou muitas dúvidas metodológicas.

Aos meus queridos irmãos, Roberto e Alessandro, pelo carinho, admiração e por sempre me incentivarem nos estudos.

Ao meu querido noivo Ricardo, pelo amor dedicado, pela enorme paciência e pelo incentivo durante toda a elaboração deste trabalho.

A Sérgio e Nancy, cuja amizade nasceu junto com nossos trabalhos acadêmicos, pelo companheirismo, pelas agradáveis horas de estudo juntas e pelos deliciosos almoços.

As funcionárias da biblioteca e da secretaria da Pós-graduação, pelos serviços prestados.

À FAPESP, pelo apoio financeiro concedido, que foi importantíssimo para a concretização deste trabalho.

A todos aqueles que, de algum modo contribuíram de forma positiva para que este trabalho se concretizasse.

*Thais*

## RESUMO

MUNIZ, T. P. **Avaliação de risco ecológico em ambientes hídricos do Estado de São Paulo**. São Paulo; 2004. [Dissertação de Mestrado – Faculdade de Saúde Pública da USP].

**Objetivo:** Avaliar o risco ecológico apresentado pelos metais cádmio, chumbo, cobre, cromo VI, níquel, mercúrio e zinco aos organismos aquáticos em alguns recursos hídricos do Estado, através da utilização de um programa computadorizado de avaliação de risco (WERF) e da comparação dos resultados encontrados com testes de toxicidade com *Ceriodaphnia dubia* efetuados no mesmo período. **Materiais e métodos:** 30 pontos de amostragem da Rede de Monitoramento da CETESB, distribuídos entre 12 UGRHIs (Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos) foram avaliados quanto as concentrações dos agentes citados, para o período de 1997-2001 e para o ano de 2000 isolado; os dados foram inseridos no programa WERF que gerou gráficos de risco com os valores de porcentagens de gêneros em risco de sofrer efeitos tóxicos crônicos; os resultados encontrados foram posteriormente comparados com os resultados de testes de toxicidade com *C. dubia*, relativos ao mesmo período. **Resultados:** Os metais chumbo, cobre e cromo VI foram os agentes que maiores riscos ambientais exibiram aos organismos aquáticos. Os testes de toxicidade do período concordaram com a resposta apresentada pelo programa com 87% dos pontos de amostragem exibindo algum efeito tóxico, no período de cinco anos. **Conclusão:** Por meio da utilização do programa WERF percebe-se que as concentrações ambientais dos metais estudados nos corpos hídricos do Estado exibem um alto risco de efeitos crônicos, fato comprovado pelos resultados dos testes de toxicidade com o microcrustáceo *Ceriodaphnia dubia*.

**Descritores:** Metais pesados. Organismos aquáticos. Avaliação de risco ecológico. Ecotoxicologia.

## SUMMARY

MUNIZ, T. P. **Avaliação de risco ecológico em ambientes hídricos do Estado de São Paulo** [Ecological risk assessment in aquatic environments of São Paulo State] São Paulo (Brazil); 2004. [Dissertação de Mestrado – Faculdade de Saúde Pública da USP].

**Objective:** To evaluate the ecological risk presented by metals cadmium, lead, copper, chromium VI, nickel, mercury and zinc to the aquatic organisms in some aquatic environments of the State, through the use of a computer program of risk evaluation and of the comparison of the results found with toxicity tests with *Ceriodaphnia dubia* in the same period. **Materials and methods:** 30 sampling points of the Rede de Monitoramento of CETESB, distributed between 12 UGRHs had been evaluated for the concentrations of the cited agents, for the period of 1997-2001 and the year of 2000 isolated; the data had been inserted in the WERF program that generated graphs of risk with the percentages of genera in risk of chronic toxic effect; the joined results later had been compared with the results of tests of toxicidade with *C. dubia*, relative to the same period. **Results:** The metals lead, copper and chromium VI had been the chemical agents which had shown the most ambient risks to the aquatic organisms. The toxicity tests of the period agree with the results presented for the program with 87% of the sampling points showing some toxic effect, in the period of five year. **Conclusion:** Through the use of WERF program is perceived that the ambient concentrations of the studied heavy metals in the water bodies of the State show high risk of chronic effect to the organisms fact proven through the results of the toxicity tests with the microcrustacean *Ceriodaphnia dubia*.

**Descriptors:** Heavy metals. Aquatic organisms. Ecological risk assessment. Ecotoxicology.

# ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>7</b>
	2.1 <i>Geral</i> .....	7
	2.2 <i>Específicos</i> .....	7
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>8</b>
	3.1 <i>Programa computadorizado de avaliação de risco utilizado - WERF</i> ..	8
	3.2 <i>Avaliação da sensibilidade dos organismos utilizados no programa computadorizado de Avaliação de Risco Ecológico</i> .....	8
	3.3 <i>Escolha dos pontos de amostragem estudados</i> .....	9
	3.4 <i>Escolha dos agentes químicos com potencial de risco</i> .....	10
	3.5 <i>Análise dos dados na Avaliação de Risco Ecológico Aquático</i> .....	11
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>13</b>
	4.1 <i>Validação da sensibilidade dos organismos utilizados no programa computadorizado de Avaliação de Risco Ecológico</i> .....	13
	4.2 <i>Resultado do cálculo do Quociente de Efeitos Ecológicos (QEE)</i> .....	14
	4.3 <i>Avaliação de Risco Ecológico Aquático e efeitos tóxicos observados</i> . 16	
	4.4 <i>Nível de risco apresentado por metal em cada UGRHI</i> .....	42
<b>5</b>	<b>DISCUSSÃO</b> .....	<b>45</b>
	5.1 <i>Validação da sensibilidade dos organismos utilizados no programa computadorizado de Avaliação de Risco Ecológico</i> .....	45
	5.2 <i>Avaliação de risco ecológico e comparação com resultados de testes ecotoxicológicos</i> .....	46
	5.3 <i>Ação tóxica dos metais estudados</i> .....	52
	5.4 <i>Parâmetros alterados durante as avaliações</i> .....	55
	5.4.1 <i>Dureza</i> .....	55
	5.4.2 <i>Período estudado</i> .....	56
	5.4.3 <i>Gêneros de organismos</i> .....	57



5.5	<i>Considerações</i> .....	58
6	<b>CONCLUSÕES</b> .....	59
7	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	61
	<b>TABELAS</b> .....	70
	<b>ANEXOS</b> .....	80

## LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Mapa do Estado de São Paulo com as 22 UGRHIs componentes (CETESB, 2001a). Em vermelho estão as UGRHIs que tiveram pontos sorteados para o estudo.....	10
2	Reta e equação da regressão para os resultados de testes de toxicidade aguda, em 24 horas, com jovens das duas espécies de microcrustáceos comparadas (CETESB, 1979) .....	13
3	Reta e equação da regressão para os resultados de testes de toxicidade aguda, em 96 horas, com jovens/adultos das duas espécies de peixes comparadas (BERTOLETTI, 2000) .....	14
4	Porcentagem de gêneros que têm 50% de probabilidade de serem afetados por toxicidade crônica nos pontos PARB02100; PARB02400 e PARB02900, em cada uma das avaliações de risco (A, B, C e D).....	16
5a	Porcentagem de gêneros que têm 50% de probabilidade de serem afetados por toxicidade crônica nos pontos ATIB02065; CPIV02900 e JAGR02800, em cada uma das avaliações de risco (A, B, C e D) .....	18
5b	Porcentagem de gêneros que têm 50% de probabilidade de serem afetados por toxicidade crônica nos pontos JUNA02020, PCAB02100 e PCAB02220, em cada uma das avaliações de risco (A, B, C e D) .....	20
6a	Porcentagem de gêneros que têm 50% de probabilidade de serem afetados por toxicidade crônica nos pontos BILL02500, BILL02900 e TGDE00900, em cada uma das avaliações de risco (A, B, C e D).....	23
6b	Porcentagem de gêneros que têm 50% de probabilidade de serem afetados por toxicidade crônica nos pontos EMGU00800, GUAR00900 e RGDE02200, em cada uma das avaliações de risco (A, B, C e D).....	25
6c	Porcentagem de gêneros que têm 50% de probabilidade de serem afetados por toxicidade crônica nos pontos GADE02900 e COGR00900, em cada uma das avaliações de risco (A, B, C e D).....	27

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura</b>		<b>Página</b>
7	Porcentagem de gêneros que têm 50% de probabilidade de serem afetados por toxicidade crônica nos pontos MOGI02800; CUBA02700 e PIAC02700, em cada uma das avaliações de risco (A, B, C e D) .....	30
8	Porcentagem de gêneros que têm 50% de probabilidade de serem afetados por toxicidade crônica no ponto MOGU02900, em cada uma das avaliações de risco (A, B, C e D) .....	32
9	Porcentagem de gêneros que têm 50% de probabilidade de serem afetados por toxicidade crônica nos pontos TIBB02700; SORO02900 e TIET02400 em cada uma das avaliações de risco (A, B, C e D).....	33
10	Porcentagem de gêneros que têm 50% de probabilidade de serem afetados por toxicidade crônica no ponto RIIG02500, em cada uma das avaliações de risco (A, B, C e D).....	35
11	Porcentagem de gêneros que têm 50% de probabilidade de serem afetados por toxicidade crônica no ponto PARD02800, em cada uma das avaliações de risco (A, B, C e D).....	36
12	Porcentagem de gêneros que têm 50% de probabilidade de serem afetados por toxicidade crônica no ponto RPRE02200, em cada uma das avaliações de risco (A, B, C e D).....	37
13	Porcentagem de gêneros que têm 50% de probabilidade de serem afetados por toxicidade crônica no ponto TIET02600, em cada uma das avaliações de risco (A, B, C e D) .....	38
14	Porcentagem de gêneros que têm 50% de probabilidade de serem afetados por toxicidade crônica no ponto TITR02100, em cada uma das avaliações de risco (A, B, C e D) .....	39
15	Porcentagem de gêneros que têm 50% de probabilidade de serem afetados por toxicidade crônica no ponto PEIX02100, em cada uma das avaliações de risco (A, B, C e D) .....	40

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura</b>		<b>Página</b>
16a	Porcentagem de risco apresentada por metal estudado, em cada UGRHI respectiva.....	42
16b	Porcentagem de risco apresentada por metal estudado, em cada UGRHI respectiva.....	43
17	Classificação das UGRHIs do Estado de São Paulo, segundo as principais atividades desenvolvidas. (Fonte: CETESB, 2003).....	44

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela</b>		<b>Página</b>
1	Resultados dos testes de toxicidade aguda com peixes e microcrustáceos usados na validação do programa computadorizado.....	71
2	Descrição dos pontos de amostragem estudados (CETESB, 2002) e dureza média de cada UGRHI (Aragão et al, 2003).....	72
3	Lista dos gêneros existentes na base de dados do programa WERF. Em vermelho estão os gêneros identificados como nativos/introduzidos.....	73
4	Concentrações ambientais médias e desvios-padrão encontrados para cada metal estudado, número de amostras e efeitos tóxicos observados em cada ponto de amostragem, durante o período de 1997-2001 .....	74
5	Concentrações ambientais encontradas (CAE) dos agentes químicos estudados, no período de 1997-2001, critérios de qualidade (CQ) e quociente de efeito ecológico (QEE). (Fonte: CETESB, 2002; 2001b; 2000; 1999 e 1998).....	76
6	Concentrações ambientais médias e desvios-padrão encontrados para cada metal estudado, número de amostras e efeitos tóxicos observados em cada ponto de amostragem, durante o ano de 2000 ....	77
7	Concentrações ambientais encontradas (CAE) dos agentes químicos estudados, no ano de 2000, critérios de qualidade (CQ) e quociente de efeito ecológico (QEE). (Fonte: CETESB, 2001b) .....	79

## ANEXOS

Gráficos de distribuição de risco gerados pelo programa WERF para cada ponto de amostragem/UGRHI:

### Anexo 01 – UGRHI 2 – Paraíba do Sul

<i>PARB02100</i> .....	A1
<i>PARB02400</i> .....	A2
<i>PARB02900</i> .....	A3

### Anexo 02 – UGRHI 5 – Piracicaba, Capivari, Jundiá

<i>ATIB02065</i> .....	A4
<i>CPIV02900</i> .....	A5
<i>JAGR02800</i> .....	A6
<i>JUNA02020</i> .....	A7
<i>PCAB02100</i> .....	A8
<i>PCAB02220</i> .....	A9

### Anexo 03 – UGRHI 6 – Alto Tietê

<i>BILL02500</i> .....	A10
<i>BILL02900</i> .....	A11
<i>TGDE00900</i> .....	A12
<i>EMGU00800</i> .....	A13
<i>GUAR00900</i> .....	A14
<i>RGDE02200</i> .....	A15
<i>GADE02900</i> .....	A16
<i>COGR00900</i> .....	A17

### Anexo 04 – UGRHI 7 – Baixada Santista

<i>MOGI02800</i> .....	A18
<i>CUBA02700</i> .....	A19
<i>PIAC02700</i> .....	A20

## ANEXOS

Anexo 05 – UGRHI 9 – Mogi-Guaçu	
<i>MOGU02900</i> .....	A21
Anexo 06 – UGRHI 10 – Sorocaba/Médio Tietê	
<i>TIBB02700</i> .....	A21
<i>SORO02900</i> .....	A23
<i>TIET02400</i> .....	A24
Anexo 07 – UGRHI 11 – Ribeira de Iguape/Litoral Sul	
<i>RIIG02500</i> .....	A25
Anexo 08 – UGRHI 12 – Baixo Pardo/Grande	
<i>PARD02800</i> .....	A26
Anexo 09 – UGRHI 15 – Turvo/Grande	
<i>RPRE02200</i> .....	A27
Anexo 10 – UGRHI 16 – Tietê/Batalha	
<i>TIET02600</i> .....	A28
Anexo 11 – UGRHI 19 – Baixo Tietê	
<i>TITR02100</i> .....	A29
Anexo 12 – UGRHI 21 – Peixe	
<i>PEIX02100</i> .....	A30

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente observa-se uma crescente preocupação com as questões ambientais por parte dos governos federal, estaduais, municipais, bem como de empresas privadas e da população de um modo geral, que tem se estruturado nas organizações não governamentais (ONGs). Pode-se supor que tal mudança esteja ocorrendo devido a um aumento da percepção dos problemas que ameaçam o meio ambiente e, conseqüentemente, a nós seres humanos, pois tais problemas já podem ser observados e sentidos com maior clareza em vários ambientes rurais e urbanos.

De um modo geral as preocupações com questões ambientais não constituem um assunto novo. POLICANSKY (1993) relata que em 1950 quando ainda era criança, a principal preocupação da população africana estava relacionada à erosão do solo; e vai ainda mais longe ao mencionar um episódio que ocorreu em 1376, quando uma petição foi apresentada ao parlamento inglês por pessoas preocupadas com uma técnica de pesca que utilizava um tipo de rede de arrasto chamada *wondyrchoum* e que poderia devastar as populações de peixes locais (MARCH, 1970 citado por POLICANSKY, 1993, p.38). Isto também aconteceu em São Paulo, no período da colonização, como se observa em alguns relatórios de autoridades criticando e denunciando o uso do timbó no rio Tietê (ROCHA, 1997).

Desta maneira, percebe-se que as questões ambientais preocupam as pessoas há algum tempo, e isto é compreensível uma vez que tais problemas surgiram e se acentuaram acompanhando o desenvolvimento humano e tecnológico.

O acelerado e desordenado crescimento urbano, o aumento populacional e o conseqüente aumento da produção industrial e agrícola estão entre os fatores que ocasionam profundas transformações no meio ambiente.



---

Para se ter uma idéia, segundo MAKI & BISHOP (1985), o número de agentes químicos disponíveis e utilizados pelo homem está na ordem de centenas de milhares, sendo que a maior parte deles têm potencial para penetrar e agredir o meio ambiente.

PHILLIPS & RAINBOW (1994) argumentam, ainda, que menos de cem dentre os milhares de agentes químicos comumente descartados em águas doces e salgadas no mundo estão incluídos em programas regulares de monitoramento ambiental.

A poluição dos recursos hídricos está entre as principais preocupações da humanidade, pois esta depende diretamente da água para diversas atividades. Dentre elas pode-se destacar os abastecimentos público e industrial, a irrigação agrícola, a produção de energia elétrica, transporte, lazer e recreação. Além dos usos citados, vale lembrar que a preservação da vida aquática depende também da qualidade dos corpos d'água (DIX, 1981; CETESB, 2001a).

Nesse contexto os efluentes líquidos constituem-se nas fontes mais expressivas de poluição para os recursos hídricos, sendo que tais efluentes são compostos por uma grande variedade de agentes químicos com características distintas. Tais fontes de poluição transformam os ecossistemas aquáticos em ambientes extremamente prejudicados, pois estes constituem-se em receptáculos temporários ou finais de uma grande quantidade de poluentes (LEE, 1980 citado por GHERARDI-GOLDSTEIN et al., 1990 p.2; BARLOW & CLARKE, 2003; TUNDISI, 2003).

Assim é difícil que se ofereça boa qualidade de vida ou promoção de saúde sem levar em consideração um meio ambiente saudável, o que inclui, dentre outros fatores, a existência de ecossistemas equilibrados e a manutenção de corpos d'água livres da poluição advinda das atividades humanas. Este é, inclusive, um dos aspectos abordados em documentos de estratégias de promoção da saúde reconhecidos globalmente, como a Declaração de Adelaide, Carta de Ottawa e Agenda 21 Brasileira (BEZERRA & MUNHOZ, 2000; BRASIL, 2001).

---

Diante deste quadro, a avaliação de risco ecológico aquático atua como uma ferramenta fundamental no processo de identificação das condições de qualidade de um determinado ecossistema aquático e, também, no fornecimento de subsídios para ações de gerenciamento e remediação de ambientes prejudicados pela poluição. Esta avaliação baseia-se na identificação dos agentes químicos potencialmente tóxicos e no cálculo da probabilidade de ocorrência de efeitos adversos no meio ambiente devido a ações antrópicas (SUTER II, 1993; WERF, 1996a; SETAC, 1997; USEPA, 1998).

Segundo BERTOLETTI et al. (1989), no caso de efluentes líquidos, os efeitos tóxicos devem-se à presença de agentes químicos os quais podem interagir entre si, e o efeito tóxico e sua intensidade são resultantes da ação global da presença de diferentes substâncias e de suas concentrações biologicamente disponíveis.

Levando-se em consideração que os organismos ou comunidades aquáticas sofrem exposições contínuas, e de modo direto, por estarem inseridos nesse meio ambiente (ex: respiração aquática; contato com o sedimento), torna-se claro que eles serão extremamente mais sensíveis à poluição ambiental do que o próprio homem (SUTER II, 1995; BRANCO, 2002). Este fato torna os organismos aquáticos, instrumentos fundamentais para a indicação da qualidade das águas.

Deste modo, torna-se necessária a identificação dos agentes que realmente apresentam algum tipo de risco à biota aquática. Este é o objetivo principal da avaliação de risco ecológico, uma vez que por meio de estimativas de concentração e de efeitos ambientais, ela é capaz de identificar o potencial de dano de tais agentes.

Uma das formas de avaliar o risco ecológico é aquela preconizada por WERF (1996a), que utiliza uma abordagem multi-seriada de avaliação de risco que começa com uma análise dos dados de modo conservativo e simples, passando a etapas menos conservativas e mais complexas onde os dados remanescentes são analisados de modo mais realístico, identificando

---

e caracterizando com maior exatidão, os agentes químicos de perigo potencial e os riscos ecológicos. Esta abordagem multi-seriada também pode ser usada para auxiliar na escolha de opções de tratamento mais econômicas, para proteger e manter as comunidades aquáticas, pois ela fornece subsídios para o cálculo dos benefícios ecológicos em se reduzir uma concentração ambiental de um agente tóxico versus os custos necessários para atender esta concentração através de remediação ou melhora nos sistemas de tratamento de efluentes (PARKHURST et al., 1995).

Estudos desse tipo têm sido realizados em diversos países, como por exemplo, os Estados Unidos, onde uma grande avaliação de risco foi conduzida no sistema Clinch River/Poplar Creek para identificar a natureza e a extensão da contaminação neste local. A primeira parte do estudo foi conduzida por COOK et. al. (1999), que descreveram os recursos hídricos em risco, identificaram as origens da contaminação e definiram a abordagem a ser seguida pelos estudos subseqüentes. Nesta etapa foi possível identificar um histórico antigo de contaminação aquática por material radioativo, compostos orgânicos e metais, uma vez que a região abrigou diversas indústrias com atividades energéticas e de produção de armamentos nucleares.

A segunda parte do estudo, realizada por SUTER II et al. (1999), avaliou o risco ecológico para a comunidade de peixes. Foram realizadas diversas análises químicas que identificaram onze agentes químicos como sendo de risco potencial para a comunidade de peixes. Para que o risco ecológico fosse caracterizado, os resultados das análises de efeitos tóxicos foram comparados à cinco linhas de evidências que se mostraram coerentes com tais efeitos. Estas cinco linhas de evidência foram: levantamentos de dados sobre a comunidade de peixes locais, testes de toxicidade com amostras ambientais de água, testes de toxicidade com agentes químicos isolados, bioindicadores orgânicos de efeitos tóxicos e análise da concentração de agentes químicos em amostras de tecidos de peixes. Este segundo estudo demonstrou que, apesar das linhas de evidência, em

---

conjunto, estarem de acordo com efeitos observados, isoladamente nenhuma delas é suficiente devido ao fato de estarem associadas à incertezas. Entretanto, os autores acreditam ser extremamente difícil que agrupadas elas sejam resultado de um falso-positivo.

A terceira etapa do estudo procurou investigar os riscos aos invertebrados bentônicos apresentados por agentes químicos presentes no sedimento e em água intersticial. JONES et al. (1999) analisaram amostras ambientais e encontraram 16 metais e 18 agentes orgânicos que eram de preocupação potencial. Este resultado em conjunto com levantamentos biológicos e testes de toxicidade com sedimento forneceu uma caracterização de risco mais realista, de modo a indicar que existem riscos significantes aos invertebrados bentônicos da região do Poplar Creek pela exposição à sedimentos contaminados.

Outro estudo de relevância foi o de CARDWELL et al. (1993) que, através do cálculo do quociente de risco, realizaram análises em águas que sofriam influência de uma mina de dragagem. Este estudo visou à identificação dos agentes que estariam comprometendo espécies de peixes locais e, o resultado da avaliação de risco mostrou que quatro agentes químicos (alumínio, cádmio, cobalto e manganês) realmente apresentavam riscos potenciais à biota aquática.

Na África do Sul estudos de avaliação de risco também têm sido conduzidos. Dentre eles, o trabalho de JOOSTE & THIRION (1999) avaliou a contaminação de corpos d'água da Província de Mpumalanga, advinda de atividades mineradoras de carvão. Este estudo constatou o risco de extinção de espécies a longo prazo devido à alterações bruscas de pH além de altas concentrações de zinco e manganês que afetam organismos bentônicos através da precipitação no sedimento.

No Brasil, pesquisas desenvolvidas por MORAES et al. (2002a) na região do Parque Estadual do Alto Ribeira (PETAR) também constataram que a biota aquática está exposta a altas concentrações de chumbo, cádmio, prata e zinco, encontrada tanto em amostras de sedimento, quanto em

amostras de tecido de peixes. A origem desta contaminação deve-se principalmente às minas abandonadas da região.

Nesse contexto, observa-se que a avaliação de risco ecológico aquático reúne dados de análises químicas para identificar os riscos ambientais e, com o auxílio de dados ecotoxicológicos consegue demonstrar a consistência desses dados. Esses dois parâmetros unidos fornecem uma avaliação mais profunda do ambiente em questão, pois pode-se analisar a concordância entre concentrações de poluentes encontradas e as respostas apresentadas pelos organismos.

Portanto, mediante a importância dos estudos de avaliação de risco ecológico aquático para o diagnóstico da qualidade ambiental, ao crescente impacto por múltiplos usos e, devido à carência de estudos dessa natureza em território paulista, é de fundamental importância a realização deste trabalho procurando obter uma previsão do risco ecológico em águas superficiais do Estado de São Paulo, por meio do uso de um programa computadorizado para tal finalidade.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 *Geral:*

- ✓ Avaliar o risco ecológico de alguns contaminantes para os recursos hídricos do Estado de São Paulo.

### 2.2 *Específicos:*

- ✓ Avaliar e comparar a sensibilidade das espécies utilizadas no software de avaliação de risco com aquelas utilizadas no monitoramento da qualidade das águas do Estado de São Paulo realizado pela CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental);
- ✓ Identificar e selecionar os contaminantes mais relevantes, dentre os rotineiramente monitorados no Estado de São Paulo, que possuam potencial de causar efeitos adversos à biota aquática;
- ✓ Verificar a compatibilidade entre as estimativas de risco ecológico com as respostas apresentadas pelos indicadores ecotoxicológicos de qualidade de água;
- ✓ Testar diferentes formas de avaliação de risco e identificar o grupo de informações que melhores respostas apresentam após o tratamento dos dados;
- ✓ Gerar subsídios para futuras ações de gerenciamento e remediação da qualidade da água.

---

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 *Programa computadorizado de avaliação de risco utilizado – WERF*

O método escolhido para avaliar o risco ecológico nos corpos hídricos do Estado de São Paulo foi desenvolvido pelo grupo CADMUS da Carolina do Norte, Estados Unidos, e financiado por WERF (Water Environment Research Foundation). Este método foi validado durante dois anos por WERF (1996a) e foi revisado e aprovado pela agência ambiental norte-americana (USEPA). Trata-se de um programa computadorizado idealizado para identificar quais agentes químicos apresentam riscos de toxicidade (aguda ou crônica) aos organismos aquáticos e para caracterizar a magnitude dos riscos apresentados por tais agentes. O programa possui, em sua base de dados, os valores de toxicidade aguda de 17 agentes químicos (amônia, metais, agroquímicos, etc) para 116 gêneros de organismos aquáticos, obtidos em documentos da USEPA. A partir das concentrações ambientais médias e desvios-padrão do agente químico que se deseja avaliar, o programa, através de cálculos de regressão logística, teste de hipóteses e de distribuição de risco apresenta uma avaliação quantitativa do risco para o agente em questão, em termos de probabilidade de ocorrência de efeitos tóxicos aos organismos aquáticos.

Ajustando-se parâmetros como a dureza da água e espécies ou gêneros expostos, o programa WERF realiza avaliação de risco mais específica para o local em estudo.

#### 3.2 *Avaliação da sensibilidade dos organismos utilizados no programa computadorizado de Avaliação de Risco Ecológico*

Ao se utilizar um programa estrangeiro de Avaliação de Risco, é necessário que se valide o mesmo com o intuito de garantir que não haja distorções nos resultados, uma vez que a base de dados do programa contém informações de sensibilidade sobre diversos organismos aquáticos

não nativos do Brasil. Com este objetivo, foi feita uma comparação da sensibilidade, a diversos agentes químicos, de espécies de peixes e microcrustáceos nativos/introduzidos em relação àquelas exóticas, a fim de verificar a correlação entre as sensibilidades. Para esta comparação, utilizaram-se dados de testes de toxicidade (Tabela 1, pág. 71) com as espécies de peixes *Danio rerio* e *Pimephales promelas* e de microcrustáceos *Daphnia similis* e *Daphnia magna*, que, através do aplicativo EXCEL, foram integradas em um gráfico de dispersão que forneceu o coeficiente de determinação de Pearson ( $r^2$ ) que indica a existência e o grau de correlação entre os valores de sensibilidades inseridos.

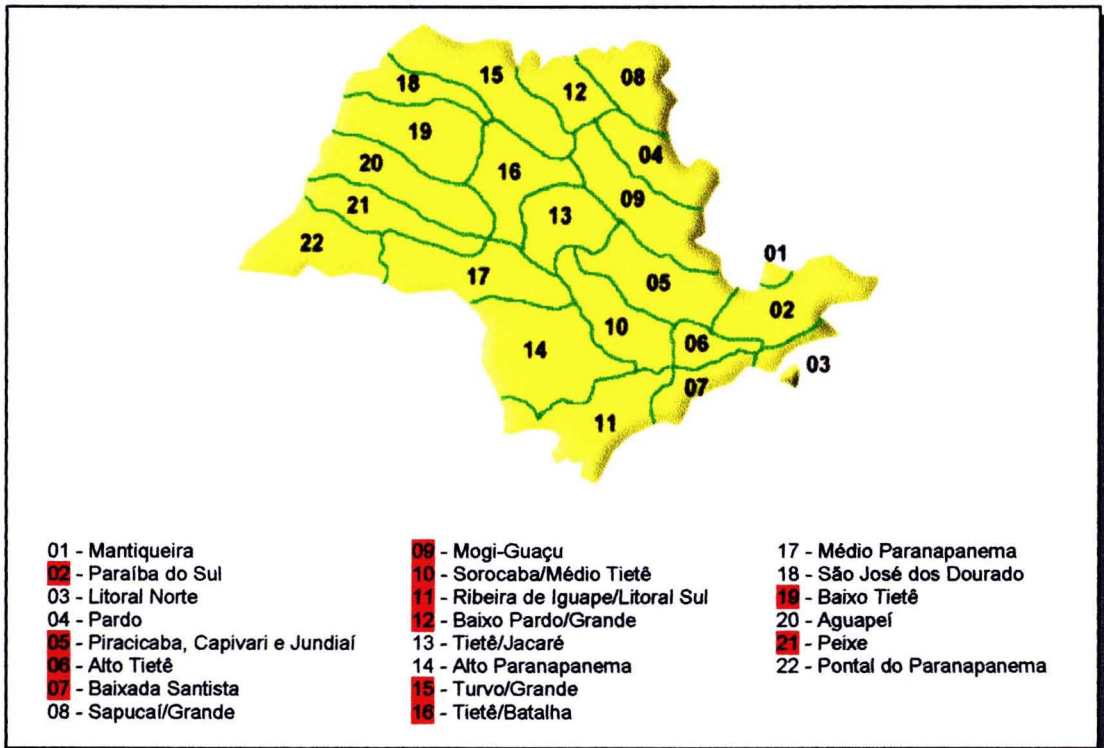
### 3.3 Escolha dos pontos de amostragem estudados

Dentre os 151 pontos de amostragem de água que são atualmente monitorados pela CETESB, 30 foram selecionados via sorteio para serem avaliados no presente estudo. Na tabela 2 (Pág. 72), observam-se informações como a Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI), código, corpo hídrico pertencente e a localização de cada um dos 30 pontos de amostragem.

A escolha por sorteio se deu para que todos os pontos fossem tratados de forma igual, sem distinções, evitando-se deste modo, vícios amostrais. Entretanto um outro critério foi adotado: caso no ponto sorteado não houvesse resultados de teste de toxicidade com *Ceriodaphnia dubia*, em todos os anos estudados, outro ponto seria sorteado em substituição.

A figura 1 apresenta o mapa do Estado de São Paulo com as UGRHIs (Unidades de Gerenciamento dos Recursos Hídricos) constituintes. Nota-se que os 30 pontos sorteados fornecem uma boa representatividade amostral, pois se distribuem por 12 (54%) dentre as 22 UGRHIs do Estado.





**Figura 1** – Mapa do Estado de São Paulo com as 22 UGRHs componentes (CETESB, 2001a). Em vermelho estão as UGRHs que tiveram pontos sorteados para o estudo.

### 3.4 Escolha dos agentes químicos com potencial de risco

Dentre os 31 parâmetros químicos analisados pela CETESB através da sua Rede de Monitoramento, foram escolhidos sete metais (cádmio, chumbo, cobre, cromo, níquel, mercúrio e zinco) por serem substâncias amplamente utilizadas em diversos processos industriais, e devido às conhecidas propriedades tóxicas destes metais que, ao serem descartados nos corpos d'água, têm potencial para ocasionar efeitos adversos aos organismos aquáticos.

As concentrações destes metais foram primeiramente transformadas de mg/L para µg/L, por ser esta a unidade utilizada para a inserção dos dados no programa computadorizado de avaliação de risco. As médias e desvios-padrão das concentrações ambientais destes metais foram determinadas através do aplicativo EXCEL para o período de 1997 a 2001 e

também para o ano de 2000 e a partir destes resultados aplicou-se o quociente de efeitos ecológicos (QEE), dividindo-se as concentrações médias encontradas pelo valor do critério de qualidade estabelecido pela Resolução CONAMA 20/86 (BRASIL, 1986) para águas Classe 2, ou pelo Regulamento de Lei 997/76 (SÃO PAULO, 1982) para águas Classe 1, segundo a fórmula abaixo:

$$\text{QEE (quociente de efeito ecológico)} = \frac{\text{CAE (concentração ambiental encontrada)}}{\text{CQ (critério de qualidade)}}$$

Os metais cujo QEE foi maior ou igual a 0,3 foram estudados com maior rigor na avaliação de risco. Aqueles que obtiveram  $\text{QEE} < 0,3$  foram excluídos da avaliação de risco (WERF, 1996a).

### 3.5 *Análise dos dados na Avaliação de Risco Ecológico Aquático:*

Para a avaliação de risco ecológico, optou-se pela análise do risco de toxicidade crônica aos organismos, por tratar de respostas mais sutis como redução do crescimento, sobrevivência de longo período ou reprodução de espécies aquáticas. Deste modo a toxicidade aguda não foi utilizada, pois engloba efeitos mais drásticos como a imobilidade (efeito que freqüentemente antecede a morte do organismo). Portanto, foram utilizadas as razões (ACR – Acute to Chronic Ratio) para cada agente químico estudado, obtidas em USEPA (1980a; 1980b; 1984a; 1984b; 1984c; 1986 e 1987) para converter os valores de toxicidade aguda, provenientes da base de dados do programa, em toxicidade crônica.

Além disso, foram realizadas, para cada ponto de amostragem, quatro análises de risco distintas, alterando-se dados como o período estudado, a dureza da água do corpo hídrico e o número de gêneros utilizados nos cálculos de risco. Deste modo, para as análises de risco foram utilizados os seguintes conjuntos de dados:

A) A dureza média das águas na UGRHI onde o ponto de amostragem se encontra, as concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e desvios-padrão dos agentes químicos estudados e 34 gêneros de organismos da base de dados considerados nativos/introduzidos;

B) A dureza da água padrão do programa (50 mg/L em  $\text{CaCO}_3$ ), as concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e desvios-padrão dos agentes químicos estudados e 34 gêneros de organismos da base de dados considerados nativos/introduzidos;

C) A dureza média das águas na UGRHI onde o ponto de amostragem se encontra, as concentrações médias de um ano (2000) e desvios-padrão dos agentes químicos estudados e 34 gêneros de organismos da base de dados considerados nativos/introduzidos e,

D) A dureza média das águas na UGRHI onde o ponto de amostragem se encontra, as concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e desvios-padrão dos agentes químicos estudados e todos os 116 gêneros de organismos aquáticos presentes na base de dados do programa WERF.

Os valores médios de dureza das águas, de cada UGRHI estudada, foram obtidos em ARAGÃO et al. (2003). Os gêneros existentes na base de dados do programa WERF e os 34 gêneros identificados como sendo organismos nativos ou introduzidos em águas regionais obtidos em CETESB (comunicação pessoal)<sup>1</sup>, podem ser visualizados na tabela 3 (Pág. 73).

Logo após a integração dos quatro grupos de informações (A, B, C e D) nos gráficos de risco, realizou-se uma comparação com os resultados dos testes de toxicidade com *Ceriodaphnia dubia*, durante os períodos estudados, em cada um dos 30 pontos de amostragem avaliados, de forma a verificar a compatibilidade entre as estimativas de risco ecológico com as respostas apresentadas pelos indicadores ecotoxicológicos de qualidade de água.

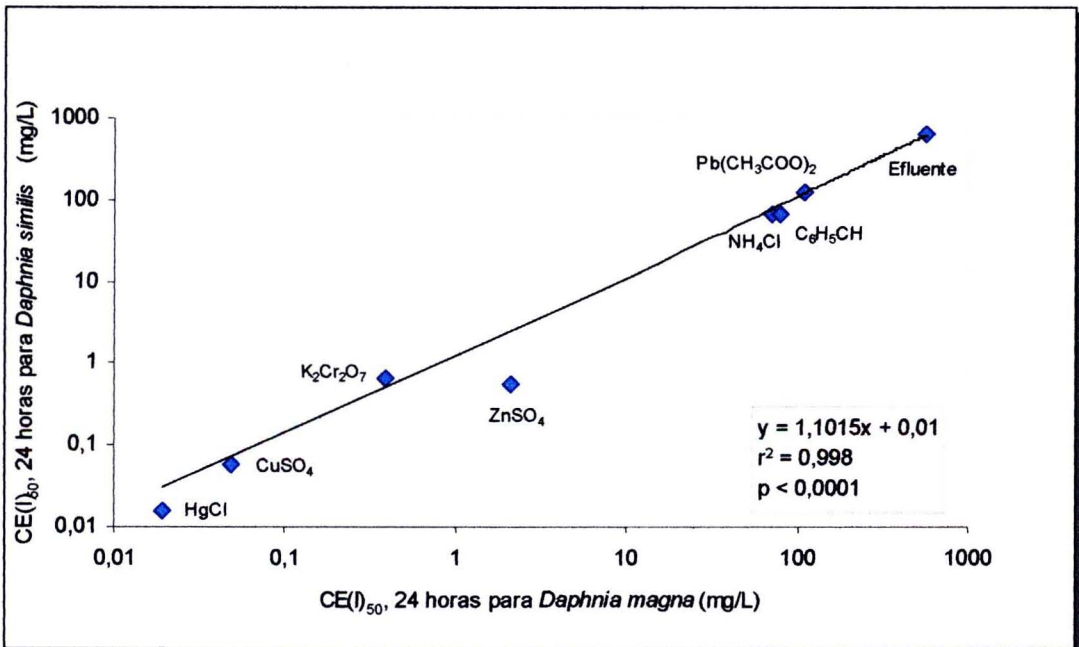
---

<sup>1</sup> (CETESB, 2003 – Pesquisadores do setor de Ecotoxicologia Aquática e do setor de Comunidades Aquáticas – Comunicação Pessoal)

## 4 RESULTADOS

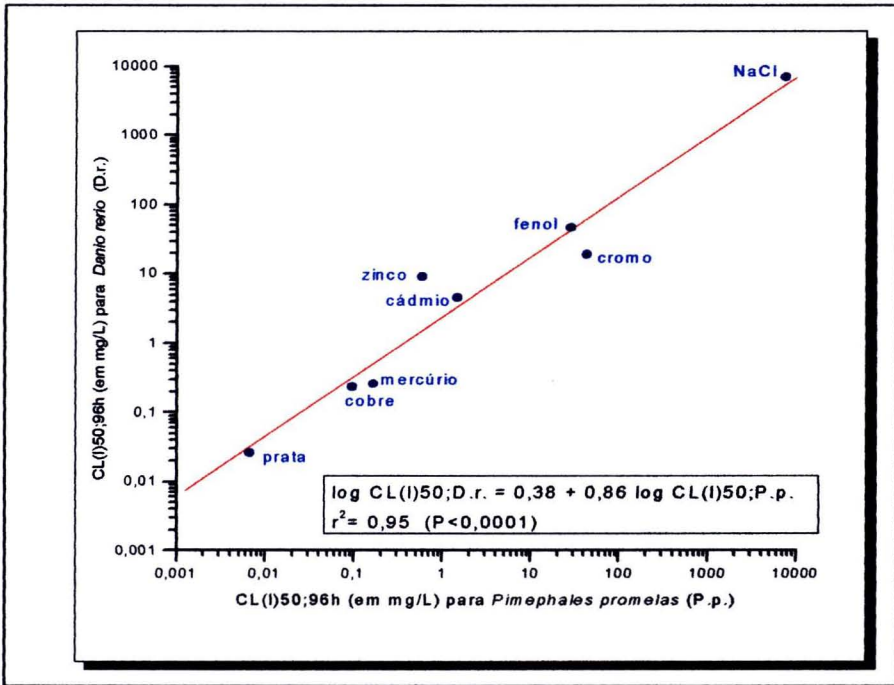
### 4.1 Validação da sensibilidade dos organismos utilizados no programa computadorizado de Avaliação de Risco Ecológico

A primeira etapa do presente trabalho foi a comparação da sensibilidade de algumas espécies de organismos aquáticos exóticos, constantes na base de dados do programa computadorizado, com as espécies nativas/introduzidas.



**Figura 2** – Reta e equação da regressão para os resultados de testes de toxicidade aguda, em 24 horas, com jovens das duas espécies de microcrustáceos comparadas (CETESB, 1979).

A figura 2 mostra os resultados obtidos para testes de toxicidade aguda com os microcrustáceos *Daphnia magna* (exótico) e *Daphnia similis* (nativo/introduzido). Observando esta figura é possível notar um coeficiente de determinação ( $r^2$ ) de 0,998, o que traduz uma ótima correlação entre a sensibilidade (CE(I)<sub>50</sub>) das duas espécies de *Daphnia* para os agentes químicos testados.



**Figura 3** – Reta e equação da regressão para os resultados de testes de toxicidade aguda, em 96 horas, com jovens/adultos das duas espécies de peixes comparadas (BERTOLETTI, 2000).

De modo semelhante aos microcrustáceos, o coeficiente de determinação obtido para as espécies de peixes (exótico) *Pimephales promelas* e (nativo/introduzido) *Danio rerio* ( $r^2 = 0,95$ ) demonstra uma ótima correlação entre as mesmas quando os resultados de testes de toxicidade aguda com jovens/adultos são comparados (Figura 3). Os dados das figuras 2 e 3 juntos demonstram não haver diferenças significativas entre a sensibilidade de espécies presentes em águas brasileiras e espécies exóticas. Deste modo, supondo que o mesmo ocorra com todos os gêneros presentes na base de dados do programa, torna-se confiável a utilização do programa WERF para a avaliação de risco em recursos hídricos nacionais.

#### 4.2 Resultado do cálculo do Quociente de Efeitos Ecológicos (QEE)

A segunda etapa do trabalho foi a determinação dos metais que deveriam ser alvo de uma avaliação de risco mais profunda pelo programa WERF. Esta seleção se deu por meio do cálculo do quociente de efeitos ecológicos (QEE).

---

O método WERF admite que somente os agentes químicos cujo QEE exceda o valor 1,0 terão alta probabilidade de apresentar riscos aos organismos aquáticos. Entretanto, também é ressaltado no método que qualquer agente químico que apresentar  $QEE \geq 0,3$  deve ser objeto de avaliações de risco mais rigorosas, uma vez que são consideradas as interações químicas entre diferentes agentes e toxicidade cumulativa (WERF, 1996a).

Portanto, observa-se na tabela 5 (Pág. 76), que quatro metais apresentaram QEE igual ou acima de 0,3 em 100% dos pontos estudados durante o período de 1997-2001: mercúrio, cádmio, chumbo e níquel. Os valores médios do QEE para estes metais foram 3,52; 2,55; 1,22 e 0,64 respectivamente, demonstrando que os três primeiros metais excederam, em grande parte dos pontos, o critério estabelecido em legislação. O cromo obteve QEE médio de 0,83, excedendo o valor de 0,3 em 97% dos pontos estudados. O cobre teve seu QEE acima de 0,3 em 80% dos pontos de amostragem, com valor médio de 0,66. O zinco, no período de cinco anos foi o metal que menor QEE apresentou, com valor médio de 0,15 e tendo excedido o limite de 0,3 em apenas 10% dos pontos de amostragem.

Na tabela 7 (Pág. 79) estão os resultados obtidos para os mesmos pontos de amostragem, somente para o ano de 2000, com o intuito de se verificar se o período amostrado influenciaria nos valores de QEE apresentados.

Verificou-se que os resultados encontrados foram semelhantes para ambos os períodos estudados sendo que os metais mercúrio, cádmio, chumbo e níquel obtiveram QEE médio de 2,97; 2,72; 0,98 e 0,54, respectivamente, todos eles excedendo o limite de 0,3 em 100% dos pontos de amostragem. O cromo excedeu o valor 0,3 em 80% dos pontos, mantendo um QEE médio de 0,81; o cobre obteve um QEE médio de 0,66, com 77% dos pontos acima do valor 0,3. E mais uma vez o zinco foi o metal com menor QEE médio (0,13) e excedendo o limite de corte em apenas 7% dos pontos de amostragem.

### 4.3 Avaliação de Risco Ecológico Aquático e efeitos tóxicos observados:

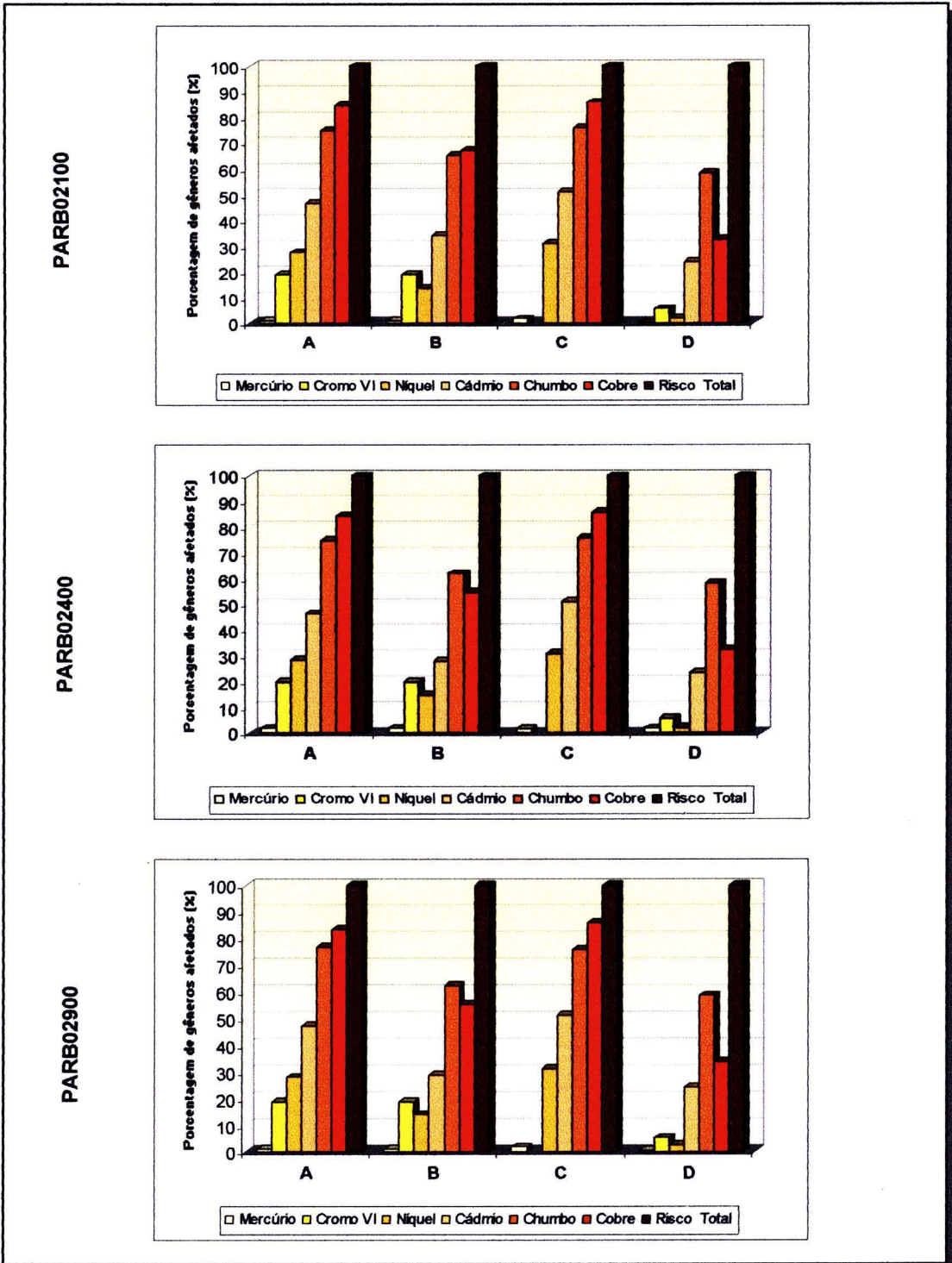


Figura 4 – Porcentagem de gêneros que têm 50% de probabilidade de serem afetados por toxicidade crônica nos pontos PARB02100; PARB02400 e PARB02900, em cada uma das avaliações de risco (A, B, C e D).

---

Para facilitar a apresentação dos resultados encontrados, optou-se por agrupar as quatro avaliações de risco feitas para cada ponto de amostragem em gráficos. Deste modo, usando o ponto de corte 50% de probabilidade de ocorrência de efeito tóxico, cada gráfico apresenta as porcentagens de gêneros que poderão ser afetados por toxicidade crônica para cada metal estudado bem como o risco total representado pela somatória dos riscos individuais de cada agente químico. Os gráficos originais gerados pelo programa WERF para cada avaliação feita podem ser observados nos anexos do presente trabalho.

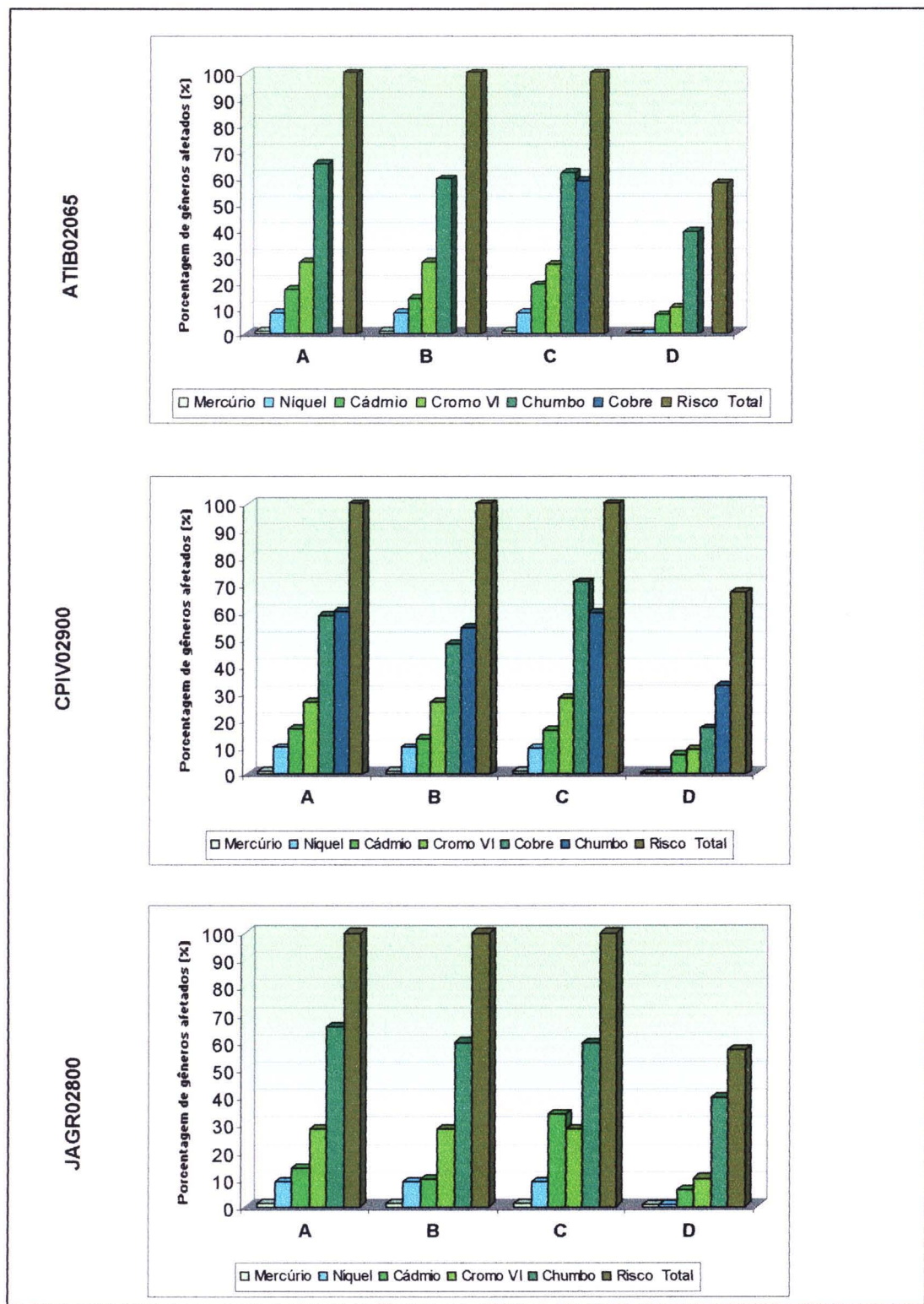
Na Figura 4 estão representadas as porcentagens de gêneros que têm 50% de probabilidade de sofrer efeitos tóxicos crônicos para cada metal estudado, nos pontos de amostragem PARB02100, PARB02400 e PARB02900, em cada uma das quatro avaliações de risco efetuadas. A figura 4 representa os pontos pertencentes à UGRHI 2 – Paraíba do Sul.

Observando-se a figura 4, verifica-se que os metais que maiores riscos apresentaram nos três pontos do rio Paraíba do Sul foram o cobre com até 85% de gêneros afetados, o chumbo e o cádmio com até 75% e 51% dos gêneros afetados, seguidos do níquel, cromo VI e mercúrio com até 31%, 20% e 2% dos gêneros afetados, respectivamente.

O risco total foi alto em todas as análises (A, B, C e D), podendo afetar 100% dos gêneros com toxicidade crônica. Os dados de toxicidade presentes na tabela 4 (Pág. 74) mostram que, para as avaliações feitas com as concentrações médias de cinco anos (A, B e D) estes resultados se mostram coerentes, pois neste período houve sete efeitos crônicos no ponto PARB02100, um agudo no PARB02400 e dois crônicos no PARB02900. Já nas análises correspondentes à letra C, que representam as concentrações de 2000 (Tabela 6, pág 77), apenas o ponto PARB02100 apresentou três efeitos crônicos, sendo que os demais pontos não apresentaram efeitos tóxicos durante este período.

Na figura 5a estão representadas as porcentagens de gêneros que poderão ser afetados por toxicidade crônica nos três primeiros pontos de amostragem da UGRHI 5 – Piracicaba, Capivari e Jundiá.





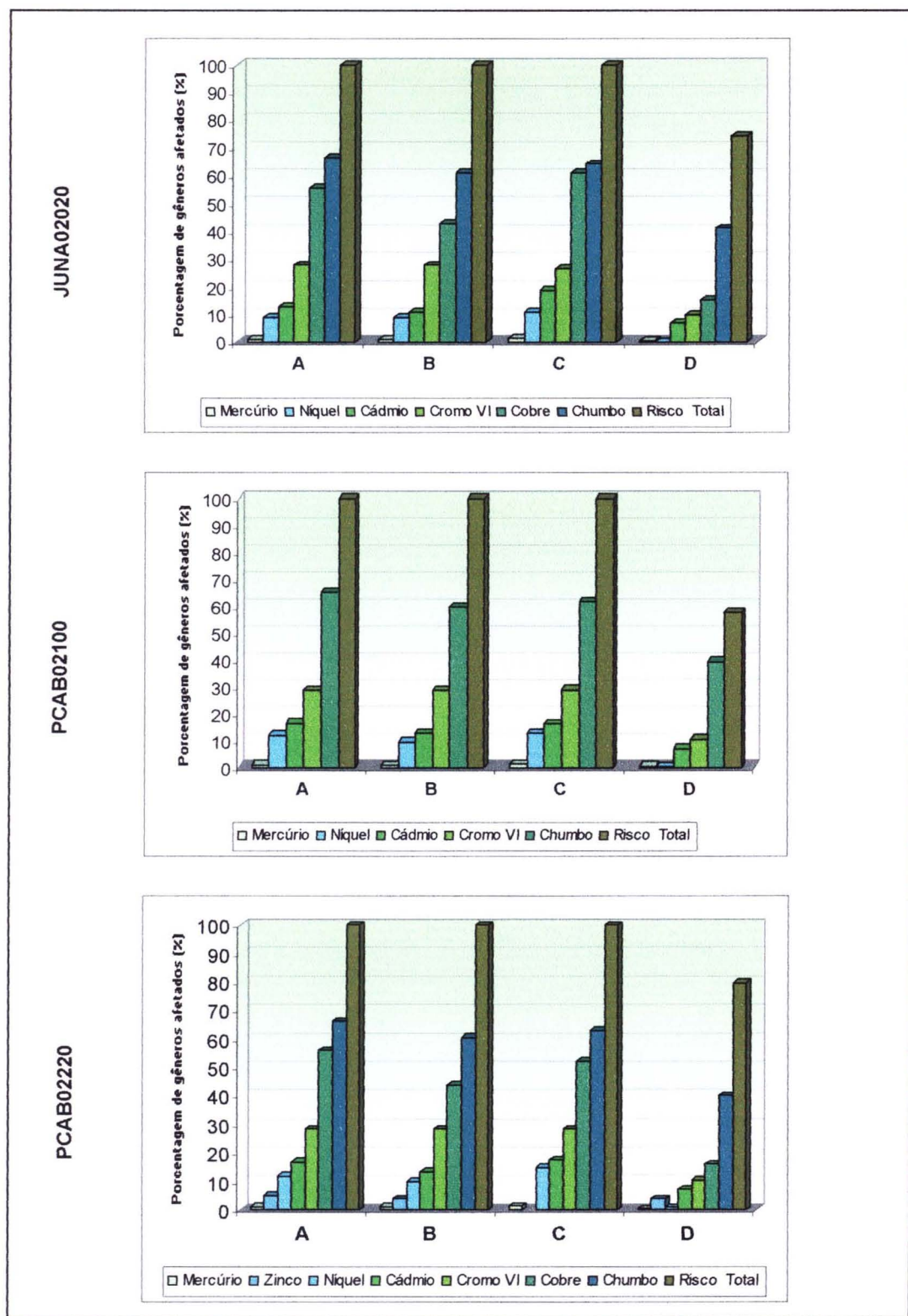
**Figura 5a** – Porcentagem de gêneros que têm 50% de probabilidade de serem afetados por toxicidade crônica nos pontos ATIB02065; CPIV02900 e JAGR02800, em cada uma das avaliações de risco (A, B, C e D).

No ponto ATIB02065, situado no Rio Atibaia, município de Campinas, o chumbo foi o metal com maior risco em todas as avaliações feitas, podendo afetar até 65% dos gêneros estudados. O cobre foi avaliado somente na avaliação C, e também se mostrou com risco alto, podendo afetar 58% dos gêneros. Em seguida estão os metais cromo VI, cádmio, níquel e mercúrio, com 50% de probabilidade de atingir com toxicidade crônica até 27%, 18%, 8% e 1% dos gêneros, respectivamente. O risco total foi alto nas avaliações A, B e C com probabilidade de ocorrência de efeitos tóxicos à 100% dos organismos. Já na avaliação D, o risco apresentado por cada metal foi menor, bem como o risco total que pode atingir cerca de 58% dos gêneros do programa WERF. Para este ponto de amostragem foi observado, tanto para o período de 1997-2001, quanto para o período de 2000, um efeito tóxico crônico à *C. dubia* (Tabelas 4 e 6).

