



COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO

Referente ao Relatório à Diretoria n.º 07/2022/E, de 03 de novembro de 2022.

Relator: Carlos Roberto dos Santos

DECISÃO DE DIRETORIA N.º 127/2022/E, DE 06 DE DEZEMBRO DE 2022.

Dispõe sobre a homologação da **Norma Técnica CETESB P4.001 – Avaliação de Risco Ecológico (ARE) – Áreas contaminadas / Parte 1, 1ª Edição: outubro de 2022.**

A Diretoria Colegiada da CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, no uso de suas atribuições estatutárias e regulamentares, e considerando o contido no Relatório à Diretoria n.º 07/2022/E, que acolhe, DECIDE:

Artigo 1º: Homologar a **Norma Técnica CETESB P4.001 – Avaliação de Risco Ecológico (ARE) – Áreas contaminadas, 1ª Edição:** outubro de 2022, cujo teor consta do **ANEXO ÚNICO** que integra esta Decisão de Diretoria.

Artigo 2º: Esta Decisão de Diretoria entra em vigor na data de sua publicação.

Publique-se no Diário Oficial do Estado de São Paulo.

Divulgue-se a todas as Unidades da Companhia, pelo sistema eletrônico.

Diretoria Colegiada da CETESB, em 06 de dezembro de 2022.

ORIGINAL DEVIDAMENTE
ASSINADO

PATRÍCIA IGLECIAS
Diretora-Presidente

ORIGINAL DEVIDAMENTE
ASSINADO

ARUNTHO SAVASTANO NETO
Diretor de Gestão Corporativa

ORIGINAL DEVIDAMENTE
ASSINADO

GLAUCIO ATTORRE PENNA
Diretor de Controle e Licenciamento Ambiental

ORIGINAL DEVIDAMENTE
ASSINADO

CARLOS ROBERTO DOS SANTOS
Diretor de Engenharia e Qualidade Ambiental

ORIGINAL DEVIDAMENTE
ASSINADO

DOMENICO TREMAROLI
Diretor de Avaliação de Impacto Ambiental



NORMA TÉCNICA

P4.001

1ª Edição
Outubro/2022
37 páginas

Avaliação de Risco Ecológico (ARE) – Áreas Contaminadas

Title in English:
Ecological Risk Assessment (ERA) – Contaminated Sites

RESUMO

A Avaliação de Risco Ecológico (ARE) é um procedimento de investigação que deve ser executado quando um bem ecológico a ser protegido for identificado, durante a execução das etapas do Gerenciamento de Áreas Contaminadas. Divide-se nas etapas: Formulação do Problema, Análise e Caracterização do Risco. As incertezas devem ser identificadas e o estudo finaliza quando houver suficiência e confiança nos resultados para a tomada de decisão. Esta norma estabelece critérios objetivos a serem empregados na execução da ARE, como subsídio à tomada de decisão para o Gerenciamento de Áreas Contaminadas.

Palavras-chave:
risco ecológico; estressores; receptor; bem ecológico a proteger.

Key words:
ecological risk; stressors; receptor; ecological assets.

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
Avenida Professor Frederico Hermann Jr., 345
Alto de Pinheiros CEP 05459-900 São Paulo – SP
Tel.: (11) 3133-3000
<http://www.cetesb.sp.gov.br>

Primeira Edição

Outubro/2022, homologada pela Decisão de Diretoria – D.D. n.º XXX/22/E, de XX/11/22.

© CETESB 2022

É permitida a reprodução total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte.
Direitos reservados de distribuição.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	3
2. OBJETIVO E CAMPO DE APLICAÇÃO	3
3. DOCUMENTOS COMPLEMENTARES	3
4. DEFINIÇÕES	5
5. ORIENTAÇÕES PARA A ELABORAÇÃO DA AVALIAÇÃO DE RISCO ECOLÓGICO	8
REFERÊNCIAS	21
APÊNDICE A – Exemplos de Quadros Síntese da Etapa de Formulação do Problema	25
APÊNDICE B – Exemplos de Quadros de Descrição dos Resultados	27
APÊNDICE C – Exemplo de Matriz de Integração para Avaliação Quali e Quantitativa do Risco	30
ANEXO A – Exemplos de Modelos Conceituais	33
ANEXO B – Integração dos Resultados	34
ANEXO C – Tabela de Incertezas	36

1 INTRODUÇÃO

A Avaliação de Risco Ecológico (ARE) é uma linha de investigação que tem como objetivo avaliar qualitativa e quantitativamente o risco a que um bem ecológico que se quer proteger pode estar submetido, mediante alguma alteração antrópica de natureza física, química ou biológica, e estabelece critérios objetivos a serem empregados na tomada de decisão para a gestão do problema.