No ponto CPIV02900, representando o Rio Capivari no município de Tietê, os metais chumbo e cobre foram os que demonstraram maiores riscos nas avaliações A, B e D, tendo 50% de chances de afetar até 59% e 58% dos gêneros de organismos aquáticos, respectivamente. Na avaliação C, o cobre apresentou o maior risco, com 70% dos gêneros afetados, seguido do chumbo com 59% dos gêneros atingidos. Em todas as avaliações (A, B, C e D), os metais cromo VI, cádmio, níquel e mercúrio demonstraram riscos menores em relação aos demais metais. O risco total foi bastante significativo nas três primeiras avaliações, podendo afetar 100% dos gêneros estudados. Entretanto, na avaliação D os riscos individuais e o risco total foram menores comparando-se com as demais formas de avaliações. O risco total, por exemplo, poderá atingir 67% dos gêneros presentes na base de dados do programa.

Para este ponto de amostragem foi observado um efeito tóxico crônico para *Ceriodaphnia dubia* durante o período de cinco anos (avaliações A, B e D) e nenhum efeito tóxico durante o ano de 2000 (avaliação C).

O último gráfico da figura 5a fornece as porcentagens de gêneros que têm 50% de chances de serem afetados por efeitos tóxicos crônicos no ponto JAGR02800, situado no Rio Jaguari, município de Americana.



**Figura 5b** – Percentagem de gêneros que têm 50% de probabilidade de serem afetados por toxicidade crônica nos pontos JUNA02020, PCAB02100 e PCAB02220, em cada uma das avaliações de risco (A, B, C e D).

---

Através deste gráfico observa-se que o chumbo exibiu o maior risco em todas as avaliações efetuadas chegando a afetar até 65% dos gêneros estudados. Na avaliação C, o cádmio aparece como o segundo metal com maior risco afetando 32% dos gêneros. Nas demais avaliações, o segundo com maior risco foi o cromo VI, podendo afetar até 28% dos gêneros estudados. Os metais cádmio, níquel e mercúrio apresentaram riscos menores, podendo afetar até 12%; 9% e 1% dos gêneros com toxicidade crônica. O risco total mostrou-se alto nas avaliações A, B e C, com 50% de probabilidade de atingir 100% dos gêneros. Já na avaliação D, os riscos isolados e o risco total foram menores, podendo o último afetar 57% dos organismos da base de dados. De modo interessante, neste ponto de amostragem não foram observados efeitos tóxicos à *C. dubia* nos períodos de cinco e de um ano.

A figura 5b apresenta os resultados obtidos para os três últimos pontos avaliados da UGRHI 5 – Piracicaba, Capivari e Jundiaí.

O gráfico do ponto JUNA02020, representando o Rio Jundiaí no município de Campo Limpo Paulista, mostra que o chumbo foi o metal que apresentou maior risco em todas as avaliações executadas, tendo possibilidade de afetar até 66% dos gêneros avaliados. O cobre mostrou-se com risco alto nas avaliações A, B e C, com chances de atingir até 60% dos organismos aquáticos. Nas quatro avaliações, o cromo VI, o cádmio, níquel e mercúrio foram os metais que menores riscos apresentaram: até 27%; 18%; 10% e 2% de gêneros afetados.

O risco total foi alto em todas as avaliações, mas em especial nas três primeiras, podendo afetar 100% dos gêneros. A avaliação D mostrou um risco total um pouco menor em relação às demais, porém ainda alto, podendo afetar até 73% dos gêneros presentes no programa WERF. Com relação aos efeitos tóxicos à *Ceriodaphnia dubia*, apesar dos altos riscos apresentados, não foram verificados efeitos tóxicos neste ponto em nenhum dos períodos estudados.

A figura 5b, pontos PCAB02100 e PCAB02220 representam o Rio Piracicaba, nos municípios de Americana e Piracicaba, respectivamente.

Nos dois pontos e em todas as avaliações o chumbo foi o metal que maior risco demonstrou, tendo 50% de probabilidade de afetar até 65% dos gêneros no ponto PCAB02100 e até 66% no ponto PCAB02220. O cobre e o zinco foram analisados somente no ponto PCAB02220 e mostraram um risco de afetar até 55% e 5% dos gêneros estudados.

Os riscos apresentados pelo cromo VI, cádmio, níquel e mercúrio foram equivalentes nos dois pontos de amostragem do Rio Piracicaba nas avaliações A, B e C e, os riscos totais mostraram-se altos, podendo afetar 100% dos gêneros com efeitos crônicos. Na avaliação D, em ambos os pontos, os riscos para cada metal estudado foi menor em relação à outras avaliações, bem como o risco total que poderá expor até 58% dos gêneros no ponto PCAB02100 e 79% dos gêneros no ponto PCAB02220.

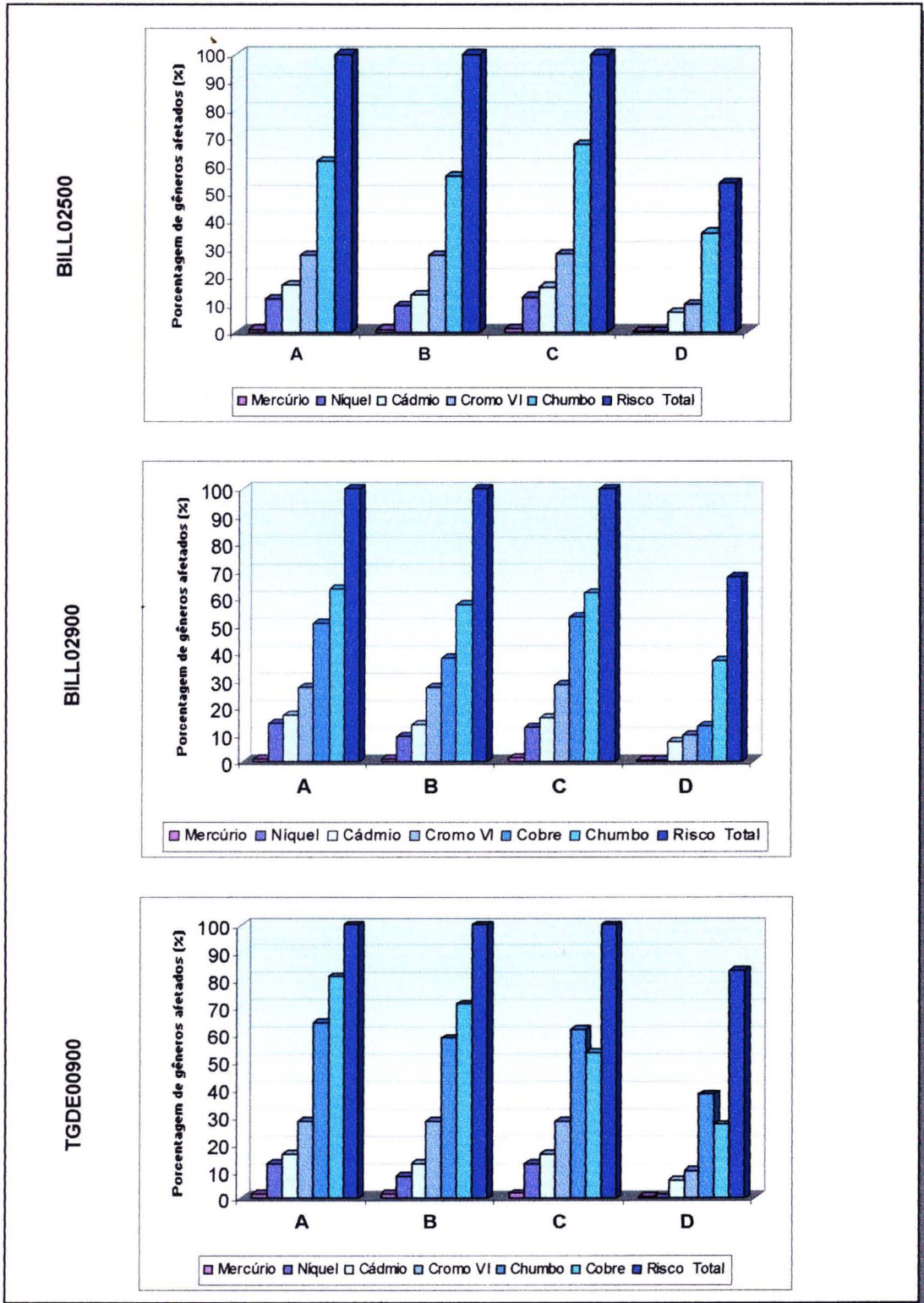
Quanto aos efeitos tóxicos, no ponto PCAB02100 foi observado durante o período de 1997-2001 a ocorrência de dois efeitos crônicos e durante o ano de 2000, um efeito crônico à *C. dubia*.

Já no ponto PCAB02220, não foram observados efeitos tóxicos de nenhuma natureza, em ambos os períodos abordados.

A figura 6a apresenta os gráficos de três pontos pertencentes à UGRHI 6 – Alto Tietê. Os gráficos BILL02500 e BILL02900 apresentam os resultados para o Reservatório Billings. O chumbo, novamente, foi o metal com maior risco em todas as avaliações, podendo atingir até 66% dos gêneros no primeiro ponto e 61% no segundo ponto da Billings.

O cobre, somente analisado no ponto BILL02900, apresentou risco alto, afetando até 51% dos organismos estudados.

Nos dois pontos do Reservatório, os metais cromo VI, cádmio, níquel e mercúrio apresentaram riscos menores em relação aos demais metais estudados (até 27%; 16%; 11% e 2% de gêneros afetados), entretanto o risco total nas avaliações A, B e C foi alto em ambos os pontos de amostragem, podendo afetar com toxicidade crônica 100% dos organismos.



**Figura 6a** – Porcentagem de gêneros que têm 50% de probabilidade de serem afetados por toxicidade crônica nos pontos BILL02500, BILL02900 e TGDE00900, em cada uma das avaliações de risco (A, B, C e D).

Na avaliação D em ambos os pontos, os riscos individual e total foram menores quando comparados com as outras formas de avaliação. A possibilidade de ocorrência de efeitos tóxicos crônicos para o ponto BILL02500 foi 51% de gêneros afetados e para o ponto BILL02900 foi 68%.

No ponto BILL02500, durante o período de 1997-2001, foram observados 14 efeitos tóxicos crônicos e dois efeitos tóxicos agudos nos testes de toxicidade com *C. dubia*. Ainda neste ponto, durante o ano de 2000, observou-se quatro efeitos tóxicos crônicos para o microcrustáceo.

No ponto BILL02900 foram observados 13 efeitos tóxicos crônicos e oito agudos durante o período de 1997-2001. No ano de 2000, registraram-se três efeitos tóxicos crônicos e dois agudos para este ponto de amostragem.

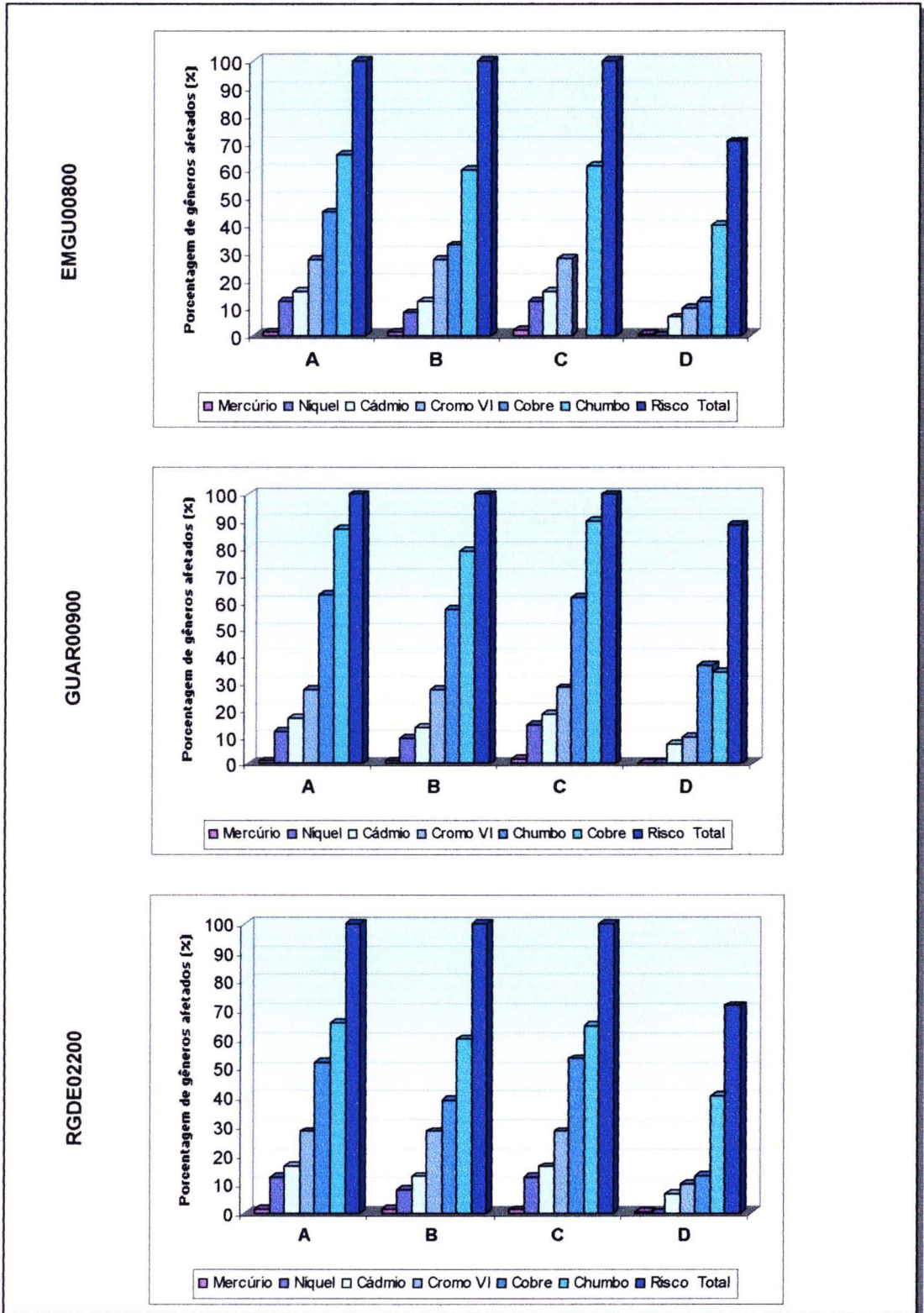
Ainda na figura 6a observa-se o gráfico do ponto TGDE00900 que representa o Reservatório do Tanque Grande, no município de Guarulhos.

Neste ponto, nas avaliações A e B, o cobre e o chumbo foram os metais com maiores riscos podendo expor até 81% e 64% dos gêneros a efeitos crônicos, respectivamente. Nas avaliações C e D, o chumbo exibiu o maior risco, com até 61% dos gêneros sob risco, seguido do cobre com até 53% dos gêneros expostos a efeitos crônicos. Nas quatro avaliações, os metais cromo VI, cádmio, níquel e mercúrio apresentaram riscos menores em relação aos demais metais: até 28%; 15%; 11% e 2% de gêneros sob risco de toxicidade crônica.

O risco total foi alto nas três primeiras avaliações, podendo afetar 100% dos organismos aquáticos. Na última avaliação o risco total foi menor, porém ainda alto, podendo atingir 82% dos gêneros presentes no programa de avaliação de riscos.

Três efeitos tóxicos crônicos foram observados para o ponto TGDE00900 durante o período de 1997-2001 e, durante o ano de 2000 nenhum efeito tóxico foi notado.

Na figura 6b podem-se observar as porcentagens de gêneros ameaçados por toxicidade crônica no ponto EMGU00800 representando o Rio Embu-Guaçu.



**Figura 6b** – Porcentagem de gêneros que têm 50% de probabilidade de serem afetados por toxicidade crônica nos pontos EMGU00800, GUAR00900 e RGDE02200, em cada uma das avaliações de risco (A, B, C e D).



Novamente o chumbo apresentou os maiores riscos ao ecossistema aquático em todas as avaliações feitas, podendo afetar até 65% dos gêneros com efeitos tóxicos crônicos. Em seguida está o cobre, com até 45% dos gêneros afetados, o cromo VI com até 28% dos gêneros afetados, o cádmio, o níquel e o mercúrio com até 15%, 12% e 2% dos gêneros atingidos por toxicidade crônica, respectivamente, neste corpo d'água.

O risco total apresentado pelas avaliações A, B e C foi alto tendo 50% de probabilidade de afetar 100% dos gêneros estudados.

Na avaliação D o risco foi menor, podendo atingir 70% dos organismos da base de dados com toxicidade crônica.

Quanto aos efeitos tóxicos apresentados nos testes de toxicidade com *Ceriodaphnia dubia*, no período de cinco anos (1997-2001) três efeitos tóxicos crônicos foram observados e, durante o ano de 2000 apenas um efeito tóxico crônico foi registrado para este ponto de amostragem.

O segundo gráfico da figura 6b apresenta as porcentagens de gêneros afetados no ponto GUAR00900, localizado no Reservatório do Guarapiranga. Neste ponto, nas avaliações A, B e C o cobre apresentou risco elevado, tendo possibilidade de afetar até 90% dos organismos aquáticos do reservatório.

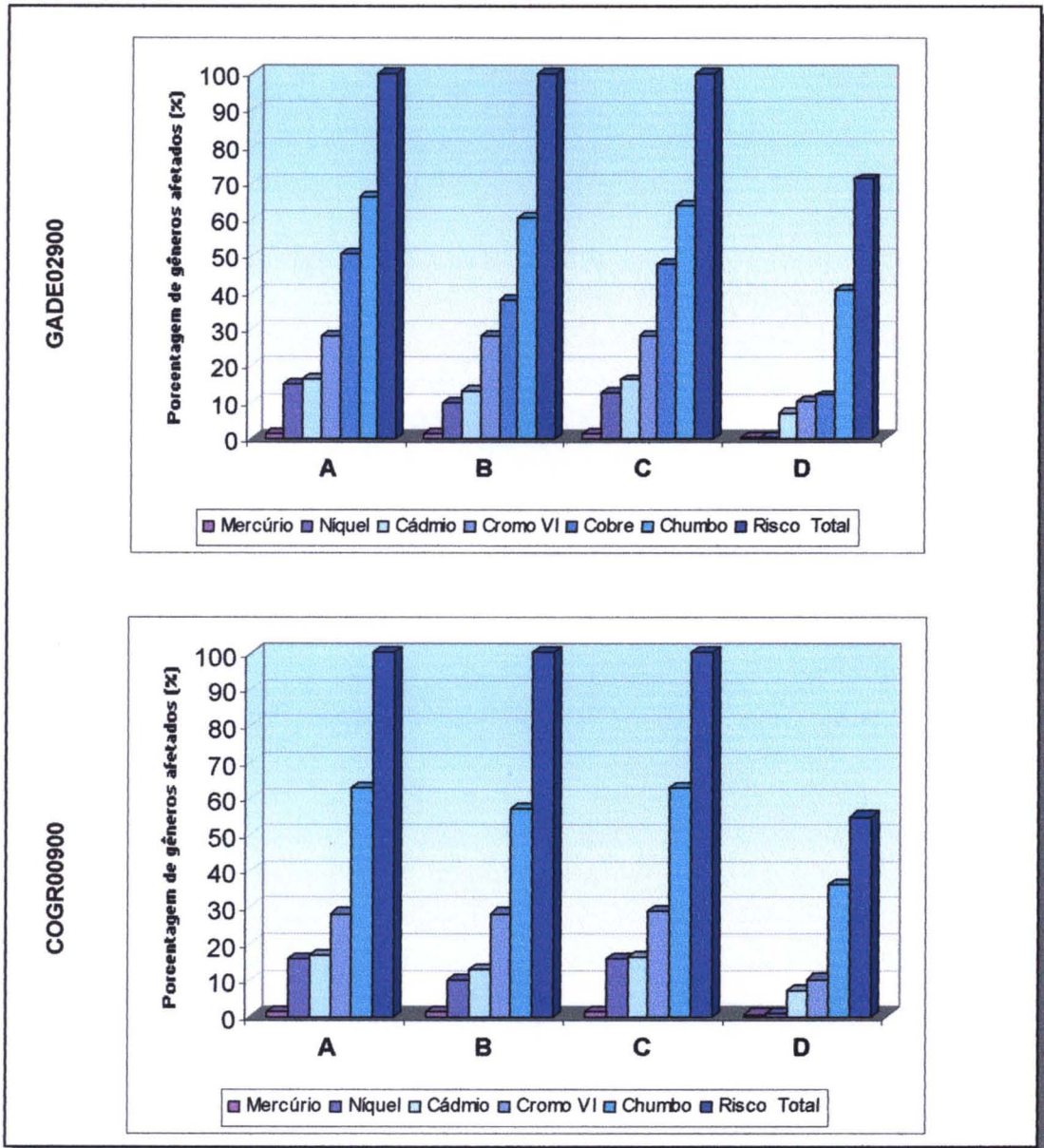
O chumbo também apresentou risco alto nas três primeiras avaliações, com até 62% dos gêneros expostos à toxicidade crônica.

O cromo VI, cádmio, níquel e mercúrio apresentaram riscos menores em relação aos demais metais, com 50% de probabilidade de afetar negativamente até 28%, 18%, 12% e 2% dos gêneros, respectivamente.

A avaliação D teve o chumbo como metal com maior risco, seguido do cobre.

Os riscos totais foram altos nas três primeiras avaliações, com chances de afetar 100% dos gêneros, e foi um pouco menor na avaliação D, com 88% dos gêneros afetados negativamente.

Neste ponto de amostragem, observaram-se três efeitos tóxicos crônicos e quatro efeitos tóxicos agudos durante os anos de 1997 a 2001 e, nenhum efeito tóxico durante o ano de 2000.



**Figura 6c** – Porcentagem de gêneros que têm 50% de probabilidade de serem afetados por toxicidade crônica nos pontos GADE02900 e COGR00900, em cada uma das avaliações de risco (A, B, C e D).

O último gráfico da figura 6b traz os resultados para o ponto de amostragem RGDE02200, localizado no Reservatório do Rio Grande, em Ribeirão Pires na Grande São Paulo.

Observa-se que o chumbo apresentou os maiores riscos à biota nas quatro avaliações as quais foi submetido, com chances de afetar até 65% dos gêneros com toxicidade crônica. Em seguida observa-se o cobre como o

segundo maior risco, com probabilidade de afetar negativamente até 51% dos gêneros estudados. Na seqüência estão o cromo VI, o cádmio, o níquel e o mercúrio com 50% de probabilidades de afetarem com efeitos crônicos até 28%, 16%, 12% e 1% dos gêneros respectivamente.

Quanto ao risco total, foi alto nas três primeiras avaliações (A, B e C) chegando a afetar 100% dos organismos aquáticos. Na última avaliação (D) o risco total foi um pouco menor, podendo afetar 71% dos gêneros existentes na base de dados.

Quatro efeitos tóxicos crônicos e um efeito agudo foram registrados neste ponto entre os anos de 1997 à 2001, nos testes de toxicidade com *Ceriodaphnia dubia*. Por outro lado nenhum efeito tóxico foi observado durante o ano de 2000.

Na figura 6c encontram-se os resultados para o Rio Grande ou Jurubatuba (GADE02900), localizado no município de Rio Grande da Serra, região do Grande ABC – São Paulo.

Neste ponto de amostragem o chumbo exibiu o maior risco, com chance de afetar até 66% dos gêneros. O cobre apresentou o segundo maior risco, podendo afetar até 50% dos organismos. Na seqüência observa-se os metais cromo VI, cádmio, níquel e mercúrio com 50% de probabilidade de afetar até 28%, 16%, 14% e 1% dos organismos com toxicidade crônica, respectivamente.

O risco total foi alto nas avaliações A, B e C, com probabilidade de que 100% dos gêneros sejam afetados por toxicidade crônica.

Conforme observado nos demais pontos de amostragem, na avaliação D os riscos isolados para cada metal bem como o risco total foi menor em relação às demais avaliações, sendo que o risco total poderá afetar até 71% dos gêneros presentes no programa WERF.

Quanto aos efeitos tóxicos, durante o período de 1997-2001 observou-se a ocorrência de dois efeitos tóxicos crônicos e um agudo enquanto que para o período de 2000 nenhum efeito tóxico foi registrado.

O segundo gráfico da figura 6c apresenta os resultados obtidos para o Reservatório das Graças, em Cotia, representado pelo ponto COGR00900.

Neste reservatório o chumbo foi o agente mais agressor para a biota aquática tendo 50% de probabilidade de atingir até 62% dos gêneros, o cromo VI apresenta risco para até 28% dos gêneros e os metais cádmio, níquel e mercúrio apresentaram riscos para até 16%, 15% e 1% dos organismos, respectivamente.

Os riscos totais chegaram à 100% de organismos atingidos por efeitos tóxicos crônicos nas avaliações A, B e C e 55% de gêneros lesados na avaliação D, que engloba todos os gêneros da base de dados.

Neste ponto do Reservatório das Graças os efeitos tóxicos foram bastante freqüentes sendo que entre 1997 e 2001 foram registrados 15 efeitos crônicos e em 2000 dois efeitos tóxicos crônicos à *C. dubia*.

A seguir (Figura 7) estão os gráficos com os resultados obtidos nos pontos estudados da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos 7 – Baixada Santista.

O primeiro gráfico representa o Rio Mogi no município de Cubatão (MOGI02800). Nota-se que o cobre o chumbo apresentou os maiores riscos aos organismos aquáticos nas três primeiras avaliações, com possibilidade de expor a toxicidade crônica até 85% e 63% dos gêneros respectivamente.

Na avaliação D o chumbo mostrou o maior risco com 36% dos gêneros afetados, seguido do cobre com probabilidade de atingir 20% dos organismos com toxicidade crônica.

O cádmio, cromo VI, níquel e mercúrio apresentaram riscos a até 47%, 22%, 20% e 2% dos gêneros respectivamente.

Os riscos totais para as três primeiras avaliações foi de 100% de gêneros sob risco de toxicidade crônica, enquanto que na avaliação D o risco total ficou em 82% dos gêneros correndo risco de sofrer com efeitos tóxicos crônicos.

Neste ponto foram observados três resultados crônicos e quatro agudos para *Ceriodaphnia dubia* durante os anos de 1997-2001 e nenhum efeito crônico durante o ano de 2000.

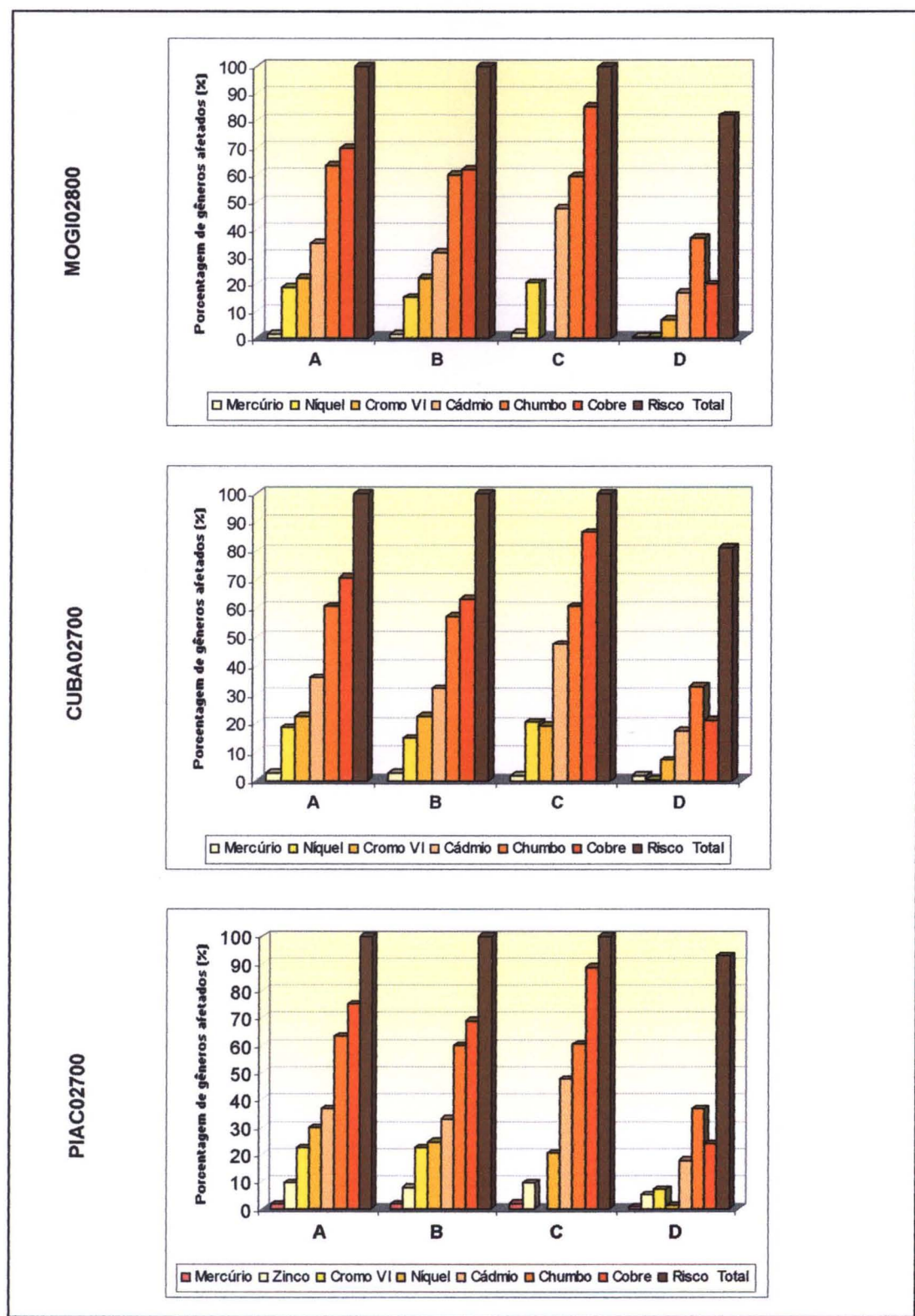


Figura 7 – Porcentagem de gêneros que têm 50% de probabilidade de serem afetados por toxicidade crônica nos pontos MOGI02800; CUBA02700 e PIAC02700, em cada uma das avaliações de risco (A, B, C e D).

O segundo gráfico da figura 7 traz os resultados referentes ao ponto CUBA02700, no Rio Cubatão.

O cobre e chumbo foram os metais com maiores riscos nas três primeiras avaliações (A, B e C), com 50% de probabilidade de afetar com toxicidade crônica até 86% e 61% dos gêneros respectivamente. Inversamente, na avaliação D o chumbo foi o metal que apresentou maior risco seguido do cobre.

Os metais cádmio, cromo VI, níquel e mercúrio apresentaram riscos de atingir no máximo, 47%, 22%, 20% e 3% dos organismos respectivamente.

O risco total foi novamente alto nas avaliações A, B e C com risco de afetar até 100% dos organismos. Na avaliação D o risco total foi de 81% dos gêneros acometidos por efeitos tóxicos crônicos.

Para este ponto de amostragem foi observada a ocorrência de 11 efeitos tóxicos crônicos para o período de cinco anos (1997-2001) e um efeito tóxico crônico para *C. dubia* no ano de 2000.

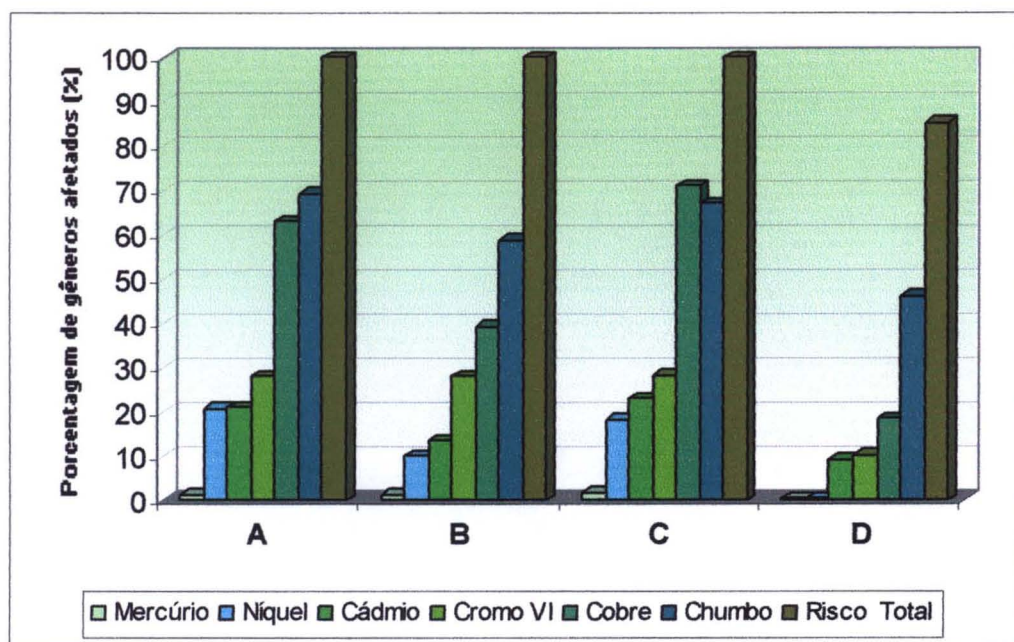
O Rio Piaçaguera é representado pelo ponto PIAC02700 (Figura 7) e localiza-se próximo à Vila Parisi, em Santos.

Neste ponto de amostragem o cobre apresentou risco elevado, podendo afetar até 88% dos gêneros com toxicidade crônica. O chumbo exibiu o segundo maior risco, com possibilidade de afetar negativamente até 62% dos gêneros estudados.

Os demais metais estudados neste ponto obtiveram riscos menores em relação ao cobre e chumbo, sendo que o cádmio, níquel, cromo VI, zinco e mercúrio apresentaram chances de afetar respectivamente 47%, 29%, 22%, 9% e 2% dos gêneros incluídos no estudo.

O risco total obtido em cada uma das avaliações efetuadas foi alto, sendo que 100% dos gêneros poderão ser atingidos por efeitos crônicos nas avaliações A, B e C e 92% dos gêneros na avaliação D.

Em relação aos efeitos tóxicos à *Ceriodaphnia dubia*, no período de 1997-2001 sete efeitos tóxicos crônicos e oito efeitos tóxicos agudos foram registrados para este ponto, enquanto que durante o ano de 2000, somente um efeito agudo foi observado.



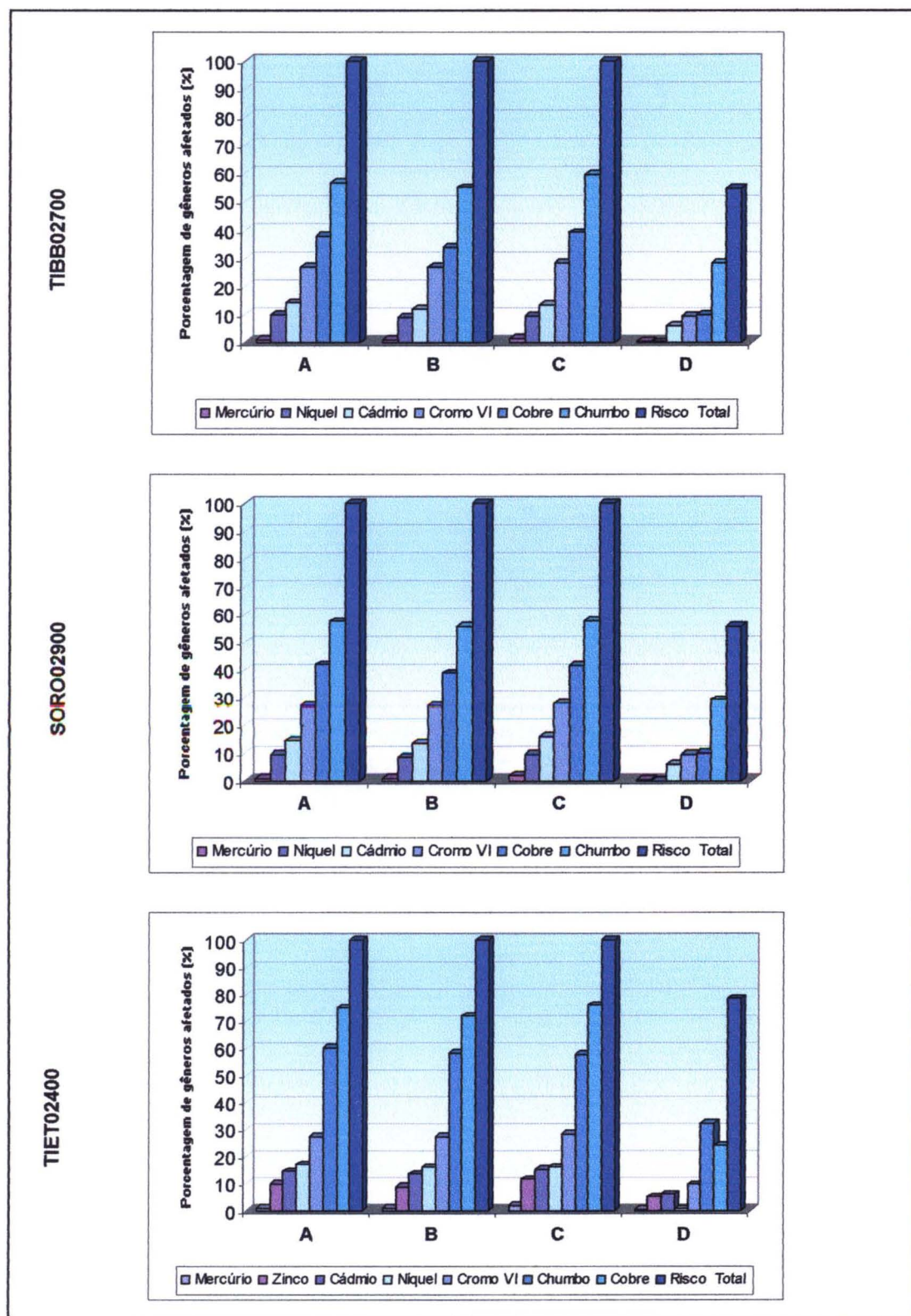
**Figura 8** – Porcentagem de gêneros que têm 50% de probabilidade de serem afetados por toxicidade crônica no ponto MOGU02900, em cada uma das avaliações de risco (A, B, C e D).

A figura 8 traz os resultados das quatro avaliações feitas no ponto do Rio Mogi-Guaçú, município de Pitangueiras. Este ponto é o único representante da UGRHI 9 – Mogi-Guaçú.

O chumbo foi o metal com maior risco em três das avaliações (A, B e D) com até 69% dos gêneros afetados. Já o cobre exibiu risco alto na avaliação C, com possibilidade de afetar 71% dos gêneros. O cromo VI apresentou risco à até 28% dos organismos e, o cádmio, níquel e mercúrio apresentaram os seguintes riscos: até 22%, 20% e 2% dos gêneros atingidos, respectivamente por toxicidade crônica.

Nas três primeiras avaliações o risco total se apresentou alto, com 50% de probabilidade de que 100% dos gêneros sejam acometidos por efeitos tóxicos. A última avaliação exibiu risco à 85% dos gêneros da base de dados do programa.

Entre os anos de 1997 e 2001 houve a ocorrência de três efeitos crônicos e um agudo neste ponto de amostragem e, durante o ano de 2000 nenhum efeito foi notado.



**Figura 9** – Porcentagem de gêneros que têm 50% de probabilidade de serem afetados por toxicidade crônica nos pontos TIBB02700; SORO02900 e TIET02400 em cada uma das avaliações de risco (A, B, C e D).



Na figura 9 estão os resultados encontrados para os pontos de amostragem da UGRHI 10 – Sorocaba/Médio Tietê.

O primeiro gráfico representa o Reservatório de Barra Bonita (TIBB02700) no município de São Manuel. Neste ponto o chumbo apresentou os maiores riscos em todas as avaliações efetuadas, sendo que o risco pode chegar a afetar até 59% dos organismos aquáticos. O cobre apresentou um risco máximo de 39% dos gêneros afetados por toxicidade crônica e o cromo VI, até 28% de gêneros atingidos por efeitos tóxicos crônicos. Os metais cádmio, níquel e mercúrio exibiram níveis de risco menores, podendo apresentar efeitos à 12%, 9% e 1% dos gêneros, respectivamente.

O risco total foi de 100% de gêneros afetados nas três primeiras avaliações (A, B e C) e de 55% de gêneros afetados por toxicidade crônica na última avaliação (D).

Foram observados oito efeitos tóxicos crônicos durante o período de 1997-2001 e nenhum efeito tóxico durante o ano de 2000, neste ponto de amostragem.

O segundo gráfico da figura 9 trata do Rio Sorocaba (SORO02900), entre os municípios de Laranjal e Rios. Neste ponto de amostragem o chumbo apresentou o maior risco com até 58% dos organismos ameaçados por efeitos crônicos. O cobre e o cromo VI vieram em seguida com até 41% e 28% dos gêneros afetados, respectivamente. O cádmio, níquel e mercúrio apresentaram os seguintes valores de risco: até 15%, 9% e 2% dos gêneros sob ameaça de toxicidade crônica pelos metais citados.

O risco total apresentado nas avaliações A, B e C foi de 100% dos organismos provavelmente expostos a toxicidade crônica pelos metais estudados, e o valor para o risco total apresentado pela avaliação D foi de 55% dos organismos expostos a efeitos tóxicos crônicos.

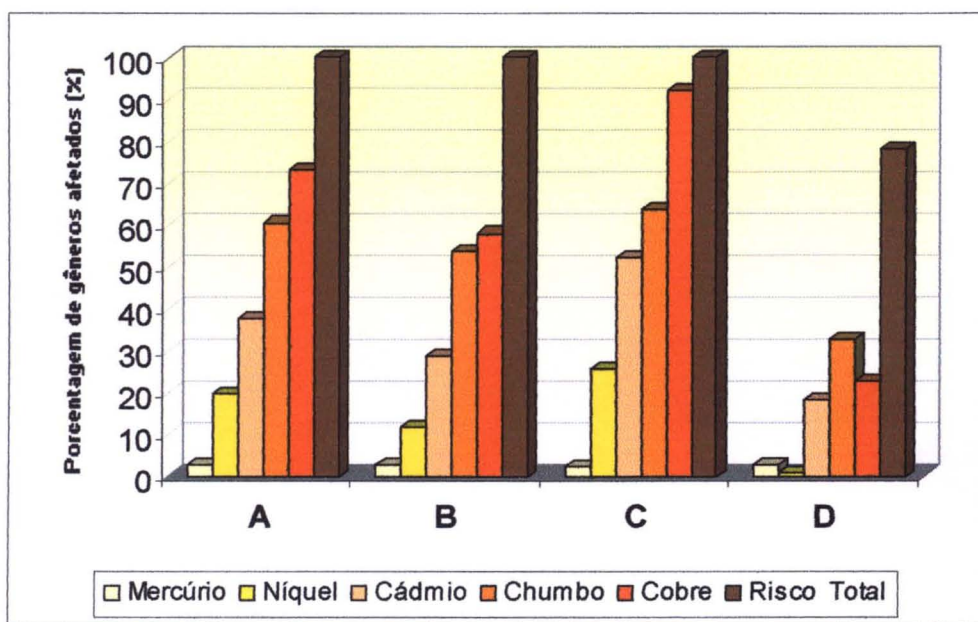
De um modo inesperado, apesar dos altos valores de risco apresentados, nenhum efeito tóxico foi observado neste ponto de amostragem nos dois períodos estudados.

O último gráfico da figura 9, mostra os resultados para o ponto do Rio Tietê (TIET02400), no município de Tietê.

Neste trecho do Rio Tietê, o cobre apresentou os índices de risco mais altos, com chance de atingir com toxicidade crônica até 75% dos gêneros. O chumbo obteve o segundo maior risco com até 60% dos gêneros ameaçados. Os metais cromo VI e níquel aparecem em seguida com risco de afetar até 28% e 15% dos organismos aquáticos com efeitos crônicos e, finalmente, os metais cádmio, zinco e mercúrio apresentaram os seguintes riscos: até 13%, 11% e 2% de organismos com probabilidade de serem afetados com toxicidade crônica por estes metais.

O risco total exibido pelas avaliações A, B e C foi alto, com 50% de probabilidade de que 100% dos organismos sofram com algum efeito crônico, enquanto que na avaliação D o risco total foi de 78% dos gêneros sob risco de toxicidade crônica.

Neste ponto de amostragem, foram observados, durante o período de 1997-2001 a ocorrência de oito efeitos tóxicos crônicos e, durante o ano de 2000, dois efeitos tóxicos crônicos à *Ceriodaphnia dubia*.



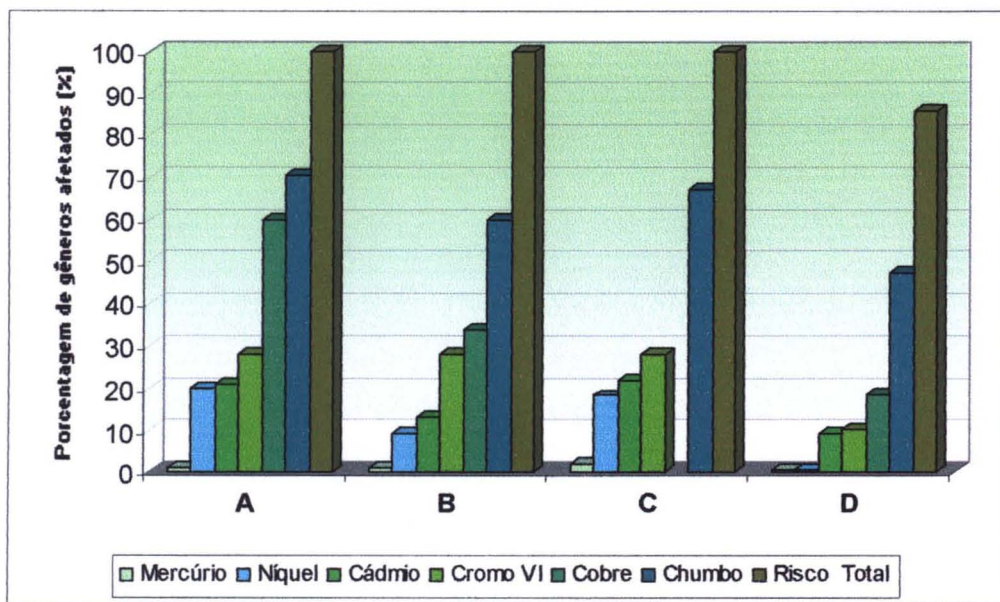
**Figura 10** – Porcentagem de gêneros que têm 50% de probabilidade de serem afetados por toxicidade crônica no ponto RIIG02500, em cada uma das avaliações de risco (A, B, C e D).

Este ponto da UGRHI 11 - Ribeira de Iguape/Litoral Sul localiza-se no Rio Ribeira de Iguape no município de Registro e os resultados para os metais analisados encontram-se na figura 10.

O cobre apresentou um risco extremamente alto na avaliação C, podendo afetar até 91% dos organismos. O chumbo também mostrou risco alto, com possibilidade de afetar até 62% dos organismos. O maior risco para cádmio foi de afetar até 51% da biota aquática com toxicidade crônica. Os metais níquel e mercúrio exibiram riscos de afetar até 25% e 3% dos gêneros, respectivamente.

O risco total foi bastante alto nas avaliações A, B e C com 100% dos gêneros acometidos por toxicidade crônica. Na avaliação D o risco total também foi alto, podendo atingir 78% dos organismos aquáticos com efeitos tóxicos crônicos.

Neste ponto do litoral sul de São Paulo foram observados dois efeitos tóxicos crônicos para *Ceriodaphnia dubia* durante o período de 1997-2001 e nenhum outro efeito durante o ano de 2000.



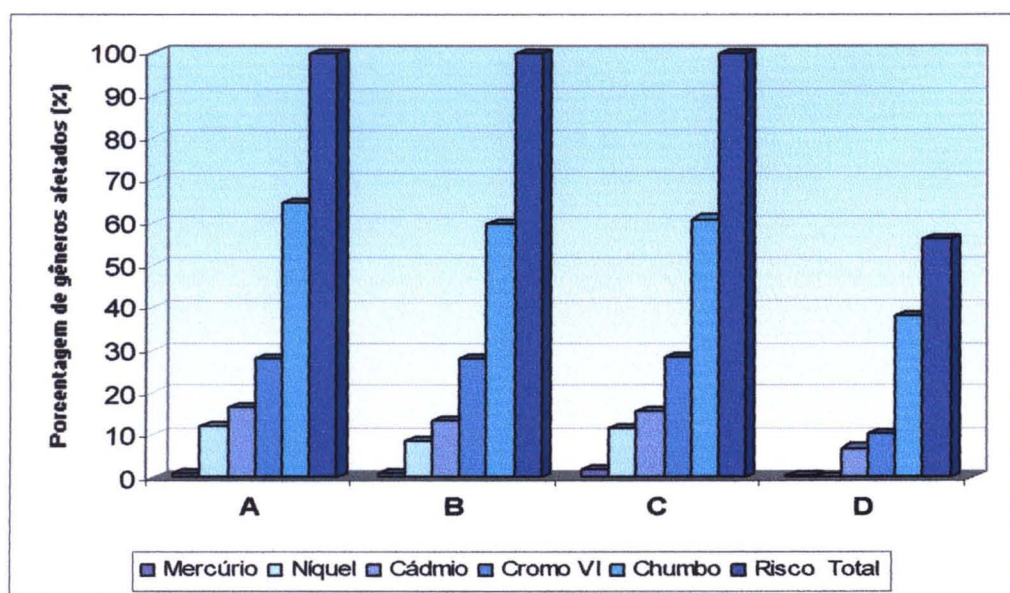
**Figura 11** – Porcentagem de gêneros que têm 50% de probabilidade de serem afetados por toxicidade crônica no ponto PARD02800, em cada uma das avaliações de risco (A, B, C e D).

O Rio Pardo (PARD02800), localizado no município de Guaira e representante da UGRHI 12 – Baixo Pardo/Grande tem seus resultados apresentados na figura 11.

Neste ponto os metais chumbo e cobre exibiram os maiores riscos com 50% de probabilidade de atingir até 70% e 59% dos gêneros com toxicidade crônica. O cromo VI exibiu risco de toxicidade para até 28% dos organismos; o cádmio e o níquel apresentaram riscos à 21% e 19% dos gêneros, respectivamente e o mercúrio tem risco de afetar até 2% dos organismos.

Quanto ao risco total apresentado neste ponto, foi alto nas três primeiras avaliações, com chances de afetar 100% dos organismos com toxicidade crônica. A última avaliação exibiu risco total à 85% dos gêneros presentes na base de dados do programa de avaliação de riscos.

Neste ponto de amostragem foi observado um efeito tóxico crônico à *Ceriodaphnia dubia* durante os anos de 1997 à 2001 e nenhum efeito em 2000.



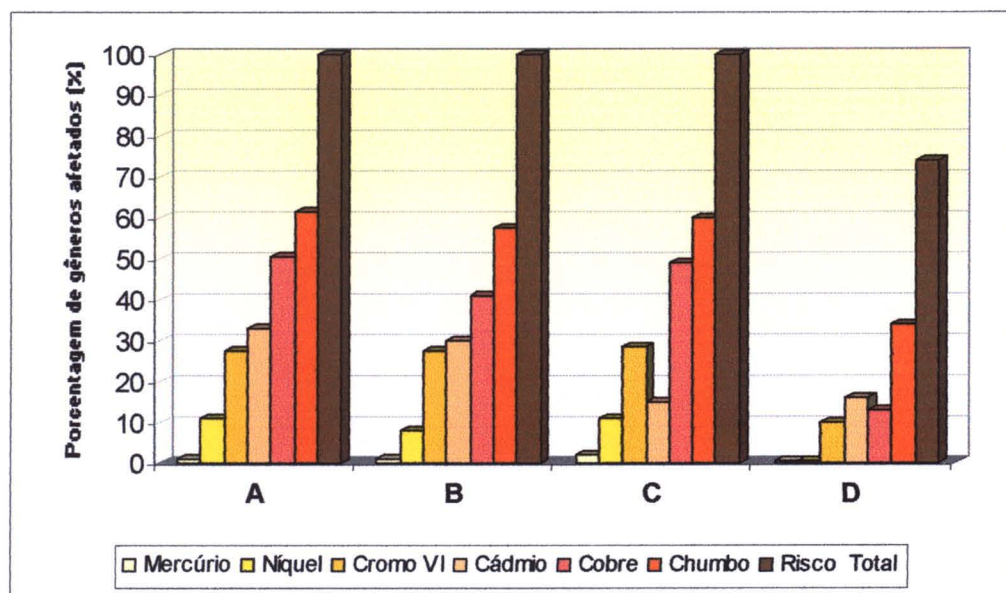
**Figura 12** – Porcentagem de gêneros que têm 50% de probabilidade de serem afetados por toxicidade crônica no ponto RPRE02200, em cada uma das avaliações de risco (A, B, C e D).

A figura 12 apresenta os resultados de cada uma das quatro avaliações feitas no Reservatório do Rio Preto (RPRE02200) localizado no município de São José do Rio Preto, e pertencente à UGRHI 15 – Turvo/Grande.

Através do gráfico nota-se que o chumbo foi claramente o metal que mais risco apresentou nas quatro avaliações efetuadas. Para este agente há um risco de que até 64% dos gêneros sejam afetados por algum efeito tóxico crônico. O cromo VI apresentou um risco significativamente menor em relação ao chumbo, ficando em segundo lugar com até 28% de gêneros afetados. O cádmio, o níquel e o mercúrio apresentaram níveis de riscos menores: até 16%, 11% e 2% de gêneros com chances de sofrerem com efeitos tóxicos crônicos.

Riscos totais mostraram-se altos nas avaliações A, B e C com 100% de gêneros sob risco de efeitos crônicos e, foi um pouco menor na avaliação D, com até 56% dos gêneros afetados.

Três efeitos tóxicos crônicos à *Ceriodaphnia dubia* foram observados neste ponto durante os anos de 1997-2001 e durante o ano de 2000, um efeito tóxico crônico foi observado.

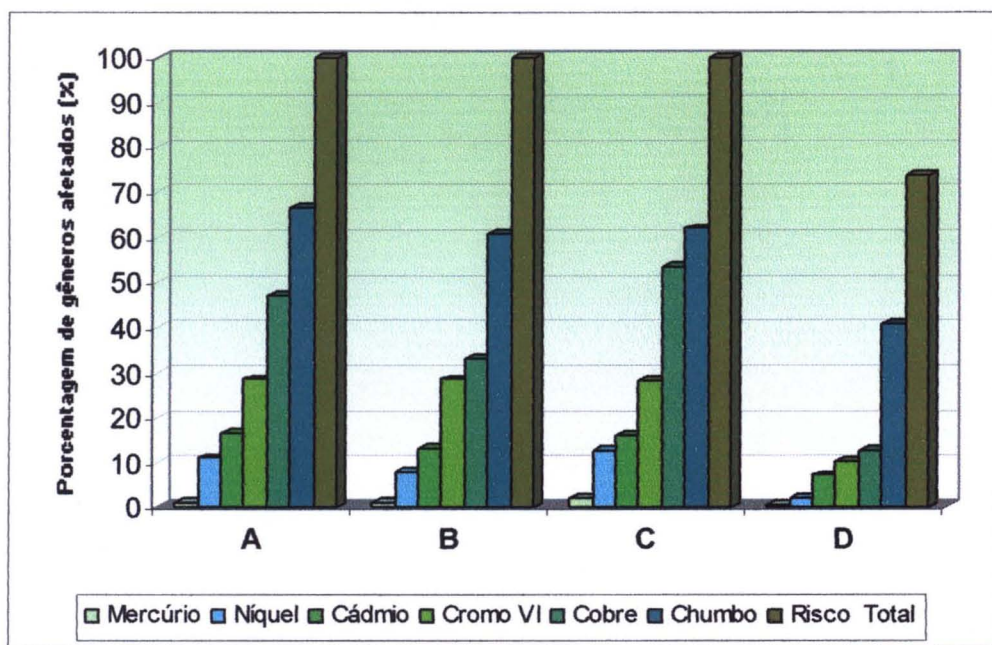


**Figura 13** – Porcentagem de gêneros que têm 50% de probabilidade de serem afetados por toxicidade crônica no ponto TIET02600, em cada uma das avaliações de risco (A, B, C e D).

O ponto representado pela figura 13 localiza-se no Rio Tietê, no município de Ibitinga e pertence à UGRHI 16 – Tietê / Batalha.

Observa-se na figura 13, que o chumbo foi o metal que mais risco apresentou em todas as avaliações com 50% de probabilidade de afetar até 61% dos gêneros com efeitos tóxicos; o cobre com risco de afetar até 50% dos gêneros foi o metal com segundo maior risco. Os metais cádmio e cromo VI apresentaram os seguintes riscos: 50% de probabilidade de afetarem, respectivamente, até 32% e 28% dos gêneros. Em seguida, os metais níquel e mercúrio, com chance de atingir até 11% e 2% dos gêneros, foram os dois metais com menores riscos.

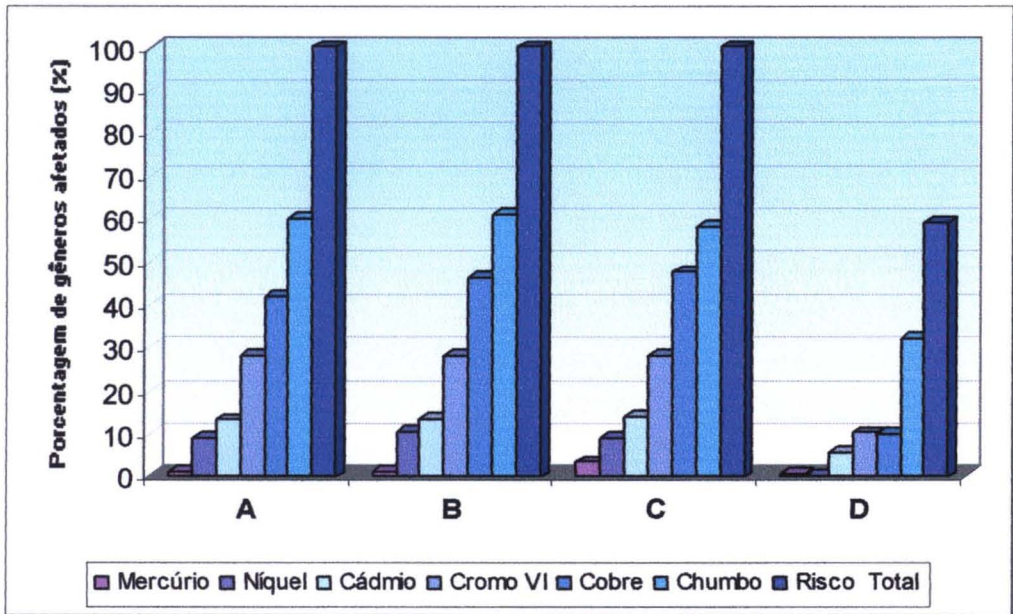
O risco total, nas três primeiras avaliações (A, B e C) foi alto, tendo 50% de probabilidade de afetar com toxicidade crônica 100% dos organismos estudados. Na avaliação D o risco total foi menor em relação às demais avaliações, porém ainda alto, podendo ocasionar efeitos crônicos à 74% dos gêneros. Com relação aos efeitos tóxicos para este ponto, durante o período de 1997-2001 foram observados nove efeitos crônicos à *C. dubia*, e durante o ano de 2000, um efeito crônico para o microcrustáceo.



**Figura 14** – Porcentagem de gêneros que têm 50% de probabilidade de serem afetados por toxicidade crônica no ponto TITR02100, em cada uma das avaliações de risco (A, B, C e D).

A figura 14 apresenta os resultados para cada avaliação de risco efetuada no ponto do Reservatório de Três Irmãos, localizado entre Araçatuba e Jales, oeste do Estado de São Paulo.

Neste ponto da UGRHI 19 – Baixo Tietê, nota-se que os metais chumbo, cobre e cromo VI apresentaram os maiores riscos, tendo 50% de probabilidade de afetar com toxicidade crônica até 66%, 52% e 28% dos gêneros, respectivamente. O cádmio, níquel e mercúrio exibiram riscos menores: 50% de chance de atingir 16%, 11% e 2% dos gêneros respectivamente. Os riscos totais para três primeiras formas de avaliação de risco foram altos, podendo afetar 100% dos gêneros estudados. O risco total da avaliação D ficou em 50% de chances de que 73% dos gêneros sejam atingidos por efeitos tóxicos em longo prazo. Quanto aos testes de toxicidade, observam-se para o período entre 1997-2001 (avaliações A, B e D) a ocorrência de três efeitos crônicos e um agudo para este ponto de amostragem. Entretanto, na avaliação C que abrange o período de um ano (2000), não foram observados efeitos tóxicos de nenhuma natureza.



**Figura 15** – Porcentagem de gêneros que têm 50% de probabilidade de serem afetados por toxicidade crônica no ponto PEIX02100, em cada uma das avaliações de risco (A, B, C e D).

---

Na figura 15 se observam as porcentagens de gêneros que podem ser atingidas por toxicidade crônica no Rio do Peixe, entre Marília e Assis, único ponto sorteado da UGRHI 21 – Peixe. Nota-se que o chumbo, cobre e cromo VI foram os metais que mais riscos apresentaram aos organismos aquáticos, podendo atingir até 60%, 47% e 27% dos gêneros respectivamente. Em seguida vêm os metais cádmio, níquel e mercúrio, podendo afetar até 13%; 10% e 3% dos gêneros, respectivamente.

O risco total para as avaliações A, B e C foi extremamente alto, podendo afetar 100% dos organismos com efeitos de toxicidade crônica. Na avaliação D, conforme foi observado nos demais pontos de amostragem, os riscos de toxicidade para cada metal se apresentaram significativamente menores em relação às demais formas de avaliação, e conseqüentemente o risco total também foi menor, sendo que 59% dos gêneros presentes na base de dados do programa WERF poderão ser afetados por efeitos tóxicos.

Quando se compara os resultados dos testes de toxicidade com *Ceriodaphnia dubia* realizados para este ponto, nota-se que os valores de risco determinados nas avaliações A, B e D concordam com a resposta fornecida pelo microcrustáceo, pois ocorreram três efeitos tóxicos crônicos durante o período de cinco anos. Já para a distribuição de risco representada pela letra C, onde somente o ano de 2000 foi estudado, há uma discordância em relação aos testes de toxicidade, pois não houve a presença de efeito tóxico à *C. dubia* para o período, apesar do gráfico mostrar um risco total de 100% de gêneros afetados.



#### 4.4 Nível de risco apresentado por metal em cada UGRHI

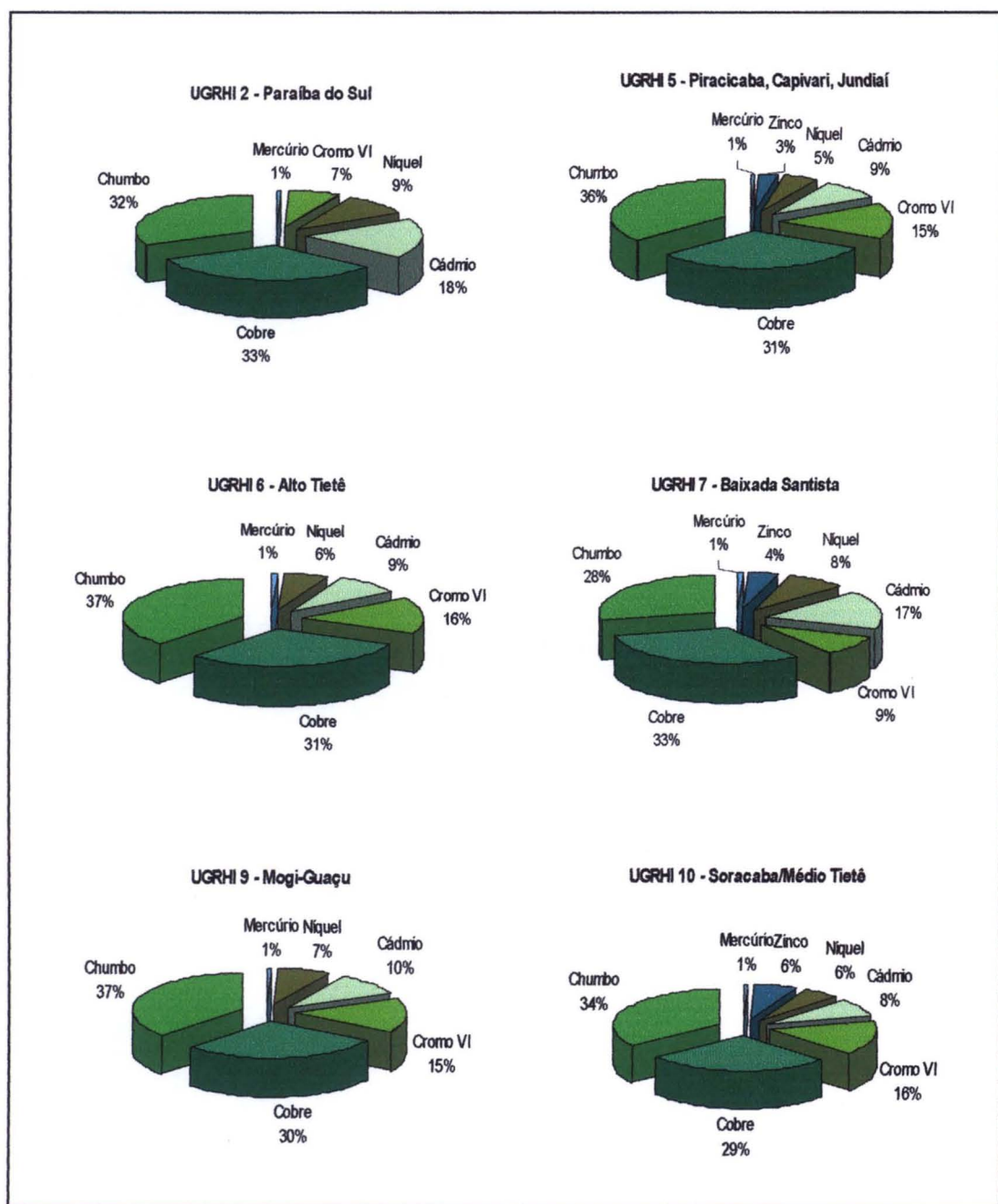
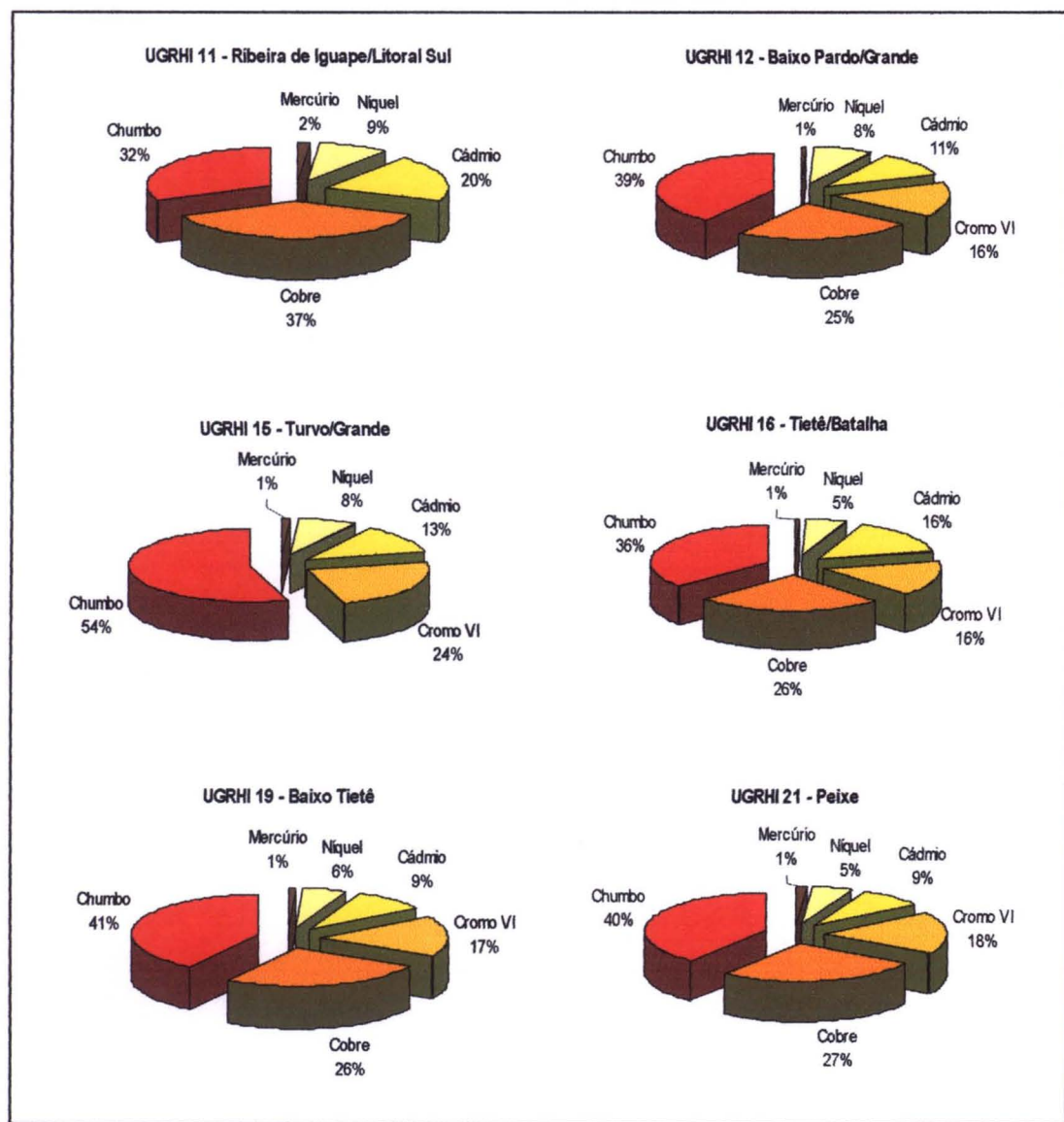


Figura 16a – Porcentagem de risco apresentada por metal estudado, em cada UGRHI.



**Figura 16b** – Porcentagem de risco apresentada por metal estudado, em cada UGRHI.

As figuras 16a e 16b trazem os níveis de risco apresentados por cada metal, em cada UGRHI estudada, para os organismos aquáticos.

Observa-se que o chumbo foi o metal que, segundo o programa WERF, maior risco apresentou à biota em 9 das 12 UGRHIs estudadas no presente trabalho, sendo representado por um risco médio total de 37%.

O cobre foi o metal que mostrou maior risco na UGRHI 2 – Paraíba do Sul, UGRHI 7 – Baixada Santista e também na UGRHI 11 – Ribeira de

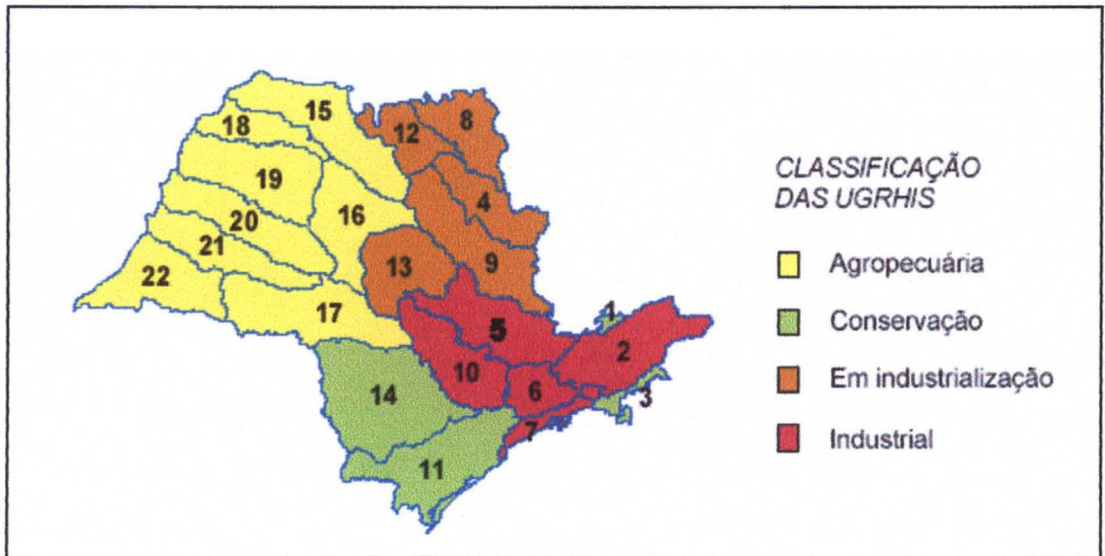
Iguape/Litoral Sul, coincidentemente duas regiões litorâneas. No restante do Estado de São Paulo, de um modo geral, o cobre foi o segundo metal mais perigoso aos organismos aquáticos, com risco médio de 29,8%.

O terceiro metal mais preocupante quanto aos riscos apresentados foi o cromo VI que foi avaliado em 10 UGRHIs e apresentou um risco médio de 16,2%.

O cádmio, como quarto metal mais tóxico do Estado, apresentou um risco médio de 12,4% e, o níquel surge em quinto lugar, com nível de risco em 6,8%.

Os metais que exibiram menores riscos, definidos pelo programa de avaliação de risco foram o zinco, responsável por 4,3% do risco e o mercúrio com 1,1%.

Abaixo está o mapa do Estado com a classificação das 22 UGRHIs conforme designado pelo Anexo III da Lei Estadual nº 9034 – Plano Estadual de Recursos Hídricos (CETESB, 2003), que será utilizado durante a discussão dos resultados encontrados.



**Figura 17** – Classificação das UGRHIs do Estado de São Paulo, segundo as principais atividades desenvolvidas. (Fonte: CETESB, 2003)

## 5 DISCUSSÃO

### 5.1 Validação da sensibilidade dos organismos utilizados no programa computadorizado de Avaliação de Risco Ecológico

Os valores de coeficientes de determinação ( $r^2$ ) encontrados para as espécies de microcrustáceos e peixes comparados (Figuras 2 e 3, respectivamente), demonstraram haver uma correlação bastante significativa entre a sensibilidade destes organismos.

Com efeito, outros estudos obtiveram resultados semelhantes. LILIUS et. al. (1995) realizaram um estudo comparando a toxicidade apresentada por 30 substâncias químicas de referência em *Daphnia magna* e *Daphnia pulex* e concluíram não haver diferenças estatisticamente significativas entre a sensibilidade das duas espécies. WHEELER et. al. (2002) desenvolveram um trabalho onde as sensibilidades de diversos organismos de água doce à 21 agentes químicos diferentes (amônia, metais, pesticidas e compostos narcóticos) foi comparada com as sensibilidades de organismos de água salgada, a fim de testar a possibilidade de extrapolação de dados de espécies de água doce para aquelas de água salgada, para fins de avaliação de risco. Os resultados obtidos neste estudo indicaram haver um alto grau de correlação entre as sensibilidades dos dois grupos de organismos para amônia e metais pesados, tornando segura a extrapolação de dados de toxicidade de organismos de água doce para os de água marinha, para estes agentes químicos.

Ainda, de acordo com PARKHURST (comunicação pessoal)<sup>2</sup>, embora nem todos os gêneros presentes na base de dados do programa existam nos rios brasileiros, estes contêm uma grande variedade de espécies e é altamente provável que hajam espécies em nossos rios com as mesmas sensibilidades daquelas encontradas na base de dados.

<sup>2</sup> (PARKHURST, B. 2003 – Comunicação Pessoal – E-mail)

---

Portanto, com base nos estudos citados e na ótima correlação apresentada na validação efetuada, o uso do programa WERF em corpos hídricos locais mostra-se confiável.

## *5.2 Avaliação de risco ecológico e comparação com resultados de testes ecotoxicológicos*

Após a realização da avaliação de risco nos pontos descritos, verifica-se que, segundo as respostas apresentadas pelo programa WERF, há grande probabilidade de que a biota presente nos recursos hídricos estudados esteja correndo risco de sofrer com efeitos tóxicos crônicos, devido às concentrações de metais encontradas.

Esta constatação é clara, principalmente quando se observa o risco total nas avaliações em que foram utilizados apenas os organismos considerados como nativos/introduzidos (34 gêneros), ou seja, nas avaliações A, B e C (descrição em Materiais e Métodos, item 3.5).

Nestas três avaliações, o risco total, para todos os pontos de amostragem estudados, foi de que 100% dos gêneros poderão ser acometidos por efeitos de natureza crônica.

Já nas avaliações identificadas com a letra D, onde foram utilizados todos os gêneros existentes na base de dados do programa WERF, o risco total e os riscos para cada metal foram menores em relação às demais formas de avaliação, em todos os pontos estudados. Esta resposta era esperada, pois com o aumento significativo no número de gêneros (34 para 116), com uma gama maior de sensibilidades aos metais, o grau de risco apresentado pelo programa tenderia a se reduzir. Porém os níveis de risco total exibidos nesta avaliação, ainda são preocupantes, pois o menor índice apresentado foi de 52% de gêneros sob risco de efeitos crônicos, um valor relativamente alto quando se fala em vida aquática.

De um modo geral, entre as doze UGRHIs avaliadas, foi possível identificar dois metais como potencialmente perigosos à biota: o chumbo e o

cobre, com riscos médios em torno de 37% e 30%, respectivamente (Fig. 16a e 16b).

O cromo VI e o cádmio foram metais que não apresentaram riscos extremamente altos em todas as formas de avaliações, entretanto o risco exibido por eles não é desprezível, sendo passível de preocupação e monitoramento.

Os metais níquel, zinco e mercúrio apresentaram os menores níveis de risco dentre os metais estudados. Porém, mesmo com riscos considerados desprezíveis é necessário cautela, pois aumentos eventuais nas concentrações ambientais podem ocorrer, ocasionando episódios de contaminação extrema prejudicando a saúde dos ecossistemas aquáticos.

Com relação aos resultados dos testes de toxicidade com *Ceriodaphnia dubia*, as Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos pertencentes a região considerada como industrial (Fig. 17, pág. 44 e Tabela 4, pág. 74) apresentaram uma maior freqüência de efeitos tóxicos, com exceção da UGRHI 5, durante o período de 1997-2001.

Na UGRHI 6 – Alto Tietê, ocorreram um total de 57 efeitos crônicos e 16 efeitos agudos distribuídos entre os oito pontos de amostragem avaliados. Este fato era esperado, pois esta UGRHI encontra-se em uma região altamente industrializada, incluindo a região metropolitana de São Paulo que abriga o pólo industrial mais importante da América Latina (região do ABC), sendo intensamente impactada por diversos tipos de despejos industriais.

A UGRHI 7 – Baixada Santista, também altamente industrializada, apresentou altos índices de toxicidade para o mesmo período, com 21 efeitos tóxicos crônicos e 12 agudos distribuídos entre 3 pontos de amostragem apenas.

A UGRHI 10 – Sorocaba / Médio Tietê, com três pontos avaliados exibiu 16 efeitos tóxicos crônicos, sendo que em um dos pontos não houve a ocorrência de efeito.

Ainda dentro da região industrial do Estado, a UGRHI 2 – Paraíba do Sul que se encontra em intenso processo de desenvolvimento e abriga

---

diversos tipos de indústrias (papel e celulose, automobilísticas, químicas, refinarias de petróleo e petroquímicas) teve o Rio Paraíba do Sul avaliado em três pontos, e exibiu nove efeitos crônicos e 1 agudo durante o período, como consequência dos impactos sofridos por este corpo hídrico.

Conforme já mencionado, a UGRHI 5 – Piracicaba, Capivari e Jundiá foi a unidade de gerenciamento dentro da região industrial do Estado que menos efeitos tóxicos exibiu durante o período de cinco anos, foram quatro efeitos crônicos ocorridos em três dos seis pontos avaliados para esta UGRHI.

O grande número de efeitos tóxicos observados na região industrial do Estado, além de ser um claro reflexo das condições ambientais dos rios em questão, pode ser também devido a existência de uma quantidade maior de pontos de amostragem, o que intensifica o monitoramento de uma das áreas mais poluídas do Estado e por consequência detecta com mais facilidade efeitos tóxicos aos organismos.

As UGRHIs localizadas em regiões classificadas como em industrialização, agropecuária e conservação apresentaram uma menor frequência de efeitos tóxicos a *C. dubia*, em média  $\leq 3$  efeitos crônicos em cinco anos, em cada UGRHI, com exceção da UGRHI 16 – Tietê / Batalha, que exibiu 9 efeitos crônicos no ponto avaliado do Rio Tietê, para o período de cinco anos.

De um modo geral, dos 30 pontos avaliados, 26 (87% do total) exibiram algum tipo de efeito tóxico, crônico ou agudo no período de 1997-2001, demonstrando que há realmente a existência de um risco ambiental à biota aquática.

Para a avaliação de risco que utilizou somente as concentrações dos metais analisados durante o ano de 2000 já não foi observada a mesma concordância entre os níveis de risco apresentados pelo programa WERF e os resultados dos testes de toxicidade realizados no mesmo período, pois as porcentagens de risco apresentadas por cada metal e também o risco total, quando comparadas com o período maior, não se reduziram e, foram

observados efeitos tóxicos (crônicos ou agudos) em apenas 50% dos pontos avaliados (Tabela 6, pág 77).

Para o período de cinco anos houve, entretanto, quatro pontos onde não se observou toxicidade ao organismo aquático e nos quais o risco ecológico apresentado pelo programa WERF foi alto, não justificando a ausência de efeito. Dentro desta questão têm-se algumas hipóteses para justificar o fato:

- a) Para estes pontos onde não se observou efeito tóxico num período relativamente longo (cinco anos), o cladóceros usado (*Ceriodaphnia dubia*) poderia estar com a sensibilidade fora da faixa aceitável. Outra hipótese é que o organismo não foi representativo do meio a ponto de detectar a toxicidade existente, uma vez que esta espécie é uma, dentre as 34 (Avaliação C) e dentre as 116 (Avaliação D) utilizadas;
- b) O número de testes de toxicidade executados para o período foi insuficiente para captar algum efeito tóxico que, porventura ocorresse;
- c) As concentrações dos metais avaliados podem estar em uma forma complexada e não biodisponível, ou seja, não tóxica;
- d) O programa pode estar superestimando os riscos ambientais.

A primeira hipótese pode até ser verdadeira, mas seria difícil explicar porque este fato não ocorreu nos demais pontos avaliados, uma vez que o organismo usado foi o mesmo em todos os pontos e, principalmente, a sensibilidade do organismo é rigidamente controlada pelo laboratório executor do ensaio<sup>3</sup>.

A primeira hipótese, porém somente poderia ser comprovada com algumas mudanças como diversificação dos tipos testes de toxicidade utilizados (algas, peixes, organismos bentônicos) a fim de detectar a presença de toxicidade em diferentes níveis tróficos. Já a segunda hipótese necessitaria de um aumento do número de testes realizados por ano.

---

<sup>3</sup> Controle da sensibilidade é feito por meio da elaboração de cartas-controle, com resultados de testes de toxicidade realizados com a substância de referência Cloreto de Sódio (NaCl).



---

Mudanças como estas, entretanto, encontrariam diversos obstáculos a começar pelo investimento financeiro necessário e ampliação de instalações (laboratórios) e recursos humanos, sendo, portanto, inviáveis, pelo menos em curto prazo.

A respeito da última hipótese, deve-se ter em mente que o programa WERF considera algumas questões que poderão estar influenciando nos níveis de risco exibidos, gerando inclusive, uma superestimativa dos riscos ambientais. São elas:

- Risco aditivo – para misturas de agentes químicos, todos os riscos individuais são assumidos como aditivos pelo programa, mesmo quando outras interações (sinergismo, antagonismo) estejam ocorrendo;
- Exposição constante – é assumida a hipótese de que os organismos estejam constantemente expostos às concentrações analisadas dos agentes químicos. Eventos como migração de espécies e diluição por chuva são desconsiderados;
- Exposição máxima – em adição ao item acima, os limites superiores da exposição constante são avaliados, tanto na avaliação de efeitos crônicos quanto agudos;
- Biodisponibilidade química - os agentes químicos têm biodisponibilidade química dependente de vários fatores como forma química, pH da água, dureza, concentração de nutrientes, dentre outras. Neste caso, as concentrações encontradas são consideradas como prontamente biodisponíveis aos organismos;
- A utilização de valores médios dos limites de detecção como concentrações médias, nos casos em que o método analítico químico não permitiu a determinação da concentração exata do metal em questão.

---

Outro fator que pode estar superestimando os riscos é a escolha dos efeitos crônicos, que utilizam concentrações baixas, menores do que aquelas onde se observaria efeitos deletérios severos nos organismos aquáticos. Esta questão é claramente percebida quando se insere o valor do ACR (acute to chronic ratio) específico para cada metal para a conversão do valor agudo em crônico, pois os valores de sensibilidade dos gêneros presentes na base de dados são reduzidos após a introdução dos ACRs, e se reduzem ainda mais após o ajuste da dureza. Baseando-se nestes valores finais de sensibilidade, o programa WERF calcula uma concentração que servirá como critério de qualidade para o metal em questão e esta concentração pode estar, muitas vezes, abaixo da concentração ambiental média do metal, gerando níveis de risco altos.

Estes fatores constituem as fontes de incerteza, dentro da qual o programa trabalha. Infelizmente o programa WERF não nos permite quantificar essas incertezas, mas, sem dúvida nenhuma elas devem ser levadas em consideração ao se analisar os resultados.

Principalmente em relação ao chumbo esta superestimativa torna-se ainda mais clara, pois diversos estudos realizados pela CETESB atestam não existir, atualmente, um risco ecológico alto associado a este metal.

Para os pontos da Represa Billings, BILL02500 e BILL02900, por exemplo, estudos da CETESB e SABESP (1999a) atribuem a causa da toxicidade ao microcrustáceo à presença de toxinas de algas cianofíceas na água. Nos pontos da Represa Guarapiranga (GUAR00900) e do Reservatório do Rio Grande (RGDE02200), identificou-se como causa dos efeitos tóxicos aos organismos aquáticos o metal cobre, comumente lançado para tratamento em casos de floração de algas (CETESB e SABESP, 1999b). No ponto TIBB02700, no Reservatório de Barra Bonita, que também exibiu um risco alto para o metal chumbo, a origem da toxicidade foi identificada como sendo devido ao cádmio e à toxinas de algas cianofíceas. Nos estudos citados foram analisadas as concentrações de chumbo na musculatura de peixes, o que não foi detectado em teores significativos, atestando que este metal não vem sendo bioacumulado pela biota.

---

As superestimativas de risco também podem estar ocorrendo para o cobre, pois segundo BERTOLETTI, 2003 (comunicação pessoal) no ponto PIAC02700 do Rio Piaçaguera ocorre um evento inusitado: como a *C. dubia* é um organismo de água doce, e este ponto de amostragem sofre influência da cunha salina, constatou-se que a toxicidade neste ponto deve-se à salinidade encontrada nas amostras de água.

Apesar da evidência de superestimativa dos riscos, constatada em quatro pontos de amostragem avaliados (1997-2001), a prova mais clara de que há realmente um risco ambiental aos organismos aquáticos está na ocorrência de efeitos tóxicos ao microcrustáceo *Ceriodaphnia dubia* na maior parte dos pontos (87%) estudados.

### 5.3 Ação tóxica dos metais estudados

A larga utilização de metais em diversos processos industriais tem resultado no descarte de grandes quantidades destes agentes no meio ambiente, principalmente nos recursos hídricos.

A principal preocupação em relação à presença de metais pesados em ambientes hídricos deve-se ao conhecimento sobre os efeitos deletérios que estes podem apresentar à biota aquática e também aos seres humanos. Alguns metais como o cádmio, chumbo e mercúrio, por exemplo, não possuem função biológica conhecida e são classificados como não essenciais (TIMMERMANS, 1993). Metais como estes, quando em altas concentrações ambientais, são prontamente acumulados nos tecidos dos organismos, podendo ser transferidos e biomagnificados através da cadeia trófica, desencadeando uma série de efeitos negativos sobre o crescimento, sobrevivência e reprodução de diversos organismos (DIX, 1981).

Entretanto, diversos estudos têm demonstrado que mesmo metais com função biológica definida, podem ocasionar efeitos tóxicos quando encontrados em altas concentrações ambientais. O zinco possui função biológica conhecida, tendo sido descrito como co-fator em muitas reações enzimáticas, entretanto, foram observados edemas e necrose em amostras

de tecidos do fígado de peixes (*Salmo sp*) após exposição prolongada à concentrações subletais (LELAND, 1985).

O cobre ocorre na hemocianina de moluscos e crustáceos, conforme citado por TIMMERMANS (1993) sendo também importante na síntese de clorofila (RIETZLER et. al, 2001). Este metal pode, contudo, ser extremamente nocivo aos peixes em doses elevadas (Ex: 0,5 mg/L), matando-os pela coagulação do muco das brânquias e conseqüente asfixia (CETESB, 2003).

Estudos realizados por MORAES et. al.(2002a; 2002b ) no rio Furnas, entre os Estados de São Paulo e Paraná, obteve evidências de contaminação por chumbo, zinco, prata e cádmio através da determinação da concentração residual destes metais em músculos de peixes e também no sedimento. As concentrações encontradas eram altas o suficiente para sugerir alterações reprodutivas, no crescimento, reprodução e/ou sobrevivência. Ainda no mesmo estudo, mudanças fisiológicas induzidas por chumbo (diminuição da atividade da enzima ALA-D) foram observadas em duas espécies de peixes.

MILANI (2000) avaliou as concentrações dos metais cobre, chumbo, cádmio e zinco na água, fitoplâncton, zooplâncton e peixes nos reservatórios de Taiapuê e Parque Ecológico do Tietê, em São Paulo. A autora constatou que, as concentrações dos metais não se encontravam altas na água, entretanto o mesmo não ocorreu com a fração fitoplanctônica, que concentrou os metais da água, e com a fração zooplanctônica e peixes que biomagnificaram os metais a partir da cadeia trófica.

DIRILGEN & DOĞAN (2002) realizaram um estudo com a planta aquática *Lemna minor* com o intuito de avaliar o potencial de acumulação de íons de cromo ( $Cr^{3+}$  e  $Cr^{6+}$ ) na presença de diferentes concentrações dos metais cobre e zinco. Neste estudo foi observada a inibição do crescimento das plantas bem como sintomas morfológicos (ex: amarelamento e desintegração das folhas e perda completa de clorofila) como efeitos tóxicos do cromo ( $Cr^{6+}$ ), especialmente nas concentrações mais altas. Além disso, notou-se interações sinérgicas entre os metais cromo, cobre e zinco, pois

aumentando-se as concentrações de  $\text{Cr}^{6+}$  no meio notou-se um conseqüente aumento nos níveis de acumulação dos íons Cu e Zn pela planta.

FLORES-TENA & MARTÍNEZ-TABCHE (2001) analisaram os efeitos tóxicos do cromo ao *Limndrilus hoffmeisteri* (tubificídeo) no Reservatório do Niagara – México, região que recebeu altas cargas de esgoto industrial, doméstico e resíduos da agricultura durante 23 anos. Constataram que as concentrações observadas reduziram significativamente o nível de hemoglobina no sangue dos organismos, podendo causar outros distúrbios sanguíneos.

No Canadá, PYLE et. al. (2002) fizeram um estudo que visou avaliar a toxicidade apresentada por águas contaminadas pelos metais Cd, Ni e Mo devido à atividades mineradoras de urânio. Como conseqüência desta contaminação, constatou-se, em ovos de *Pimephales promelas*, uma alta incidência de eclosão prematura, o que pode expor filhotes hipersensíveis aos contaminantes e também aos predadores.

Em Singapura NAYAR et. al. (no prelo) estudaram no fitoplâncton e em bactérias os impactos ambientais causados por metais pesados (Pb, Ni, Cd, Cu) em sedimentos ressuspêndidos por atividades de dragagem. Os testes com sedimentos contaminados revelaram que uma grande porção desses agentes que antes se encontravam complexados com matéria orgânica ou adsorvidos às partículas de sedimento estavam agora biologicamente disponíveis aos organismos, refletindo em baixas taxas de produção do fitoplâncton, redução da clorofila a, redução na contagem de bactérias autotróficas.

Observa-se que são vastos os estudos a respeito dos efeitos tóxicos aos organismos decorrentes da exposição a metais pesados no meio aquático. Vale lembrar que esta classe de contaminantes é apenas uma dentre inúmeras outras que poluem nossos rios diariamente, potencializando, portanto os efeitos tóxicos descritos.

Considerando os resultados encontrados na avaliação de risco efetuada e tendo conhecimento do potencial agressor dos metais estudados, é bastante provável que os níveis de risco exibidos sejam reais, apesar dos

já citados fatores de incerteza que podem estar superestimando os riscos ambientais.

#### 5.4 Parâmetros alterados durante as avaliações

O objetivo de se alterar alguns dos parâmetros utilizados pelo programa WERF foi de realizar além de uma avaliação de risco ecológico aquático, também uma validação a mais do programa, demonstrando a aplicabilidade e as limitações do mesmo em diversas situações distintas e determinando qual o conjunto de informações que, inseridas no programa, fornecem uma melhor previsão dos riscos nos rios em questão.

##### 5.4.1 Dureza

Sabe-se que a toxicidade de alguns dos metais estudados está intimamente relacionada com a dureza da água em que se encontra (ARAGÃO et. al., 2003) e, a dureza padrão do programa (50 mg/L em CaCO<sub>3</sub>), está muito próxima da faixa utilizada nos testes com *Ceriodaphnia dubia* (40 – 48 mg/L em CaCO<sub>3</sub>).

Portanto, a alteração deste parâmetro pode indicar se o mesmo tem influência nas respostas apresentadas pelo programa WERF.

Entre as avaliações identificadas pelas letras A e B, o único parâmetro alterado foi a dureza. Na avaliação letra A, utilizou-se a dureza média da água da UGRHI que estava sendo avaliada e na B utilizou-se a dureza padrão do programa computadorizado WERF (50 mg/L em CaCO<sub>3</sub>) para todos os metais analisados.

Nas UGRHIs que possuem a dureza inferior a 30 mg/L (UGRHI 2, 9 e 12) notou-se uma redução significativa nos níveis de risco dos metais cobre, chumbo, cádmio e níquel na avaliação B. Contudo, nas UGRHIs com dureza da água  $\geq 30$  mg/L esta redução ocorreu, porém não foi tão significativa a ponto de reduzir os níveis de risco.

Na UGRHI 21, cuja dureza média é de 53 mg/L, notou-se um aumento nos níveis de riscos da avaliação B.

De um modo geral, o metal cuja toxicidade foi mais influenciada pela dureza, foi o cobre, com grandes variações nos níveis de riscos entre as avaliações A e B.

Percebe-se, deste modo, que este parâmetro mostrou-se importante em avaliações de risco. A dureza do programa pareceu ser adequada para ser utilizada em avaliações de risco quando o valor da dureza local não distar muito da dureza padrão do programa, entretanto, sempre que possível, recomenda-se o uso de dureza específica da região para que sejam evitadas discrepâncias como a sub ou superestimativa dos riscos.

#### 5.4.2 Período estudado:

Quando se trabalha com concentrações médias, o período amostrado pode ter influência nos resultados exibidos. Para se verificar a veracidade disso, foram efetuadas avaliações utilizando as concentrações ambientais dos agentes químicos analisadas pela CETESB durante os anos de 1997 à 2001 e para o ano de 2000 sozinho.

Nas avaliações de risco identificadas pela letra C, as principais alterações notadas quando se reduz o período estudado foram o aumento do nível de risco apresentado por alguns metais em alguns pontos de amostragem e a redução do número de efeitos tóxicos a *Ceriodaphnia dubia* por ponto estudado. Trata-se de uma questão a ser levada em consideração quando se faz um estudo de avaliação de risco, pois eventuais aumentos nas concentrações dos metais analisadas pela CETESB podem ocorrer devido à inúmeros fatores, dentre eles, baixa na vazão dos rios estudados no período de estiagem e não propriamente um aumento nos despejos de efluentes.

Com relação aos efeitos tóxicos, quando se utilizaram dados ecotoxicológicos referentes ao período de cinco anos, 87% dos pontos estudados apresentaram algum tipo de efeito tóxico (crônico e/ou agudo),

em contraste com a avaliação feita somente para o ano de 2000, onde somente 50% dos pontos apresentaram algum efeito tóxico, sem redução nos índices de risco calculados pelo programa WERF. Isto era esperado, pois estudando-se um período menor, com número reduzido de amostragens não é possível se detectar uma grande frequência de eventos tóxicos.

Levando-se em consideração que os níveis de risco apresentados pelo programa, entre os dois períodos estudados, não se mostraram tão discrepantes, e tendo em vista que eventuais elevações nos níveis de risco de algum metal podem surgir e devem ser analisadas com parcimônia, a avaliação de risco utilizando informações de um ano parece aconselhável, principalmente se for possível obter uma frequência de amostragem para análises químicas e ecotoxicológicas plausível (sugestão, seis amostragens/ano).

#### *5.4.3 Gêneros de organismos:*

Com o intuito de avaliar se a quantidade de gêneros incluídos do processo de avaliação de risco influenciaria nos resultados apresentados, selecionou-se da base de dados os gêneros que fossem nativos/introduzidos dos rios brasileiros (34 gêneros) que foram usados nas avaliações A, B e C e, na avaliação D incluiu-se todos os gêneros existentes no programa (116 gêneros).

Os resultados obtidos para esta avaliação eram, de certo modo, esperados, pois quão maior for o número de organismos envolvidos na avaliação, maiores serão as possibilidades de haver entre eles organismos mais resistentes às concentrações dos metais avaliadas, o que gera níveis de riscos menores. Com efeito, em quase todas as avaliações efetuadas observou-se uma redução expressiva nos riscos exibidos por cada metal bem como o risco total.

Se nos basearmos nos resultados encontrados na validação do programa WERF e no conceito defendido por PARKHURST (comunicação



peçoal) de que devido à enorme biodiversidade, há grande possibilidade que existam organismos com sensibilidades semelhantes às dos gêneros da base de dados, então os níveis de risco sugeridos parecem bastante plausíveis.

Levando em consideração que as demais formas de avaliação que utilizaram apenas 34 gêneros parecem ter seus riscos superestimados, o emprego da base de dados inteira pode ser uma forma de se avaliar de maneira mais realista os riscos ambientais, reduzindo as incertezas inerentes.

### *5.5 Considerações:*

Os resultados encontrados na avaliação de risco do presente trabalho, quando analisados em conjunto com os dados de testes de toxicidade realizados no mesmo período e com as mesmas amostras ambientais, reforçam a idéia de que o risco de toxicidade crônica de fato existe nos corpos d'água estudados, devendo ser objeto de constante monitoramento e gerenciamento por parte das autoridades competentes.

Também se mostra extremamente importante a aplicação de ensaios ecotoxicológicos com organismos aquáticos, se possível em vários níveis tróficos, pois eles fornecem respostas concretas a respeito da condição ecológico-sanitária dos recursos hídricos. Representam subsídios para a detecção da presença ou não de toxicidade crônica e aguda e, através de algumas metodologias mais sofisticadas (TIE – Toxicity Identification Evaluation Methods, USEPA, 1991) consegue inclusive, identificar a qual grupo pertence o agente químico que está ocasionando os efeitos tóxicos em questão.

As exposições crônicas são uma ameaça realística aos organismos e, sem dúvida, seus efeitos prejudicam os diversos gêneros expostos, podendo mudar ou retardar ciclos de vida ou alterar as interações entre predador e presa, afetando negativamente a homeostase no meio aquático, com reflexos à Saúde Pública.

---

## 6 CONCLUSÕES

- A partir da validação do programa WERF, através da comparação das sensibilidades entre as espécies nativas/introduzidas e estrangeiras, foi possível observar que não existem diferenças estatisticamente significativas entre a sensibilidade das mesmas, o que viabiliza o uso do programa em rios locais;
- Os metais cujas médias mais excederam os padrões de qualidade estabelecidos em legislação foram (em ordem decrescente): mercúrio, cádmio, chumbo, cromo VI, cobre, níquel e zinco para o período de cinco anos e, mercúrio, cádmio, cromo VI, chumbo, cobre, zinco e níquel para o ano de 2000;
- Dos contaminantes acima citados, os que apresentaram maiores riscos de afetar a biota aquática com toxicidade crônica, apesar das evidências de superestimativas de risco foram, principalmente o chumbo, o cobre e o cromo VI. Os metais cádmio e níquel apresentaram riscos menores, porém não desprezíveis, e os metais zinco e mercúrio foram os que menores riscos apresentaram em todas as UGRHs avaliadas;
- De um modo geral, as estimativas de risco ecológico geradas pelo programa WERF mostraram-se coerentes com os resultados dos testes ecotoxicológicos com *Ceriodaphnia dubia* para o período de cinco anos (1997-2001), com 87% dos pontos exibindo algum tipo de efeito tóxico (crônico ou agudo);
- Das quatro formas de avaliação de risco empregadas, a que se mostrou mais adequada foi a que utilizou todos os gêneros da base de dados, por não superestimar tanto os riscos ambientais. Mostrou-se adequada também a utilização de um período de amostragem de um ano e, quando possível, a utilização da dureza da água do corpo hídrico estudado,

ou pelo menos a dureza da região para que os resultados sejam mais confiáveis;

- Deve-se ter cuidado ao se utilizar limites de detecção como concentrações efetivas, pois se observou uma tendência a superestimar os riscos ambientais ao se utilizar valores como estes;
- Uma vantagem do programa WERF deve-se à sua utilização como ferramenta na avaliação da qualidade das águas para constatar a existência ou não do potencial de redução da biodiversidade aquática devido à contaminação por agentes químicos tóxicos;
- Existe uma clara necessidade de otimização do gerenciamento e fiscalização dos efluentes industriais despejados (devido aos metais pesados presentes em tais despejos) nos corpos hídricos avaliados, pois, apesar de se tratar de uma avaliação pontual, ela abrangeu um período relativamente longo (cinco anos) mostrando que, freqüentemente, os padrões de qualidade estabelecidos em legislação para diversos agentes químicos potencialmente tóxicos não são respeitados, expondo a biota à riscos de toxicidade crônica.

---

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAGÃO, M. A.; BURATINI, S. V.; BERTOLETTI, E. Total hardness of São Paulo State (Brazil) surface waters. **Acta Limnol. Bras.** 15 (1): 15-18. 2003.
- BARLOW, M. & CLARKE, T. **Ouro Azul – Como as grandes corporações estão se apoderando da água doce do nosso planeta.** Makron Books: São Paulo. 2003. 331 p.
- BERTOLETTI, E. **Estimativas de efeitos tóxicos crônicos com Danio rerio (Pisces, Cyprinidae).** São Paulo; 2000. [Tese de Doutorado – Faculdade de Saúde Pública da USP].
- BERTOLETTI, E.; GHERARDI-GOLDSTEIN, E.; NIPPER, M. G. Toxicidade de efluentes industriais na Grande São Paulo. **Revista DAE** 1989. 49 (155): 63-70.
- BEZERRA, M. C. L. & MUNHOZ, T. M. T. (coord.). **Gestão dos Recursos Naturais: subsídios à elaboração da Agenda 21 brasileira.** Brasília: Ministério do Meio Ambiente; Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis; Consórcio TC/BR/FUNATURA, 2000.
- BRANCO, S. M. **Água – Origem, uso e preservação.** Editora Moderna: São Paulo. 2002 (16ª. Impressão). 71 p.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Projeto Promoção da Saúde.** Brasília: Ministério da Saúde, 2001.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 20 de 18.6.1986. **Diário Oficial da União, Brasília, 30 de julho de 1986. p.11.356.**

CARDWELL, R. D.; PARKHURST, B. R.; WARREN-HICKS, W.; VOLOSIN, J. S. Aquatic ecological risk. **Wat. Environ. Techn.** 1993; abril: 47-51.

CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental). **Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo.** São Paulo: CETESB; 2003.

CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental). **Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo.** São Paulo: CETESB; 2002.

CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental). **Qualidade dos rios e reservatórios.** São Paulo, Brasil. Disponível em <URL: <http://www.cetesb.sp.gov.br/>> [2001a julho 19].

CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental). **Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo.** São Paulo: CETESB; 2001b.

CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental). **Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo.** São Paulo: CETESB; 2000.

CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental). **Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB; 1999.

CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental). **Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB; 1998.

CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental). **Programa Bioensaios – Relatório Final Anual. Vol. II**. São Paulo: CETESB, 1979.

CETESB & SABESP. **Monitoramento integrado bacias do Alto e Médio Tietê. Avaliação da qualidade da água, sedimento e peixes**. Contrato 20/97. Relatório Final. Outubro/1999a. Volume 1, 312 p.

CETESB & SABESP. **Monitoramento integrado bacias do Alto e Médio Tietê. Avaliação da qualidade da água, sedimento e peixes**. Contrato 20/97. Relatório Final. Dezembro/1999b. Volume 3, 135 p.

COOK, R. B.; SUTER II, G. W.; SAIN, E. R. Ecological risk assessment in a large river-reservoir: 1. Introduction and background. **Environ. Toxicol. Chem.** 1999; 18 (4): 581-588.

DIRILGEN, N. & DOĞAN, F. Speciation of chromium in the presence of copper and zinc and their combined toxicity. **Ecotoxicology and Environmental Safety**. 2002 (53): 397-403.

DIX, H. M. Pollutants and their effects. In: DIX, H. M. (autor). **Environmental Pollution – Atmosphere, Land, Water and Noise**. John Wiley & Sons, 1981. p. 168-180.

FLORES-TENA, F. J. & MARTINEZ-TABCHE, L. The effect of chromium on the hemoglobin concentration of *Limnodrilus hoffmeisteri* (Oligochaeta: Tubificidae). **Ecotoxicology and Environmental Safety**. 2001 (50): 196-202.

GHERARDI-GOLDSTEIN, E.; BERTOLETTI, E.; ZAGATTO, P. A.; ARAÚJO, R. P. A.; RAMOS, M. L. L. C. **Procedimentos para utilização de testes de toxicidade no controle de efluentes líquidos**. São Paulo: CETESB, 1990.

JONES, D. S.; BARNTHOUSE, L. W.; SUTER II, G. W.; EFROYMSON, R. A.; FIELD, J. M.; BEAUCHAMP, J. J. Ecological risk assessment in a large river-reservoir: 3. Benthic invertebrates. **Environ. Toxicol. Chem.** 1999; 18 (4): 599-609.

JOOSTE, S. & THIRION, C. An ecological risk assessment for a South African acid mine drainage. **Wat. Sci. Tech.** 1999; vol 39 (10-11): 297-303.

LELAND, H.V. & KUWABARA, J.S. Trace Metals. In: RAND, G. M. & PETROCELLI, S. R., (editors). **Fundamentals of aquatic toxicology**. Washington: McGraw Hill, 1985. p. 374-415.

LILIUS, H.; HÄSTBACKA, T.; ISOMAA, B. A comparison of the toxicity of 30 reference chemicals to *Daphnia magna* and *Daphnia pulex*. **Environ. Toxicol. Chem.** 1995; 14 (12): 2085-2088.

MAKI, A. W. & BISHOP, W. E. Chemical safety evaluation. In: RAND, G. M. & PETROCELLI, S. R., (editors). **Fundamentals of aquatic toxicology**. Washington: McGraw Hill, 1985. p. 619-635.

MILANI, G. M. **Estudo da contaminação pelos metais Cu, Pb, Cd e Zn na rede trófica dos reservatórios de Taiapuê e do Parque Ecológico do Tietê, SP**. São Paulo; 2000. [Dissertação de Mestrado – Faculdade de Saúde Pública da USP].

MORAES, R.; GERHALD, P.; ANDERSSON, L.; SHIMADA, H.; STURVE, J.; RAUCH, S.; MOLANDER, S. **Assessing ecological risks of abandoned lead mines to aquatic fauna. A case study in an Atlantic rain forest reserve, Brazil**. Department of Environmental Systems Analysis. Chalmers University of Technology, Sweden: 2002a. 34 p.

MORAES, R. **A procedure for Ecological Tiered Assessment of Risks (PETAR)**. Göteborg; 2002b. [Doctoral thesis – Chalmers University of Technology, Sweden].

NAYAR, S.; GOH, B. P. L.; CHOU, L. M. Environmental impact of heavy metals from dredged and resuspended sediments on phytoplankton and bacteria assessed in in situ mesocosms. **Ecotoxicology and Environmental Safety**. (no prelo).



---

PARKHURST, B.; WARREN-HICKS, W.; CARDWELL, R.; VOLOSIN, J.; ETCHISON, T.; BUTCHER, J.; CORRINGTON, S.; Risk managing methods – Aquatic ecological risk assessment aids decision making. **Water Environ. Technol.** 1995; 7: 39-43.

PHILLIPS, D. J. H. & RAINBOW, P. S. **Biomonitoring of trace aquatic contaminants.** 2<sup>th</sup> ed. Oxford:Chapman & Hall; 1994. Aquatic contaminants of concern. p. 51-64.

POLICANSKY, D. Application of ecological knowledge to environmental problems: Ecological risk assessment. In: COTHERN, C. R., editor. **Comparative environmental risk assessment.** Boca Raton: Lewis, 1993. p. 37-51.

PYLE, G. G.; SWANSON, S. M.; LEHMKUHL, D. M. Toxicity of uranium mine receiving waters to early life stage fathead minnows (*Pimephales promelas*) in the laboratory. **Environmental Pollution.** 2002 (116): 243-255.

ROCHA, A. A. **Fatos históricos do saneamento.** São Paulo: Scortecci, 1997. 120 p.

RIETZLER, A. C; FONSECA, A. L.; LOPES, G. P. Heavy metals in tributaries of Pampulha reservoir, Minas Gerais. **Braz. J. Biol.,** 2001. 61 (3): 363-370 p.

SÃO PAULO (Estado). Decreto de lei n. 997, de 31 de maio de 1976. Dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente. **Legislação Básica – Poluição Ambiental Estadual e Federal, São Paulo, 1982.**

---

SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry). 1997. **Ecological Risk Assessment Technical Issue Paper**. Pensacola, FL, USA. Available from <URL: <http://www.setac.org/>>. [2001 may 16]

SUTER II, G. W. **Ecological risk assessment**. Boca Raton: Lewis, 1993.

SUTER II, G. W. Introduction to ecological risk assessment for aquatic toxic effects. In: RAND, G. M., (editor). **Fundamentals of aquatic toxicology**. 2º ed. Washington: Taylor & Francis, 1995. p. 803-816.

SUTER II, G. W.; BARNTHOUSE, L. W.; EFROYMSON, R. A.; JAGER, H. Ecological risk assessment in a large river-reservoir: 2. Fish community. **Environ. Toxicol. Chem.** 1999; 18 (4): 589-598.

TIMMERMANS, K. R. Chapter 8 – Accumulation and effects of trace metals in freshwaters invertebrates. In: RAINBOW, P. S. & DALLINGER, R. (editors). **Ecotoxicology of metals in invertebrates**. Lewis Publishers. 1993. 133-148 p.

TUNDISI, J. G. **Água no século XXI – Enfrentando a escassez**. Editora Rima: São Carlos. 2003. 248 p.

USEPA (U.S. Environmental Protection Agency). **Guidelines for ecological risk assessment**. EPA/630/R-95/002F. Washington, DC. 1998.

USEPA (U.S. Environmental Protection Agency). **Methods for aquatic toxicity identification evaluations – Phase I Toxicity Characterization Procedures**. EPA/600/6-91/003. Duluth, MN. 1991.

USEPA (U.S. Environmental Protection Agency). **Ambient water quality criteria for Zinc**. EPA 440/5-87-003. Washington, 1987.

USEPA (U.S. Environmental Protection Agency). **Ambient water quality criteria for Nickel**. EPA 440/5-86-004. Washington, 1986.

USEPA (U.S. Environmental Protection Agency). **Ambient water quality criteria for Mercury**. EPA 440/5-84-026. Washington, 1984a.

USEPA (U.S. Environmental Protection Agency). **Ambient water quality criteria for Cadmium**. EPA 440/5-84-032. Washington, 1984b.

USEPA (U.S. Environmental Protection Agency). **Ambient water quality criteria for Chromium**. EPA 440/5-84-029. Washington, 1984c.

USEPA (U.S. Environmental Protection Agency). **Ambient water quality criteria for Lead**. EPA 440/5-80-057. Washington, 1980a.

USEPA (U.S. Environmental Protection Agency). **Ambient water quality criteria for Copper**. EPA 440/5-80-036. Washington, 1980b.

WERF (Water Environment Research Foundation). **Aquatic ecological risk assessment: A multi-tiered approach**. Alexandria: WERF, 1996a.

WERF (Water Environment Research Foundation). **Aquatic ecological risk assessment software and user's manual Version 1.1**. Durham: WERF, 1996b.

WHEELER, J. R.; LEUNG, K. M.Y.; MORRIT, D.; SOROKIN, N.; ROGERS, H.; TOY, R.; HOLT, M.; WHITEHOUSE, P.; CRANE, M. Freshwater to saltwater toxicity extrapolation using species sensitivity distributions. **Environ. Toxicol. Chem.** 2002; (21): 11.p 2459-2467.

# ***TABELAS***

**Tabela 1** – Resultados dos testes de toxicidade aguda com peixes e microcrustáceos usados na validação do programa computadorizado.

Organismo-teste Solução-teste (mg/L)	CL <sub>50</sub> – 96 horas <sup>(1)</sup>		CE(l) <sub>50</sub> – 24 horas <sup>(2)</sup>	
	<i>Danio rerio</i>	<i>Pimephales promelas</i>	<i>Daphnia magna</i>	<i>Daphnia similis</i>
K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> em Cr <sup>6+</sup>	31,0	23,9	0,382	0,66
CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O em Cu <sup>2+</sup>	0,113	0,2	0,049	0,056
ZnSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O em Zn <sup>2+</sup>	5,2	0,24	2,08	0,56
HgCl <sub>2</sub> em Hg <sup>2+</sup>	0,033	0,15	0,019	0,016
CdCl <sub>2</sub> . ½ H <sub>2</sub> O em Cd	0,345	0,15	-	-
NH <sub>4</sub> Cl em N amoniacal	-	-	70,70	65,46
C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH	-	-	80,0	68,0
Pb(CH <sub>3</sub> COO) <sub>2</sub> .3H <sub>2</sub> O em Pb <sup>2+</sup>	-	-	109,24	126,99
Efluente bruto de ind. de papel e celulose (mL/L)	-	-	560,0	620,0

Fonte: <sup>(1)</sup> BERTOLETTI, 2000; <sup>(2)</sup> CETESB, 1979.

**Tabela 2 – Descrição dos pontos de amostragem estudados (CETESB, 2002) e dureza média de cada UGRHI (Aragão et. al., 2003).**

UGRHI	Código do ponto	Corpo hídrico	Localização	Dureza (mg/L CaCO <sub>3</sub> )
2	PARB02100	Rio Paraíba do Sul	Santa Branca	12
	PARB02400	Rio Paraíba do Sul	Caçapava	
	PARB02900	Rio Paraíba do Sul	Queluz	
5	ATIB02065	Rio Atibaia	Campinas	30
	CPIV02900	Rio Capivari	Tietê	
	JAGR02800	Rio Jaguari	Americana	
	JUNA02020	Rio Jundiá	Campo Limpo Paulista	
	PCAB02100	Rio Piracicaba	Americana	
	PCAB02220	Rio Piracicaba	Piracicaba	
6	BILL02500	Reservatório Billings	Pte. Rodovia dos Imigrantes	30
	BILL02900	Reservatório Billings	São Bernardo do Campo	
	TGDE00900	Reservatório do Tanque Grande	Guarulhos	
	EMGU00800	Rio Embu-Guaçu	Estr. entre Embu-Guaçu e Fazenda da Ilha	
	GUAR00900	Reservatório do Guarapiranga	São Paulo	
	RGDE02200	Reservatório do Rio Grande	Ribeirão Pires	
	GADE02900	Rio Grande ou Jurubatuba	Rio Grande da Serra	
	COGR00900	Reservatório das Graças	Cotia	
7	MOGI02800	Rio Mogi	Cubatão	37
	CUBA02700	Rio Cubatão	Ponte Preta	
	PIAC02700	Rio Piaçaguera	COSIPA, Vila Parisi	
9	MOGU02900	Rio Mogi-Guaçu	Pitangueiras	19
10	TIBB02700	Reservatório de Barra Bonita	São Manuel	43
	SORO02900	Rio Sorocaba	Pte. entre Laranjal e Rios	
	TIET02400	Rio Tietê	Tietê	
11	RIIG02500	Rio Ribeira de Iguape	Registro	27
12	PARD02800	Rio Pardo	Guaíra	19
15	RPRE02200	Reservatório do Rio Preto	São José do Rio Preto	33
16	TIET02600	Rio Tietê	Ibitinga	36
19	TITR02100	Reservatório de Três Irmãos	Pte. entre Araçatuba e Jales	30
21	PEIX02100	Rio do Peixe	Pte entre Marília a Assis	53

**Tabela 3** – Lista dos gêneros existentes na base de dados do programa WERF. Em vermelho estão os gêneros identificados como sendo nativos/introduzidos.

<b>Gêneros</b>		
Acrocheilus	Gammarus	Porphyridium
Acroneuria pacifica	Gasterosteus	Procambarus
Agosia	Goniobasis	Prosopium
Ambloplites	Gyraulus	Pteronarcella
Amnicola	Helisoma	Pteronarcys
Anabaena	Hexagenia	Ptychocheilus
Anguilla	Hyaella	Quistadrilus
Ankistrodesmus	Hydra	Rhinichthys
Aplexa	Hydropsyche	Rhyacodrilus
Aplodinotus	Ictalurus	Salmo
Arctopsyche	Ischnura	Salvelinus
Arcynopterys	Jordanella	Scenedesmus
Argia	Lebistes	Selenastrum
Asellus	Lemna	Semotilus
Branchiura	Lepomis	Simocephalus
Caecidotea	Leptophlebia	Spirosperma
Callibaetis	Leuciscus	Stenelmis
Campeloma	Limnodrilus	Stenonema
Campostoma	Lirceus	Stizostedion
Carassius	Lophopodella	Stylodrilus
Catostomus	Lumbriculus	Tanytarsus
Ceriodaphnia	Micropterus	Thalassia
Chironomus	Moina	Tilapia
Chorella	Morone	Tubifex
Chrosomus	Musculium	Variachaeta
Claassenia	Nais	Xiphophorus
Copepod cyclopoid	Neophasganophora	
Corbicula	Nephelopsis	
Cottus	Nitocris	
Crangonyx	Notemigonus	
Culaea	Notropis	
Cyclops	Oncorchynchus	
Cypridopsis	Orconectes	
Cyprinus	Oryzias	
Daphnia	Palaemonetes	
Dendrocoelum	Paraleptophlebia	
Elodea	Pectinatella	
Enallagma	Perca	
Ephemerella	Philarctus	
Epischura	Physa	
Ericymba	Pimephales	
Esox	Plumatella	
Etheostoma	Poecilia	
Fundulus	Polycelis	
Gambusia	Pomoxis	

Fonte: WERF (1996b); CETESB, 2003 (comunicação pessoal – em vermelho)



**Tabela 4 – Concentrações ambientais médias e desvios padrão encontrados para cada metal estudado, número de amostras e efeitos tóxicos observados em cada ponto de amostragem, durante o período de 1997-2001.**

PONTO		Cádmio	Chumbo	Cobre	Cromo VI	Níquel	Mercurário	Zinco	Efeito tóxico	
UGRHI 2	PARB02100	média (µg/L)	4,23	40,67	9,57	17,97	18,03	0,37	25,03	
		desvio padrão (µg/L)	1,65	10,96	2,1	22,26	8,47	0,33	18,85	7 Crônicos
		nº de amostras	30	30	30	30	30	30	30	
	PARB02400	média (µg/L)	4,13	40,67	9,47	17,63	18,73	3,36	22,67	
		desvio padrão (µg/L)	1,63	10,96	1,89	16,22	8,40	16,37	9,71	1 Agudo
		nº de amostras	30	30	30	30	30	30	30	
	PARB02900	média (µg/L)	4,40	40,83	10,93	14,80	20,87	0,39	26,20	
		desvio padrão (µg/L)	1,96	10,75	6,01	14,52	16,21	0,33	14,43	2 Crônicos
		nº de amostras	30	30	30	30	30	30	30	
UGRHI 5	ATIB02085	média (µg/L)	1,4	34,33	5,53	48,13	10,0	0,37	21,33	
		desvio padrão (µg/L)	1,71	19,60	3,55	9,19	0,0	0,30	19,78	1 Crônico
		nº de amostras	30	30	30	24	30	29	30	
	CFIV02900	média (µg/L)	1,11	22,67	12,33	43,17	14,44	0,38	27,5	
		desvio padrão (µg/L)	0,52	20,23	16,31	18,68	10,54	0,43	20,05	1 Crônico
		nº de amostras	36	36	36	36	36	35	36	
	JAGR02800	média (µg/L)	2,7	35,67	5,20	50,83	15,67	0,42	16,67	
		desvio padrão (µg/L)	8,94	20,12	2,44	4,08	14,31	0,34	9,59	ND
		nº de amostras	30	30	30	24	30	29	30	
	JUNA02020	média (µg/L)	2,8	39,67	7,33	48,13	10,77	0,38	23,67	
		desvio padrão (µg/L)	8,96	22,66	4,47	9,19	4,28	0,31	16,91	ND
		nº de amostras	30	30	30	24	30	29	30	
	PCAB02100	média (µg/L)	1,03	34,67	5,0	52,92	11,67	0,33	15,0	
		desvio padrão (µg/L)	0,18	19,43	2,27	9,99	7,47	0,28	9,74	2 Crônicos
		nº de amostras	30	30	30	24	30	29	30	
	PCAB02220	média (µg/L)	1,37	39,0	8,38	56,25	35,0	0,37	98,33	
		desvio padrão (µg/L)	1,65	22,95	7,05	30,62	108,27	0,30	350,72	ND
		nº de amostras	30	30	30	24	30	29	30	
UGRHI 6	BILL02500	média (µg/L)	1,14	41,14	5,43	47,73	11,71	0,33	11,43	
		desvio padrão (µg/L)	0,49	70,35	4,05	9,66	8,57	0,31	3,55	14 Crônicos
		nº de amostras	35	35	35	35	35	34	35	2 Agudos
	BILL02900	média (µg/L)	1,37	31,0	8,0	46,03	11,43	0,34	11,71	
		desvio padrão (µg/L)	1,55	24,44	9,02	13,23	5,5	0,33	4,53	13 Crônicos
		nº de amostras	35	35	35	35	35	34	35	8 Agudos
	TGDE00900	média (µg/L)	1,0	33,18	72,91	48,64	10,0	0,61	11,36	
		desvio padrão (µg/L)	0,0	24,57	318,75	6,4	0,0	0,64	4,68	3 Crônicos
		nº de amostras	22	22	22	22	22	22	22	
	EMIGU00800	média (µg/L)	1,0	36,82	6,0	46,82	10,0	0,43	25,0	
		desvio padrão (µg/L)	0,0	21,02	4,86	10,41	0,0	0,33	55,44	3 Crônicos
		nº de amostras	22	22	22	22	22	22	22	
	GUAR00900	média (µg/L)	1,12	30,69	45,89	46,31	11,71	0,33	22,86	
		desvio padrão (µg/L)	0,52	24,66	83,5	12,51	8,57	0,32	56,08	3 Crônicos
		nº de amostras	35	35	35	35	35	34	35	4 Agudos
RGDE02200	média (µg/L)	1,03	44,33	8,63	50,0	10,0	0,47	11,67		
	desvio padrão (µg/L)	0,18	41,5	9,92	0,0	0,0	0,52	3,79	4 Crônicos	
	nº de amostras	30	30	30	30	30	29	30	1 Agudo	

Continua...

...Continuação

**Tabela 4 – Concentrações ambientais médias e desvios padrão encontrados para cada metal estudado, número de amostras e efeitos tóxicos observados em cada ponto de amostragem, durante o período de 1997-2001.**

PONTO		Cádmio	Chumbo	Cobre	Cromo VI	Níquel	Mercurio	Zinco	Efeito tóxico	
UGRHI 6	GADE02900	média (µg/L)	1,07	42,33	7,67	50,0	12,10	0,42	18,0	
		desvio padrão (µg/L)	0,37	32,77	7,9	0,0	5,59	0,30	10,31	2 Crônicos
		nº de amostras	30	30	30	30	29	29	30	1 Agudo
UGRHI 6	COGR00900	média (µg/L)	1,05	27,27	5,73	50,0	19,5	0,41	29,5	
		desvio padrão (µg/L)	0,21	17,23	4,79	9,3	22,57	0,34	54,9	15 Crônicos
		nº de amostras	22	22	22	22	22	21	22	
UGRHI 7	MOGU02800	média (µg/L)	5,86	37,86	15,07	24,55	18,96	0,47	38,21	
		desvio padrão (µg/L)	4,54	23,31	10,58	18,19	10,24	0,45	29,57	3 Crônicos
		nº de amostras	28	28	28	22	28	27	28	4 Agudos
UGRHI 7	CUBA02700	média (µg/L)	8,1	72,67	15,87	25,83	18,67	3,82	30,33	
		desvio padrão (µg/L)	4,54	199,27	11,36	18,16	9,73	18,5	44,84	11 Crônicos
		nº de amostras	30	30	30	24	30	29	30	
UGRHI 7	PIAC02700	média (µg/L)	6,29	37,14	19,14	25	34,64	0,54	67,86	
		desvio padrão (µg/L)	4,21	23,39	14,85	17,93	20,63	0,59	34,68	7 Crônicos
		nº de amostras	28	28	28	22	28	28	28	8 Agudos
UGRHI 9	MOGU02900	média (µg/L)	1,19	41,15	6,47	48,8	12,33	0,39	15,7	
		desvio padrão (µg/L)	0,69	45,28	3,95	5,9	6,79	0,32	7,28	3 Crônicos
		nº de amostras	28	28	28	22	28	27	28	1 Agudo
UGRHI 10	TIBB02700	média (µg/L)	1,2	25,49	7,37	43,2	14,0	0,3	12,3	
		desvio padrão (µg/L)	0,9	24,98	8,8	17,4	11,43	0,3	4,9	8 Crônicos
		nº de amostras	35	35	35	29	35	34	35	
UGRHI 10	SORC02900	média (µg/L)	1,19	26,78	13,78	44,57	10,28	0,32	22,22	
		desvio padrão (µg/L)	0,71	24,28	29,89	17,95	1,67	0,32	15,14	ND
		nº de amostras	36	36	36	30	36	36	36	
UGRHI 10	TIET02400	média (µg/L)	1,16	33,13	23,38	44,88	25,29	0,35	77,5	
		desvio padrão (µg/L)	0,51	25,33	20,74	14,45	24,02	0,33	36,19	8 Crônicos
		nº de amostras	32	32	32	26	34	32	32	
UGRHI 11	RIIG02500	média (µg/L)	5,5	37,97	23,78	13,4	18,33	3,24	24,2	
		desvio padrão (µg/L)	4,56	82,12	46,99	13,0	11,34	16,84	15,56	2 Crônicos
		nº de amostras	36	36	36	24	36	35	36	
UGRHI 12	PARD02800	média (µg/L)	1,27	33,85	7,03	48,8	11,33	0,37	21,0	
		desvio padrão (µg/L)	1,19	15,25	7,28	5,9	4,34	0,31	38,18	1 Crônico
		nº de amostras	28	26	30	26	30	26	30	
UGRHI 15	RPRE02200	média (µg/L)	1,23	33,85	4,3	48,8	10,33	0,37	25,0	
		desvio padrão (µg/L)	0,86	15,25	1,56	5,9	1,83	0,32	20,97	3 Crônicos
		nº de amostras	26	26	30	26	30	26	30	
UGRHI 16	TIET02600	média (µg/L)	11,25	28,84	10,08	46,2	15,0	0,34	21,5	
		desvio padrão (µg/L)	26,61	17,87	12,99	13,0	19,03	0,29	25,09	9 Crônicos
		nº de amostras	24	24	26	24	26	26	26	
UGRHI 19	TITR02100	média (µg/L)	1,13	37,5	5,92	51,67	26,92	0,41	17,31	
		desvio padrão (µg/L)	0,61	17,51	4,58	8,16	74,5	0,44	15,11	3 Crônicos
		nº de amostras	24	24	26	24	26	26	26	1 Agudo
UGRHI 21	PEIX02100	média (µg/L)	1,17	39,67	10,0	50,0	13,0	0,46	19,33	
		desvio padrão (µg/L)	0,53	22,36	10,41	0,0	7,02	0,74	14,84	3 Crônicos
		nº de amostras	30	30	30	24	30	30	30	

ND: Efeito tóxico não detectado

Fonte: CETESB (2002; 2001b; 2000; 1999 e 1998)

**Tabela 5 – Concentrações ambientais encontradas (CAE) dos agentes químicos estudados, no período de 1997-2001, critérios de qualidade (CQ) e quociente de efeito ecológico (QEE). (Fonte: CETESB, 2002; 2001b; 2000; 1999 e 1998).**

Ponto	Cádmio	Chumbo	Cobre	Cromo	Níquel	Mercúrio	Zinco
PARB02100	4,2	40,7	9,6	18,0	18,0	0,4	25,0
PARB02400	4,1	40,7	9,5	17,6	18,7	3,4	22,7
PARB02900	4,4	40,8	10,9	14,8	20,9	0,4	26,2
ATIB02065	1,4	34,3	5,5	48,1	10,0	0,4	21,3
CPIV02900	1,1	22,7	12,3	43,2	14,4	0,4	27,5
JAGR02800	2,7	35,7	5,2	50,8	15,7	0,4	16,7
JUNA02020	2,8	39,7	7,3	48,1	10,8	0,4	23,7
PCAB02100	1,0	34,7	5,0	52,9	11,7	0,3	15,0
PCAB02220	1,4	39,0	8,4	56,3	35,0	0,4	98,3
BILL02500	1,1	41,1	5,4	47,7	11,7	0,3	11,4
BILL02900	1,4	31,0	8,0	46,0	11,4	0,3	11,7
TGDE00900	1,0	33,2	72,9	48,6	10,0	0,6	11,4
EMGU00800	1,0	36,8	6,0	46,8	10,0	0,4	25,0
GUAR00900	1,1	30,7	45,9	46,3	11,7	0,3	22,9
RGDE02200	1,0	44,3	8,6	50,0	10,0	0,5	11,7
GADE02900	1,1	42,3	7,7	50,0	12,1	0,4	18,0
COGR00900	1,1	27,3	5,7	50,0	19,5	0,4	29,5
MOGI02800	5,9	37,9	15,1	24,6	19,0	0,5	38,2
CUBA02700	6,1	72,7	15,9	25,8	18,7	3,8	30,3
PIAC02700	6,3	37,1	19,1	25,0	34,6	0,5	67,9
MOGU02900	1,2	41,2	6,5	48,8	12,3	0,4	15,7
TIBB02700	1,2	25,5	7,4	43,2	14,0	0,3	12,3
SORO02900	1,2	26,8	13,8	44,6	10,3	0,3	22,2
TIET02400	1,2	33,1	23,4	44,9	25,3	0,4	77,5
RIIG02500	5,5	38,0	23,8	13,4	18,3	3,2	24,2
PARD02800	1,3	33,9	7,0	48,8	11,3	0,4	21,0
RPRE02200	1,2	33,9	4,3	48,8	10,3	0,4	25,0
TIET02600	11,3	28,8	10,1	46,2	15,0	0,3	21,5
TITR02100	1,1	37,5	5,9	51,7	26,9	0,4	17,3
PEIX02100	1,2	39,7	10,0	50,0	13,0	0,5	19,3
<b>CQ (µg/L)<sup>(b)</sup></b>	<b>1,0</b>	<b>30,0</b>	<b>20,0</b>	<b>50,0<sup>(c)</sup></b>	<b>25,0</b>	<b>0,2</b>	<b>180,0</b>
PARB02100	4,23	1,36	0,48	0,36	0,72	1,85	0,14
PARB02400	4,13	1,36	0,47	0,35	0,75	16,80	0,13
PARB02900	4,40	1,36	0,55	0,30	0,83	1,95	0,15
ATIB02065	1,40	1,14	0,28	0,96	0,40	1,85	0,12
CPIV02900	1,11	0,76	0,62	0,86	0,58	1,90	0,15
JAGR02800	2,70	1,19	0,26	1,02	0,63	2,10	0,09
JUNA02020	2,80	1,32	0,37	0,96	0,43	1,90	0,13
PCAB02100	1,03	1,16	0,25	1,06	0,47	1,65	0,08
PCAB02220	1,37	1,30	0,42	1,13	1,40	1,85	0,55
BILL02500	1,14	1,37	0,27	0,95	0,47	1,65	0,06
BILL02900	1,37	1,03	0,40	0,92	0,46	1,70	0,07
TGDE00900	1,00	1,11	3,65	0,97	0,40	3,05	0,06
EMGU00800	1,00	1,23	0,30	0,94	0,40	2,15	0,14
GUAR00900	1,12	1,02	2,29	0,93	0,47	1,65	0,13
RGDE02200	1,03	1,48	0,43	1,00	0,40	2,35	0,06
GADE02900	1,07	1,41	0,38	1,00	0,48	2,10	0,10
COGR00900	1,05	0,91	0,29	1,00	0,78	2,05	0,16
MOGI02800	5,86	1,26	0,75	0,49	0,76	2,35	0,21
CUBA02700	6,10	2,42	0,79	0,52	0,75	19,10	0,17
PIAC02700	6,29	1,24	0,96	0,50	1,39	2,70	0,38
MOGU02900	1,19	1,37	0,32	0,98	0,49	1,95	0,09
TIBB02700	1,20	0,85	0,37	0,86	0,56	1,50	0,07
SORO02900	1,19	0,89	0,69	0,89	0,41	1,60	0,12
TIET02400	1,16	1,10	1,17	0,90	1,01	1,75	0,43
RIIG02500	5,50	1,27	1,19	0,27	0,73	16,20	0,13
PARD02800	1,27	1,13	0,35	0,98	0,45	1,85	0,12
RPRE02200	1,23	1,13	0,22	0,98	0,41	1,85	0,14
TIET02600	11,25	0,96	0,50	0,92	0,60	1,70	0,12
TITR02100	1,13	1,25	0,30	1,03	1,08	2,05	0,10
PEIX02100	1,17	1,32	0,50	1,00	0,52	2,30	0,11
<b>QEE<sup>(d)</sup></b>							

(a) Concentração ambiental esperada: médias das concentrações analisadas dos agentes químicos, em cada ponto de amostragem, no período de 1997-2001.

(b) Critério de qualidade estabelecido pela Resolução CONAMA 20/86 para classe 2;

(c) Critério de qualidade estabelecido pelo Regulamento de Lei 997/76, aprovado pelo Decreto Estadual 8468/76;

(d) Resultado da divisão entre a concentração ambiental esperada (CAE) e o critério de qualidade (CQ).

NOTA: em vermelho estão os valores que excederam o valor de 0,3 e que foram incluídos nas análises seguintes

**Tabela 6 – Concentrações ambientais médias e desvios padrão encontrados para cada metal estudado, número de amostras e efeitos tóxicos observados em cada ponto de amostragem, durante o ano de 2000.**

PONTO		Cádmio	Chumbo	Cobre	Cromo VI	Níquel	Mercúrio	Zinco	Efeito tóxico	
UGRHI 2	PARB02100	média (µg/L)	5,0	45,0	10,0	7,5	20,0	0,65	20,0	3 Crônicos
		desvio padrão (µg/L)	0,0	5,48	0,0	2,74	0,0	0,38	0,0	
		nº de amostras	6	6	6	6	6	6	6	
	PARB02400	média (µg/L)	5,0	45,0	10,0	7,5	20,0	0,65	21,67	ND
		desvio padrão (µg/L)	0,0	5,48	0,0	2,74	0,0	0,38	4,08	
		nº de amostras	6	6	6	6	6	6	6	
	PARB02900	média (µg/L)	5,0	45,0	10,0	7,5	20,0	0,65	20,0	ND
		desvio padrão (µg/L)	0,0	5,48	0,0	2,74	0,0	0,38	0,0	
		nº de amostras	6	6	6	6	6	6	6	
UGRHI 5	ATIB02065	média (µg/L)	1,5	20,0	8,67	42,5	10,0	0,44	30,0	1 Crônico
		desvio padrão (µg/L)	1,22	0,0	6,28	18,37	0,0	0,31	30,33	
		nº de amostras	6	6	6	6	6	5	6	
	CPIV02900	média (µg/L)	1,0	20,0	19,67	50,0	11,67	0,44	36,67	ND
		desvio padrão (µg/L)	0,0	0,0	29,7	0,0	4,08	0,31	25,03	
		nº de amostras	6	6	6	6	6	5	6	
	JAGR02800	média (µg/L)	9,17	25,0	5,0	50,0	15,0	0,44	18,33	ND
		desvio padrão (µg/L)	20,0	17,61	2,45	0,0	12,25	0,31	13,29	
		nº de amostras	6	6	6	6	6	5	6	
	JUNA02020	média (µg/L)	1,83	31,67	8,0	42,5	15,0	0,58	23,33	ND
		desvio padrão (µg/L)	2,04	20,41	3,1	18,37	8,37	0,38	17,51	
		nº de amostras	6	6	6	6	6	5	6	
PCAB02100	média (µg/L)	1,0	20,0	5,0	56,67	10,0	0,44	13,3	1 Crônico	
	desvio padrão (µg/L)	0,0	0,0	2,45	16,33	0,0	0,31	8,16		
	nº de amostras	6	6	6	6	6	5	6		
PCAB02220	média (µg/L)	1,17	28,3	8,9	50,0	16,7	0,44	36,67	ND	
	desvio padrão (µg/L)	0,41	20,41	10,79	0,0	16,33	0,31	23,38		
	nº de amostras	6	6	6	6	6	5	6		
UGRHI 6	BILL02500	média (µg/L)	1,0	86,67	4,0	50,0	10,0	0,44	11,67	4 Crônicos
		desvio padrão (µg/L)	0,0	163,3	0,0	0,0	0,0	0,31	4,08	
		nº de amostras	6	6	6	6	6	5	6	
	BILL02900	média (µg/L)	1,0	20,0	7,67	50,0	10,0	0,44	10,0	3 Crônicos 2 Agudos
		desvio padrão (µg/L)	0,0	0,0	6,50	0,0	0,0	0,31	0,0	
		nº de amostras	6	6	6	6	6	5	6	
	TGDE00900	média (µg/L)	1,0	20,0	6,33	50,0	10,0	0,65	10,0	ND
		desvio padrão (µg/L)	0,0	0,0	2,94	0,0	0,0	0,38	0,0	
		nº de amostras	6	6	6	6	6	6	6	
	EMGU00800	média (µg/L)	1,0	20,0	4,0	50,0	10,0	0,65	12,5	1 Crônico
		desvio padrão (µg/L)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	5,0	
		nº de amostras	4	4	4	4	4	4	4	
GUAR00900	média (µg/L)	1,33	20,0	31,67	50,0	11,67	0,58	10,0	ND	
	desvio padrão (µg/L)	0,82	0,0	19,41	0,0	4,08	0,38	0,0		
	nº de amostras	6	6	6	6	6	5	6		
RGDE02200	média (µg/L)	1,0	65,0	7,67	50,0	10,0	0,44	11,67	ND	
	desvio padrão (µg/L)	0,0	85,73	6,5	0,0	0,0	0,31	4,08		
	nº de amostras	6	6	6	6	6	5	6		

Continua...

...Continuação

**Tabela 6 – Concentrações ambientais médias e desvios padrão encontrados para cada metal estudado, número de amostras e efeitos tóxicos observados em cada ponto de amostragem, durante o ano de 2000.**

PONTO		Cádmio	Chumbo	Cobre	Cromo VI	Níquel	Mercurio	Zinco	Efeito tóxico	
UGRHI 6	GADE02900	média (µg/L)	1,0	45,0	6,67	50,0	10,0	0,44	18,3	
		desvio padrão (µg/L)	0,0	61,24	6,53	0,0	0,0	0,31	9,83	ND
		nº de amostras	6	6	6	6	5	5	6	
	COGR00900	média (µg/L)	1,0	30,0	5,0	55,0	13,3	0,44	16,7	
		desvio padrão (µg/L)	0,0	24,49	2,45	12,2	8,16	0,31	16,33	2 Crônicos
		nº de amostras	6	6	6	6	6	5	6	
UGRHI 7	MOGI02800	média (µg/L)	10,0	20,0	26,67	10,0	20,0	0,65	33,33	
		desvio padrão (µg/L)	0,0	0,0	10,33	0,0	0,0	0,38	28,05	ND
		nº de amostras	6	6	6	6	6	6	6	
	CUBA02700	média (µg/L)	10,0	31,67	28,33	16,67	20,0	0,65	41,67	
		desvio padrão (µg/L)	0,0	28,58	9,83	16,33	0,0	0,38	48,34	1 Crônico
		nº de amostras	6	6	6	6	6	6	6	
PIAC02700	média (µg/L)	10,0	25,0	35,0	10,0	20,0	0,67	66,67		
	desvio padrão (µg/L)	0,0	12,25	15,17	0,0	0,0	0,4	24,22	1 Agudo	
	nº de amostras	6	6	6	6	6	6	6		
UGRHI 9	MOGU02900	média (µg/L)	1,5	20,0	8,67	50,0	10,0	0,65	11,7	
		desvio padrão (µg/L)	1,22	0,0	6,28	0,0	0,0	0,38	4,08	ND
		nº de amostras	6	6	6	6	6	6	6	
UGRHI 10	TIBB02700	média (µg/L)	1,0	34,0	7,2	50,0	10,0	0,48	10,0	
		desvio padrão (µg/L)	0,0	31,3	7,16	0,0	0,0	0,35	0,0	ND
		nº de amostras	5	5	5	5	5	4	5	
	SCRC02900	média (µg/L)	1,5	20,0	6,0	50,0	10,0	0,65	16,67	
		desvio padrão (µg/L)	1,22	0,0	3,1	0,0	0,0	0,38	8,16	ND
		nº de amostras	6	6	6	6	6	6	6	
TIET02400	média (µg/L)	1,25	20,0	25,0	50,0	17,5	0,65	97,5		
	desvio padrão (µg/L)	0,5	0,0	23,8	0,0	5,0	0,4	63,97	2 Crônicos	
	nº de amostras	4	4	4	4	4	4	4		
UGRHI 11	RIK02500	média (µg/L)	10,0	23,33	66,67	10,0	20,0	0,83	20,0	
		desvio padrão (µg/L)	0,0	8,16	104,82	0,0	0,0	0,71	0,0	ND
		nº de amostras	6	6	6	6	6	6	6	
UGRHI 12	PAR02800	média (µg/L)	2,0	20,0	5,83	50,0	10,0	0,65	13,3	
		desvio padrão (µg/L)	2,45	0,0	2,86	0,0	0,0	0,38	5,16	ND
		nº de amostras	6	6		6	6	6	6	
UGRHI 15	RPRE02200	média (µg/L)	1,0	20,0	5,0	50,0	10,0	0,65	18,3	
		desvio padrão (µg/L)	0,0	0,0	1,67	0,0	0,0	0,38	9,83	1 Crônico
		nº de amostras	6	6	6	6	6	6	6	
UGRHI 16	TIET02600	média (µg/L)	1,0	20,0	7,67	50,0	10,0	0,65	16,7	
		desvio padrão (µg/L)	0,0	0,0	6,5	0,0	0,0	0,38	12,11	1 Crônico
		nº de amostras	6	6	6	6	6	6	6	
UGRHI 19	TITR02100	média (µg/L)	1,0	20,0	7,67	50,0	10,0	0,65	15	
		desvio padrão (µg/L)	0,0	0,0	6,5	0,0	0,0	0,38	8,37	ND
		nº de amostras	6	6	6	6	6	6	6	
UGRHI 21	PEIX02100	média (µg/L)	1,33	31,67	11,0	50,0	11,7	1,15	13,33	
		desvio padrão (µg/L)	0,82	18,35	11,3	0,0	4,08	1,44	5,16	ND
		nº de amostras	6	6	6	6	6	6	6	

ND: Efeito tóxico não detectado

Fonte: CETESB (2001b)

**Tabela 7 – Concentrações ambientais encontradas (CAE) dos agentes químicos estudados, no ano de 2000, critérios de qualidade (CQ) e quociente de efeito ecológico (QEE). (Fonte: CETESB, 2001b).**

	Ponto	Cádmio	Chumbo	Cobre	Cromo	Níquel	Mercurio	Zinco
	PARB02100	5,0	45,0	10,0	7,5	20,0	0,7	20,0
	PARB02400	5,0	45,0	10,0	7,5	20,0	0,7	21,7
	PARB02900	5,0	45,0	10,0	7,5	20,0	0,7	20,0
	ATIB02065	1,5	20,0	8,7	42,5	10,0	0,4	30,0
	CPIV02900	1,0	20,0	19,7	50,0	11,7	0,4	36,7
	JAGR02800	9,2	25,0	5,0	50,0	15,0	0,4	18,3
	JUNA02020	1,8	31,7	8,0	42,5	15,0	0,6	23,3
	PCAB02100	1,0	20,0	5,0	56,7	10,0	0,4	13,3
	PCAB02220	1,2	28,3	8,9	50,0	16,7	0,4	36,7
	BILL02500	1,0	86,7	4,0	50,0	10,0	0,4	11,7
	BILL02900	1,0	20,0	7,7	50,0	10,0	0,4	10,0
	TGDE00900	1,0	20,0	6,3	50,0	10,0	0,7	10,0
	EMGU00800	1,0	20,0	4,0	50,0	10,0	0,7	12,5
	GUAR00900	1,3	20,0	31,7	50,0	11,7	0,6	10,0
CAE (µg/L) <sup>(a)</sup>	RGDE02200	1,0	55,0	7,7	50,0	10,0	0,4	11,7
	GADE02900	1,0	45,0	6,7	50,0	10,0	0,4	18,3
	COGR00900	1,0	30,0	5,0	55,0	13,3	0,4	16,7
	MOGI02800	1,0	20,0	26,7	10,0	20,0	0,7	33,3
	CUBA02700	10,0	31,7	28,3	16,7	20,0	0,7	41,7
	PIAC02700	10,0	25,0	35,0	10,0	20,0	0,7	66,7
	MOGU02900	1,5	20,0	8,7	50,0	10,0	0,7	11,7
	TIBB02700	1,0	34,0	7,2	50,0	10,0	0,5	10,0
	SORO02900	1,5	20,0	6,0	50,0	10,0	0,7	16,7
	TIET02400	1,3	20,0	25,0	50,0	17,5	0,7	97,5
	RIIG02500	10,0	23,3	66,7	10,0	20,0	0,8	20,0
	PARD02800	2,0	20,0	5,8	50,0	10,0	0,7	13,3
	RPRE02200	1,0	20,0	5,0	50,0	10,0	0,7	18,3
	TIET02600	1,0	20,0	7,7	50,0	10,0	0,7	16,7
	TITR02100	1,0	20,0	7,7	50,0	10,0	0,7	15,0
	PEIX02100	1,3	31,7	11,0	50,0	11,7	1,2	13,3
CQ (µg/L) <sup>(b)</sup>		1,0	30,0	20,0	50,0 <sup>(c)</sup>	25,0	0,2	180,0
	PARB02100	5,00	1,50	0,50	0,15	0,80	3,25	0,11
	PARB02400	5,00	1,50	0,50	0,15	0,80	3,25	0,12
	PARB02900	5,00	1,50	0,50	0,15	0,80	3,25	0,11
	ATIB02065	1,50	0,67	0,43	0,85	0,40	2,20	0,17
	CPIV02900	1,00	0,67	0,98	1,00	0,47	2,20	0,20
	JAGR02800	9,17	0,83	0,25	1,00	0,60	2,20	0,10
	JUNA02020	1,83	1,06	0,40	0,85	0,60	2,90	0,13
	PCAB02100	1,00	0,67	0,25	1,13	0,40	2,20	0,07
	PCAB02220	1,17	0,94	0,45	1,00	0,67	2,20	0,20
	BILL02500	1,00	2,89	0,20	1,00	0,40	2,20	0,06
	BILL02900	1,00	0,67	0,38	1,00	0,40	2,20	0,06
	TGDE00900	1,00	0,67	0,32	1,00	0,40	3,25	0,06
	EMGU00800	1,00	0,67	0,20	1,00	0,40	3,25	0,07
	GUAR00900	1,33	0,67	1,58	1,00	0,47	2,90	0,06
	RGDE02200	1,00	1,83	0,38	1,00	0,40	2,20	0,06
QEE <sup>(d)</sup>	GADE02900	1,00	1,50	0,33	1,00	0,40	2,20	0,10
	COGR00900	1,00	1,00	0,25	1,10	0,53	2,20	0,09
	MOGI02800	1,00	0,67	1,33	0,20	0,80	3,25	0,19
	CUBA02700	10,00	1,06	1,42	0,33	0,80	3,25	0,23
	PIAC02700	10,00	0,83	1,75	0,20	0,80	3,35	0,37
	MOGU02900	1,50	0,67	0,43	1,00	0,40	3,25	0,07
	TIBB02700	1,00	1,13	0,36	1,00	0,40	2,40	0,06
	SORO02900	1,50	0,67	0,30	1,00	0,40	3,25	0,09
	TIET02400	1,25	0,67	1,25	1,00	0,70	3,25	0,54
	RIIG02500	10,00	0,78	3,33	0,20	0,80	4,15	0,11
	PARD02800	2,00	0,67	0,29	1,00	0,40	3,25	0,07
	RPRE02200	1,00	0,67	0,25	1,00	0,40	3,25	0,10
	TIET02600	1,00	0,67	0,38	1,00	0,40	3,25	0,09
	TITR02100	1,00	0,67	0,38	1,00	0,40	3,25	0,08
	PEIX02100	1,33	1,06	0,55	1,00	0,47	5,75	0,07

(a) Concentração ambiental esperada: médias das concentrações analisadas dos agentes químicos, em cada ponto de amostragem, no ano de 2000.

(b) Critério de qualidade estabelecido pela Resolução CONAMA 20/86 para classe 2;

(c) Critério de qualidade estabelecido pelo Regulamento de Lei 997/76, aprovado pelo Decreto Estadual 8468/76;

(d) Resultado da divisão entre a concentração ambiental esperada (CAE) e o critério de qualidade (CQ).

NOTA: em vermelho estão os valores que excederam o valor de 0,3 e que foram incluídos nas análises seguintes

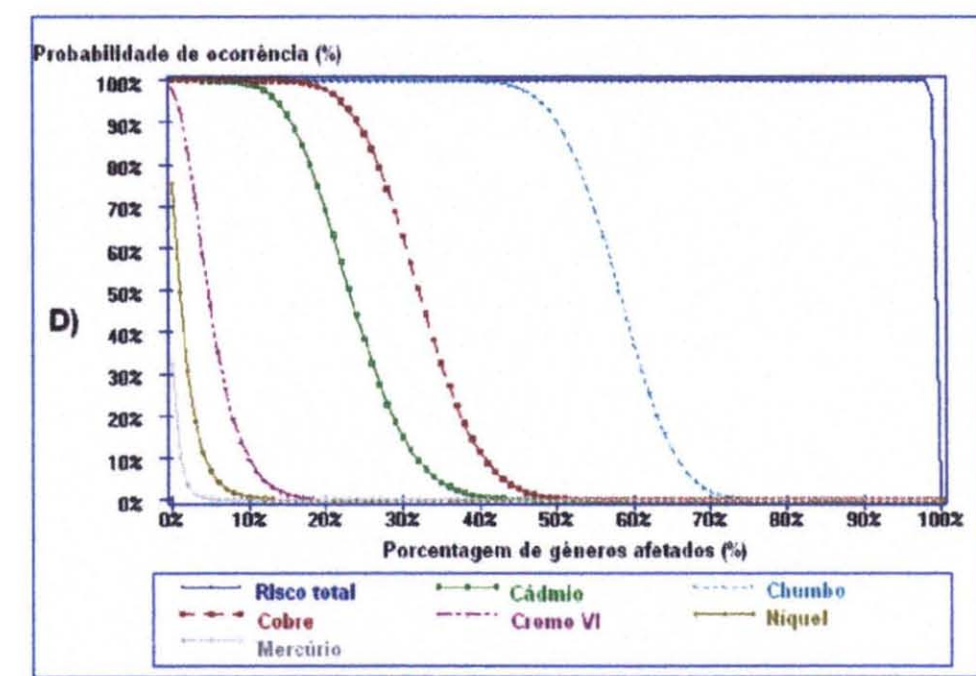
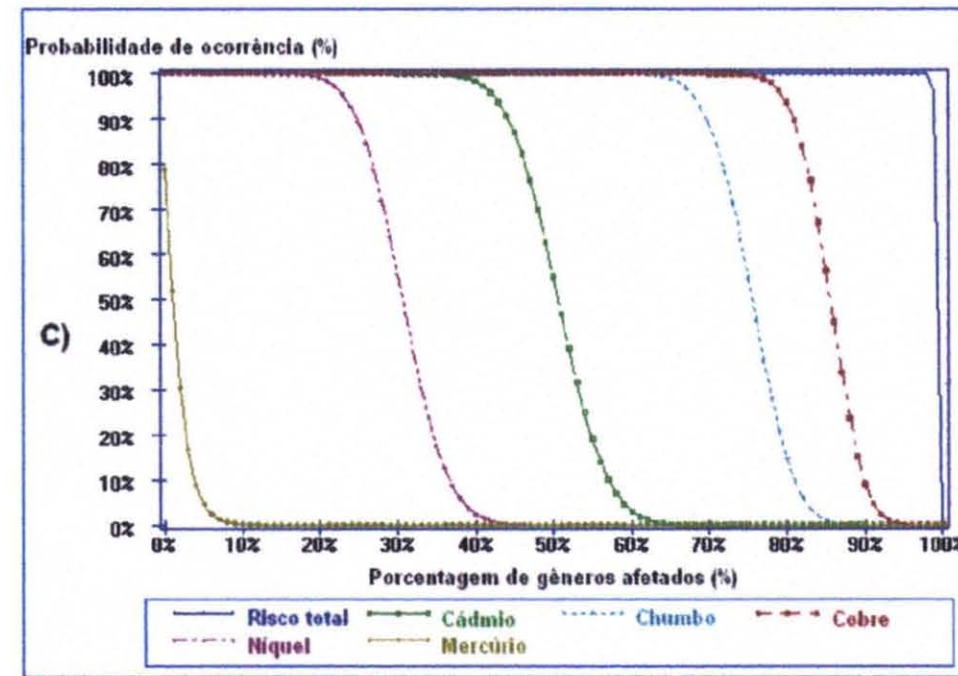
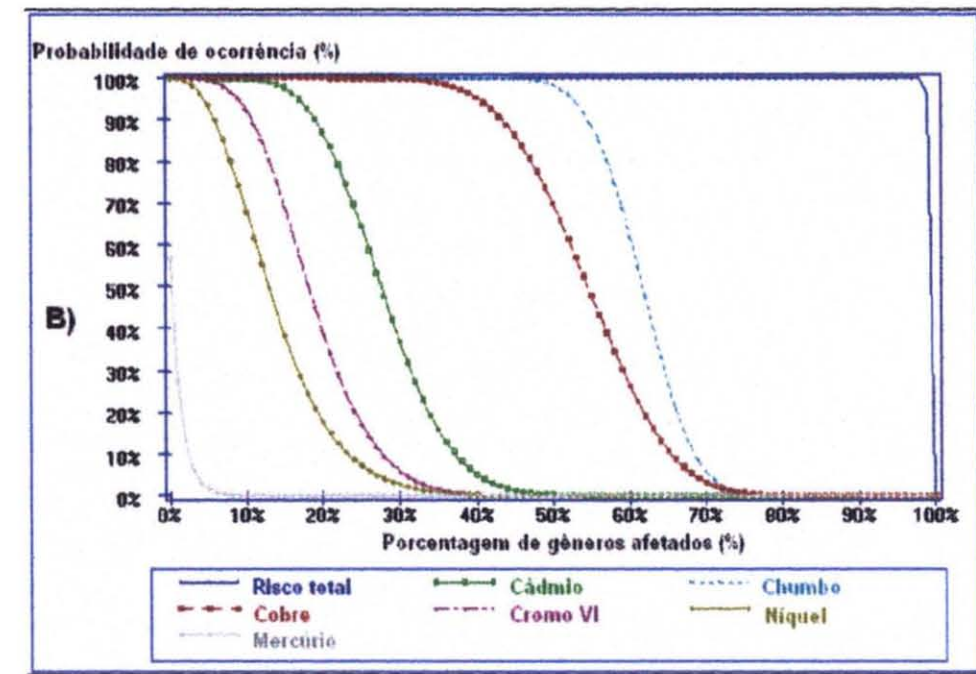
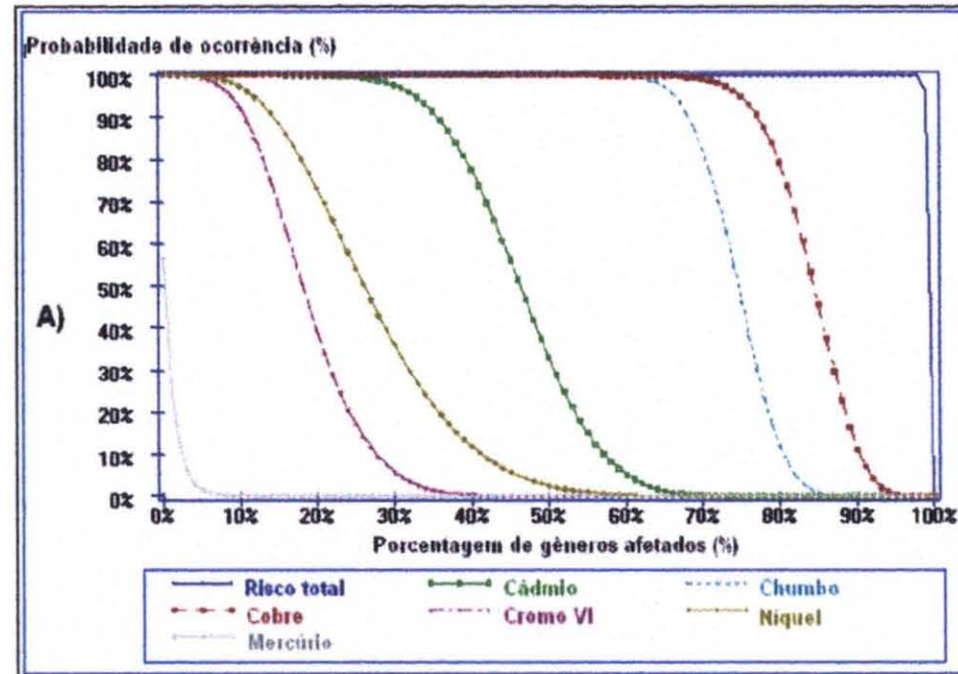
---

**ANEXOS:**

**Gráficos de distribuição de risco gerados pelo  
programa WERF para cada ponto de  
amostragem/UGRHI**

ANEXO 01 – UGRHI 2 – Paraíba do Sul

PARB02100

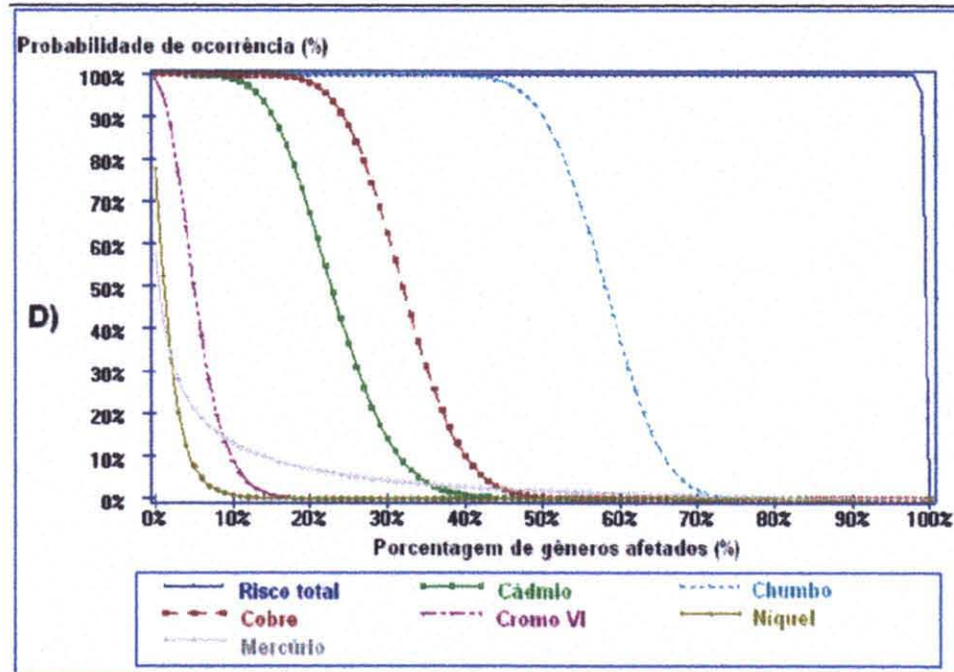
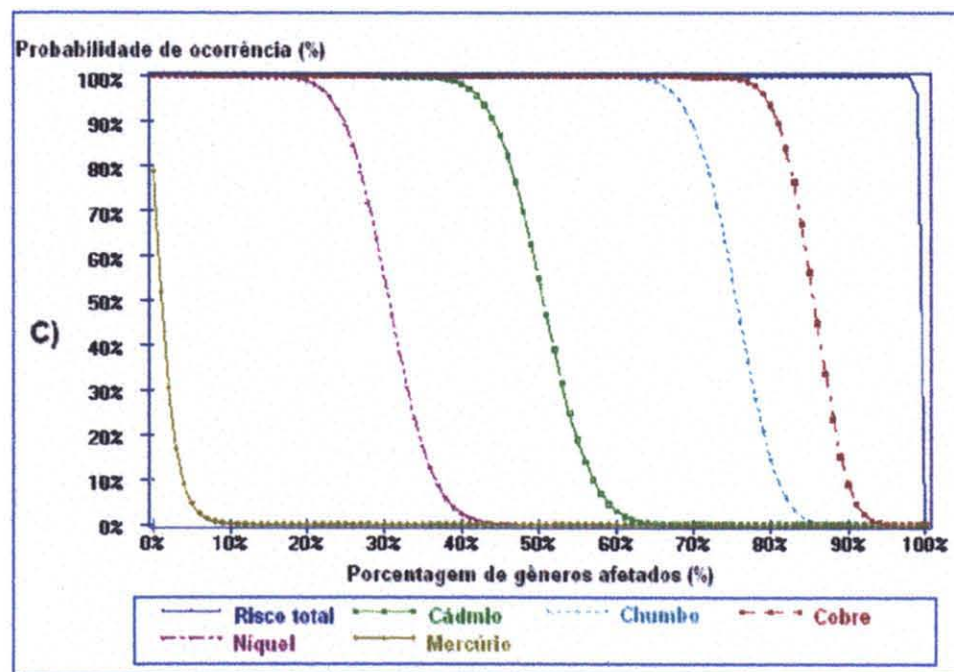
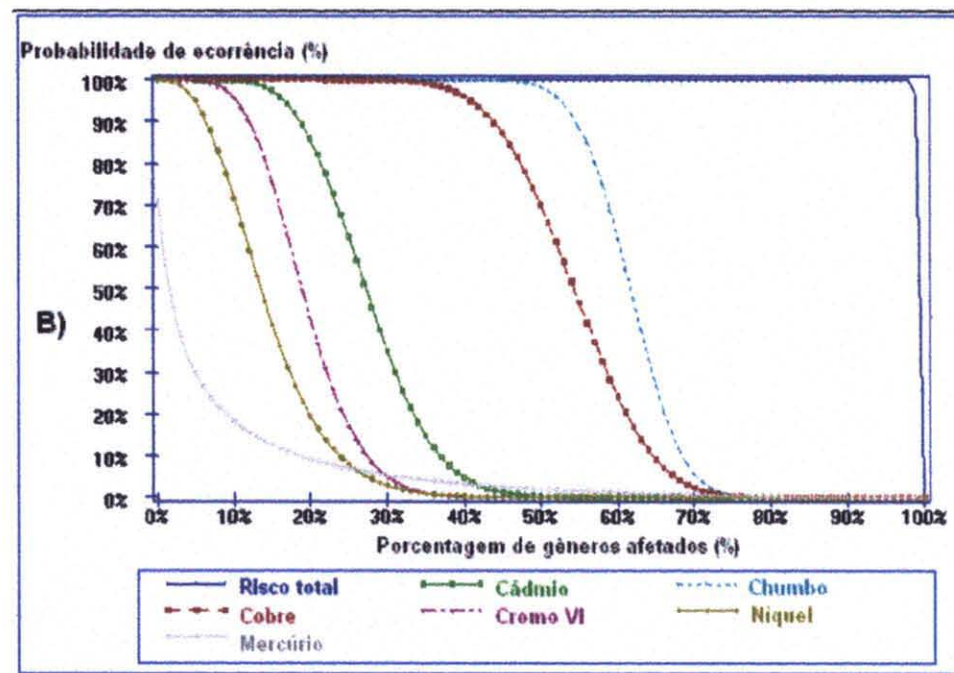
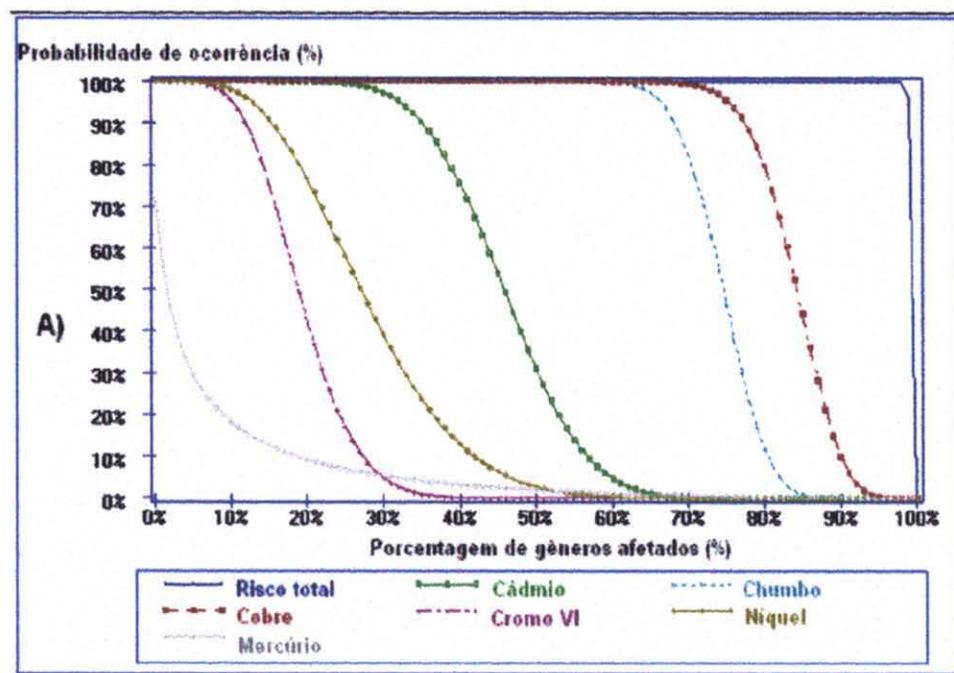


Legenda: A) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e 34 gêneros nativos/introduzidos;  
 B) Dureza da água padrão do programa, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e 34 gêneros nativos/introduzidos;  
 C) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de um ano (2000) e 34 gêneros nativos/introduzidos e,  
 D) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e os 116 gêneros da base de dados.



ANEXO 01 – UGRHI 2 – Paraíba do Sul

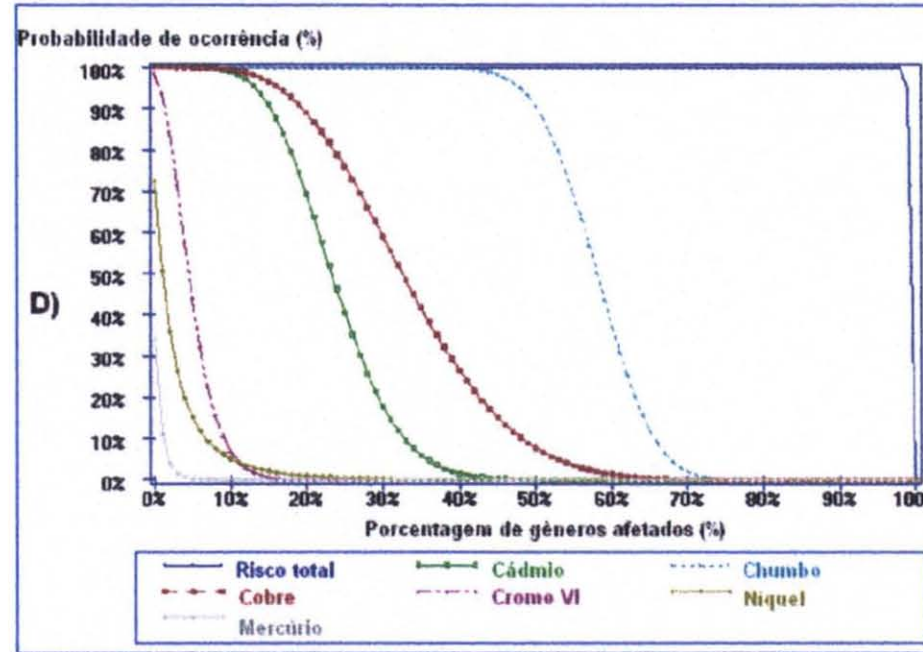
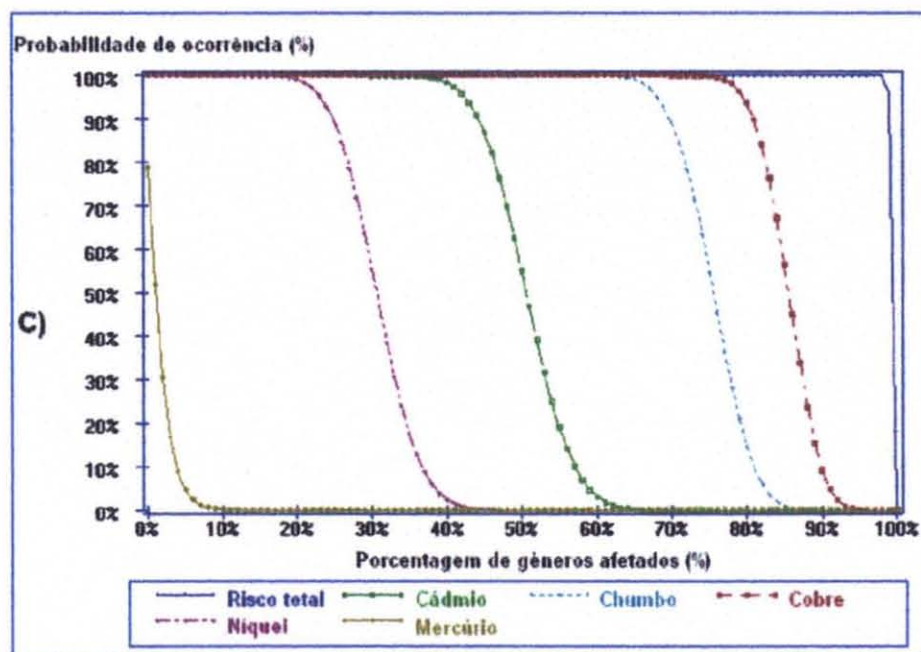
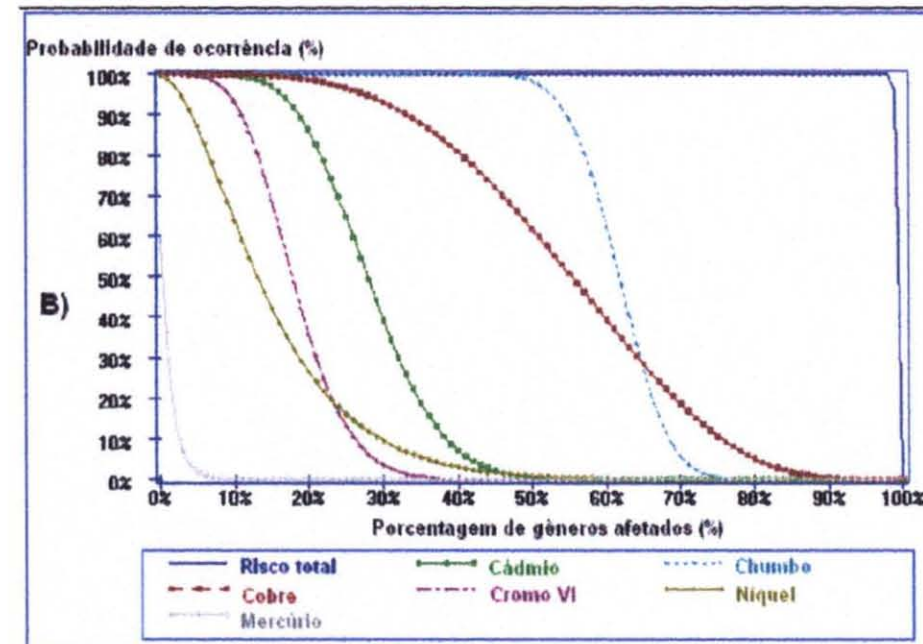
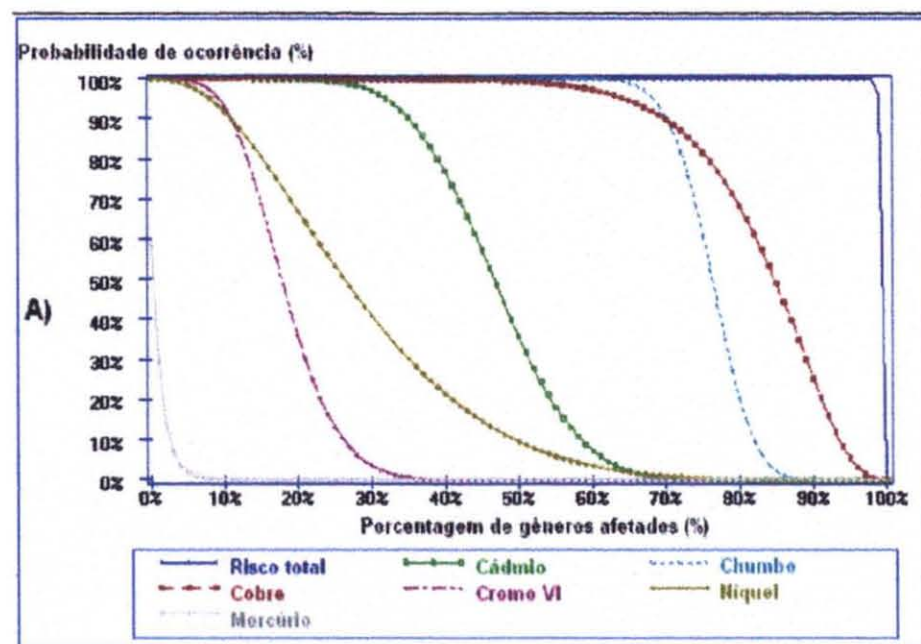
PARB02400



Legenda: A) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e 34 gêneros nativos/introduzidos;  
 B) Dureza da água padrão do programa, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e 34 gêneros nativos/introduzidos;  
 C) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de um ano (2000) e 34 gêneros nativos/introduzidos e,  
 D) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e os 116 gêneros da base de dados.

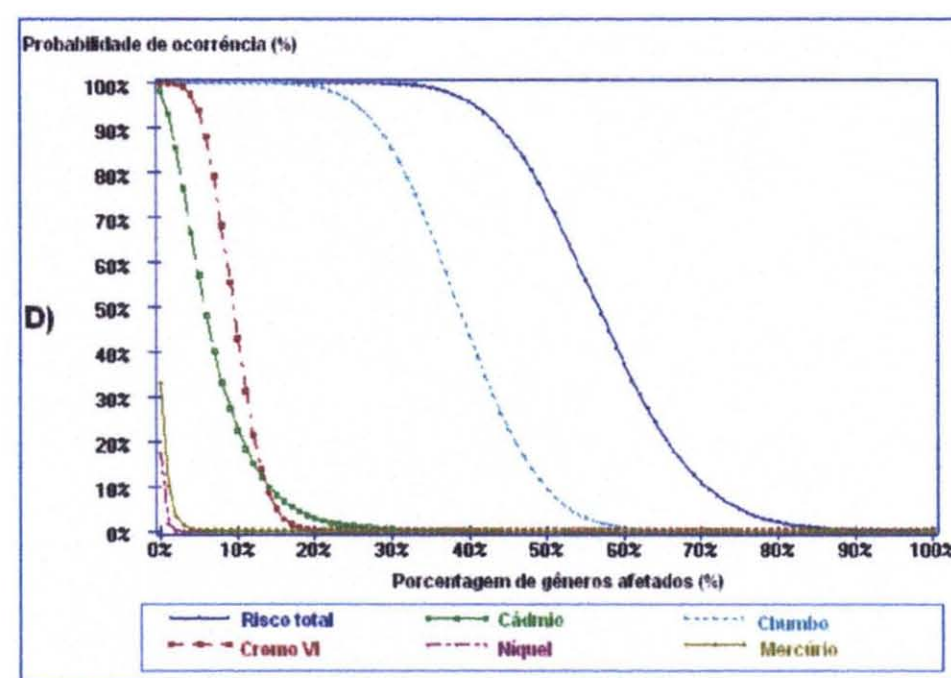
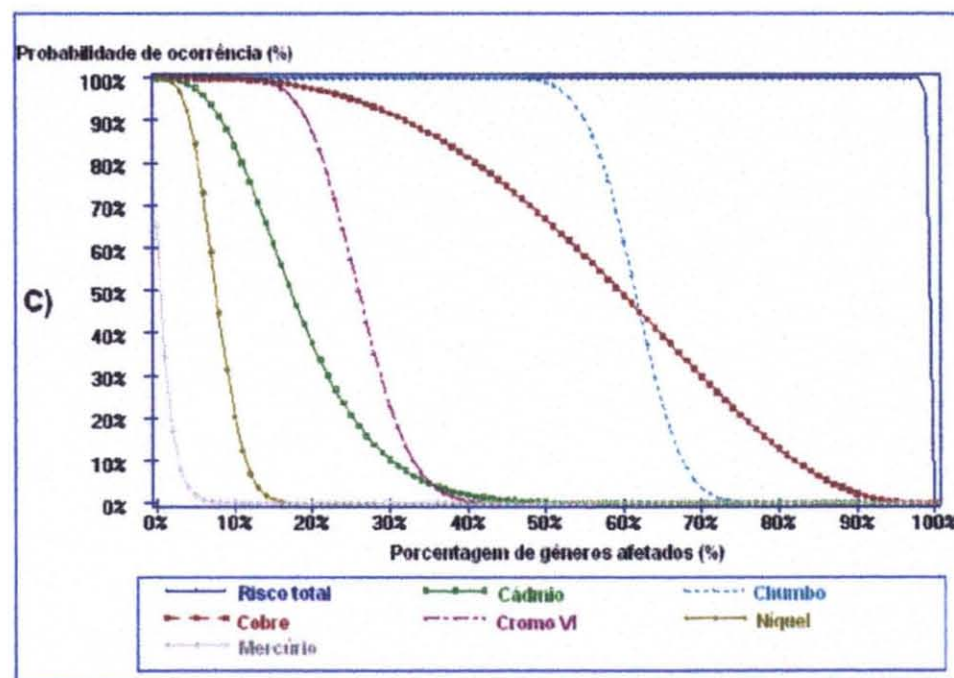
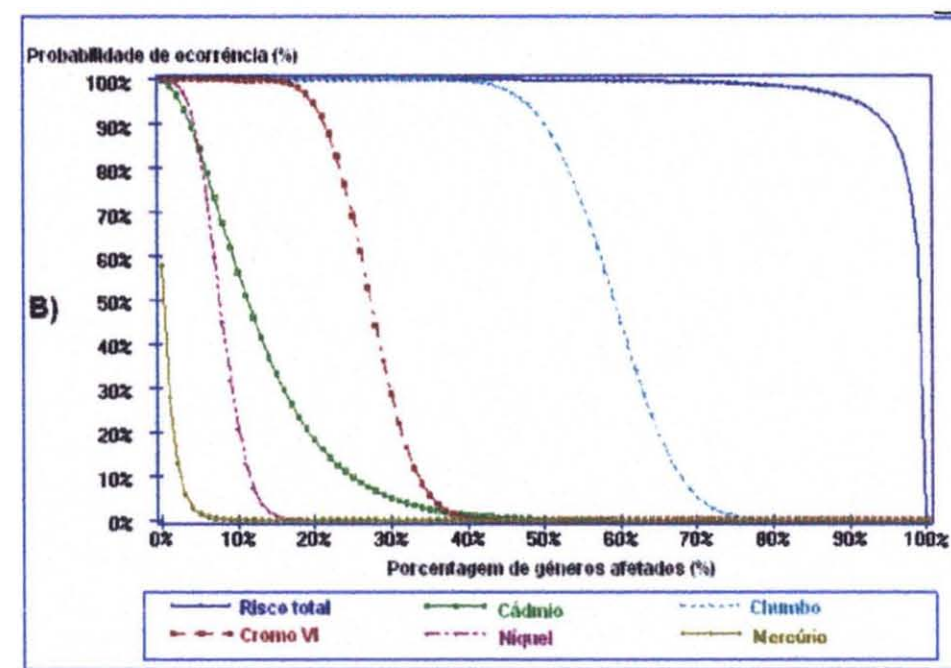
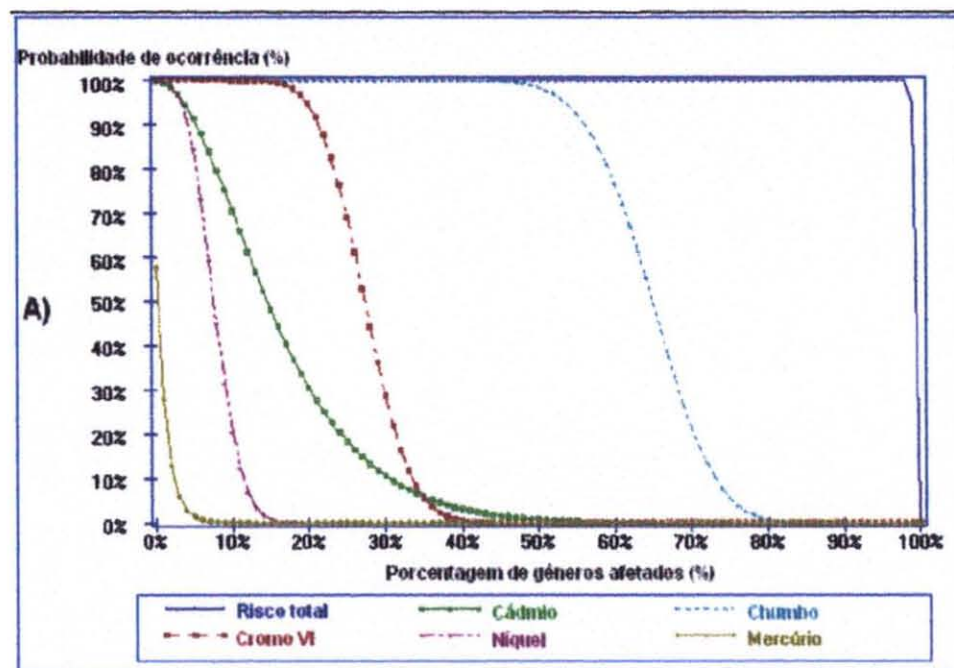
# ANEXO 01 – UGRHI 2 – Paraíba do Sul

PARB02900



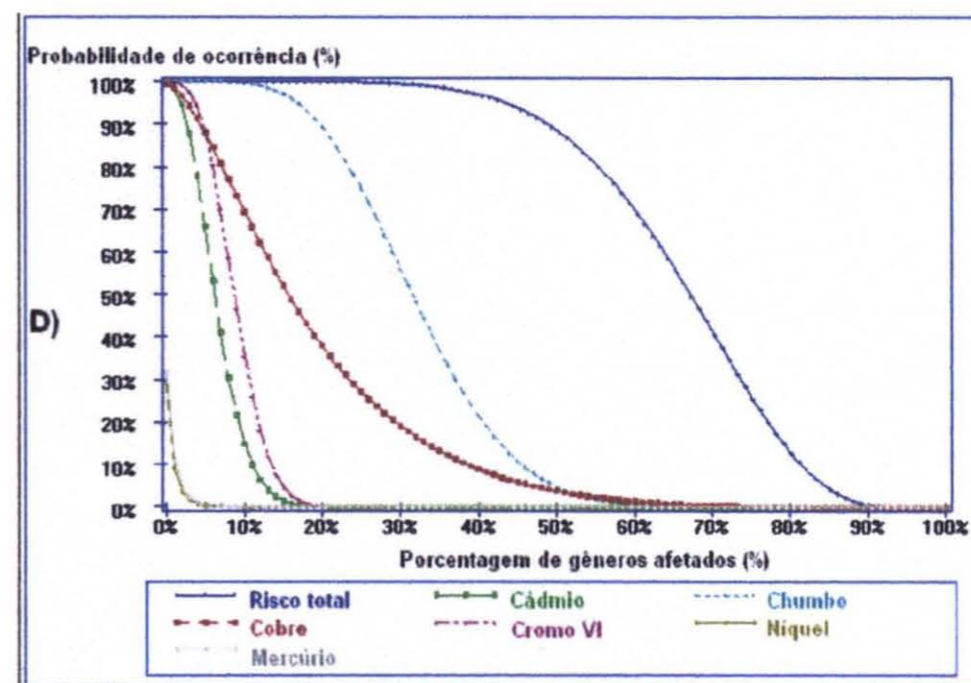
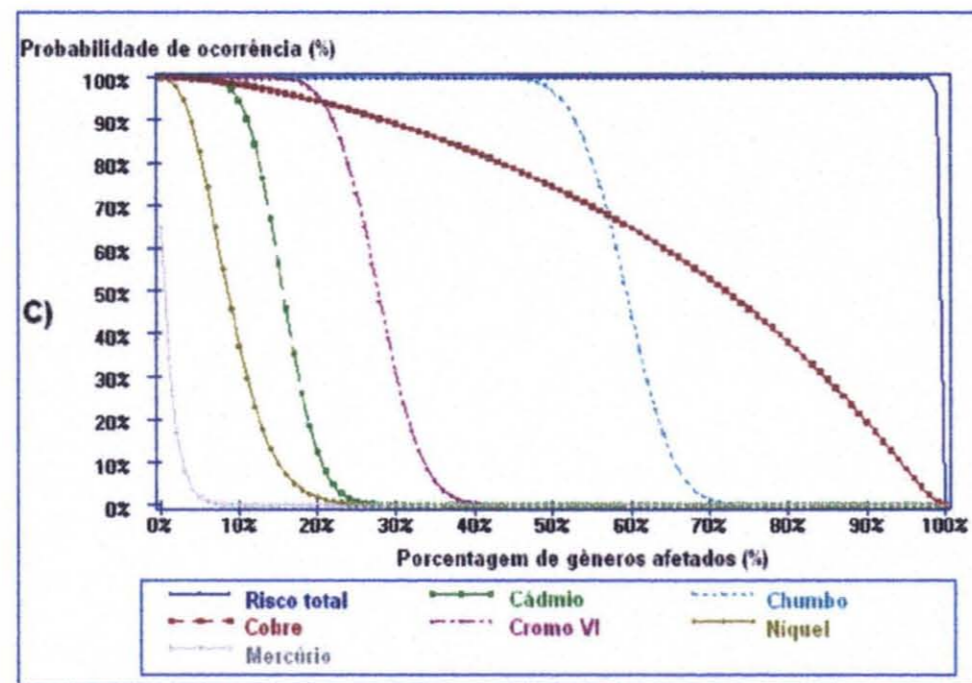
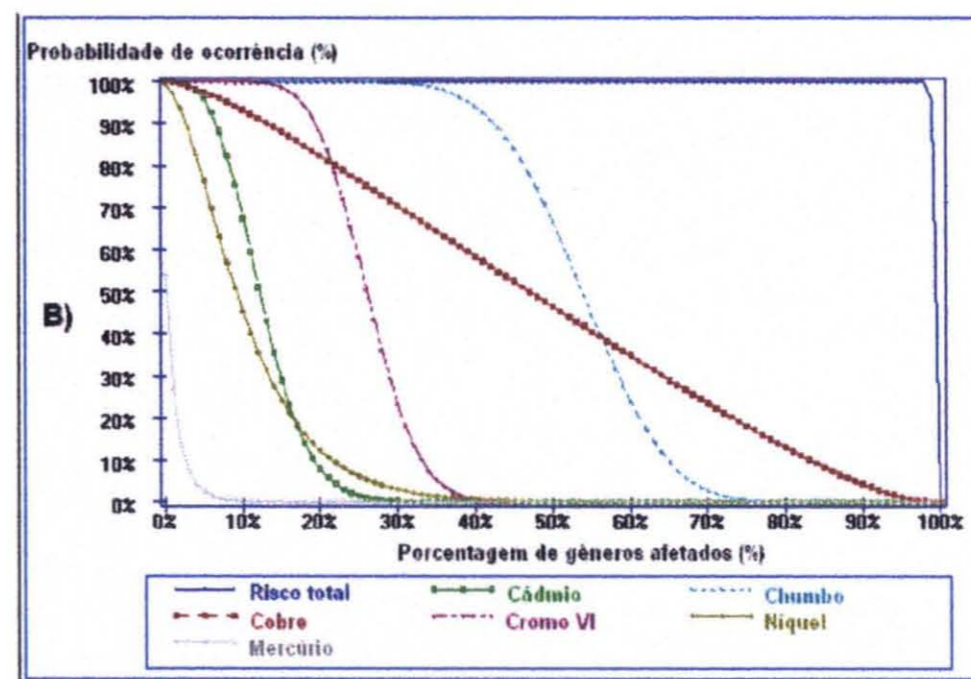
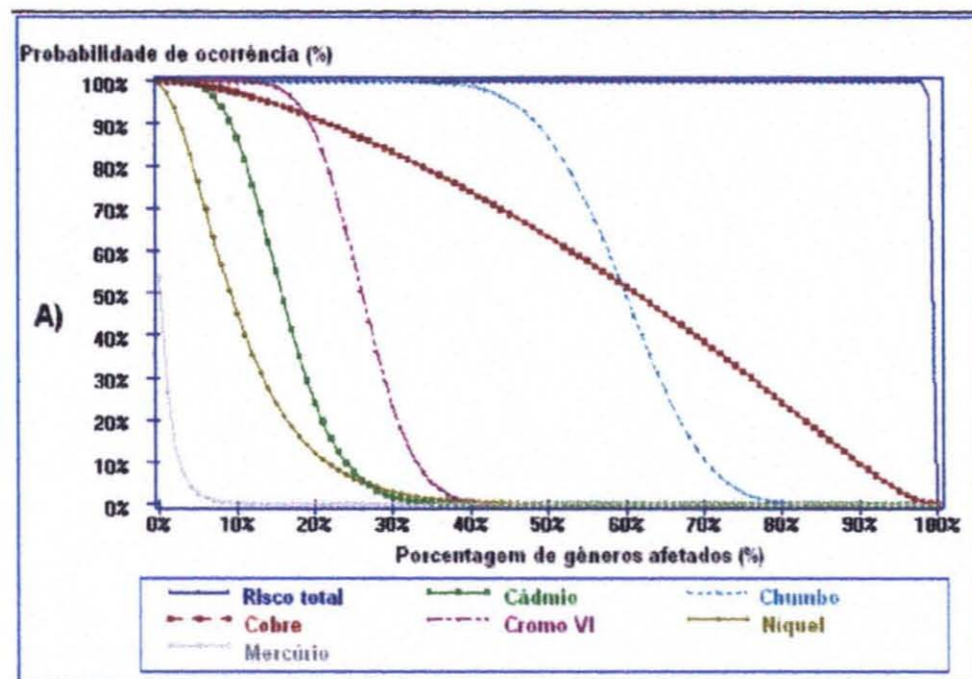
Legenda: A) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e 34 gêneros nativos/introduzidos;  
 B) Dureza da água padrão do programa, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e 34 gêneros nativos/introduzidos;  
 C) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de um ano (2000) e 34 gêneros nativos/introduzidos e,  
 D) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e os 116 gêneros da base de dados.

ATIB02065



Legenda: A) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e 34 gêneros nativos/introduzidos;  
 B) Dureza da água padrão do programa, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e 34 gêneros nativos/introduzidos;  
 C) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de um ano (2000) e 34 gêneros nativos/introduzidos e,  
 D) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e os 116 gêneros da base de dados.

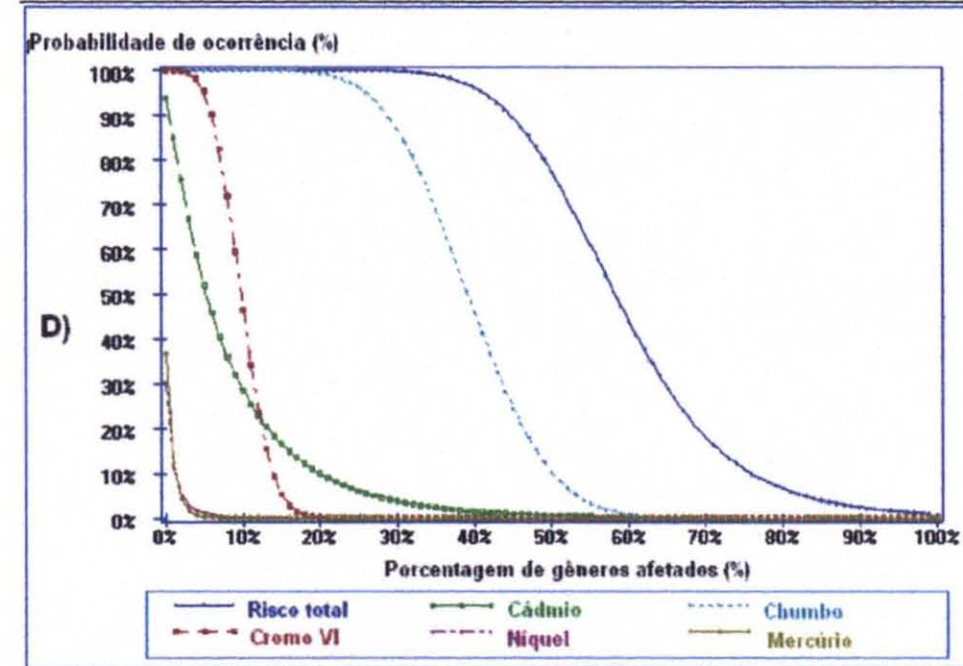
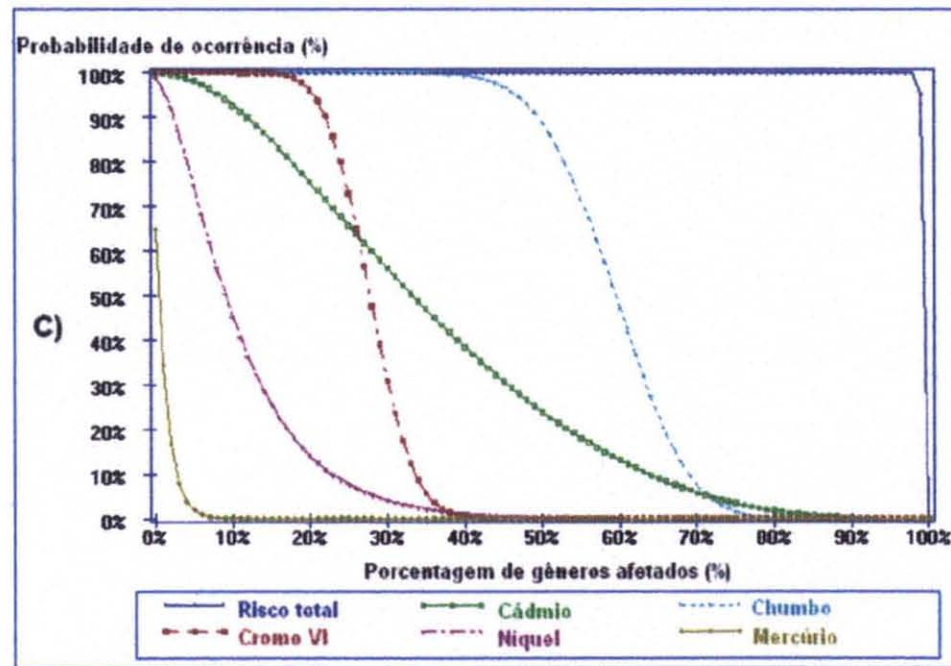
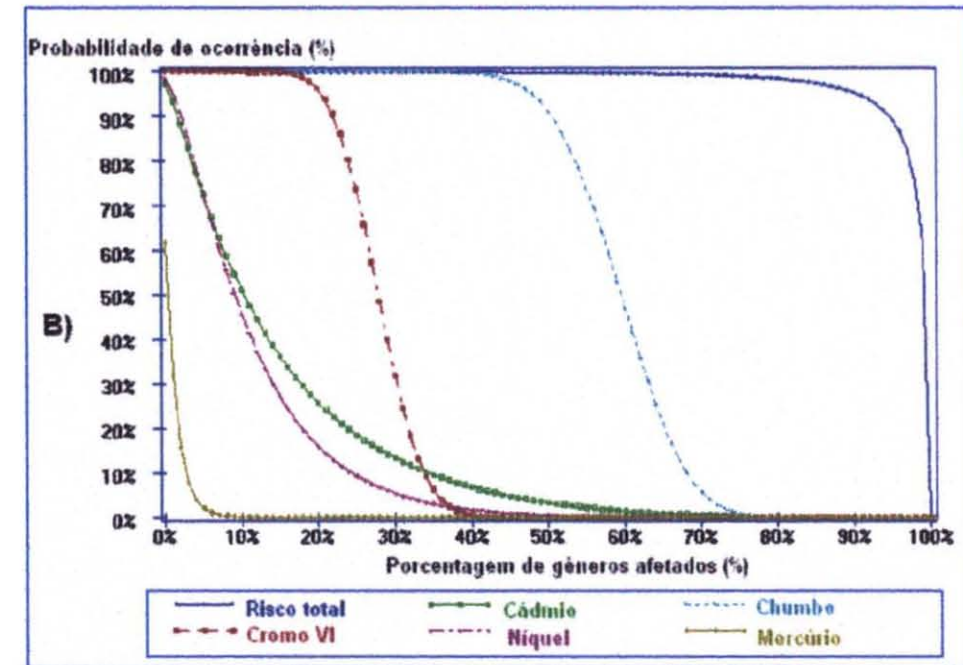
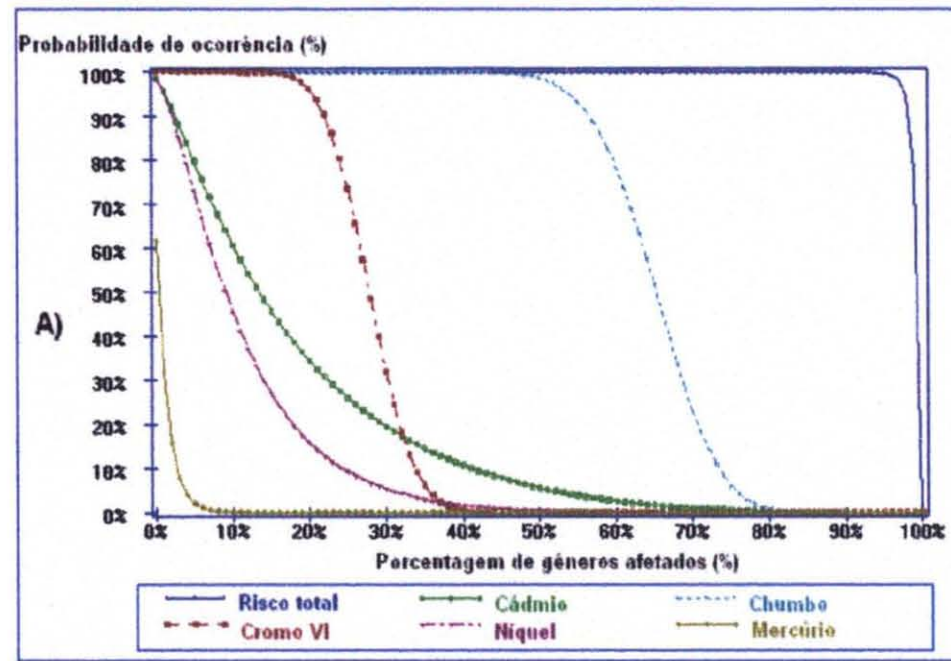
CPIV02900



Legenda: A) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e 34 gêneros nativos/introduzidos;  
 B) Dureza da água padrão do programa, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e 34 gêneros nativos/introduzidos;  
 C) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de um ano (2000) e 34 gêneros nativos/introduzidos e,  
 D) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e os 116 gêneros da base de dados.

ANEXO 02 – UGRHI 5 – Piracicaba, Capivari, Jundiá

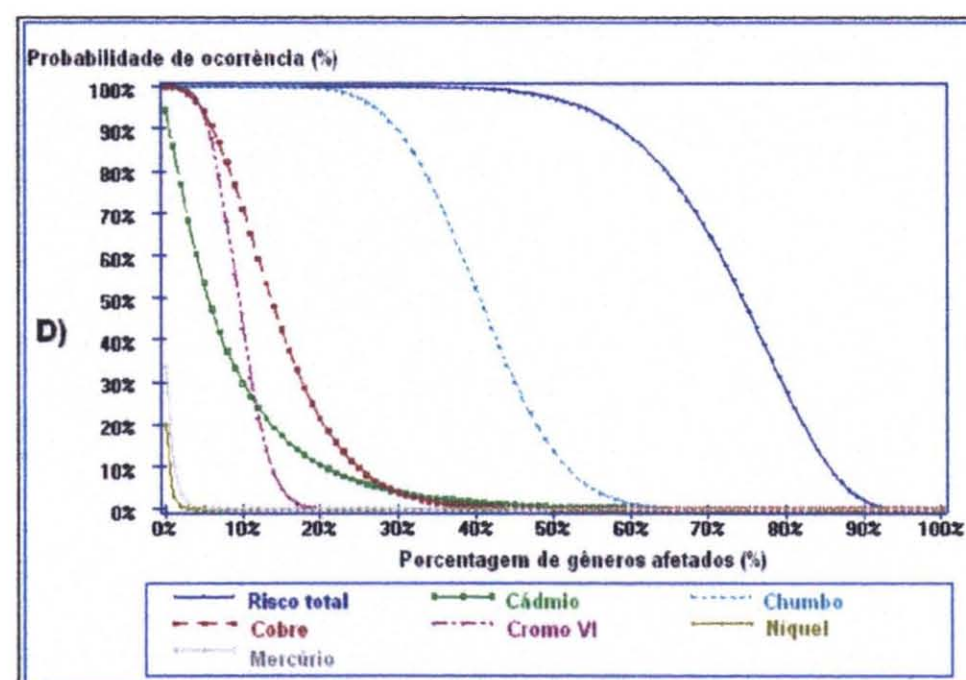
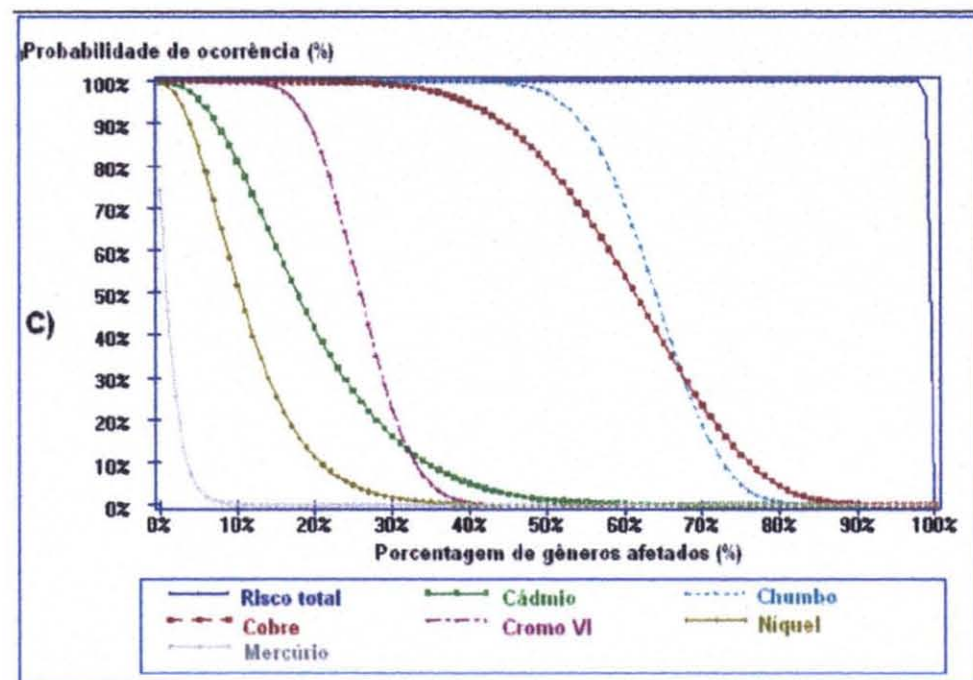
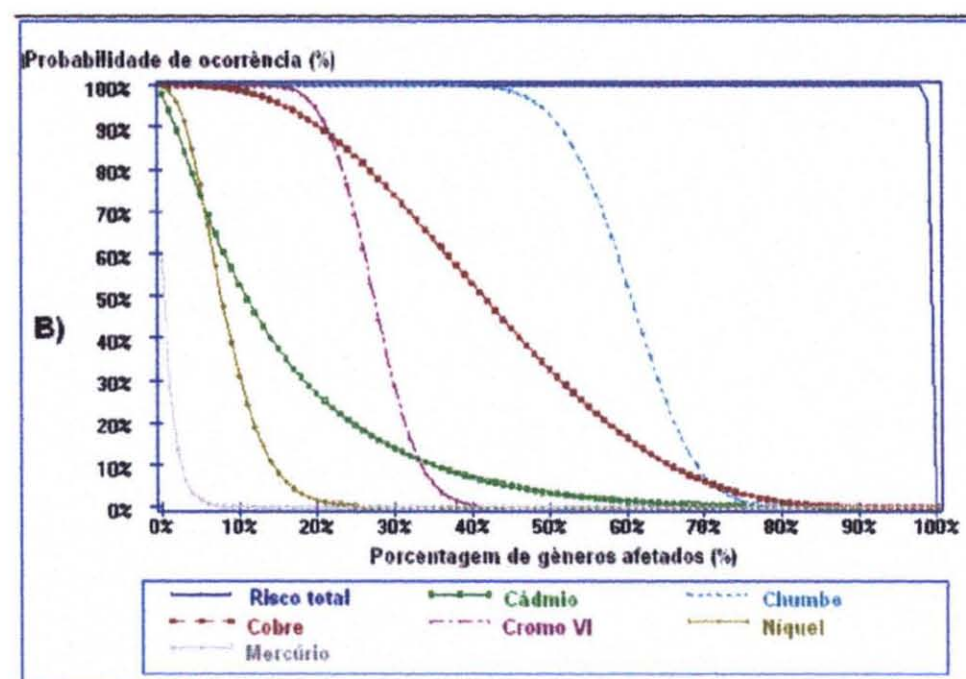
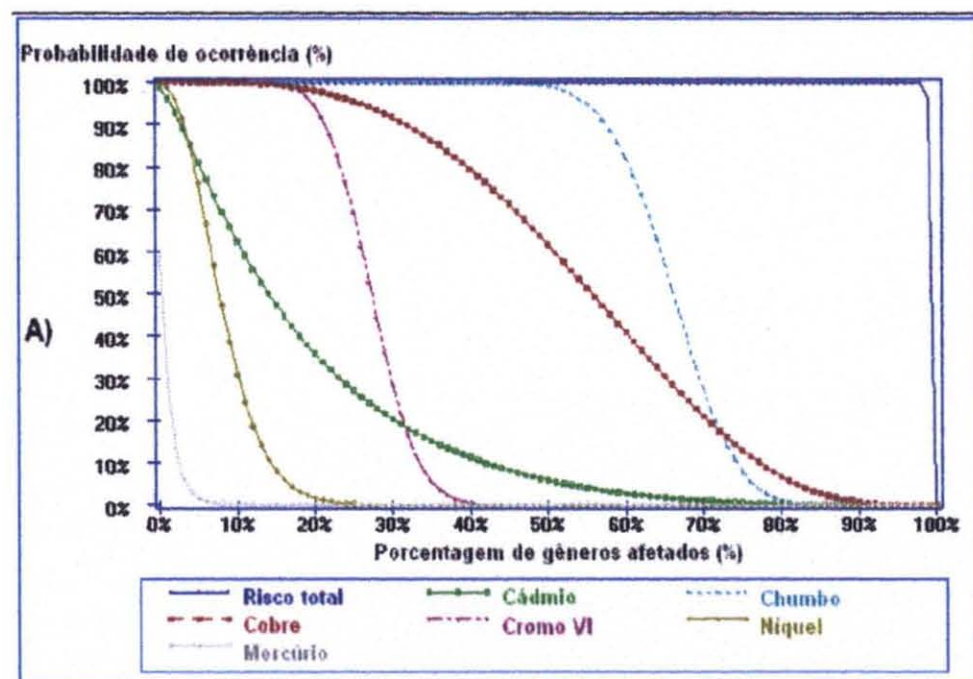
JAGR02800



Legenda: A) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e 34 gêneros nativos/introduzidos;  
 B) Dureza da água padrão do programa, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e 34 gêneros nativos/introduzidos;  
 C) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de um ano (2000) e 34 gêneros nativos/introduzidos e,  
 D) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e os 116 gêneros da base de dados.

ANEXO 02 – UGRHI 5 – Piracicaba, Capivari, Jundiá

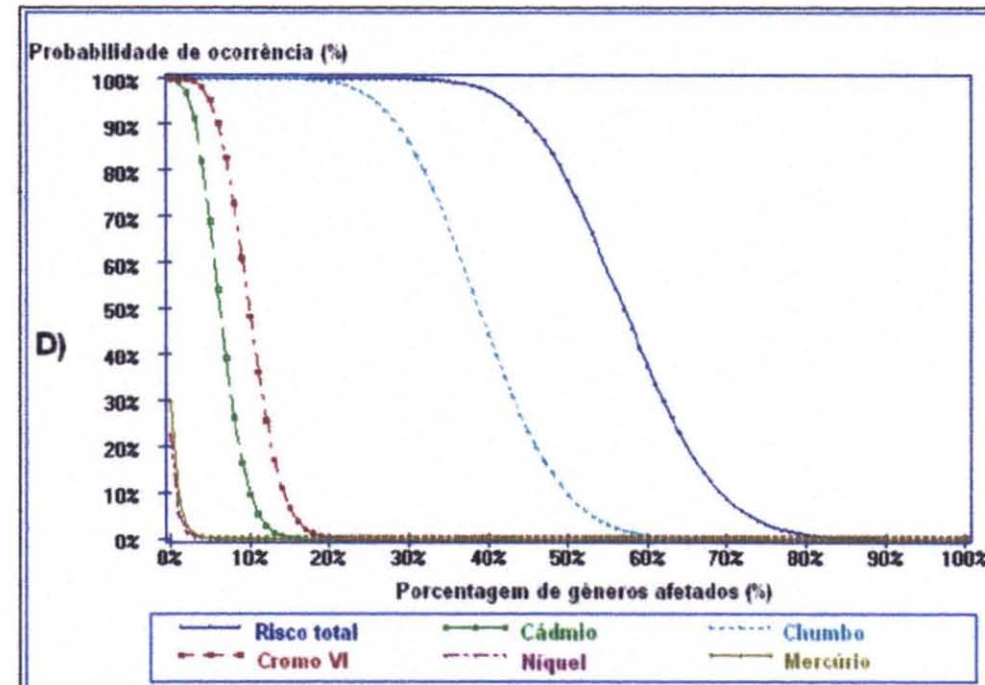
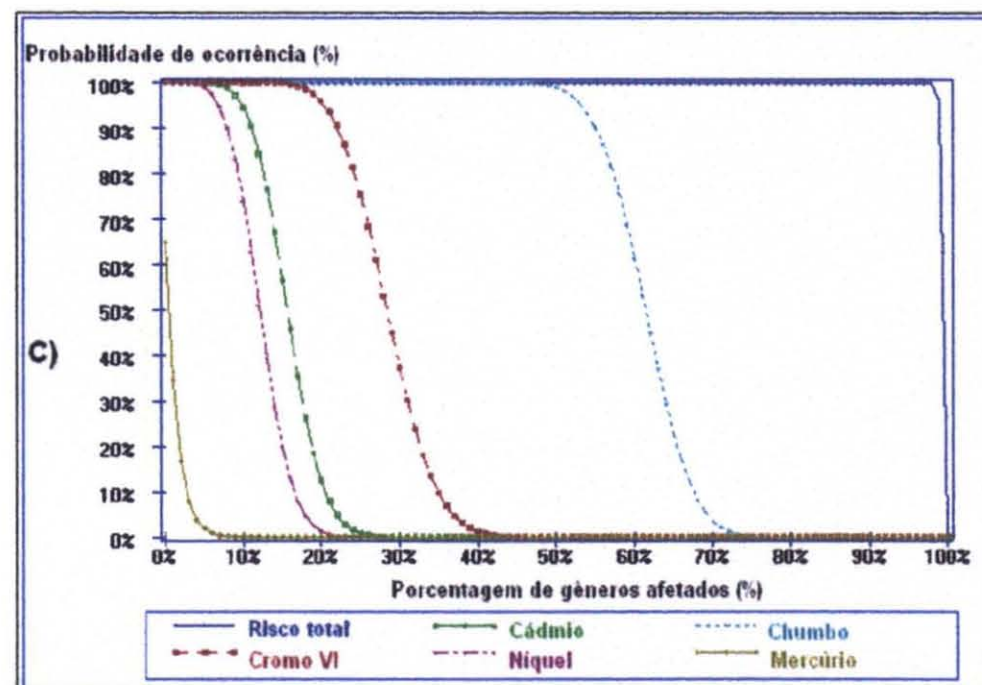
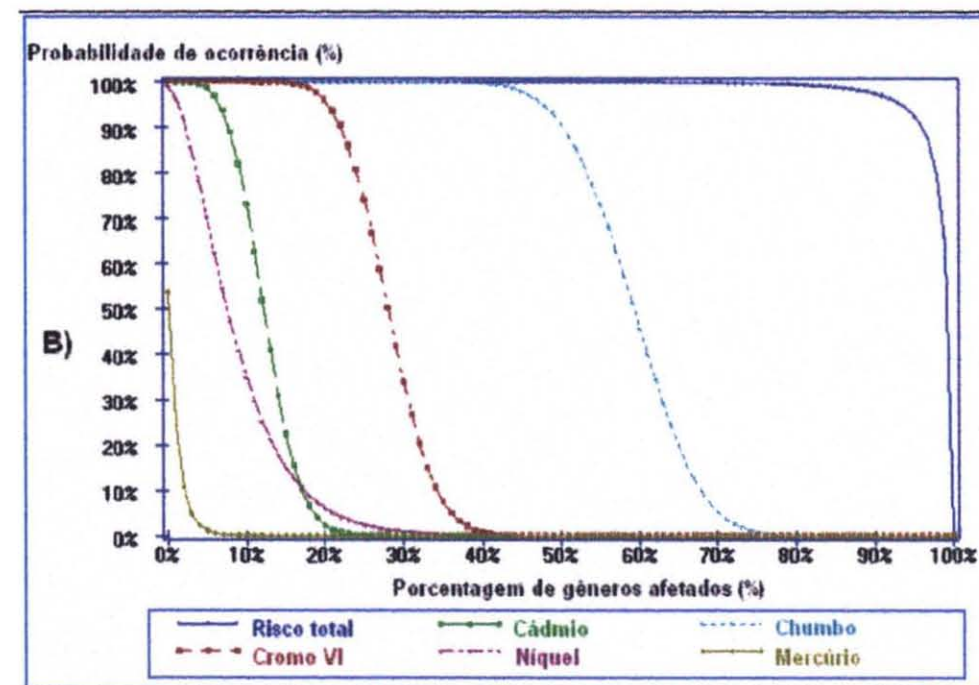
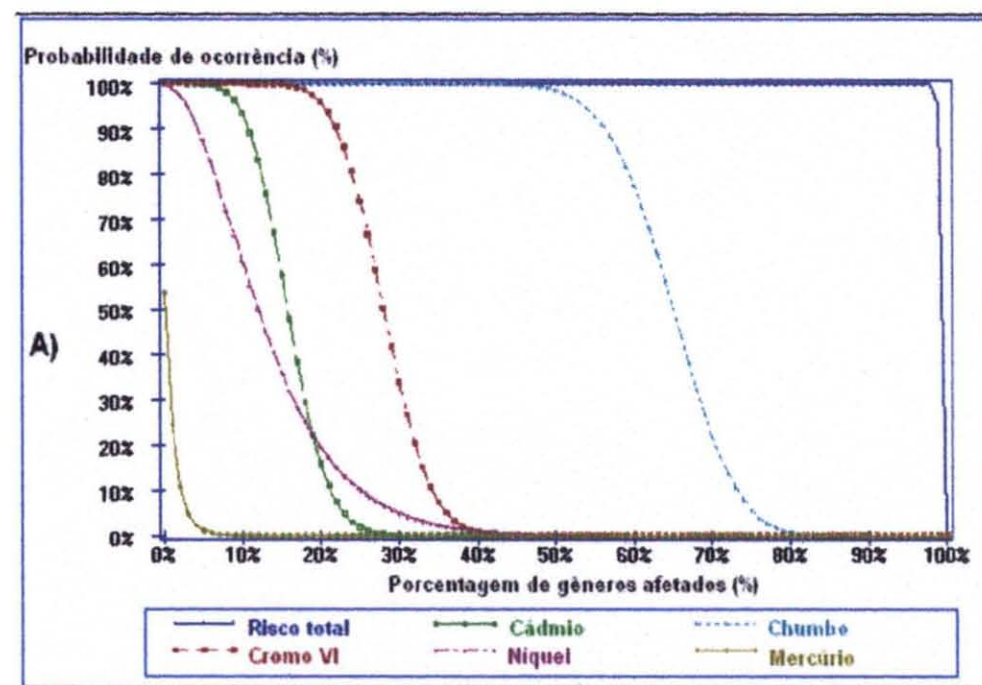
JUNA02020



Legenda: A) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e 34 gêneros nativos/introduzidos;  
 B) Dureza da água padrão do programa, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e 34 gêneros nativos/introduzidos;  
 C) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de um ano (2000) e 34 gêneros nativos/introduzidos e,  
 D) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e os 116 gêneros da base de dados.

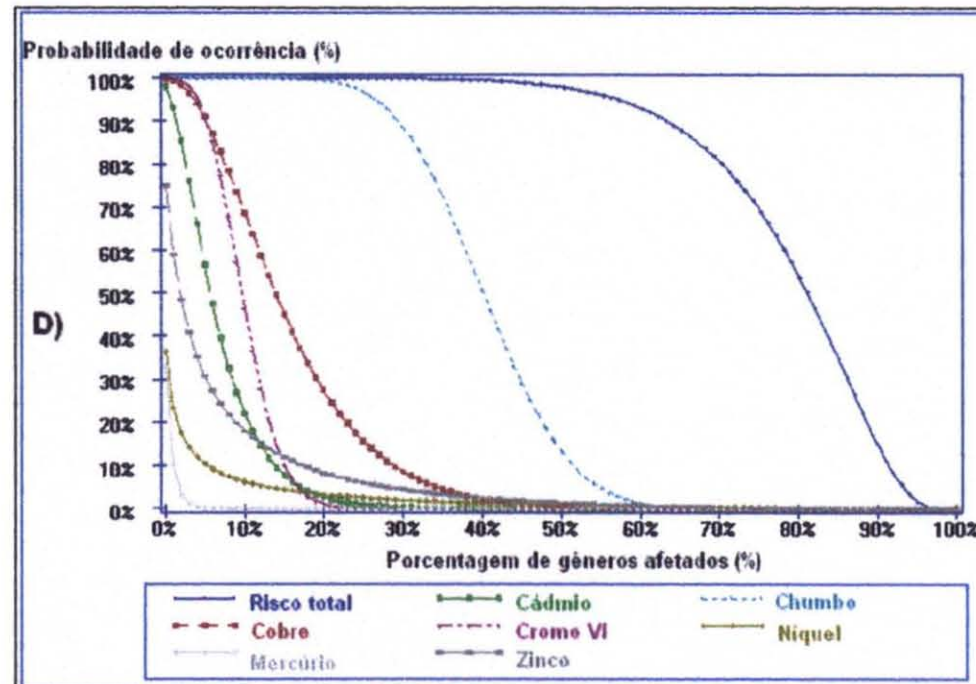
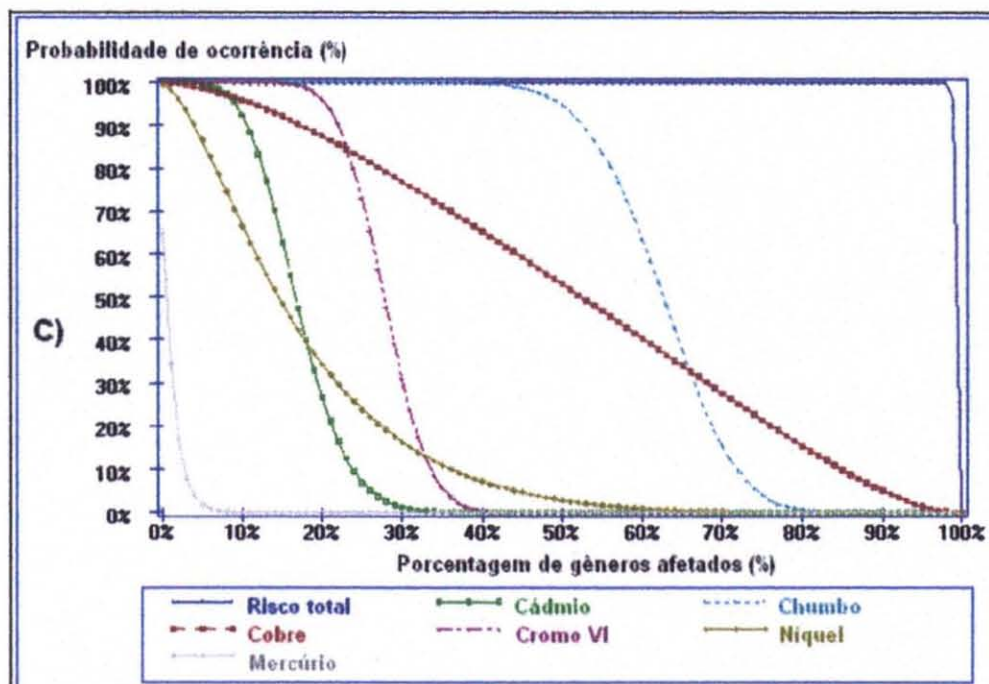
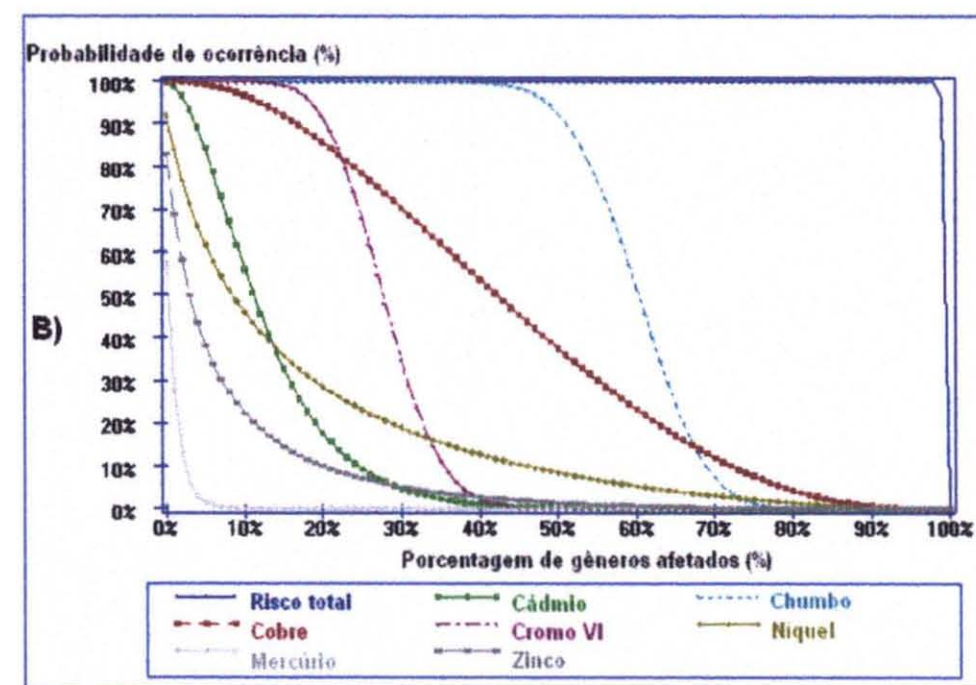
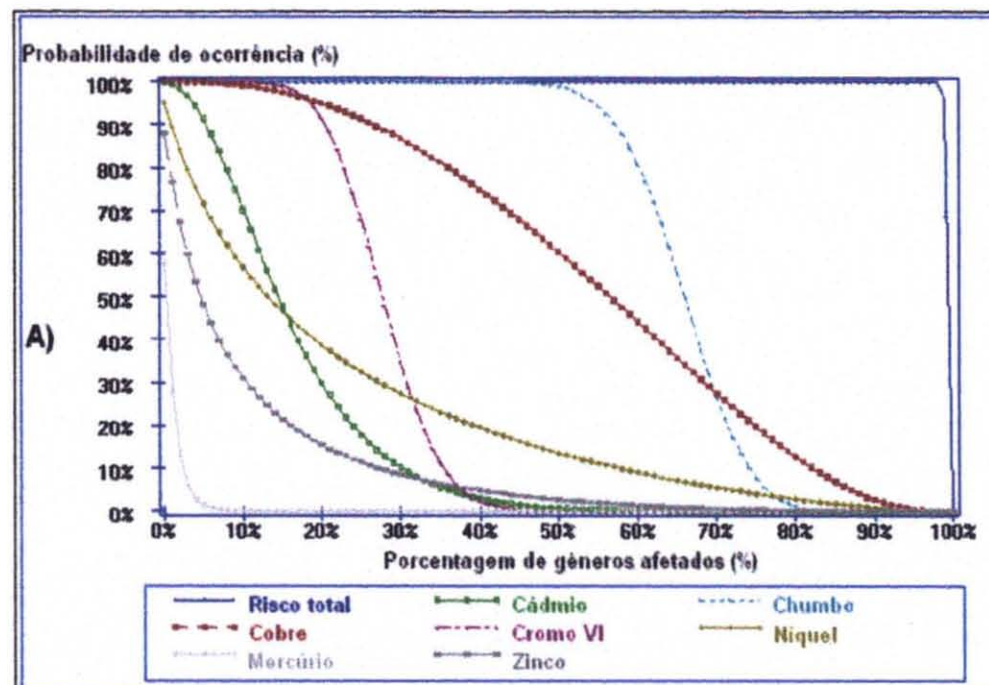
ANEXO 02 – UGRHI 5 – Piracicaba, Capivari, Jundiá

PCAB02100



Legenda: A) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e 34 gêneros nativos/introduzidos;  
 B) Dureza da água padrão do programa, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e 34 gêneros nativos/introduzidos;  
 C) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de um ano (2000) e 34 gêneros nativos/introduzidos e,  
 D) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e os 116 gêneros da base de dados.

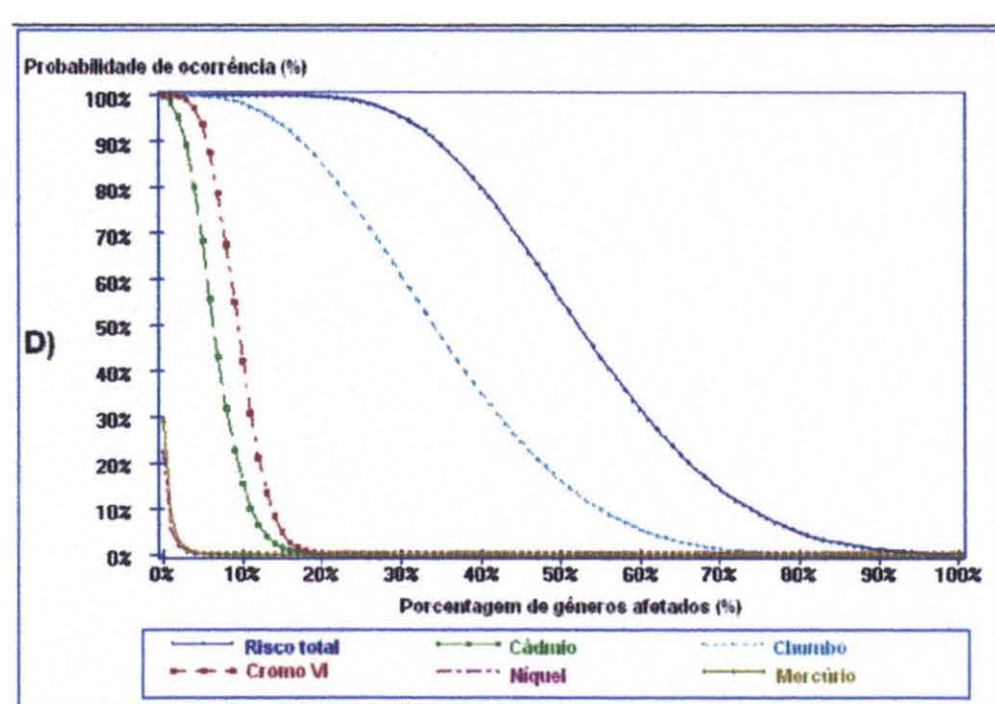
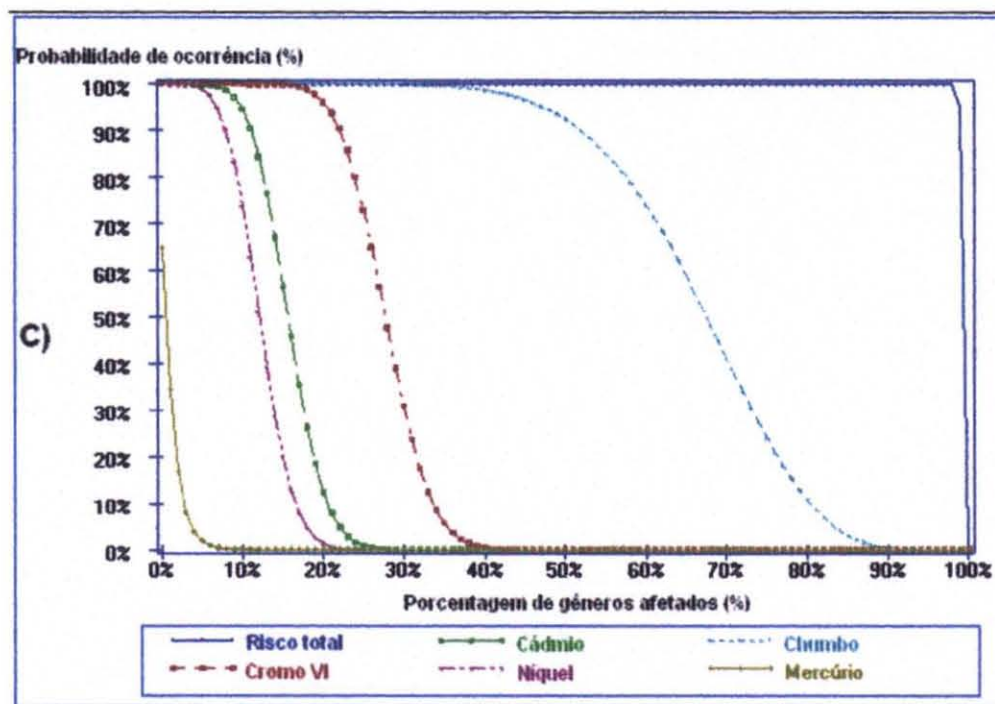
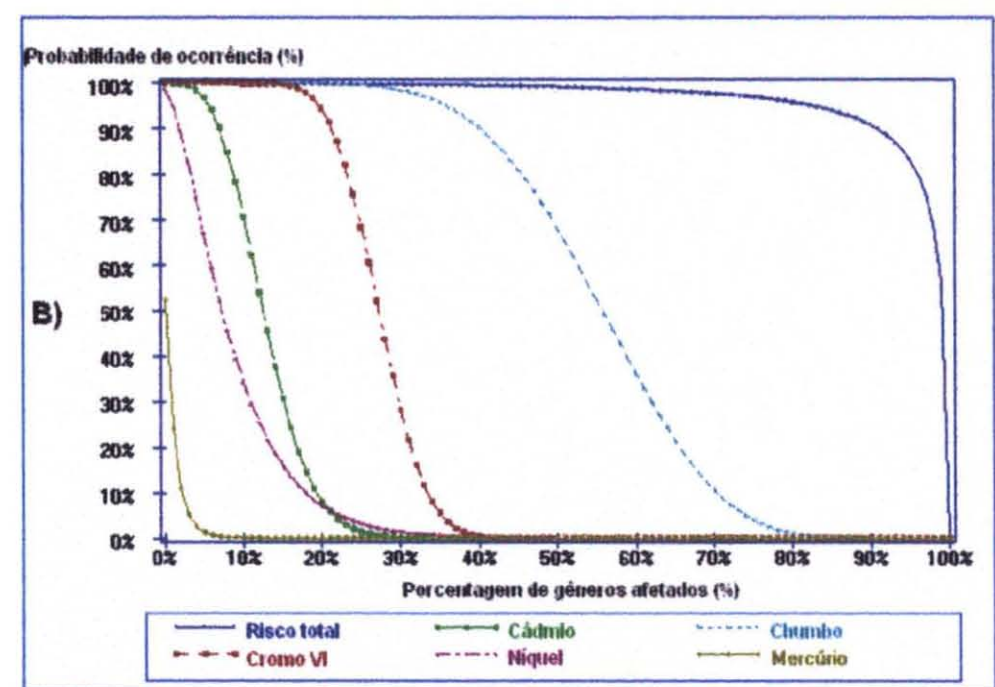
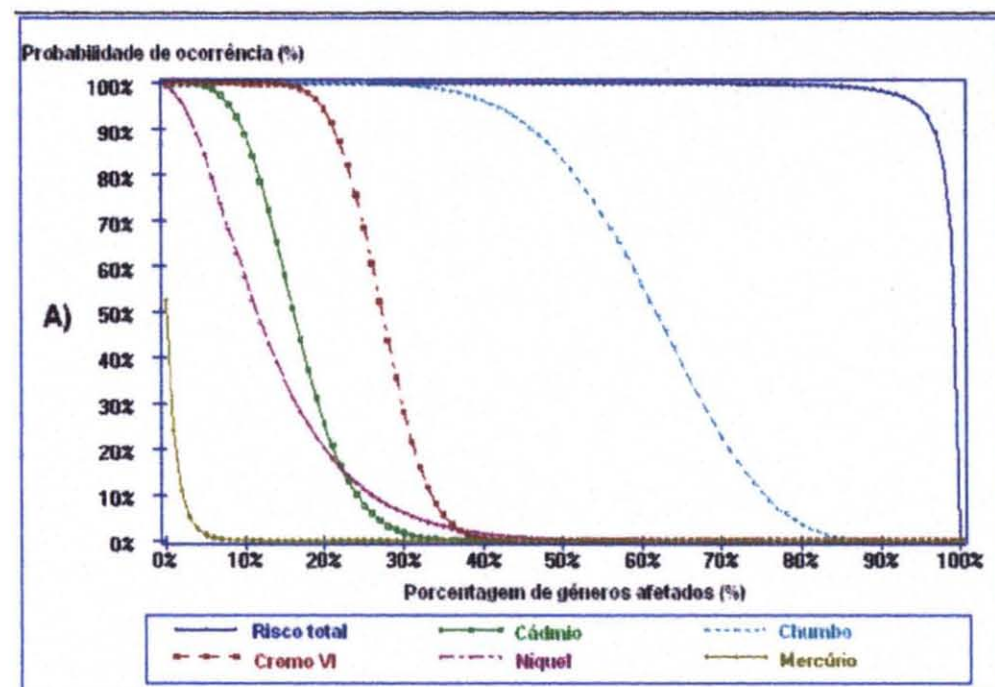
PCAB02220



Legenda: A) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e 34 gêneros nativos/introduzidos;  
 B) Dureza da água padrão do programa, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e 34 gêneros nativos/introduzidos;  
 C) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de um ano (2000) e 34 gêneros nativos/introduzidos e,  
 D) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e os 116 gêneros da base de dados.

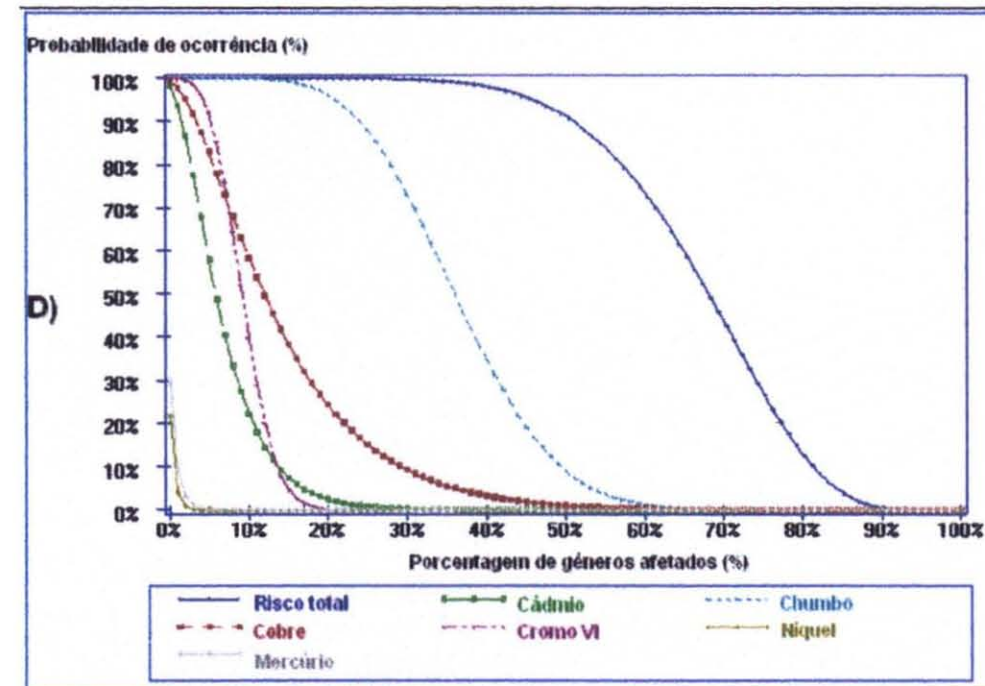
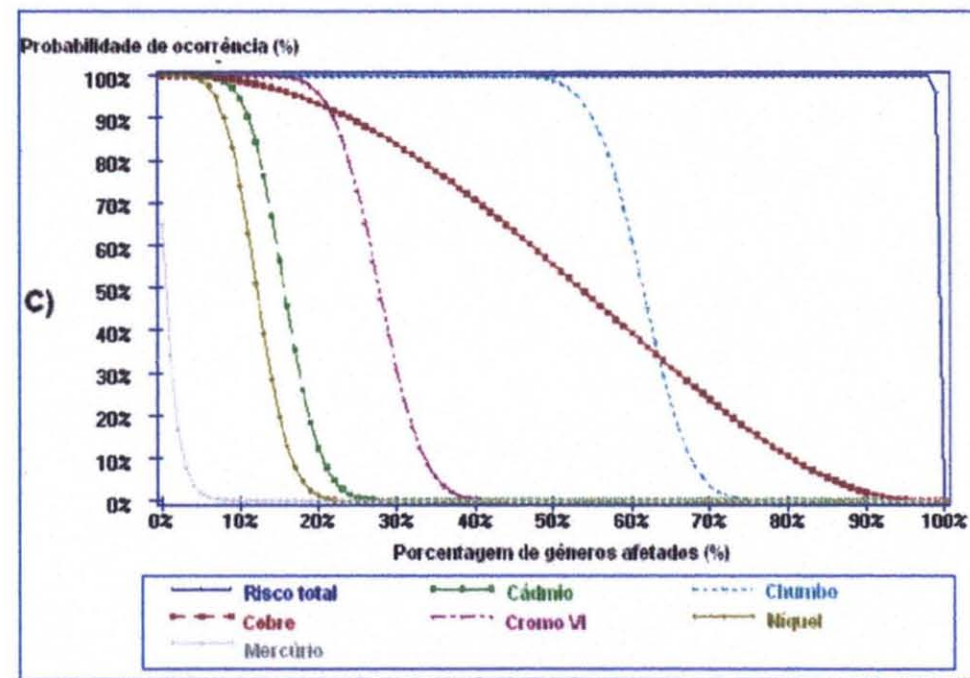
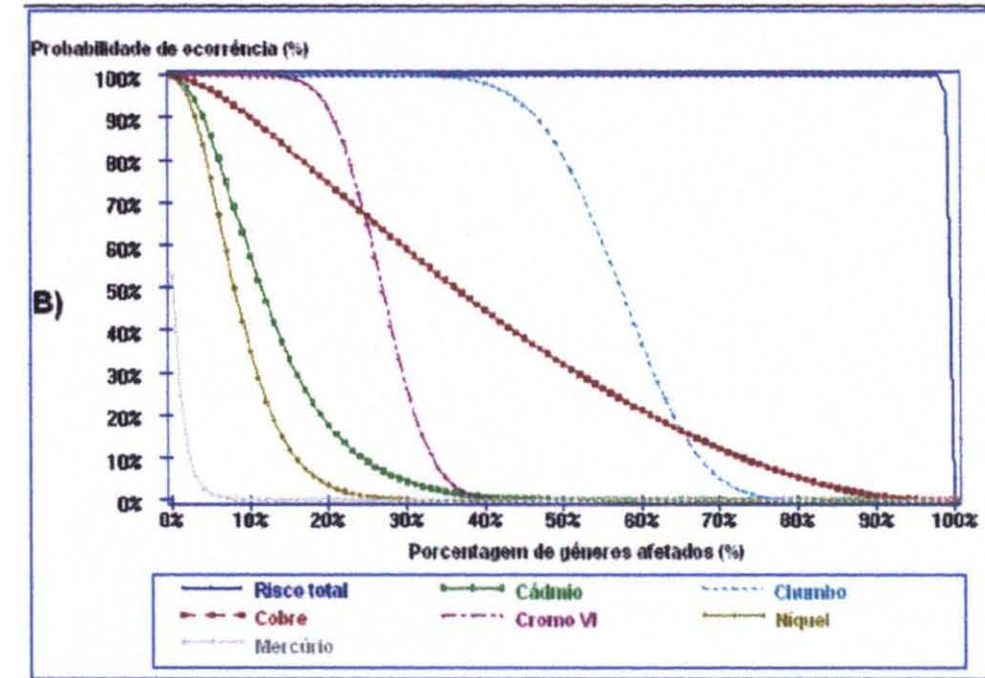
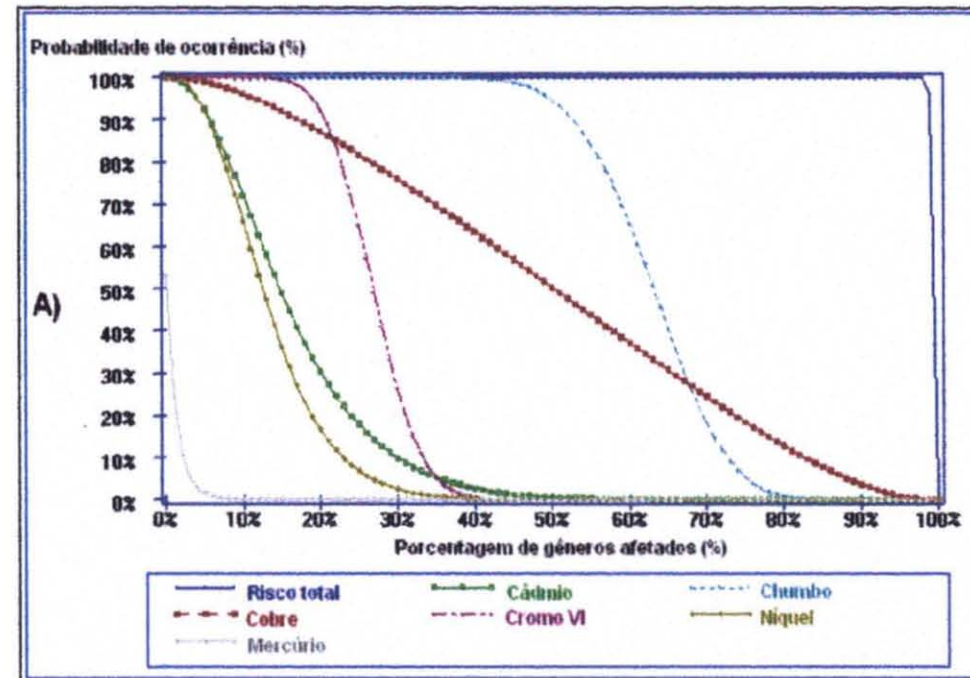


BILL02500



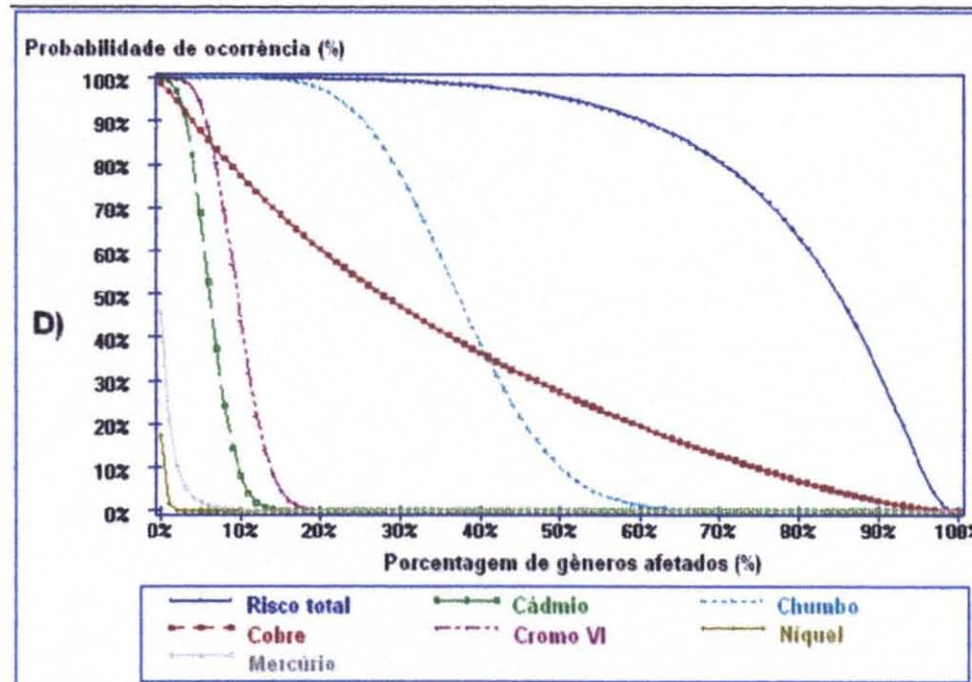
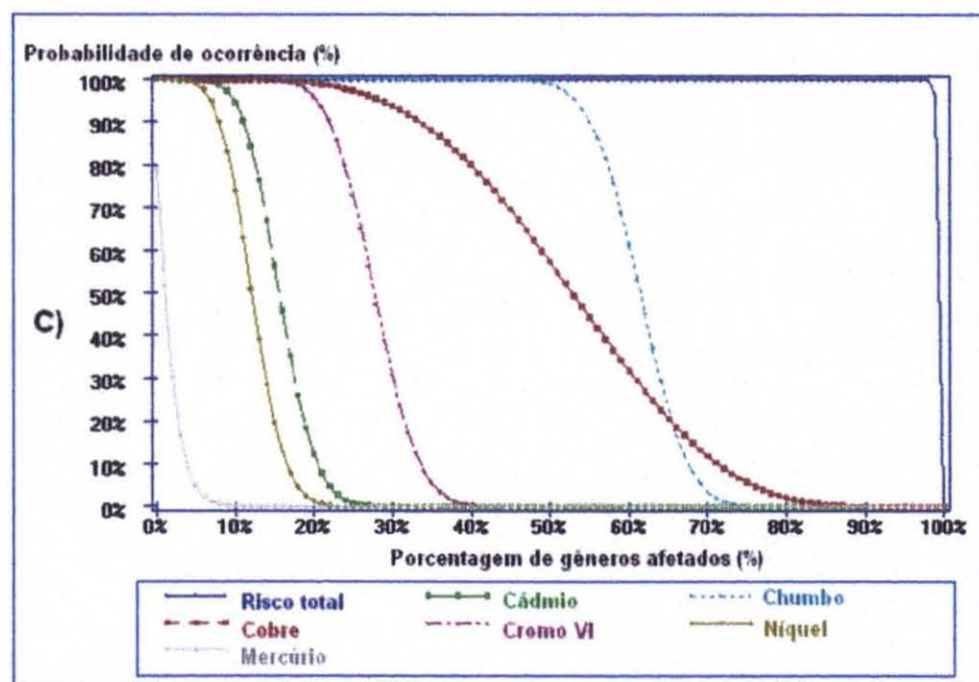
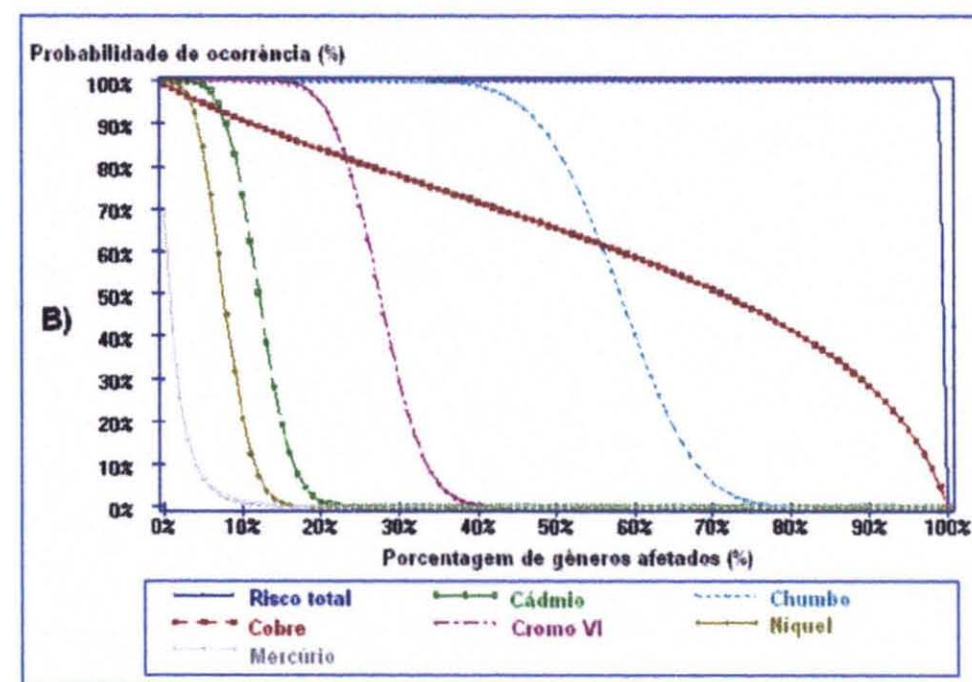
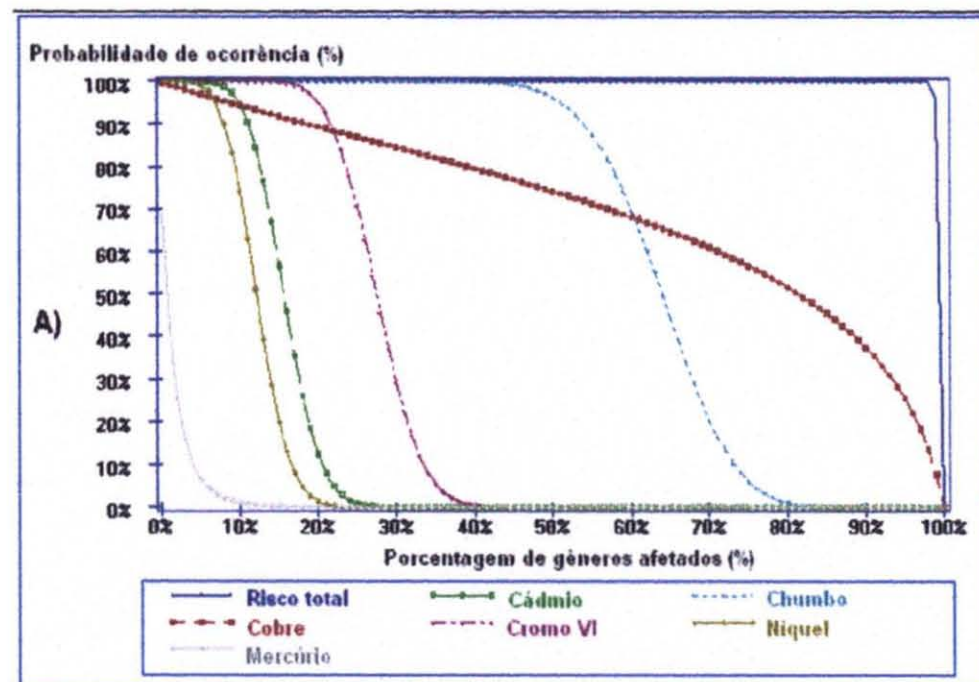
Legenda: A) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e 34 gêneros nativos/introduzidos;  
 B) Dureza da água padrão do programa, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e 34 gêneros nativos/introduzidos;  
 C) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de um ano (2000) e 34 gêneros nativos/introduzidos e,  
 D) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e os 116 gêneros da base de dados.

BILL02900



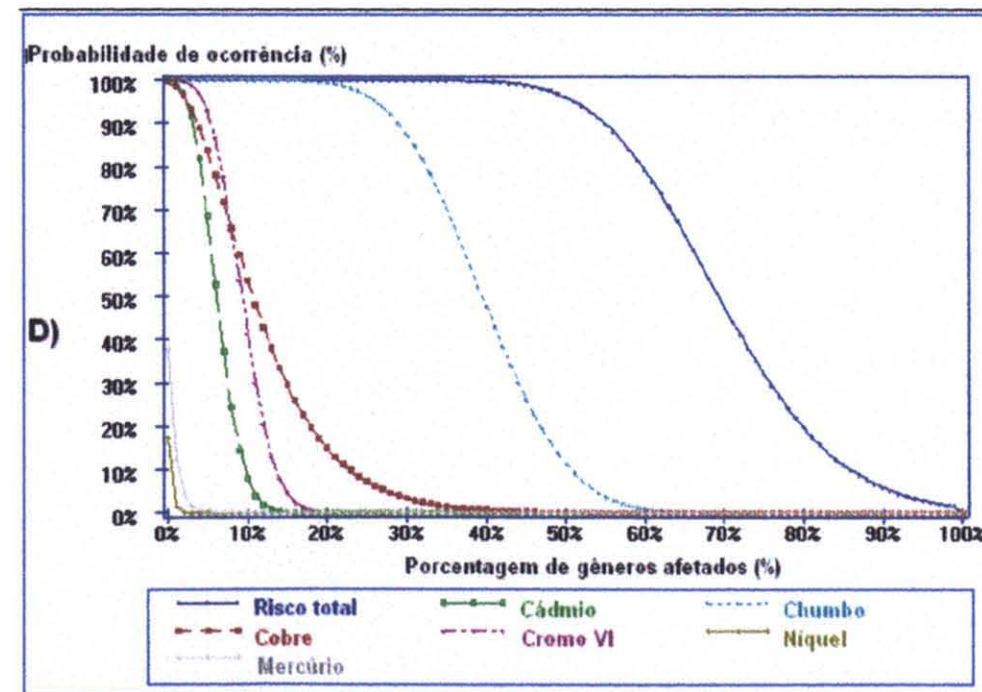
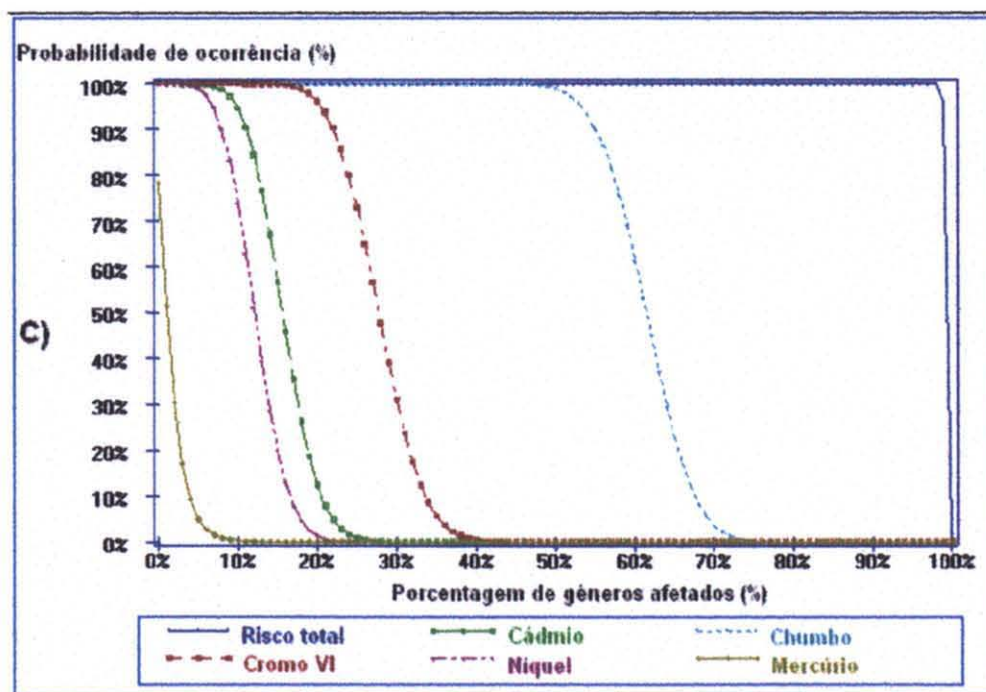
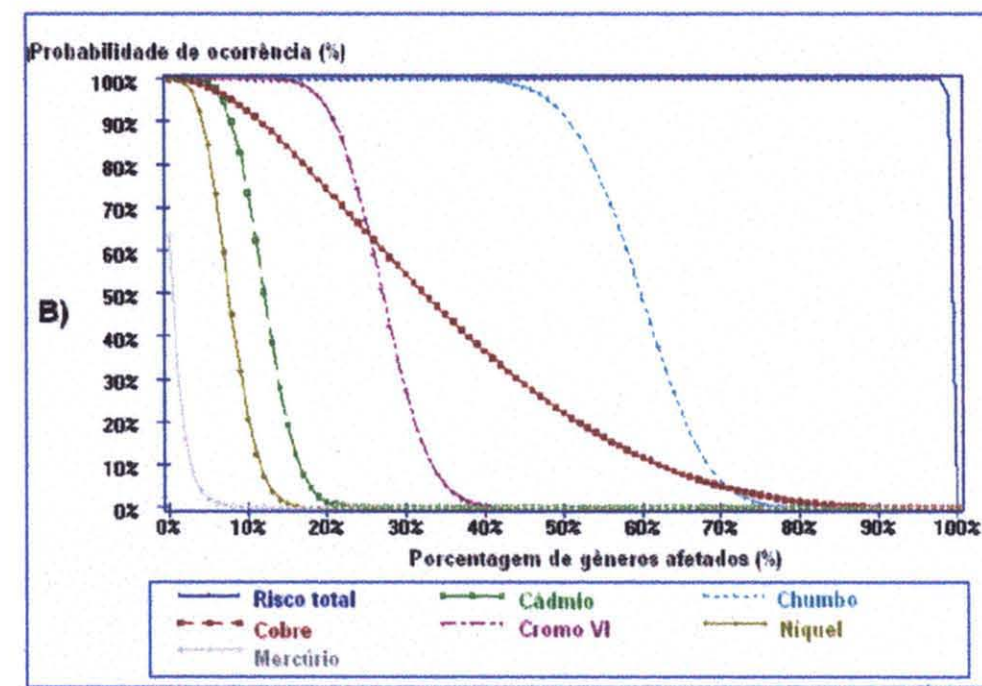
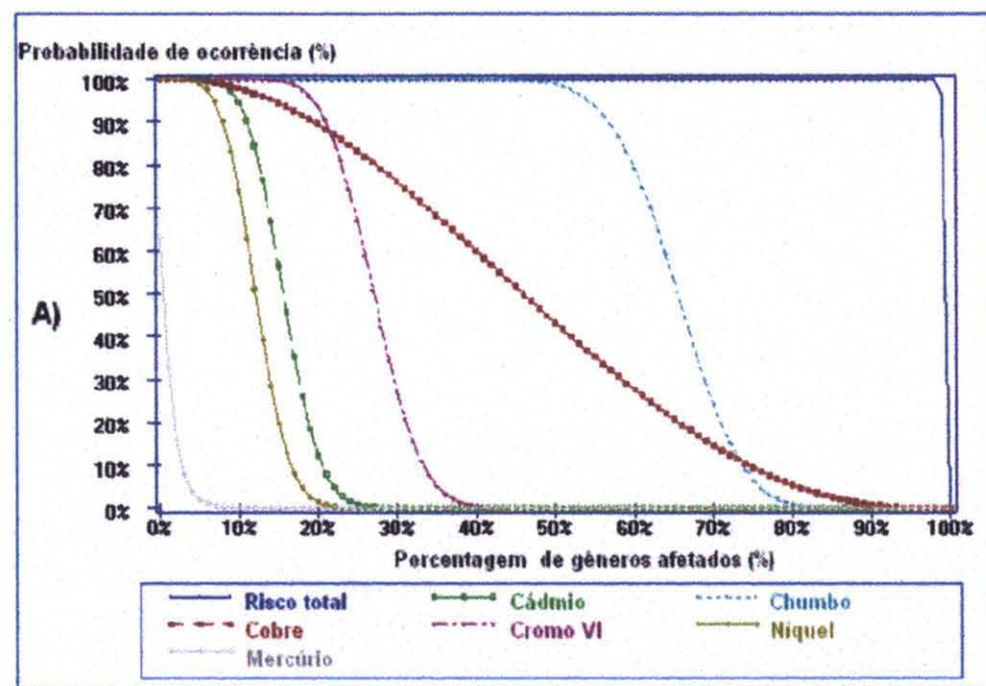
Legenda: A) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e 34 gêneros nativos/introduzidos;  
 B) Dureza da água padrão do programa, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e 34 gêneros nativos/introduzidos;  
 C) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de um ano (2000) e 34 gêneros nativos/introduzidos e,  
 D) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e os 116 gêneros da base de dados.

TGDE00900



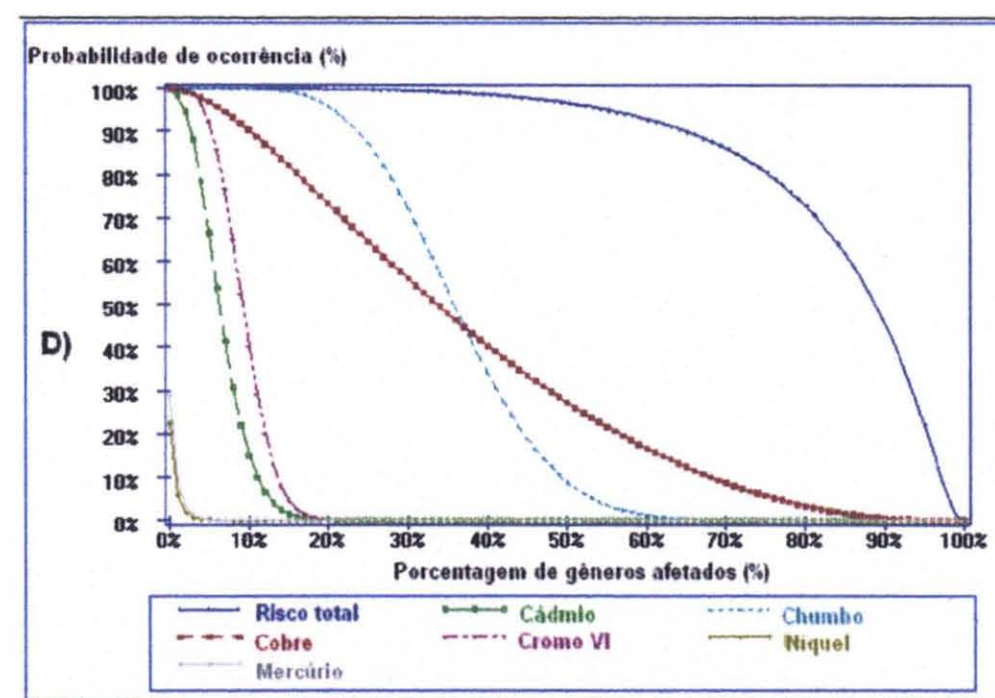
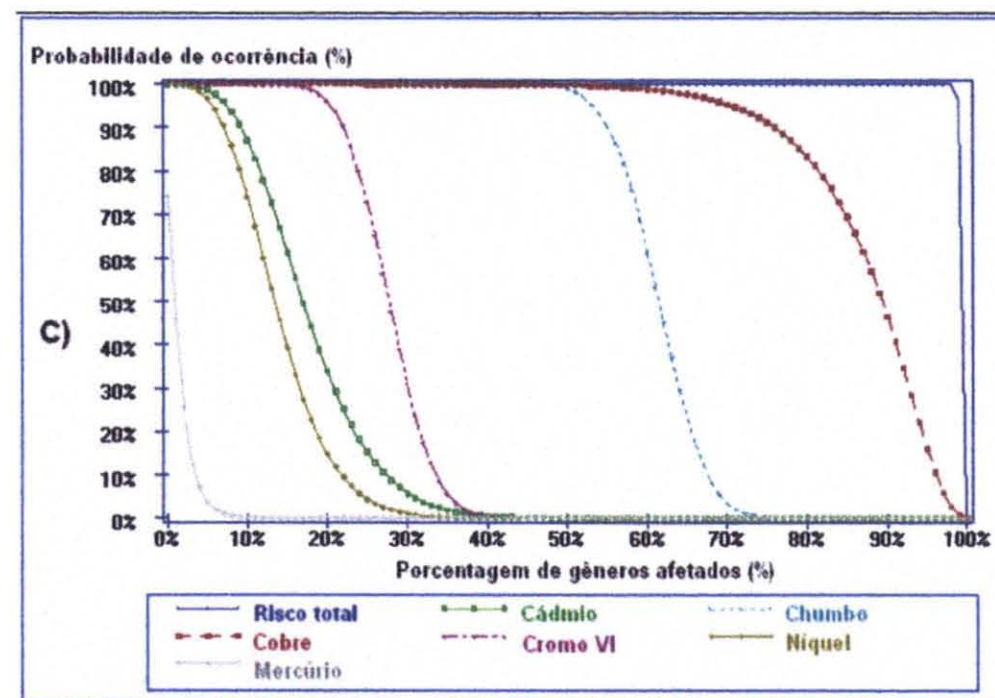
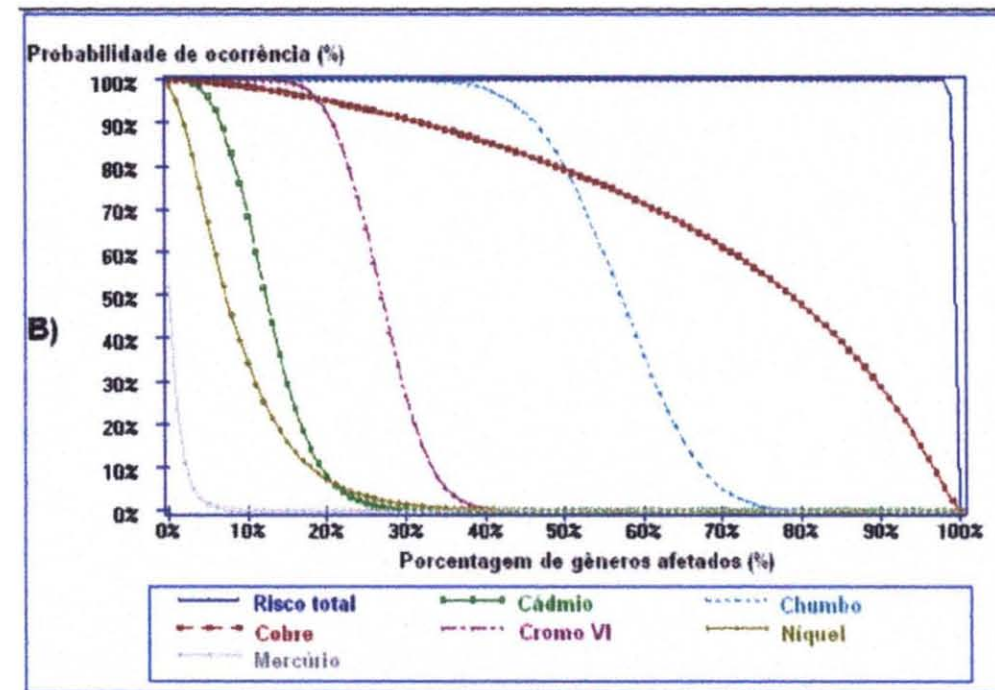
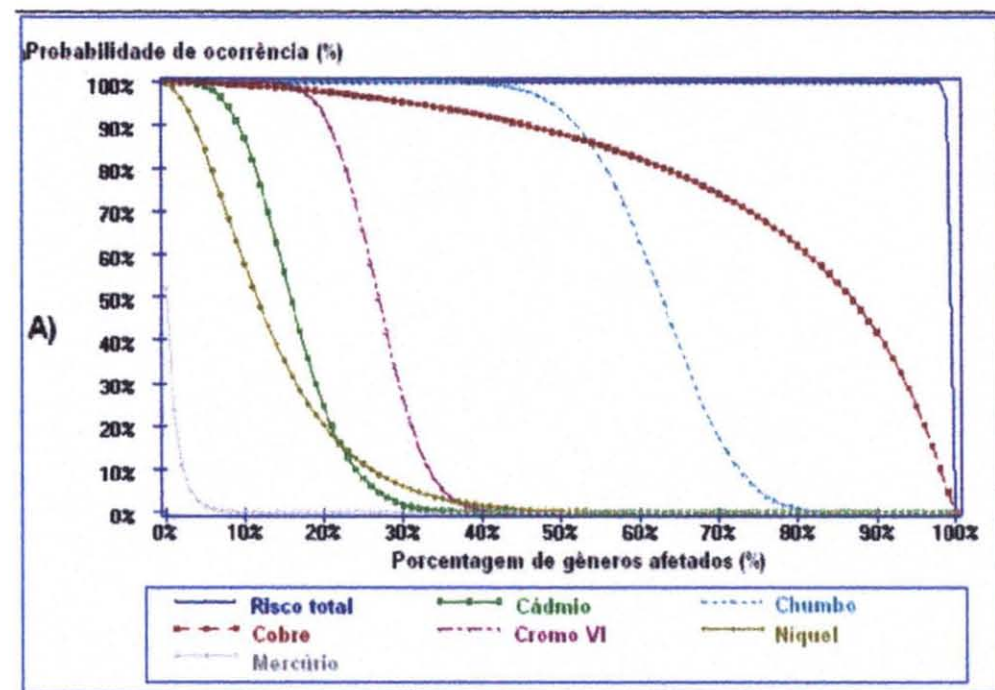
Legenda: A) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e 34 gêneros nativos/introduzidos;  
 B) Dureza da água padrão do programa, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e 34 gêneros nativos/introduzidos;  
 C) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de um ano (2000) e 34 gêneros nativos/introduzidos e,  
 D) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e os 116 gêneros da base de dados.

EMGU00800



Legenda: A) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e 34 gêneros nativos/introduzidos;  
 B) Dureza da água padrão do programa, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e 34 gêneros nativos/introduzidos;  
 C) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de um ano (2000) e 34 gêneros nativos/introduzidos e,  
 D) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e os 116 gêneros da base de dados.

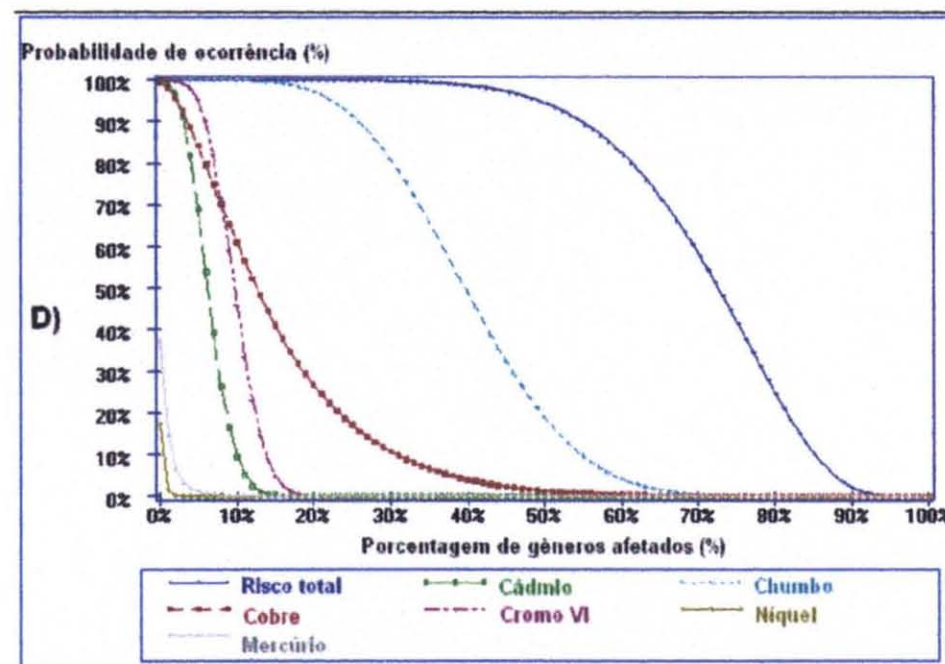
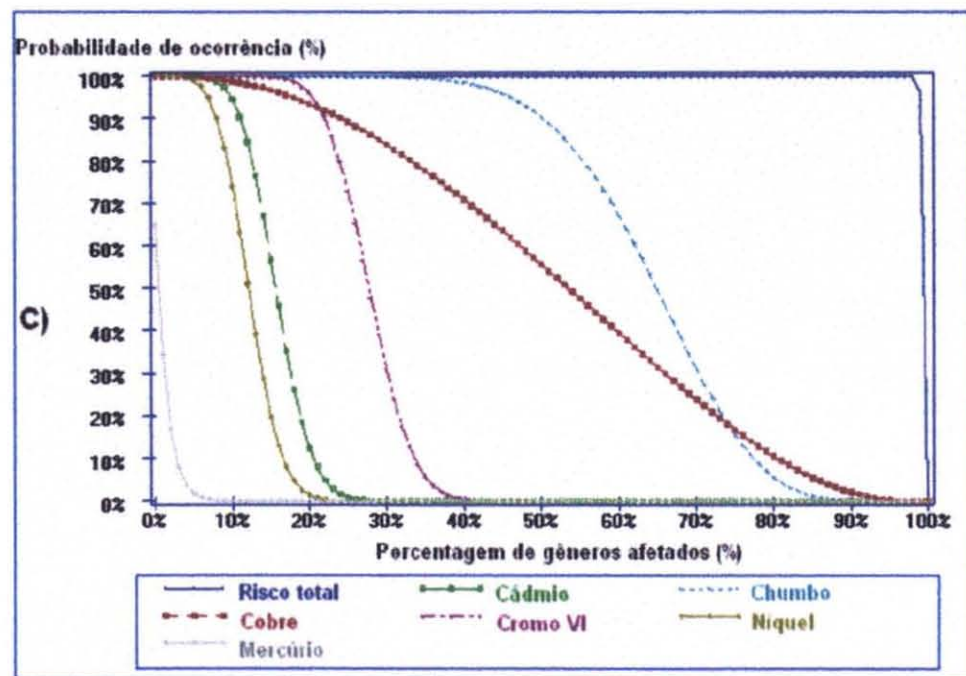
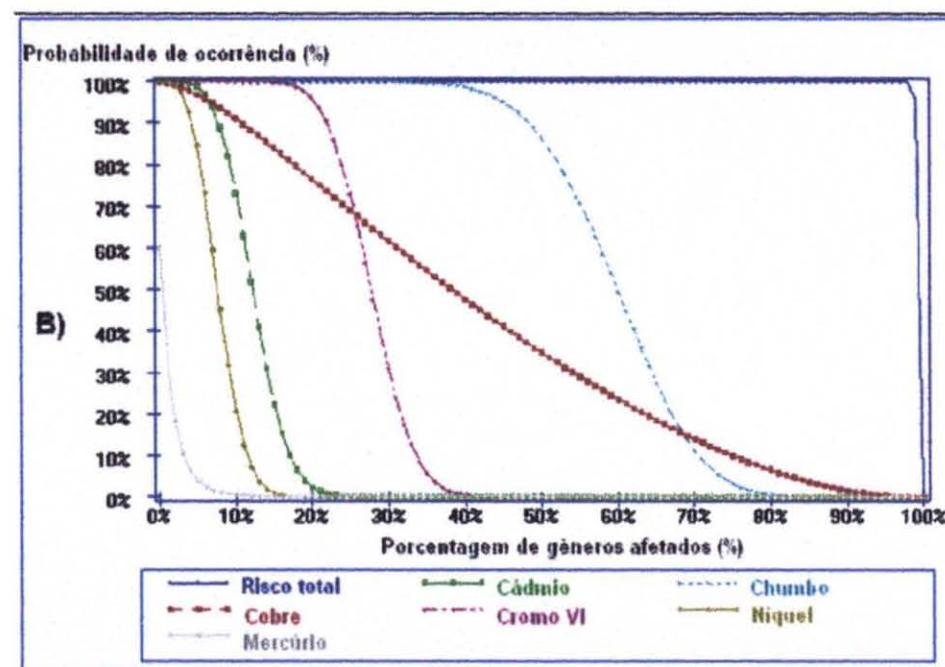
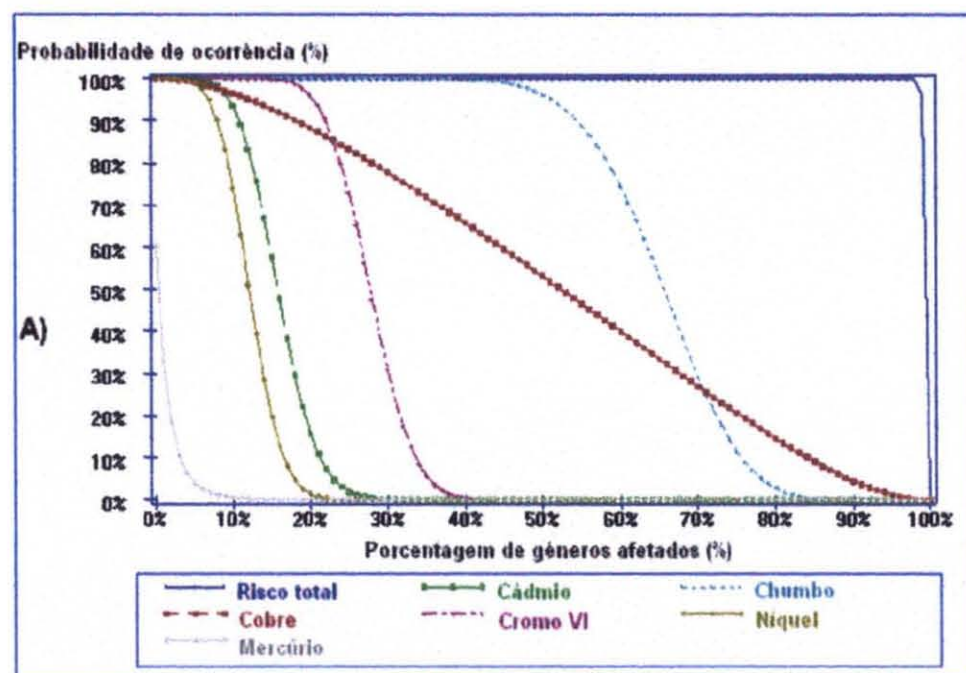
GUAR00900



Legenda: A) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e 34 gêneros nativos/introduzidos;  
 B) Dureza da água padrão do programa, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e 34 gêneros nativos/introduzidos;  
 C) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de um ano (2000) e 34 gêneros nativos/introduzidos e,  
 D) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e os 116 gêneros da base de dados.

ANEXO 03 – UGRHI 6 – Alto Tietê

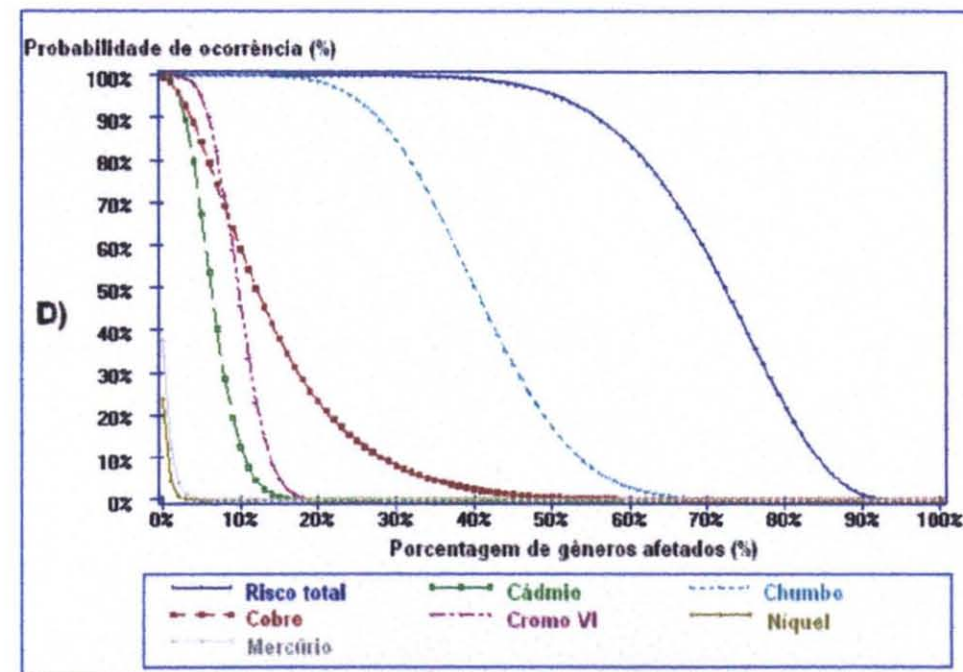
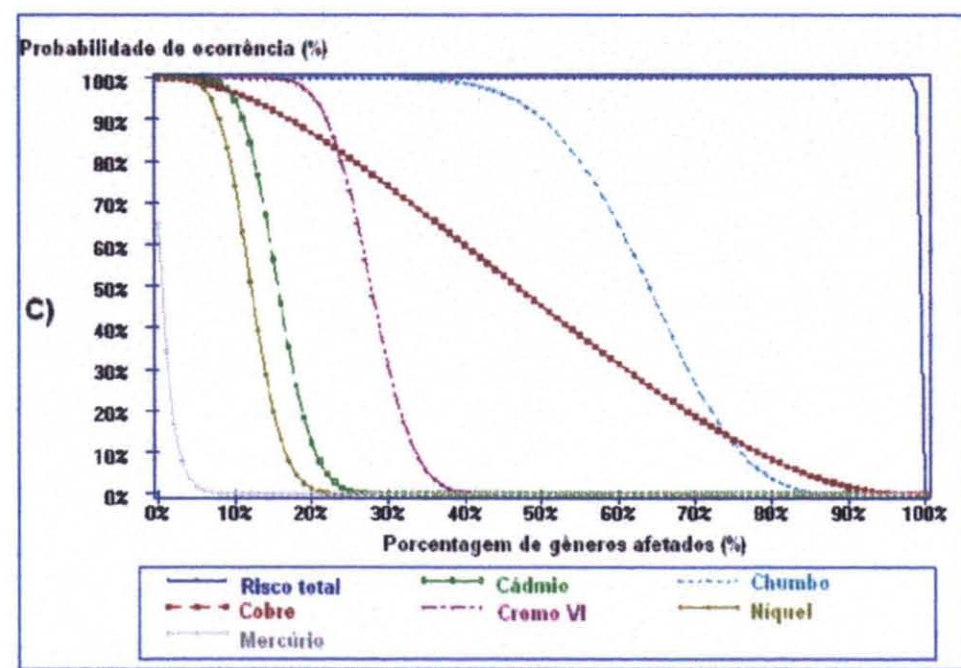
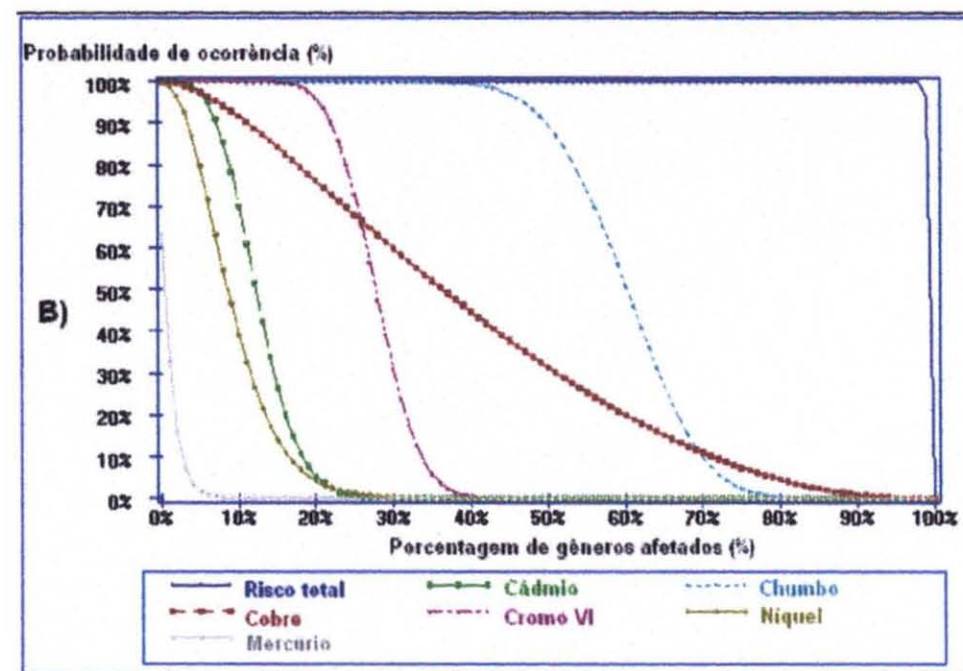
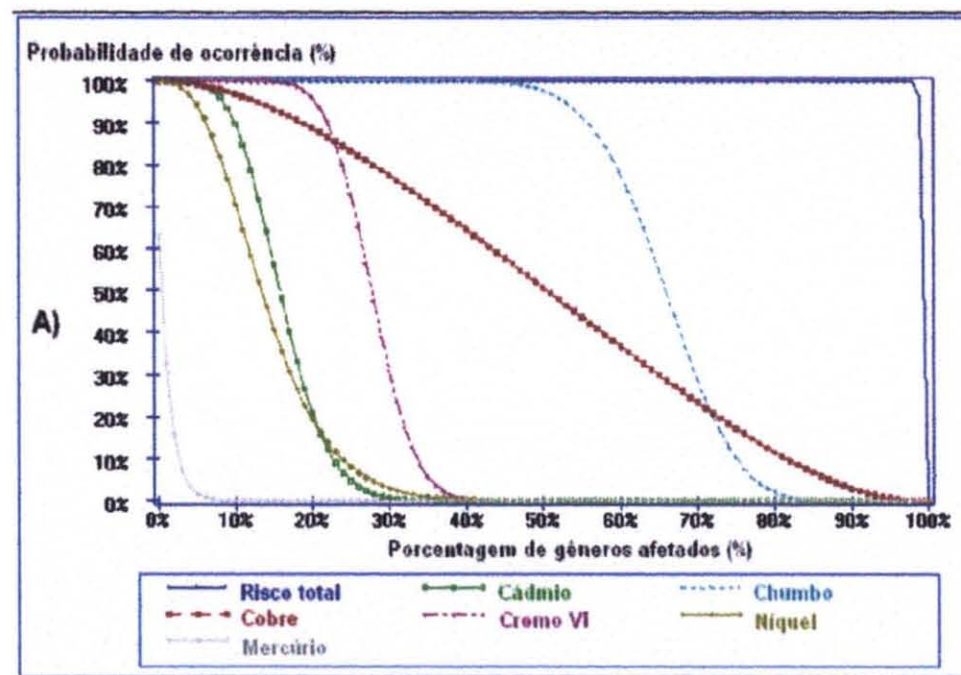
RGDE02200



Legenda: A) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e 34 gêneros nativos/introduzidos;  
 B) Dureza da água padrão do programa, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e 34 gêneros nativos/introduzidos;  
 C) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de um ano (2000) e 34 gêneros nativos/introduzidos e,  
 D) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e os 116 gêneros da base de dados.

ANEXO 03 – UGRHI 6 – Alto Tietê

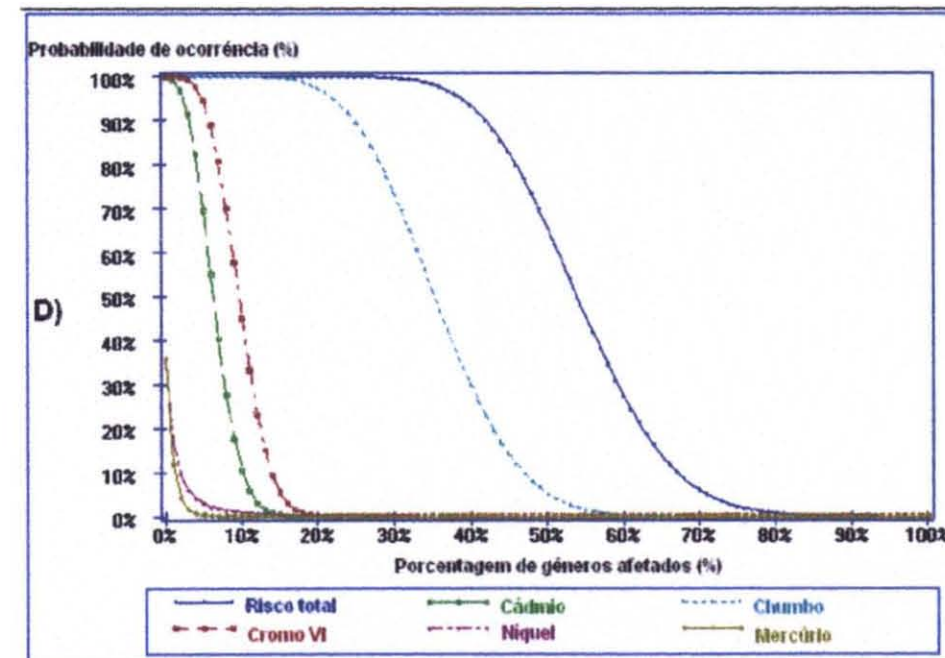
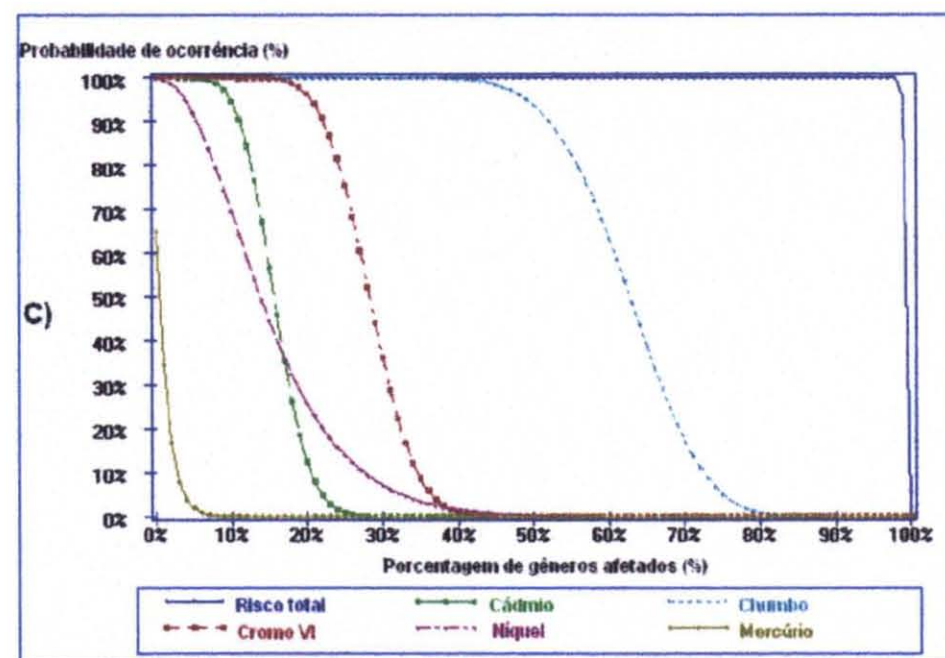
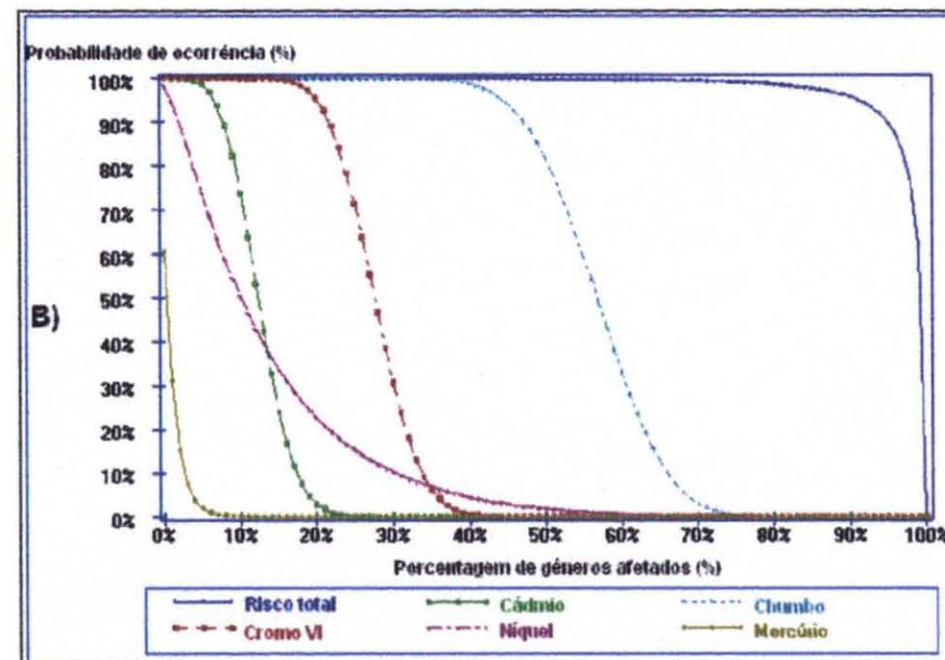
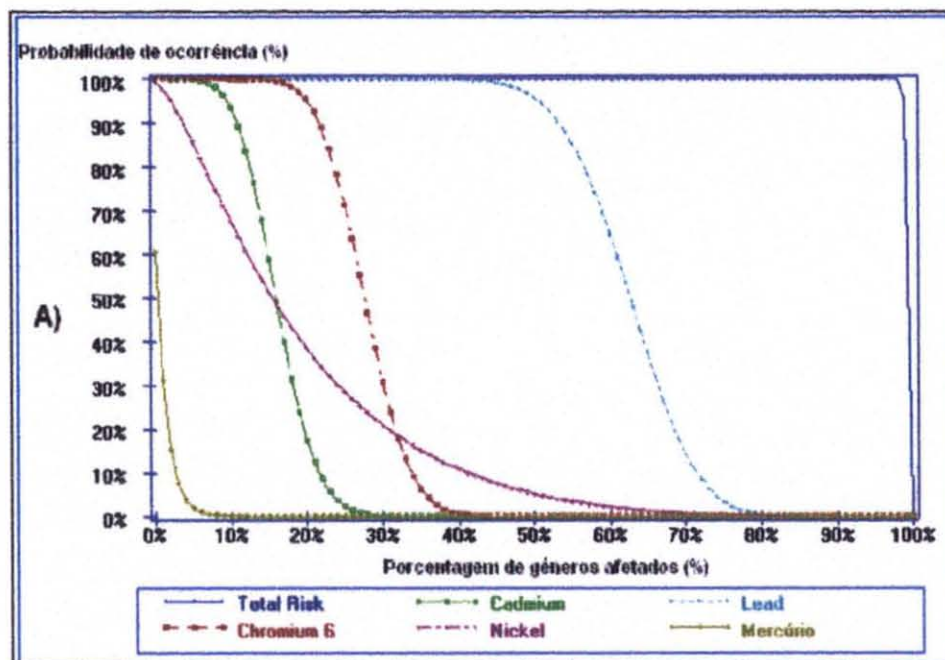
GADE02900



Legenda: A) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e 34 gêneros nativos/introduzidos;  
 B) Dureza da água padrão do programa, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e 34 gêneros nativos/introduzidos;  
 C) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de um ano (2000) e 34 gêneros nativos/introduzidos e,  
 D) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e os 116 gêneros da base de dados.

# ANEXO 03 – UGRHI 6 – Alto Tietê

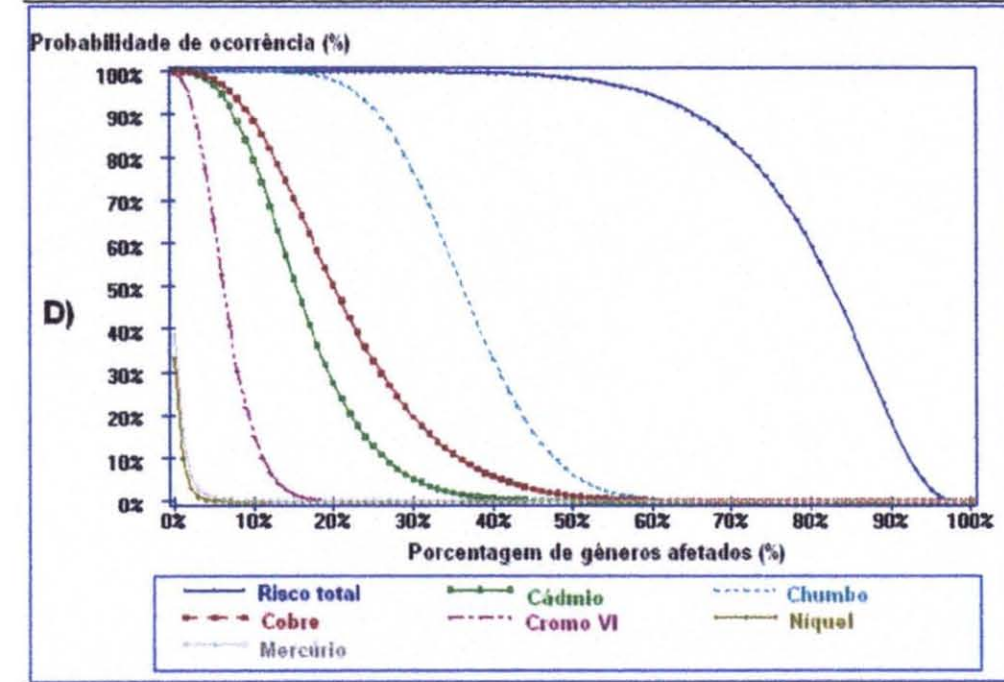
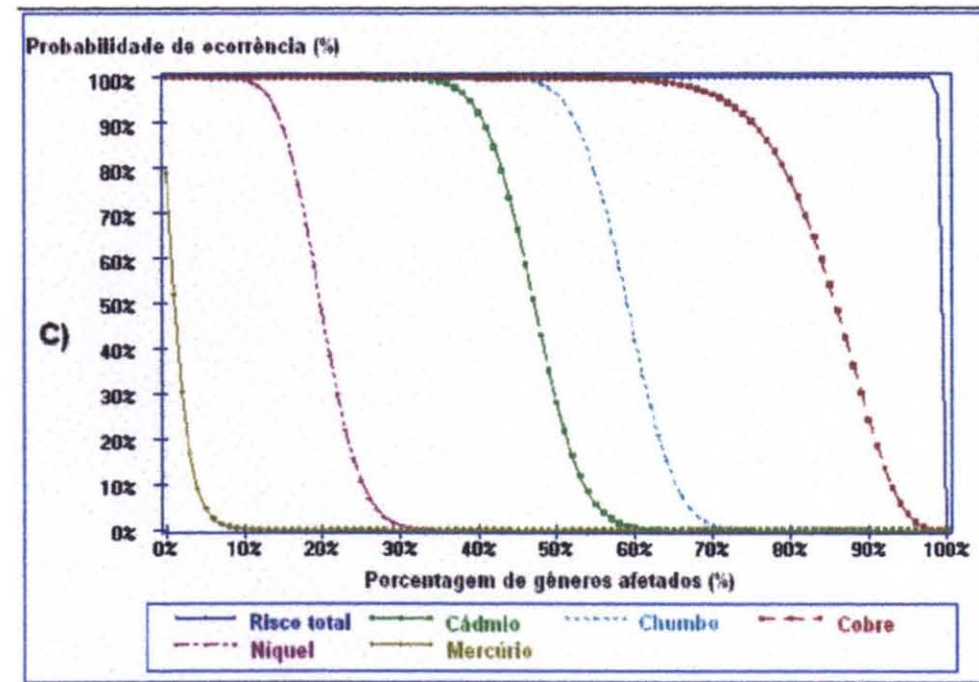
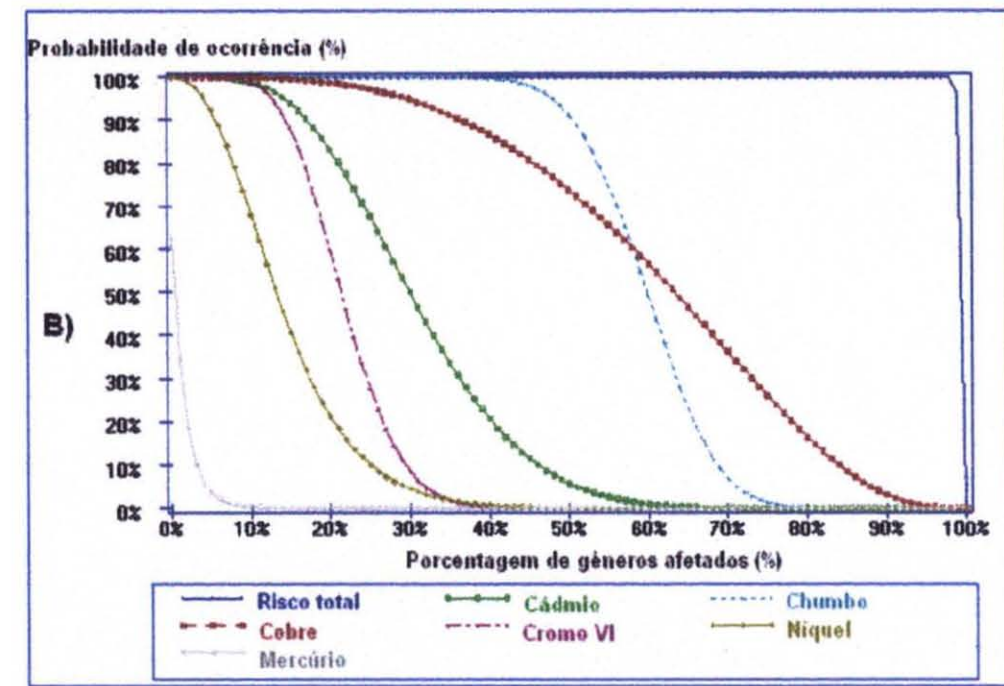
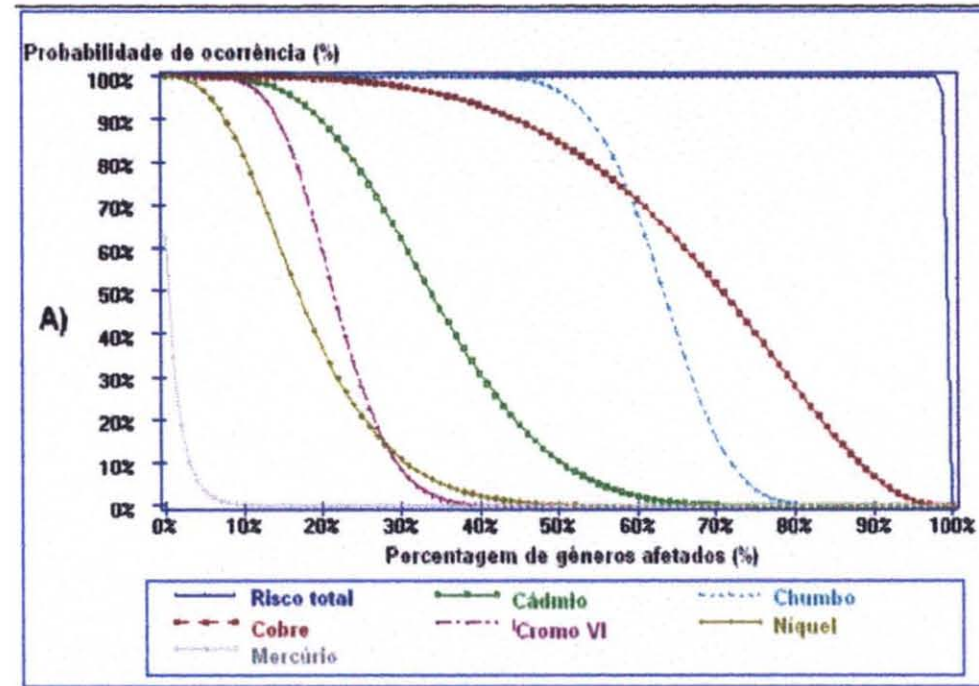
COGR00900



Legenda: A) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e 34 gêneros nativos/introduzidos;  
 B) Dureza da água padrão do programa, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e 34 gêneros nativos/introduzidos;  
 C) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de um ano (2000) e 34 gêneros nativos/introduzidos e,  
 D) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e os 116 gêneros da base de dados.

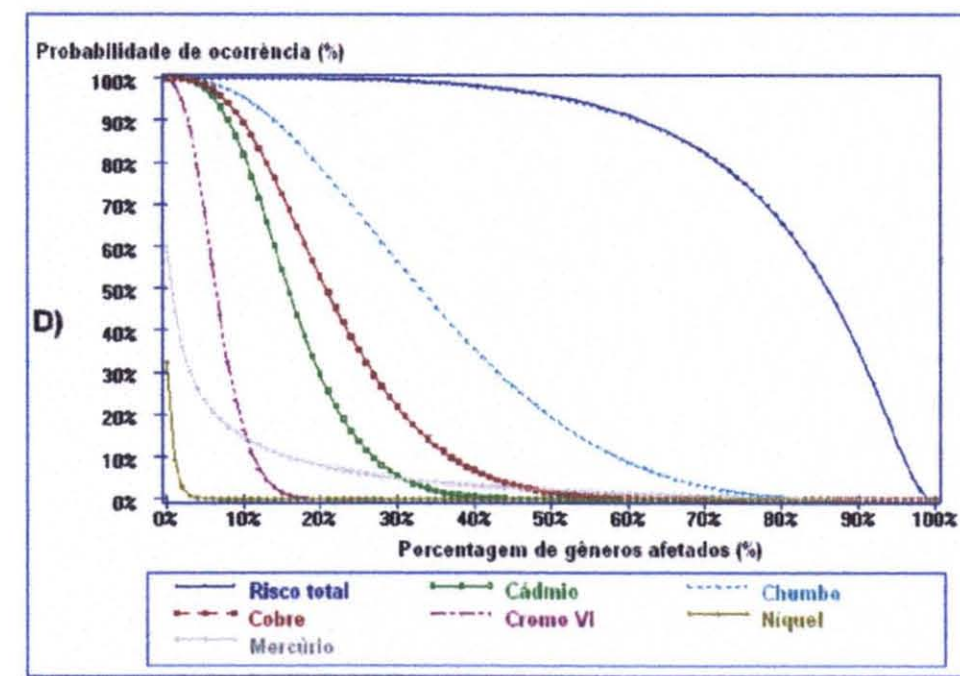
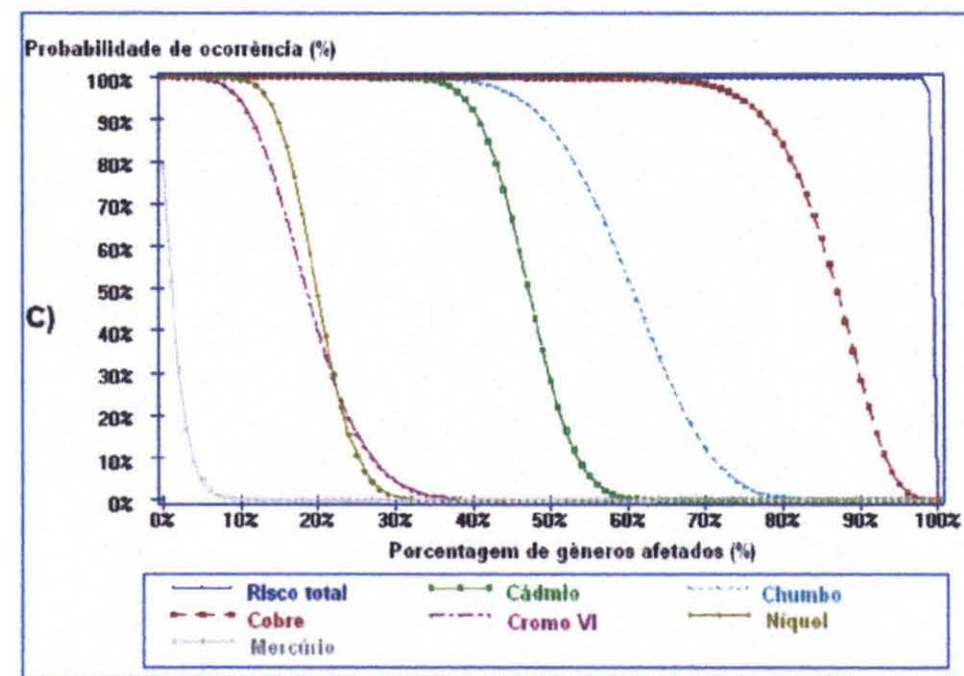
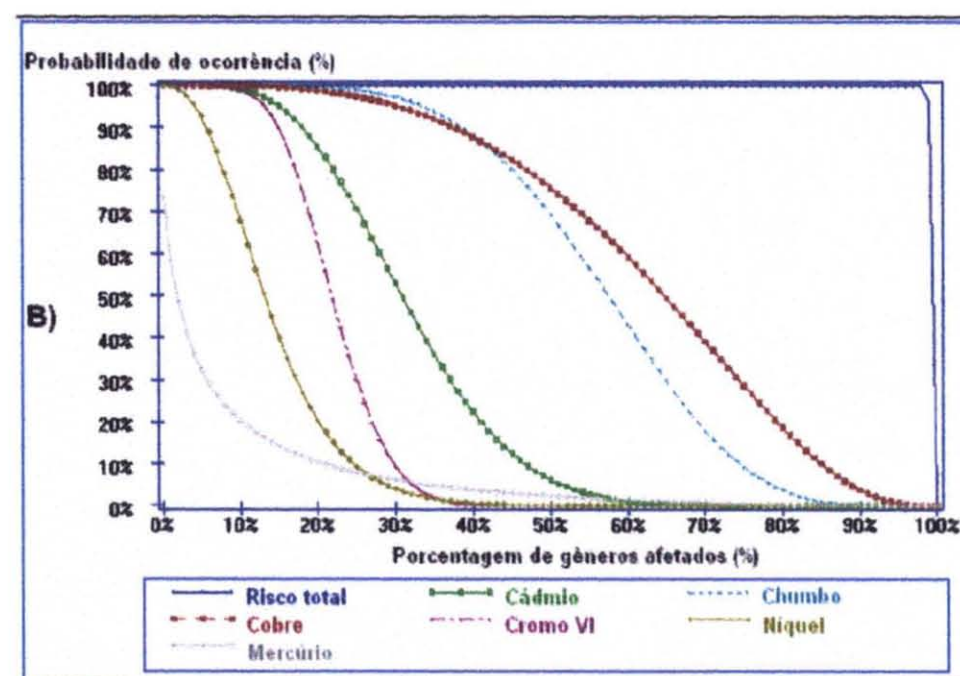
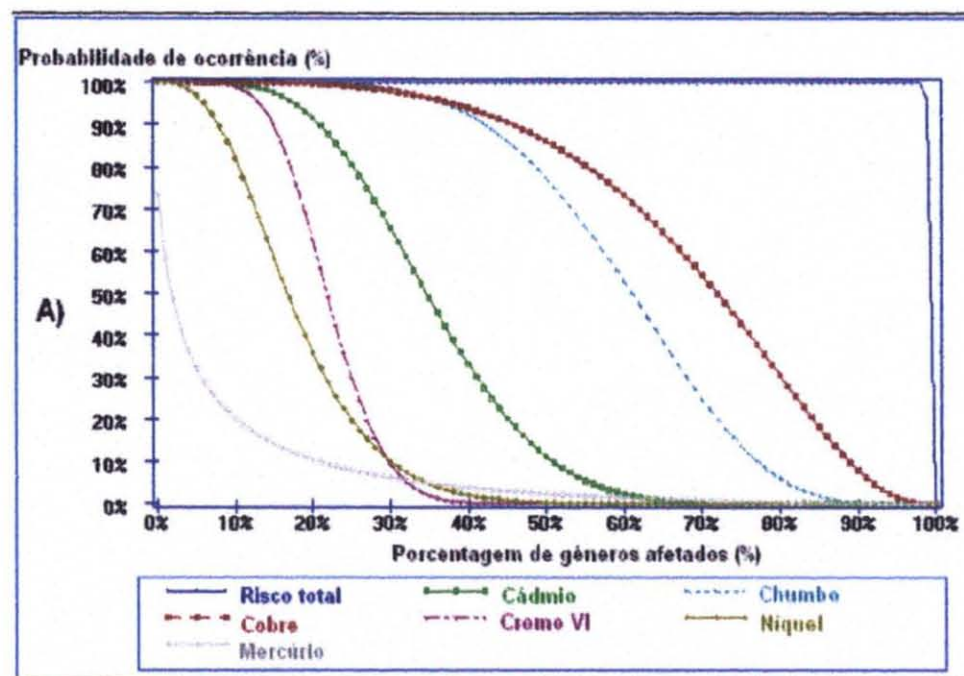


MOGI02800



Legenda: A) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e 34 gêneros nativos/introduzidos;  
 B) Dureza da água padrão do programa, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e 34 gêneros nativos/introduzidos;  
 C) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de um ano (2000) e 34 gêneros nativos/introduzidos e,  
 D) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e os 116 gêneros da base de dados.

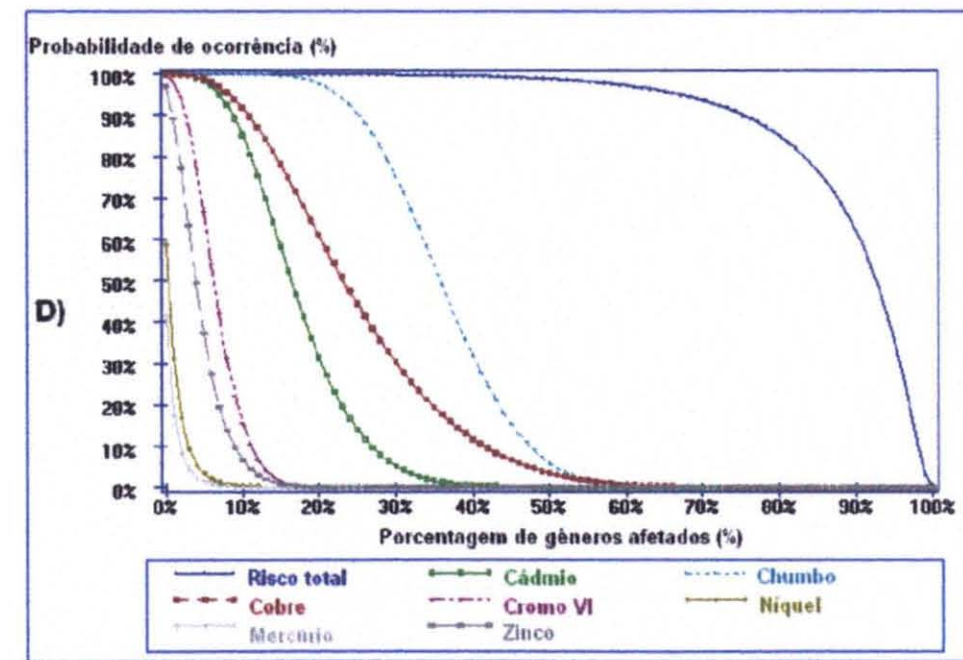
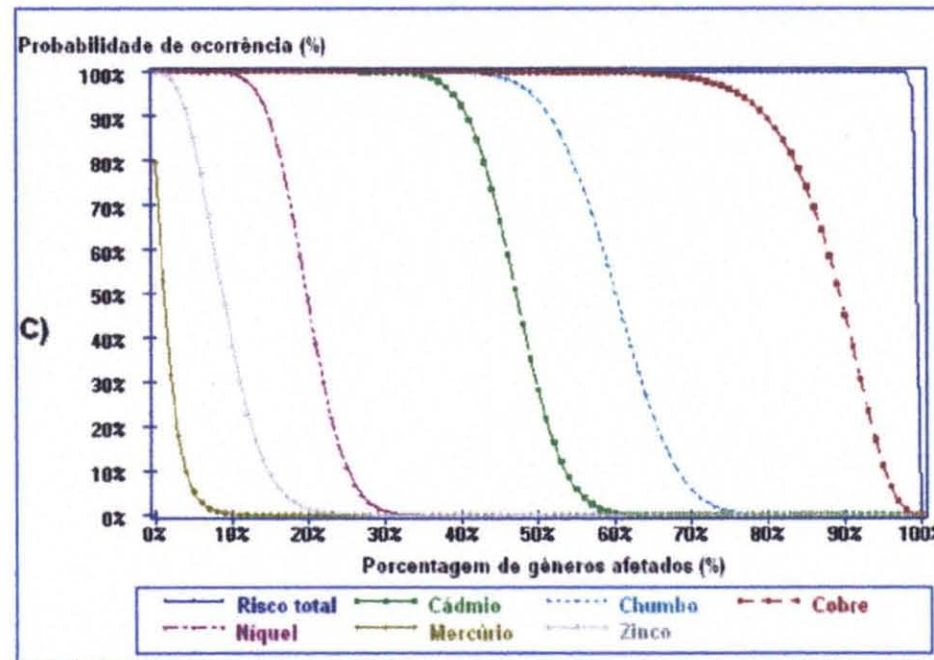
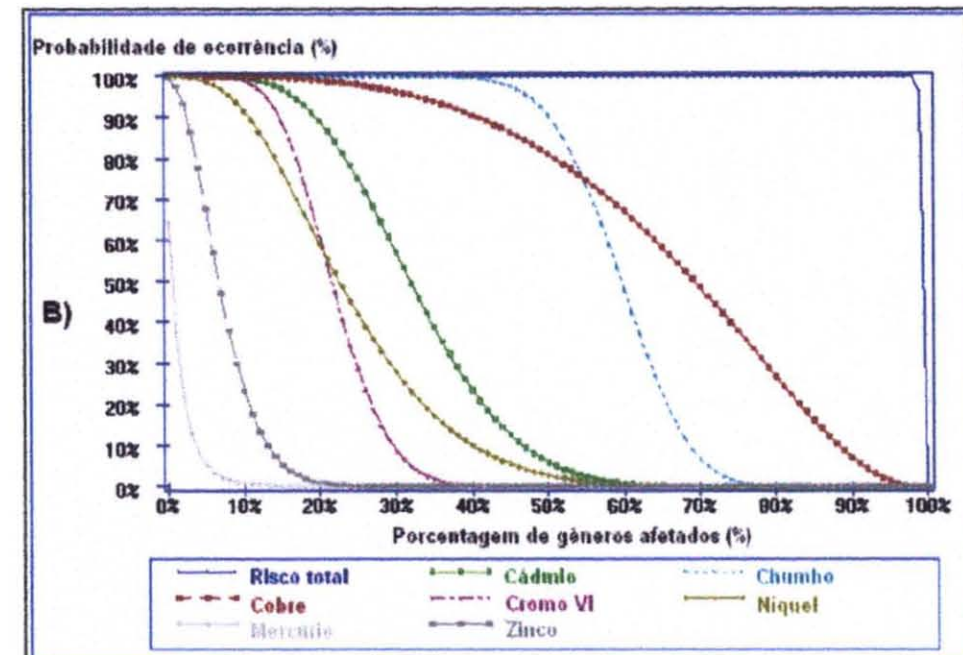
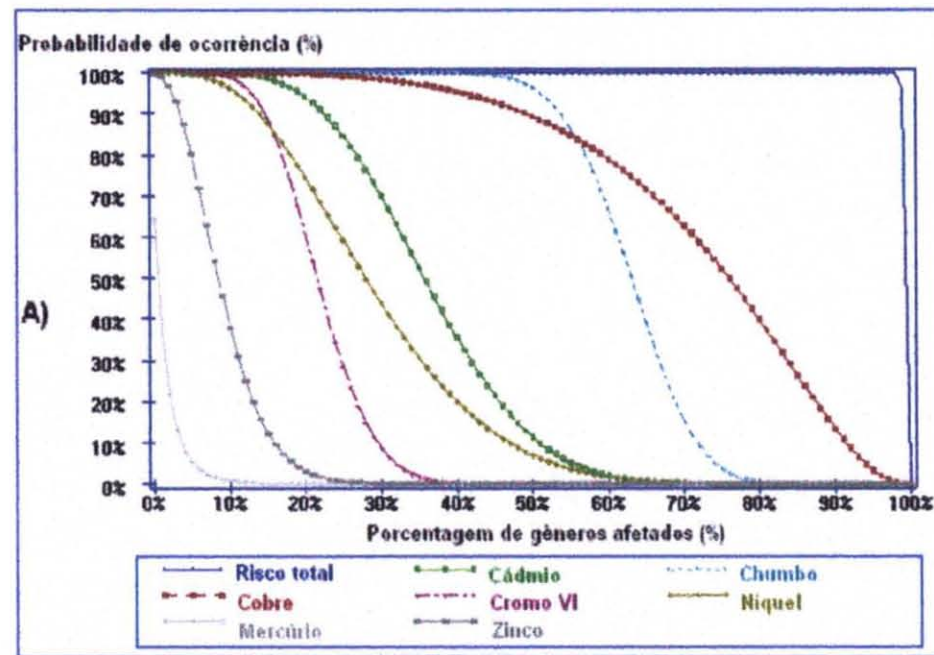
CUBA02700



Legenda: A) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e 34 gêneros nativos/introduzidos;  
 B) Dureza da água padrão do programa, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e 34 gêneros nativos/introduzidos;  
 C) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de um ano (2000) e 34 gêneros nativos/introduzidos e,  
 D) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e os 116 gêneros da base de dados.

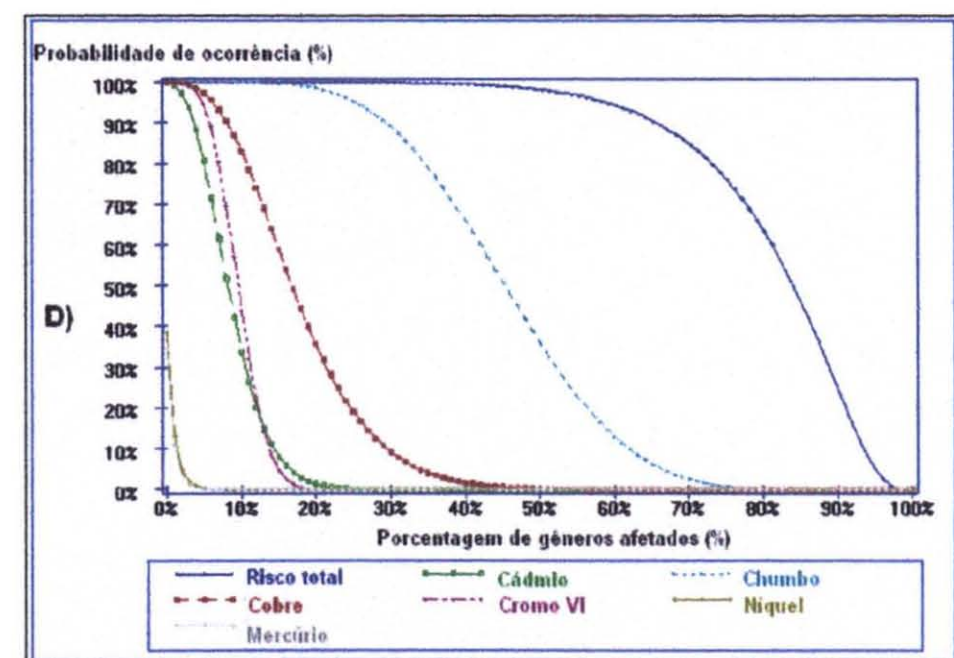
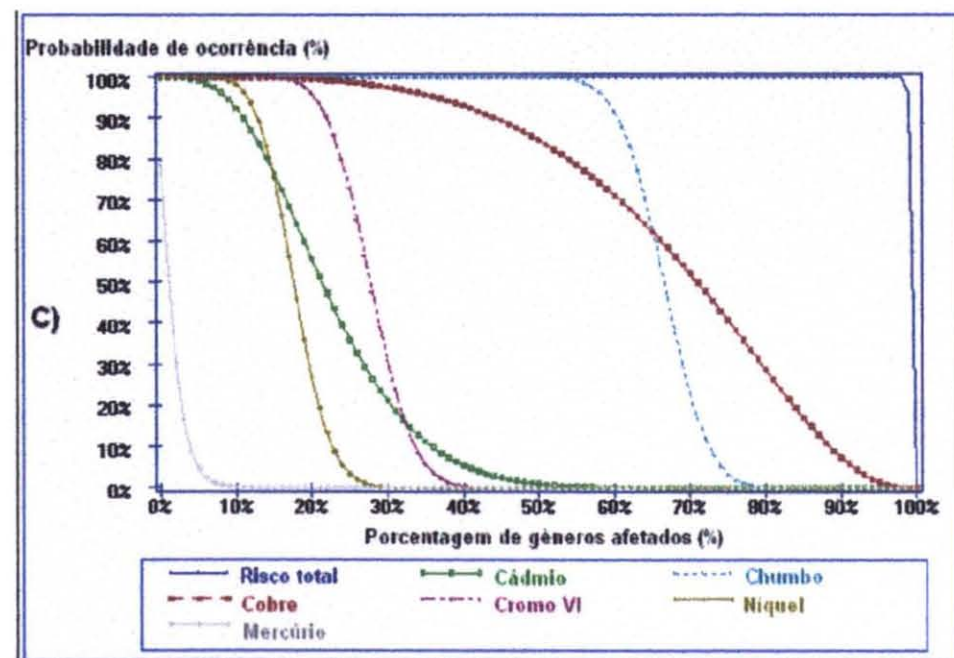
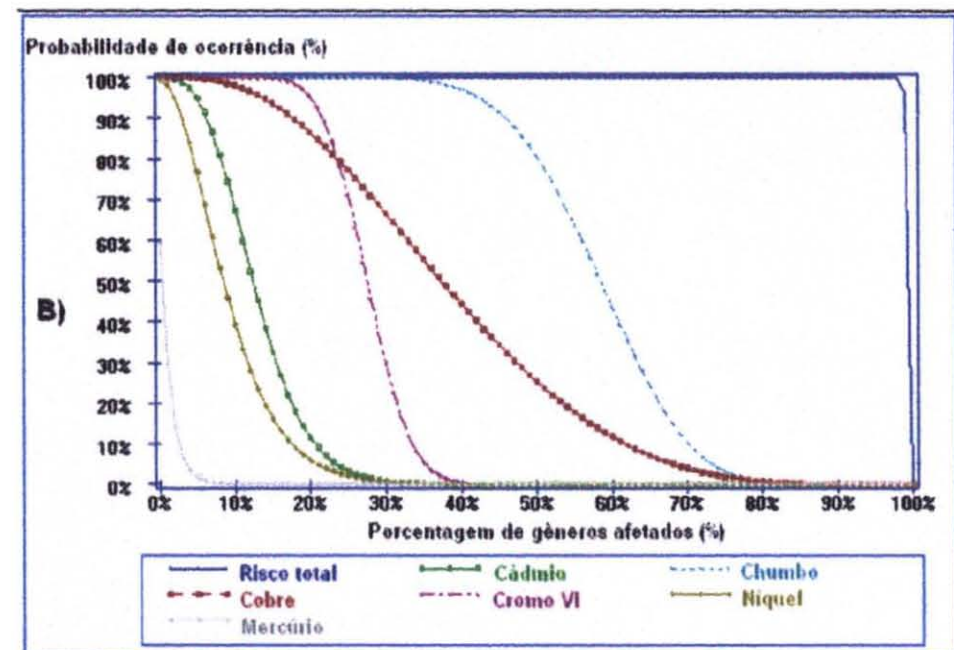
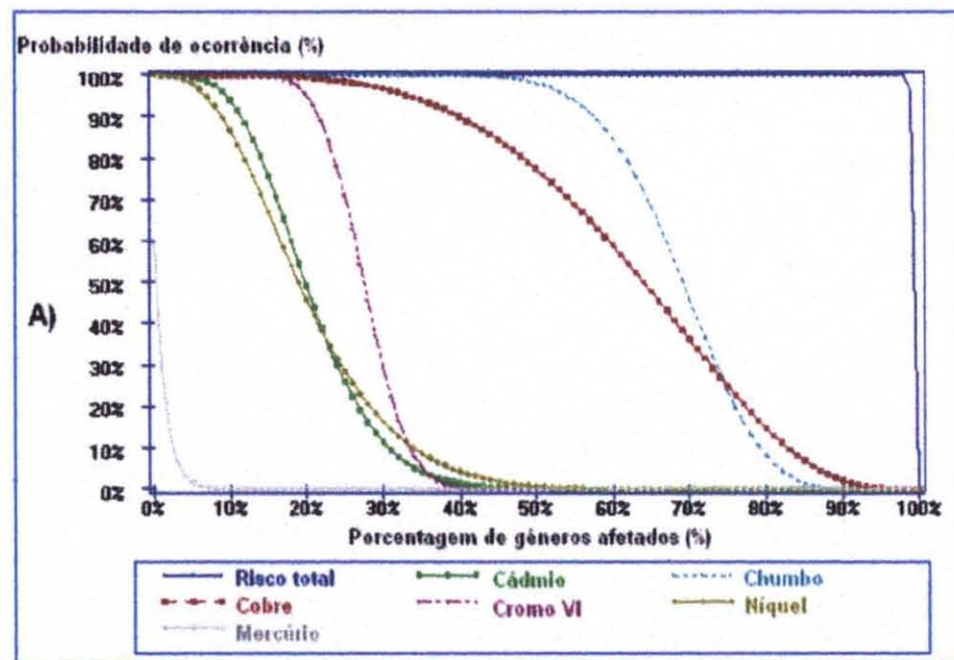
# ANEXO 04 – UGRHI 7 – Baixada Santista

PIAC02700



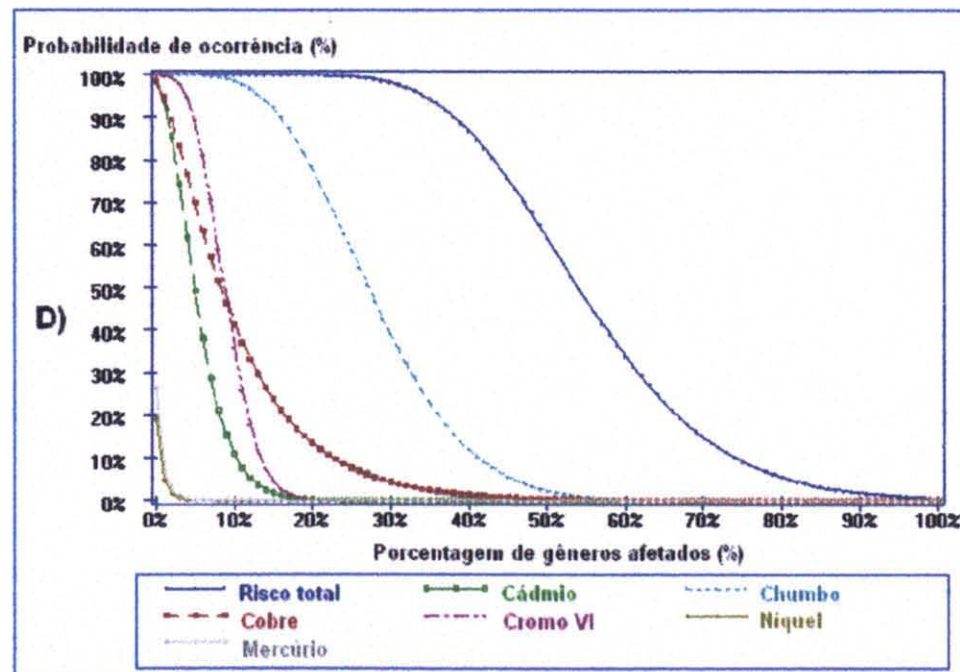
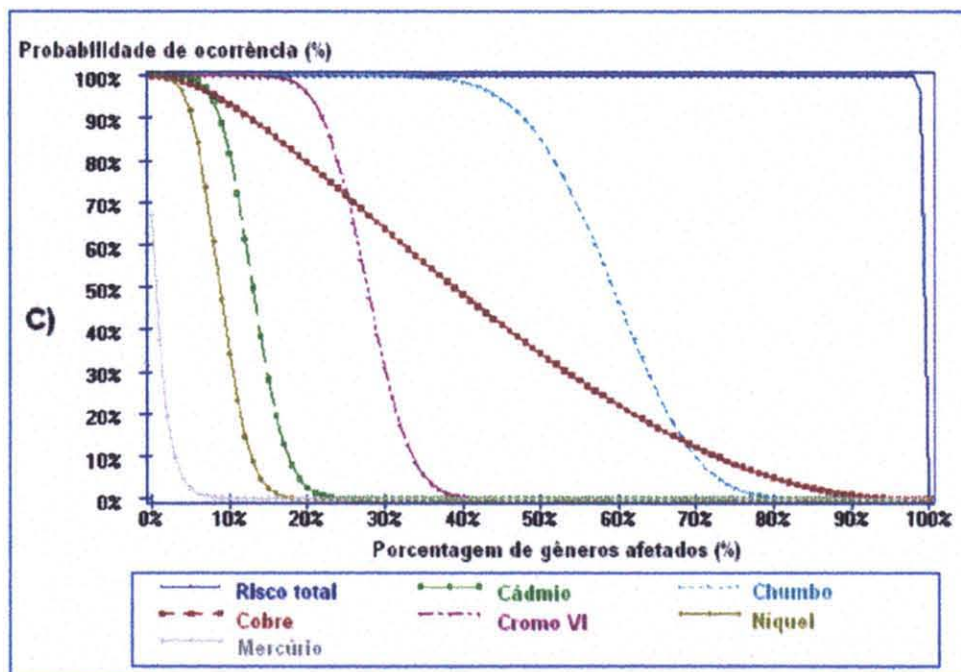
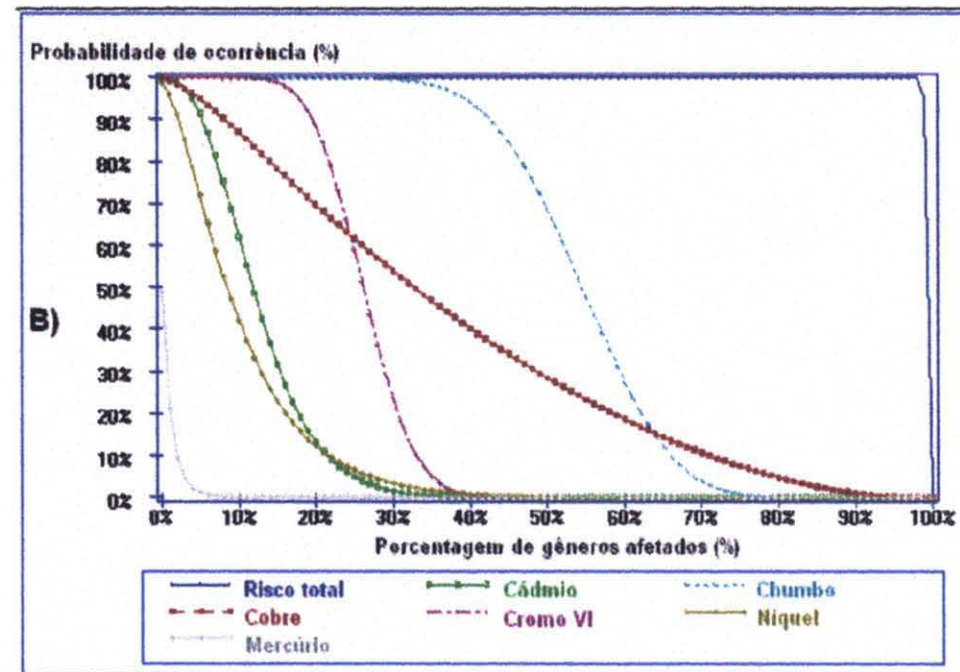
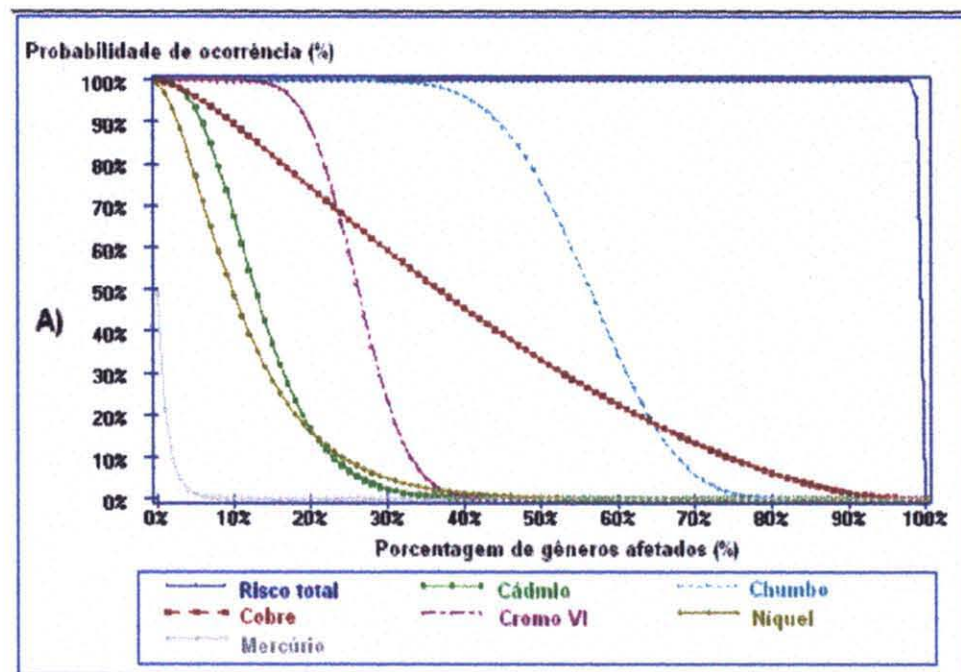
Legenda: A) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e 34 gêneros nativos/introduzidos;  
 B) Dureza da água padrão do programa, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e 34 gêneros nativos/introduzidos;  
 C) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de um ano (2000) e 34 gêneros nativos/introduzidos e,  
 D) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e os 116 gêneros da base de dados.

MOGU02900



Legenda: A) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e 34 gêneros nativos/introduzidos;  
 B) Dureza da água padrão do programa, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e 34 gêneros nativos/introduzidos;  
 C) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de um ano (2000) e 34 gêneros nativos/introduzidos e,  
 D) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e os 116 gêneros da base de dados.

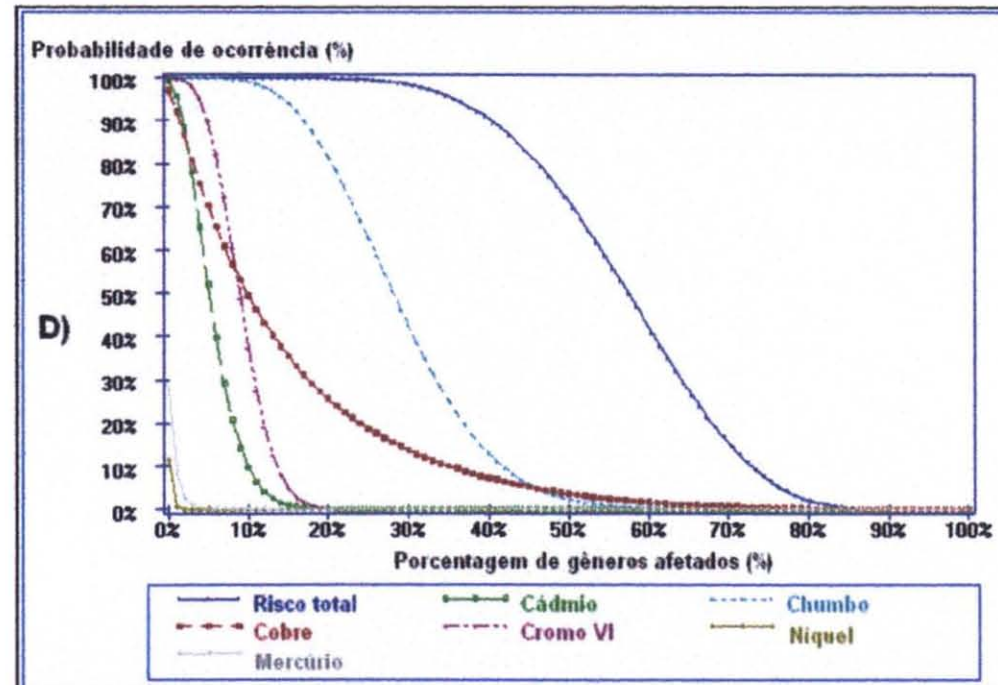
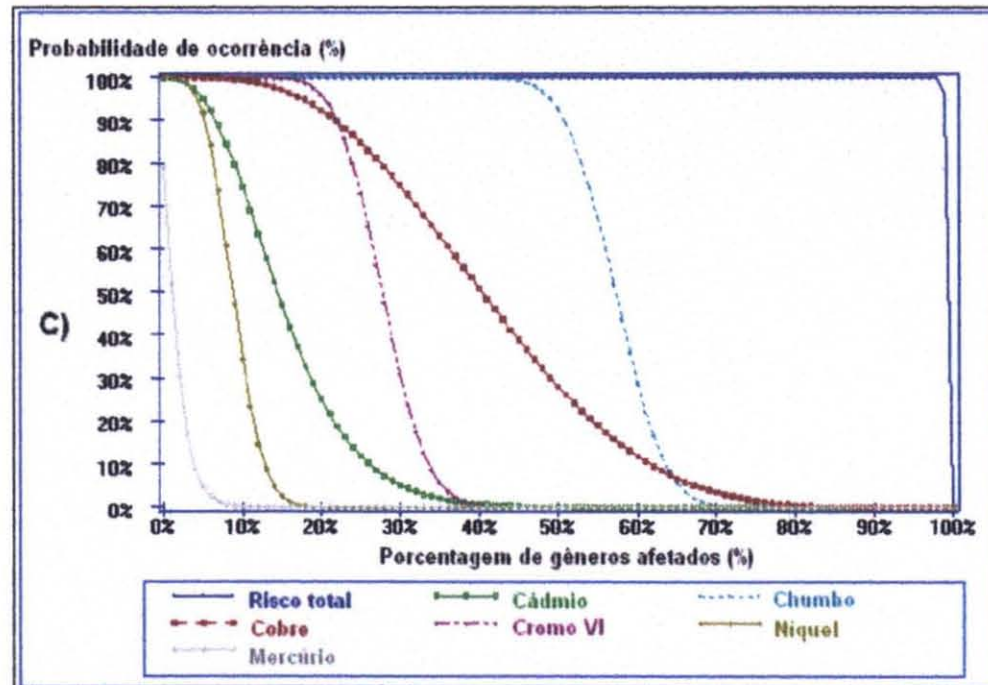
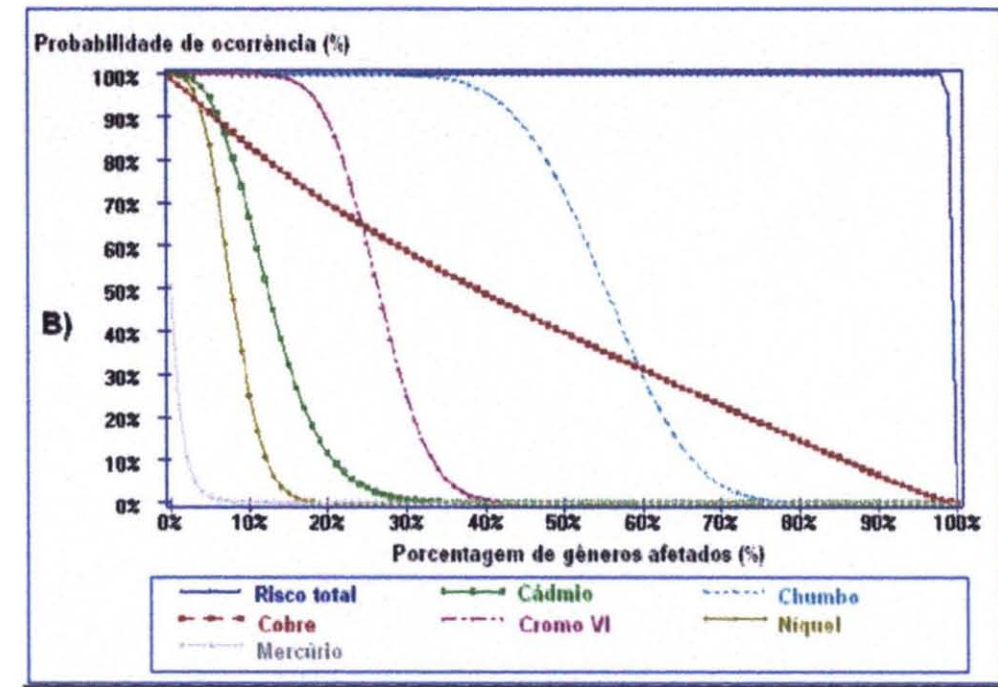
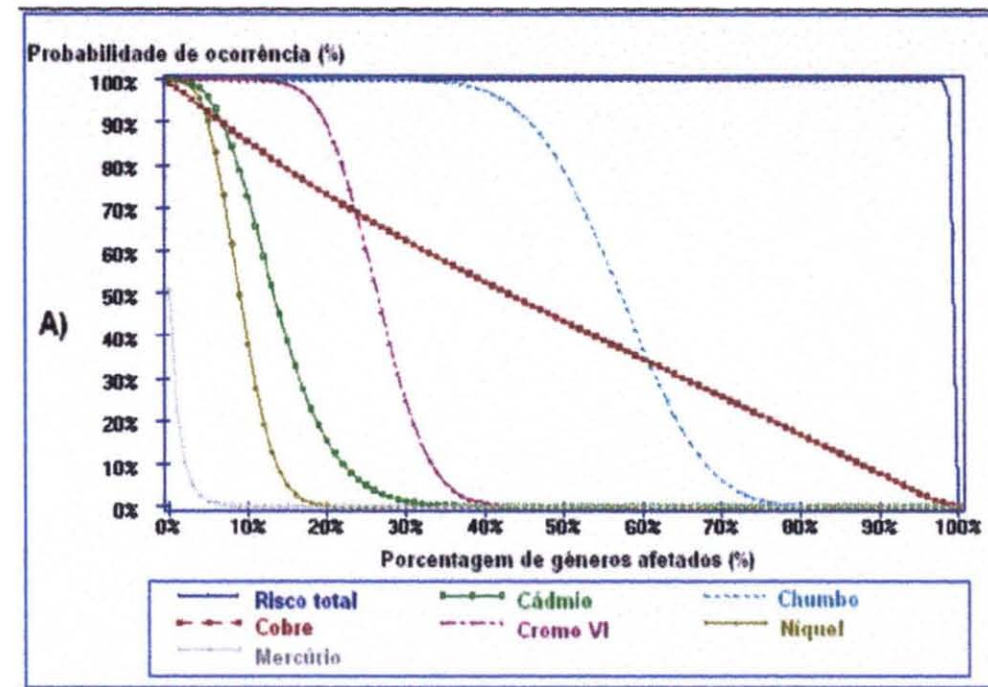
TIBB02700



Legenda: A) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e 34 gêneros nativos/introduzidos;  
 B) Dureza da água padrão do programa, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e 34 gêneros nativos/introduzidos;  
 C) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de um ano (2000) e 34 gêneros nativos/introduzidos e,  
 D) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e os 116 gêneros da base de dados.

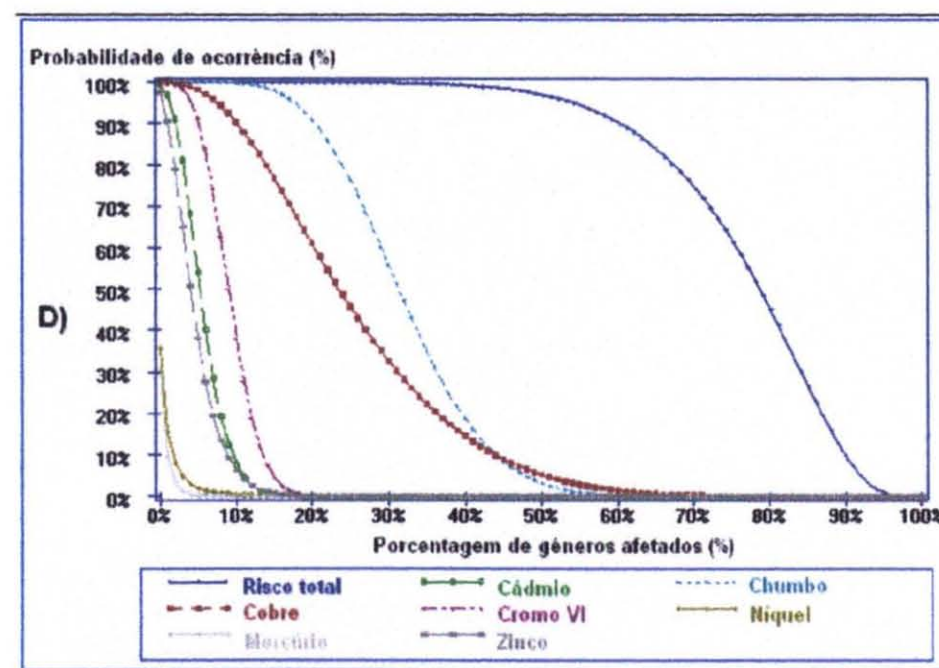
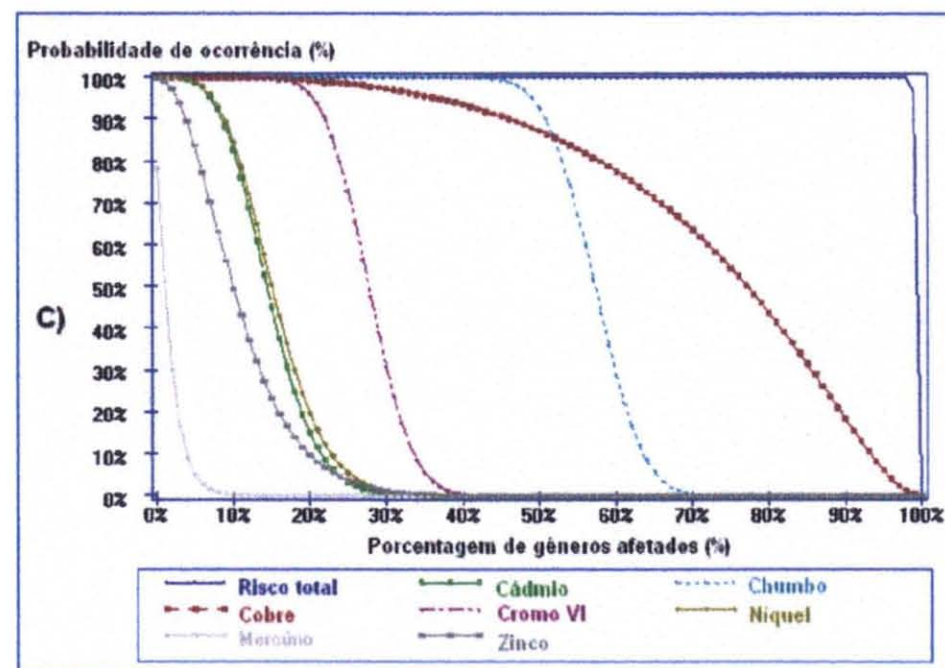
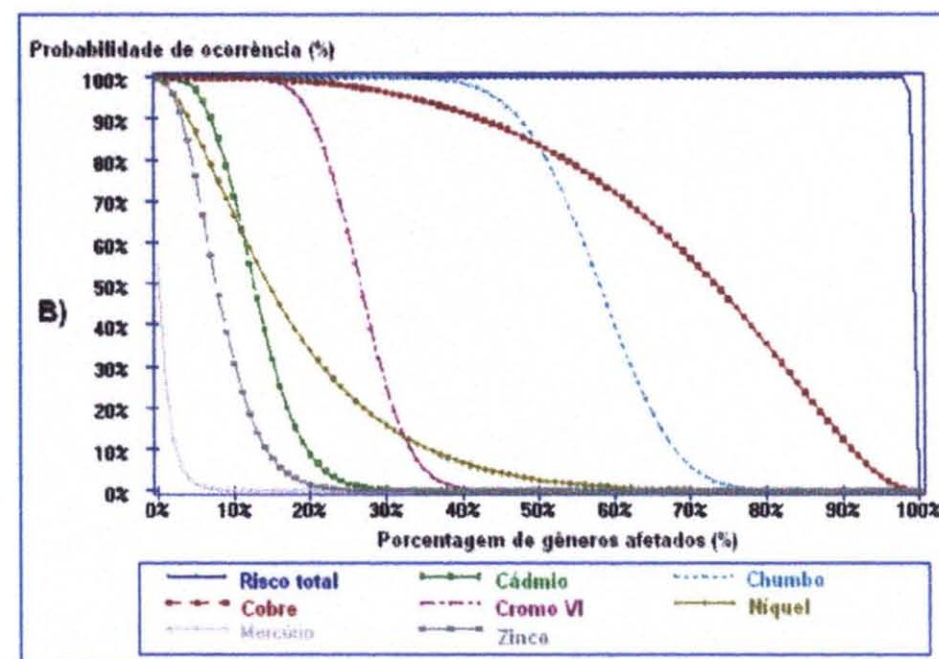
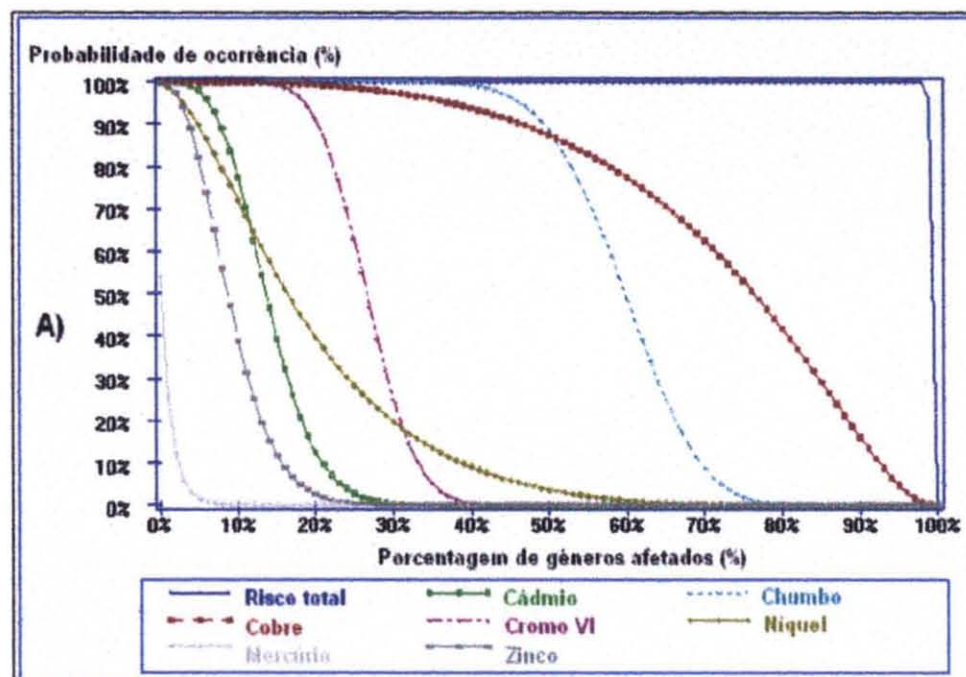
ANEXO 06 – UGRHI 10 – Sorocaba / Médio Tietê

SORO02900



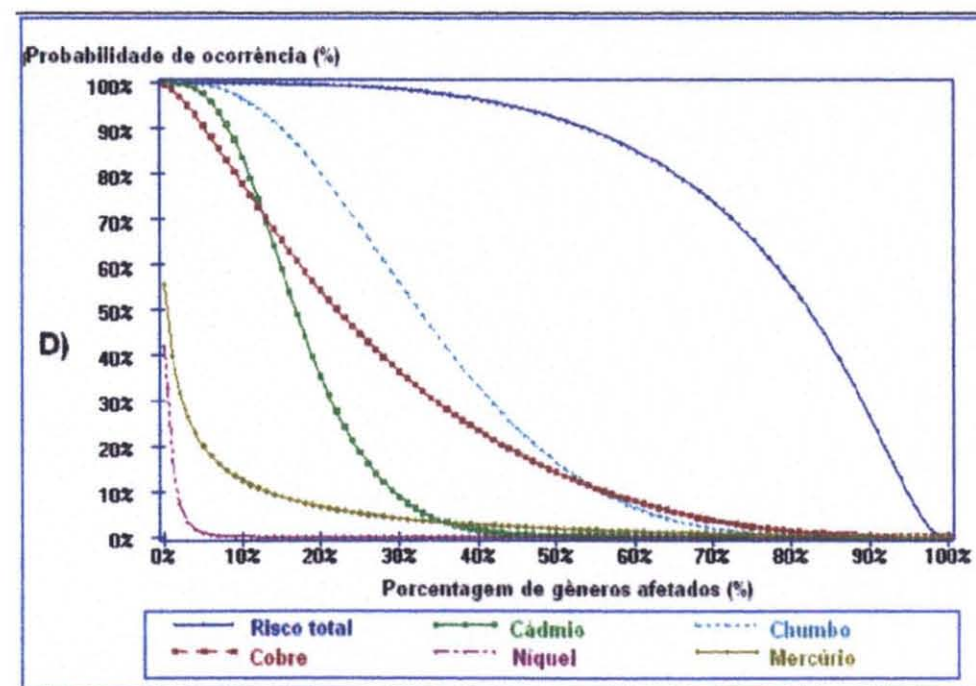
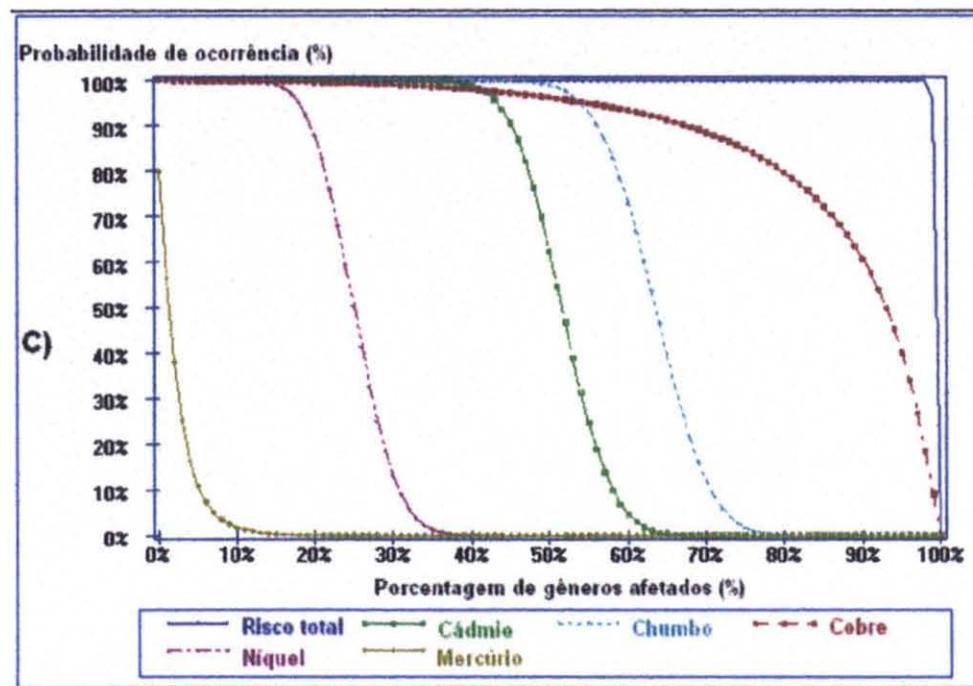
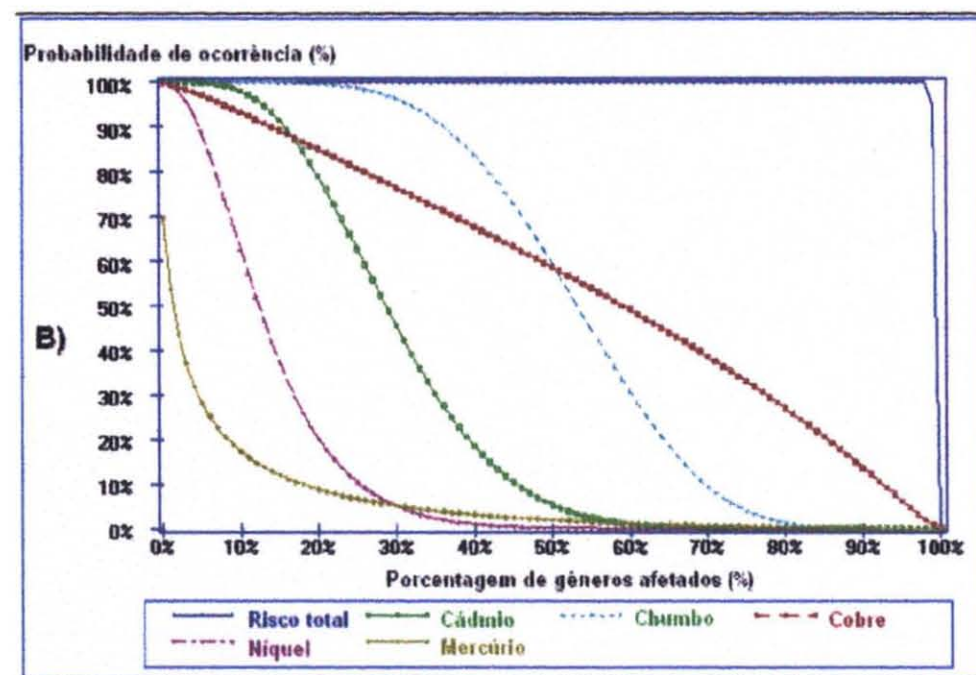
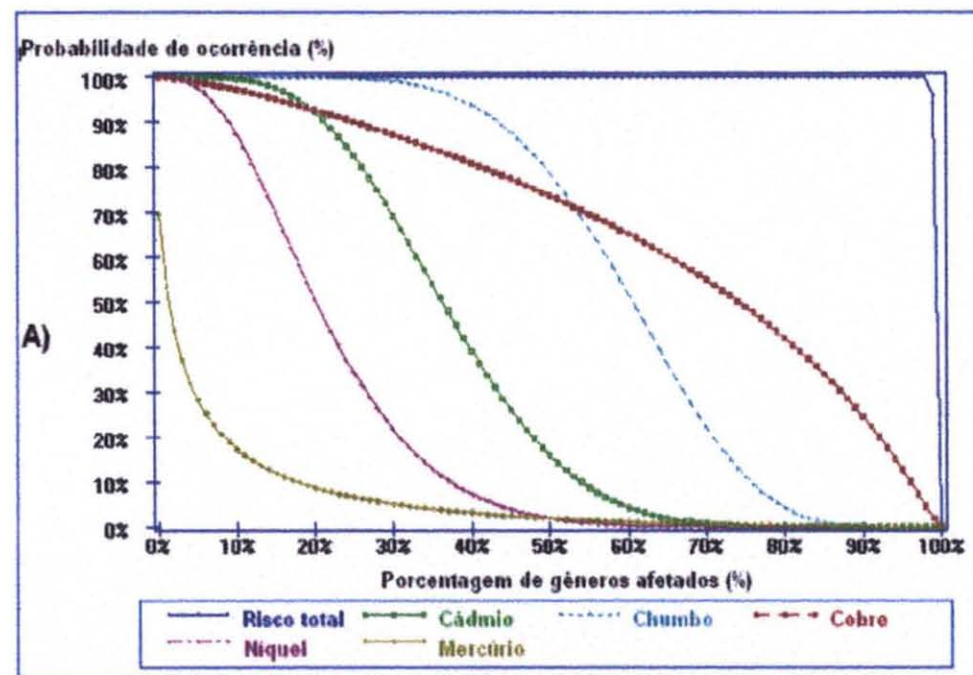
Legenda: A) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e 34 gêneros nativos/introduzidos;  
 B) Dureza da água padrão do programa, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e 34 gêneros nativos/introduzidos;  
 C) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de um ano (2000) e 34 gêneros nativos/introduzidos e,  
 D) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e os 116 gêneros da base de dados.

TIET02400



Legenda: A) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e 34 gêneros nativos/introduzidos;  
 B) Dureza da água padrão do programa, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e 34 gêneros nativos/introduzidos;  
 C) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de um ano (2000) e 34 gêneros nativos/introduzidos e,  
 D) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e os 116 gêneros da base de dados.

RIIG02500

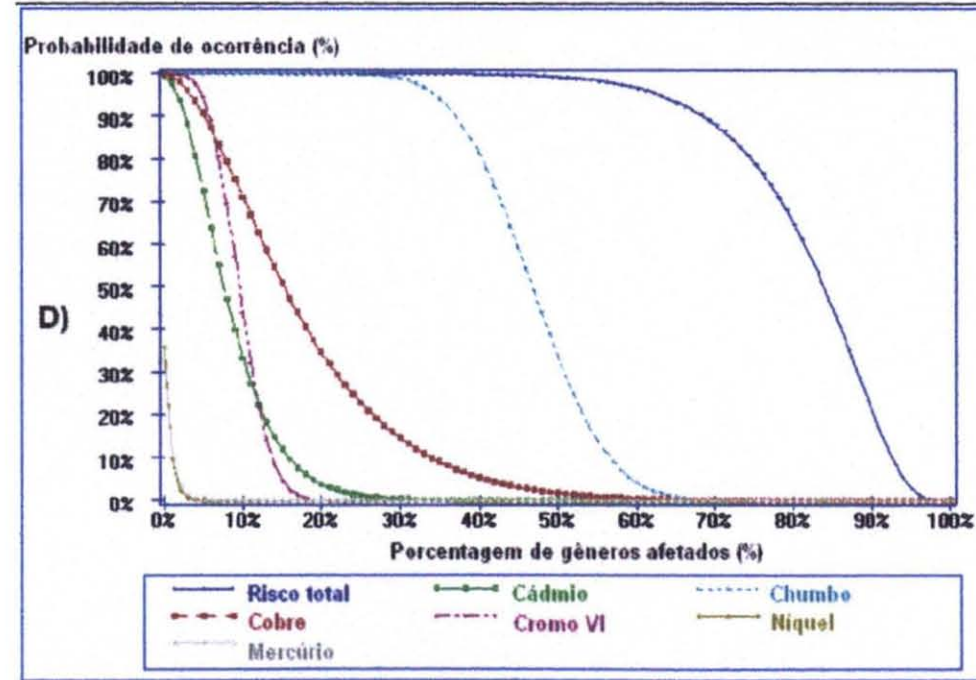
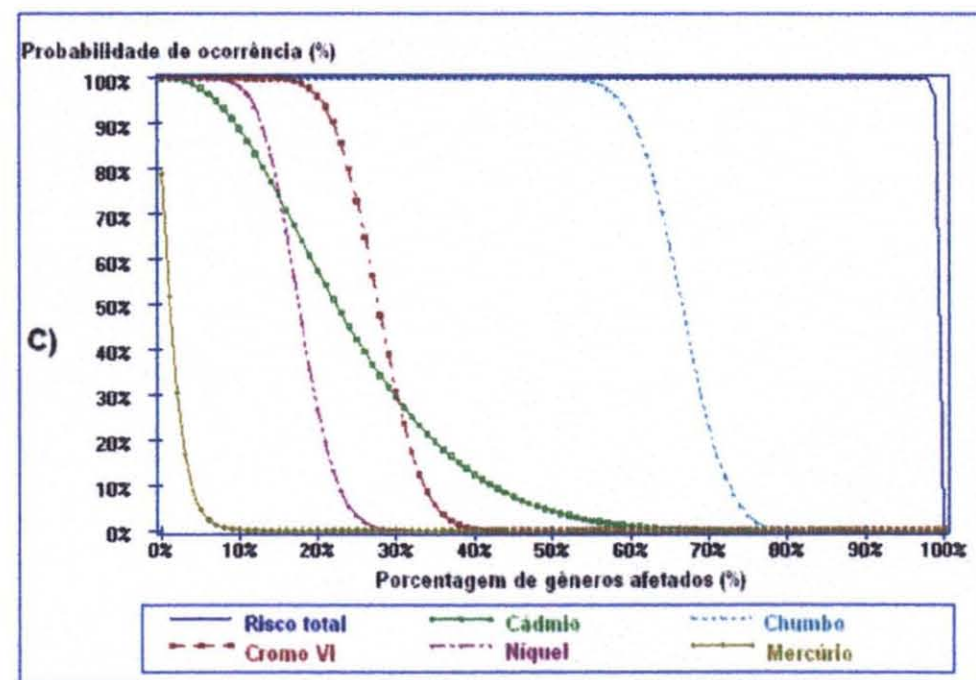
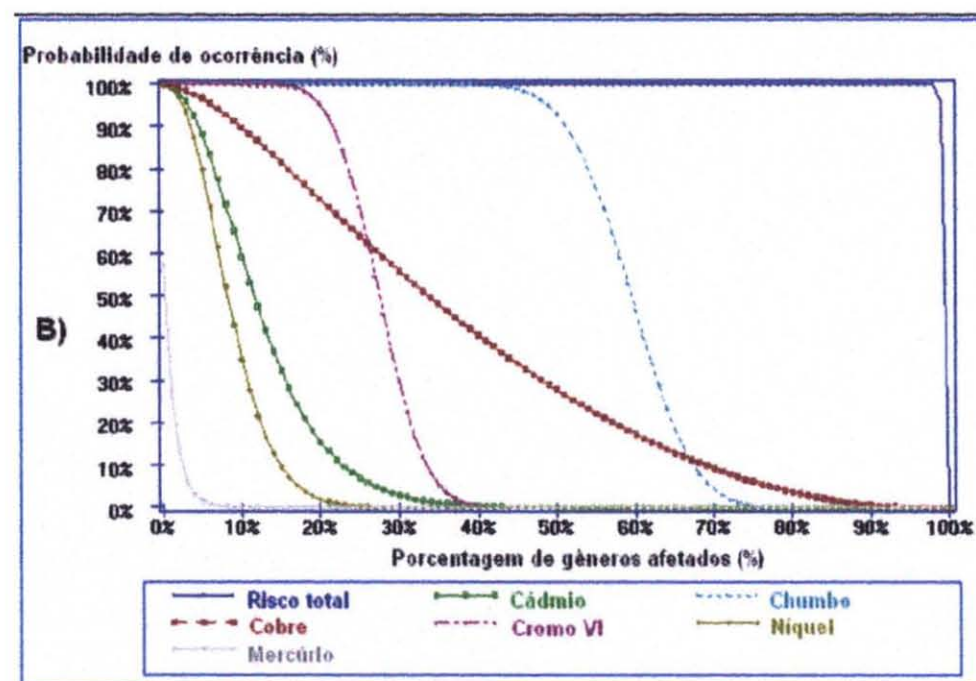
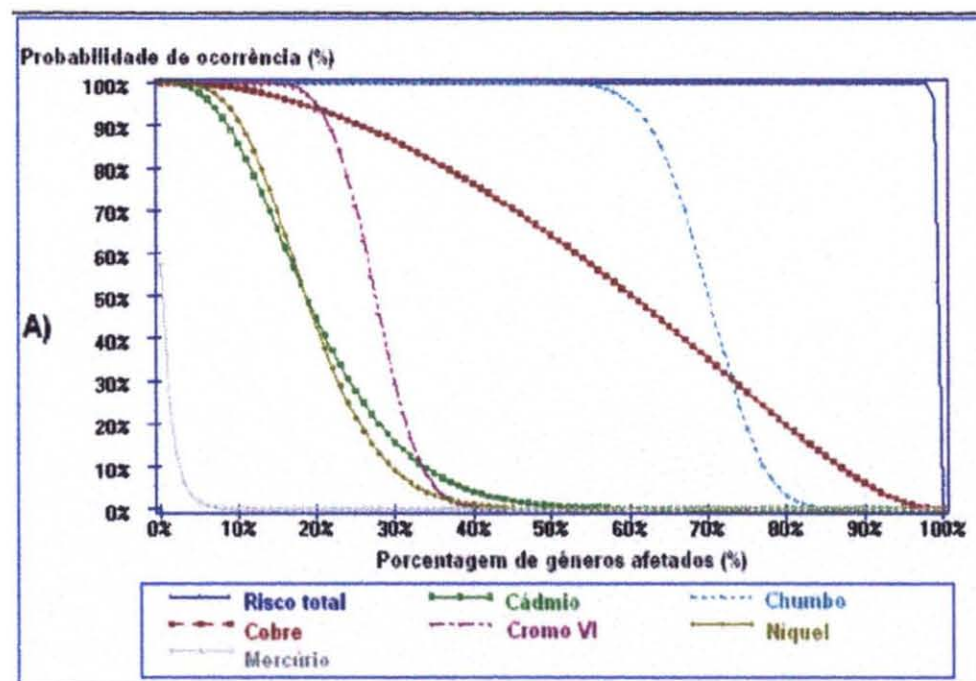


Legenda: A) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e 34 gêneros nativos/introduzidos;  
 B) Dureza da água padrão do programa, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e 34 gêneros nativos/introduzidos;  
 C) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de um ano (2000) e 34 gêneros nativos/introduzidos e,  
 D) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e os 116 gêneros da base de dados.



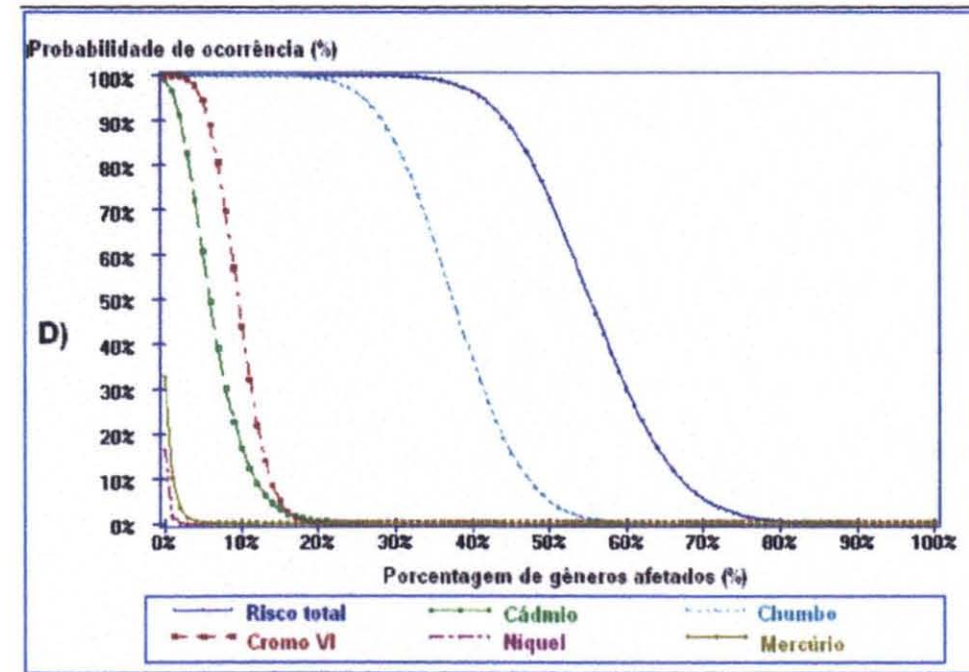
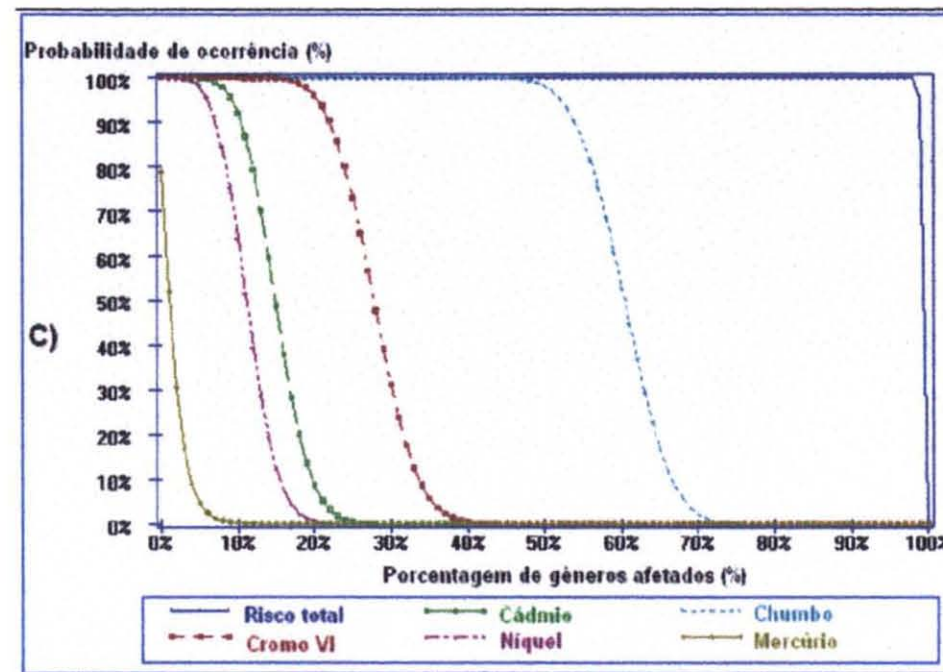
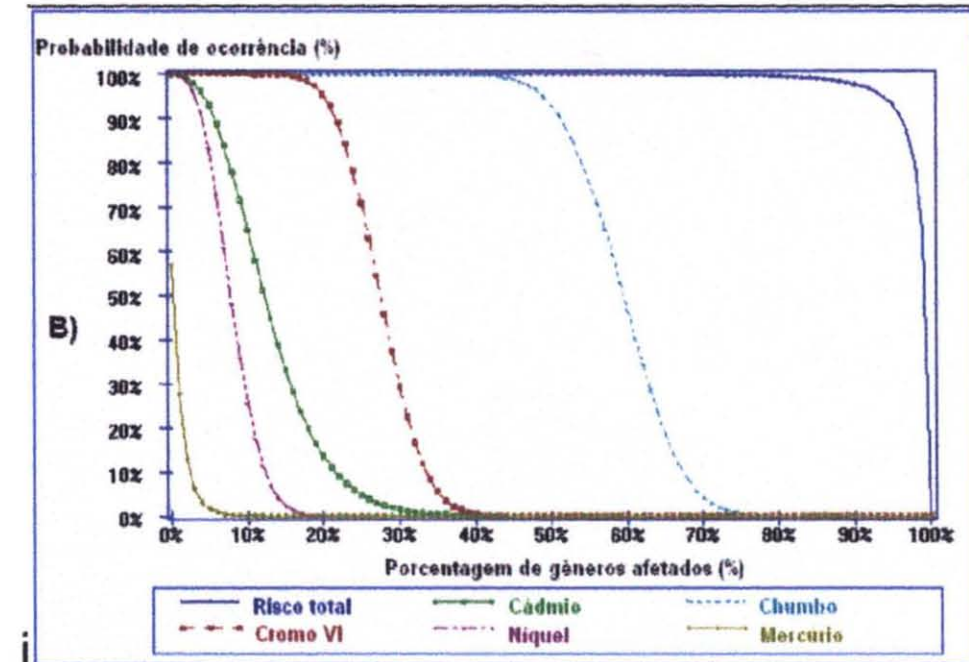
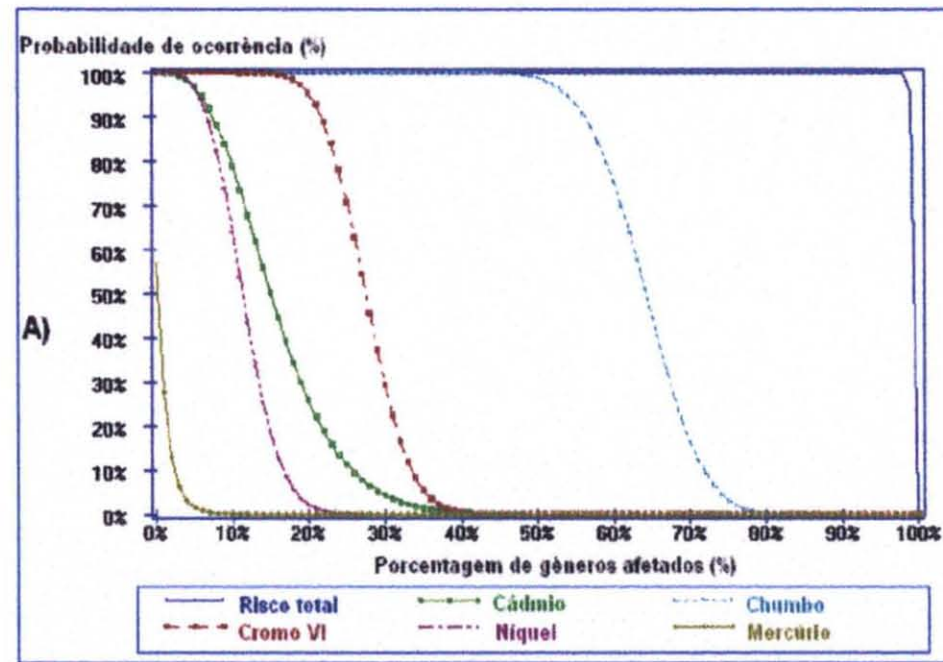
ANEXO 08 – UGRHI 12 – Baixo Pardo / Grande.

PRAD02800



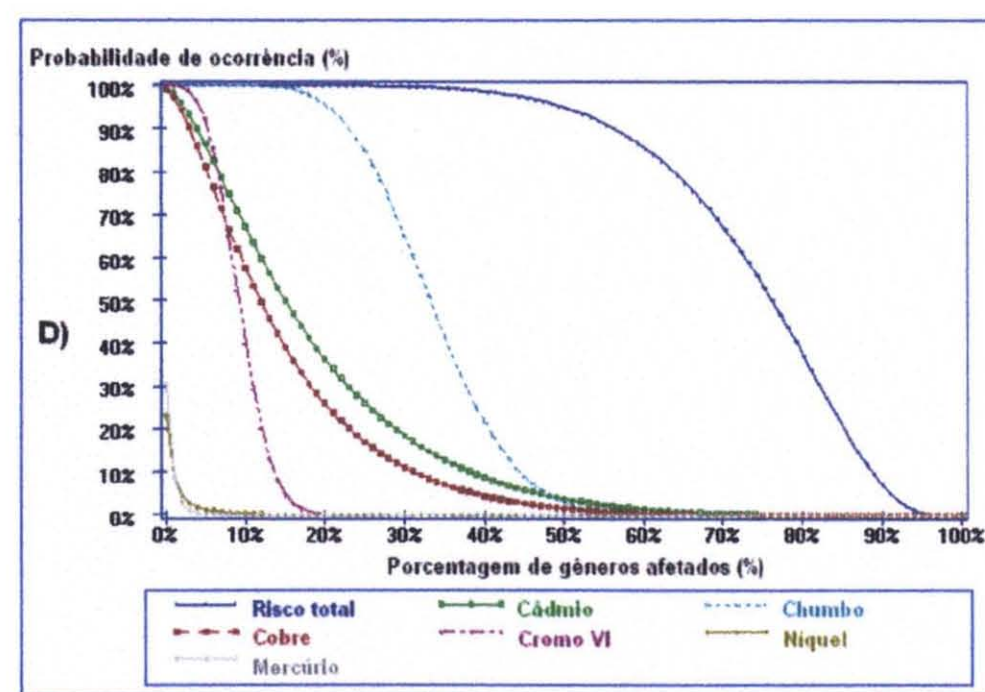
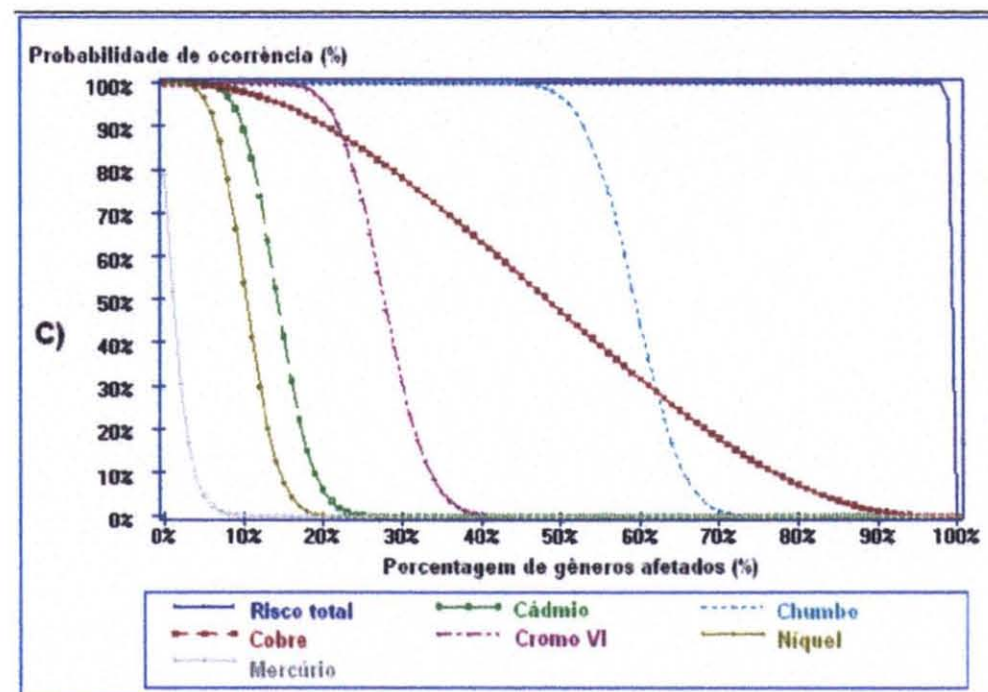
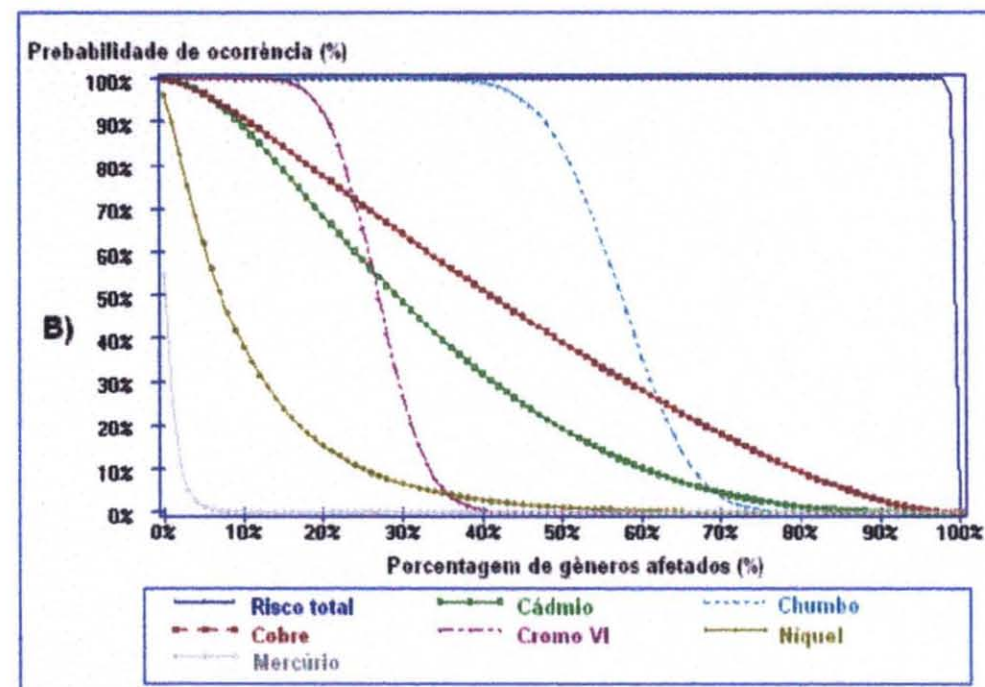
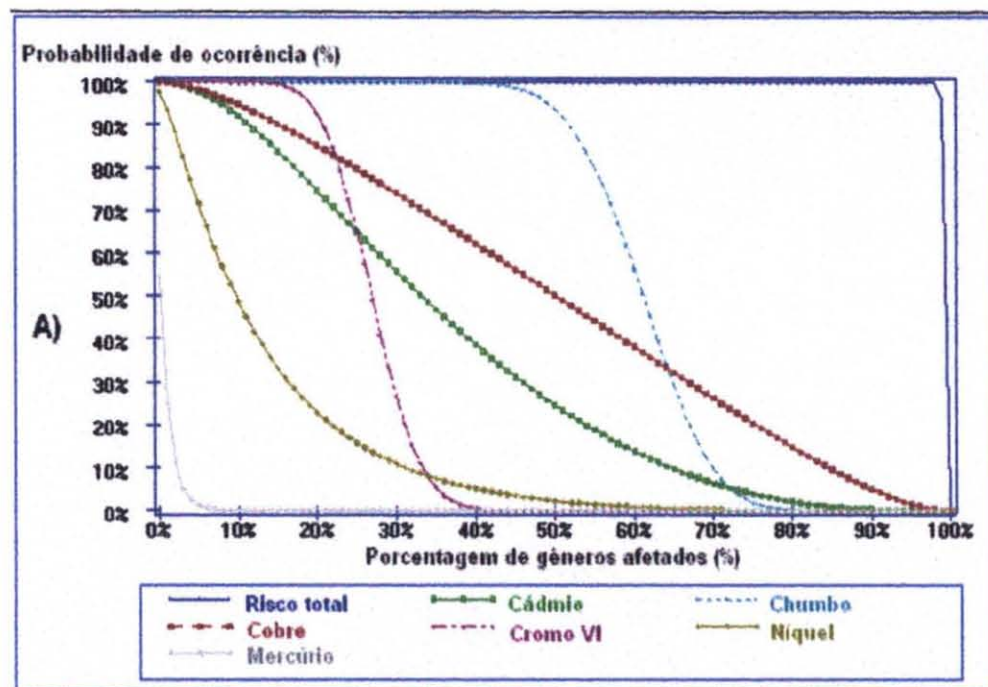
Legenda: A) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e 34 gêneros nativos/introduzidos;  
 B) Dureza da água padrão do programa, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e 34 gêneros nativos/introduzidos;  
 C) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de um ano (2000) e 34 gêneros nativos/introduzidos e,  
 D) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e os 116 gêneros da base de dados.

RPRE02200



Legenda: A) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e 34 gêneros nativos/introduzidos;  
 B) Dureza da água padrão do programa, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e 34 gêneros nativos/introduzidos;  
 C) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de um ano (2000) e 34 gêneros nativos/introduzidos e,  
 D) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e os 116 gêneros da base de dados.

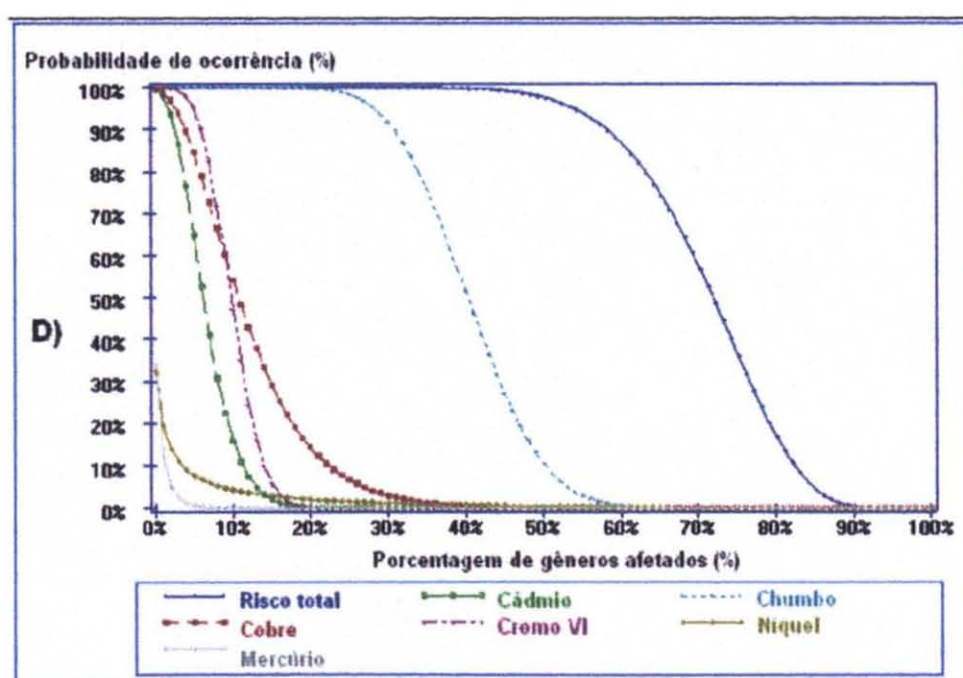
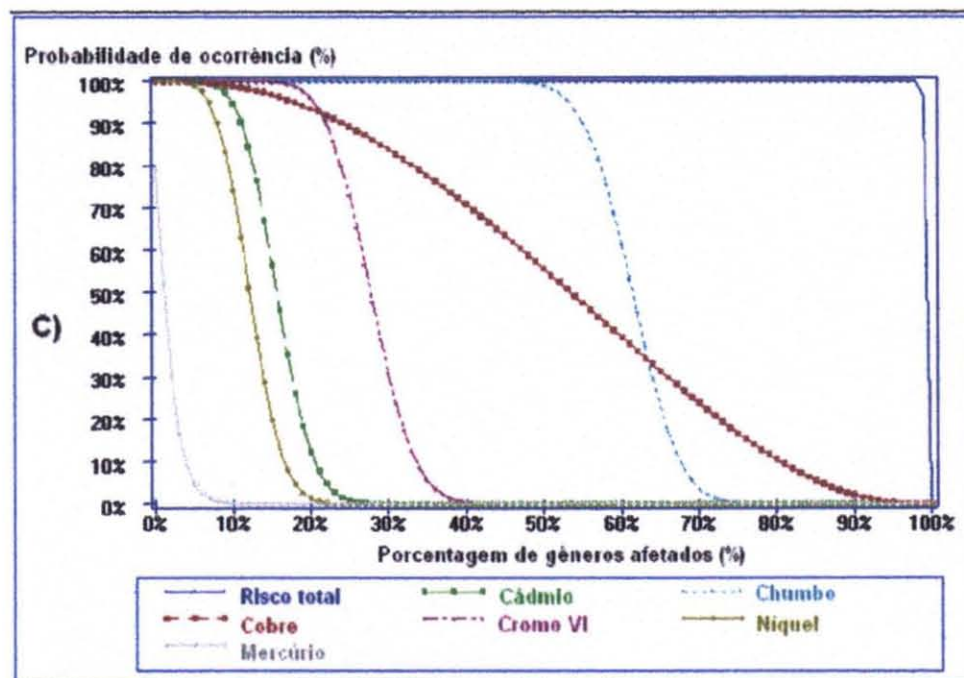
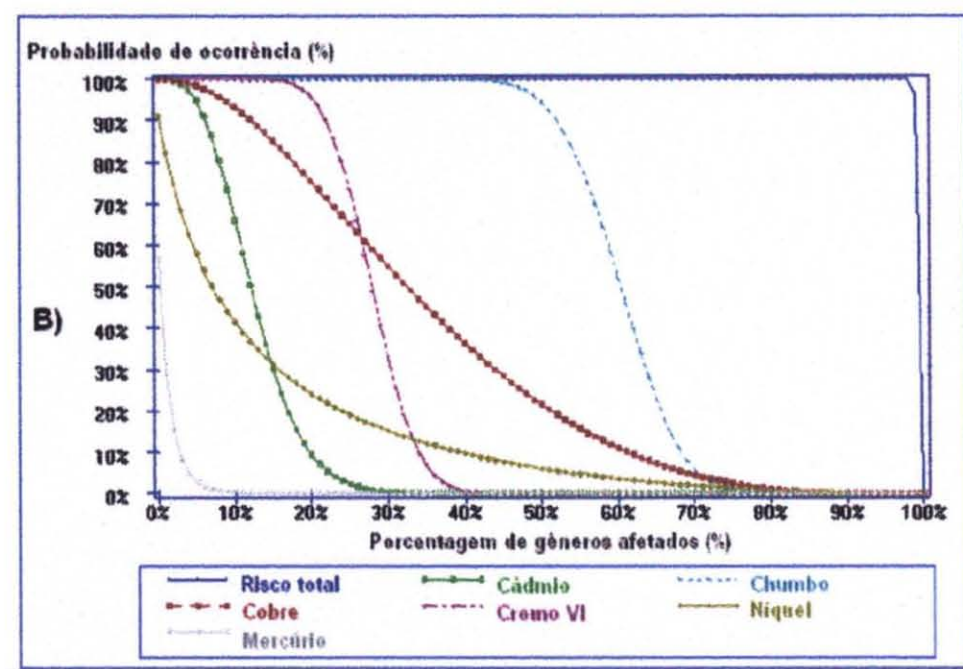
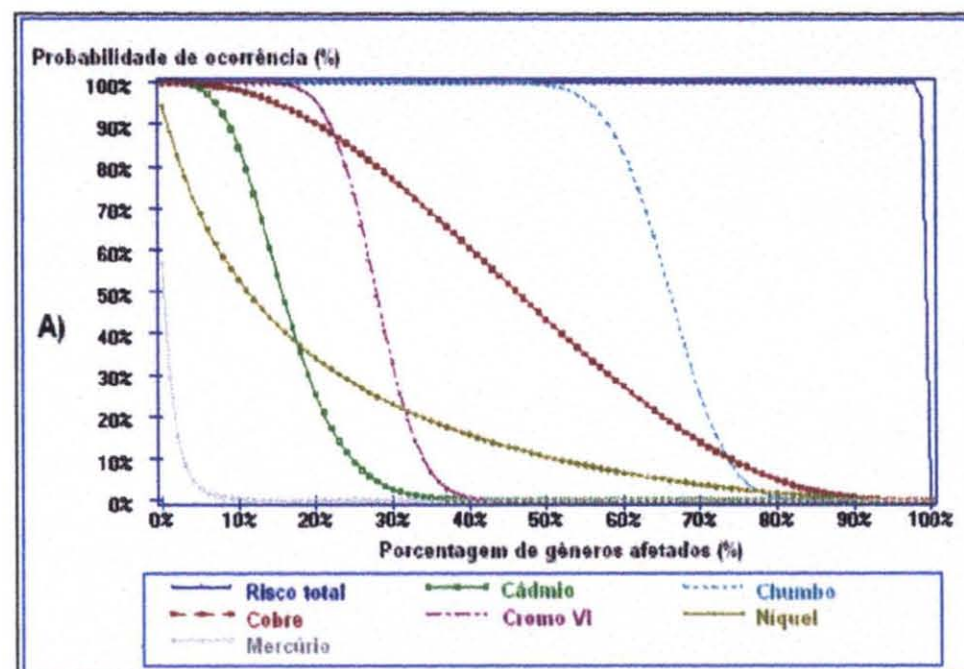
TIET02600



Legenda: A) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e 34 gêneros nativos/introduzidos;  
 B) Dureza da água padrão do programa, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e 34 gêneros nativos/introduzidos;  
 C) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de um ano (2000) e 34 gêneros nativos/introduzidos e,  
 D) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e os 116 gêneros da base de dados.

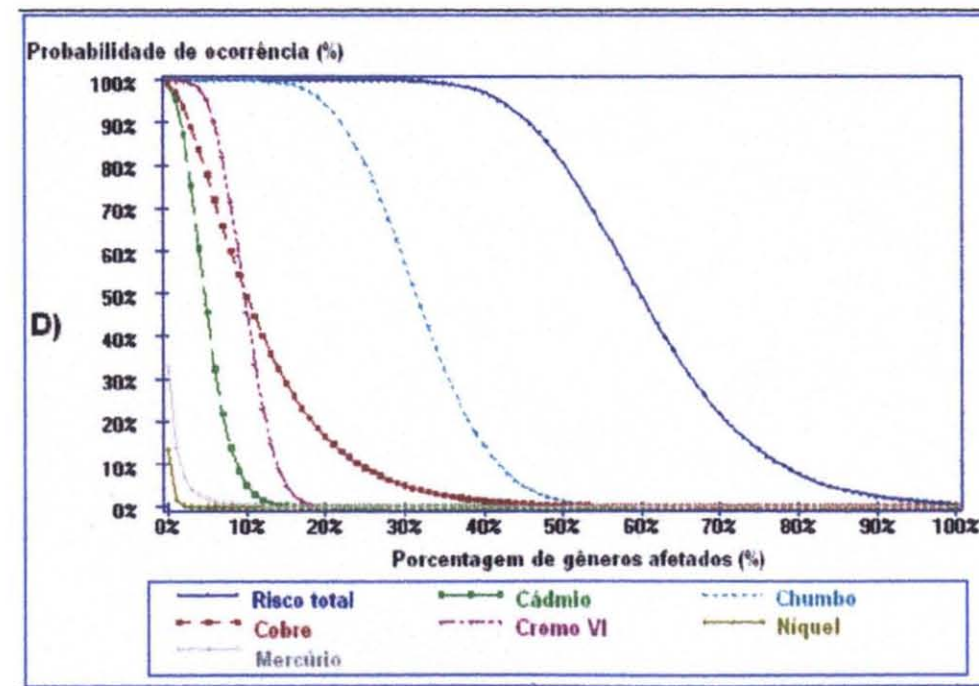
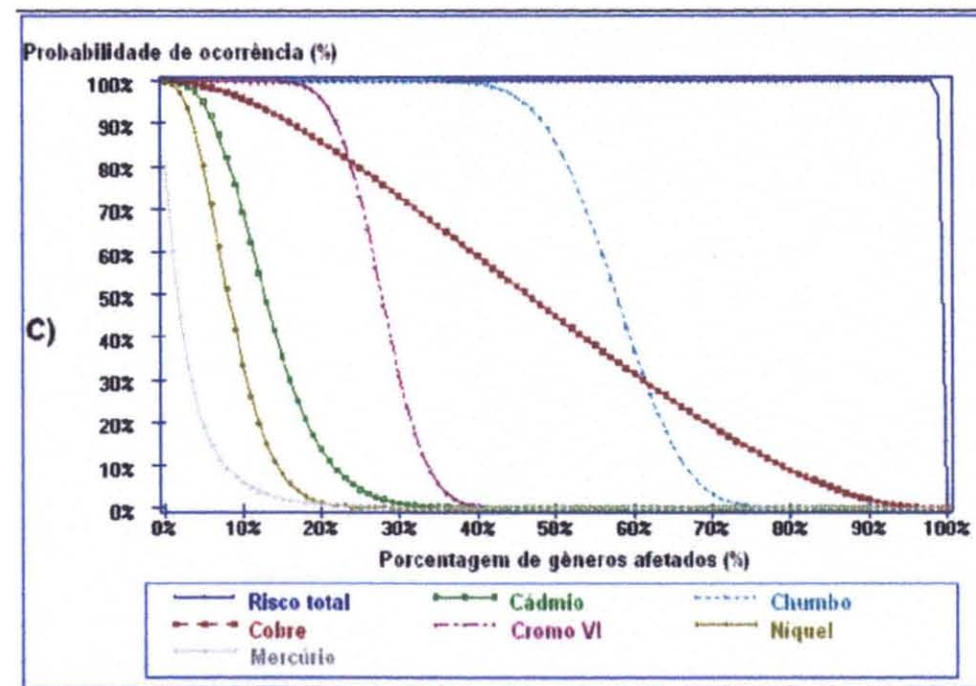
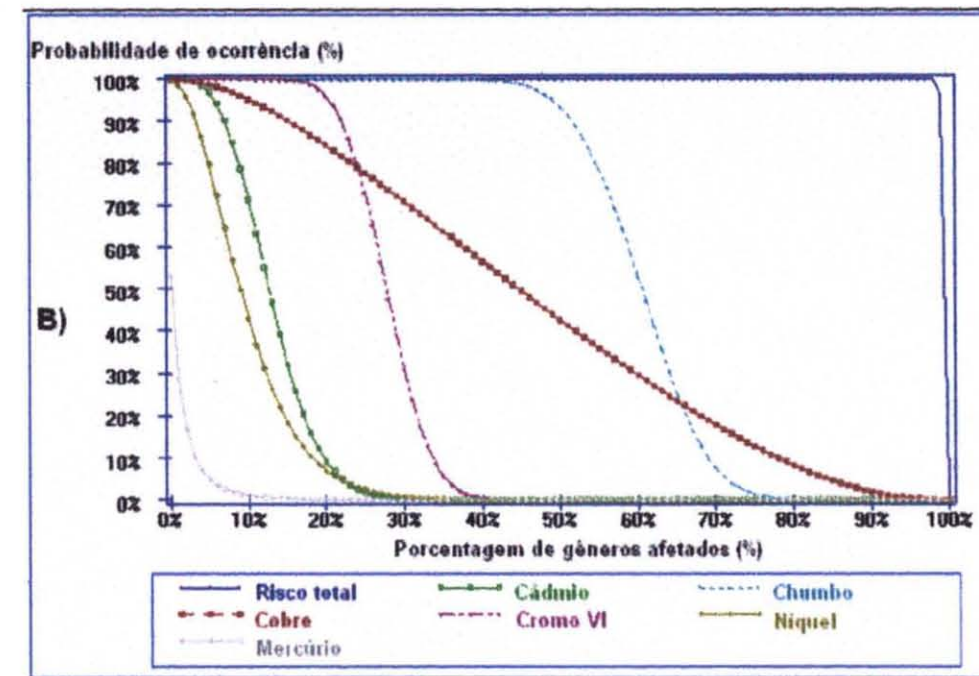
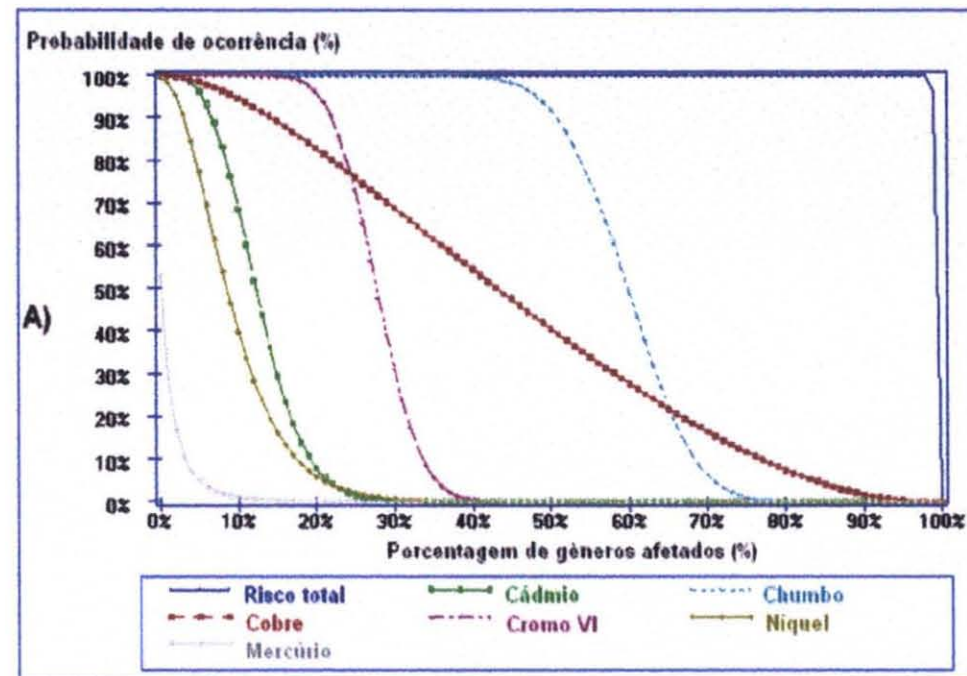
ANEXO 11 – UGRHI 19 – Baixo Tietê.

TITR02100



Legenda: A) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e 34 gêneros nativos/introduzidos;  
 B) Dureza da água padrão do programa, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e 34 gêneros nativos/introduzidos;  
 C) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de um ano (2000) e 34 gêneros nativos/introduzidos e,  
 D) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e os 116 gêneros da base de dados.

PEIX02100



Legenda: A) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e 34 gêneros nativos/introduzidos;  
 B) Dureza da água padrão do programa, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e 34 gêneros nativos/introduzidos;  
 C) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de um ano (2000) e 34 gêneros nativos/introduzidos e,  
 D) Dureza média da UGRHI, concentrações médias de cinco anos (1997-2001) e os 116 gêneros da base de dados.