Esta norma irá abordar a aplicação da ARE no Gerenciamento de Áreas Contaminadas, relativa à presença de estressores químicos. A necessidade deste estudo será definida de acordo com os Procedimentos para o Gerenciamento de Áreas Contaminadas estabelecidos pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) que estão de acordo com a Lei Estadual 13.577/2009 (SÃO PAULO, 2009) e o Decreto Estadual 59.263/2013 (SÃO PAULO, 2013). Considerará essencialmente dados ecotoxicológicos, avaliação ecológica, modelos de dispersão e dados de literatura sobre a sensibilidade da biota do local de estudo ao estressor, podendo, eventualmente, envolver outras linhas de investigação, dependendo da situação. A ARE engloba a caracterização da exposição e dos efeitos adversos, a relação causal destes com os estressores e a integração dessas informações para estabelecer o risco ao qual os receptores ecológicos estarão sujeitos.

Caracteriza e inter-relaciona componentes primários do risco: a exposição e os efeitos aos quais os receptores ecológicos selecionados podem estar sujeitos em decorrência do contato com os estressores. No estudo devem ser avaliados efeitos, diretos e indiretos, estruturais e funcionais, nas escalas espacial e temporal, aos receptores ecológicos e, em estudos mais complexos, considerar diferentes linhas de evidência. Baseia-se em um modelo conceitual de risco ecológico e pode ser executado por tipo de ambiente (ambientes aquáticos e terrestres).

A ARE finaliza quando houver suficiência e confiança nos resultados para subsidiar a tomada de decisão, sobre a necessidade de implementação de medidas de intervenção.

Conforme descrito na Seção 8.2 do Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas (CETESB, 2021), durante a realização da etapa de Avaliação de Risco podem ser identificados diferentes tipos de bens a proteger a serem considerados no estudo de avaliação de risco em uma Área Contaminada. Dessa forma, considerando os bens a proteger identificados na Área Contaminada em avaliação, a identificação e caracterização dos riscos podem ser realizadas utilizando-se de metodologias diversas, de forma paralela, como a avaliação de risco à saúde humana, avaliação de risco aos bens patrimoniais ou extrapatrimoniais, avaliação de risco à ordenação territorial, avaliação de risco aos recursos naturais ou ambientais e a ARE.

Esse documento visa estabelecer procedimento uniforme entre os técnicos e orientar os trabalhos de ARE a serem encaminhados para a CETESB.

2 OBJETIVO

Esta norma tem o objetivo de estabelecer os critérios e procedimentos para a realização de estudos de ARE no Estado de São Paulo, como uma ferramenta para subsidiar a tomada de decisão nas ações de Gerenciamento de Áreas Contaminadas. Visa ainda estabelecer as diretrizes e critérios a serem considerados na realização de ARE para estressores químicos relacionados às Áreas Contaminadas.

3 DOCUMENTOS COMPLEMENTARES

Na aplicação desta norma recomenda-se consultar os documentos relacionados a seguir. As edições indicadas estavam em vigor no momento desta publicação. Como toda norma está sujeita a revisões

e alterações, aqueles que realizam procedimentos com base nesta, devem verificar a existência de legislação superveniente aplicável ou de edições mais recentes dos documentos citados:

- **Lei Federal n.º 9.985, de 18 de julho de 2000**, que regulamenta o art. 225, § 1º, incisos i, ii, iii e vii da constituição federal, institui o sistema nacional de unidades de conservação da natureza e dá outras providências (BRASIL, 2000);

- **Resolução CONAMA n.º 357, de 17 de março de 2005**, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências (BRASIL, 2005);

- **Resolução CONAMA n.º 430, de 13 de maio de 2011**, que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n.º 357 de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA (BRASIL, 2011);

- **Resolução CONAMA n.º 420, de 28 de dezembro de 2009**, que dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo. Nas situações em que a existência de determinada Área Contaminada sob Investigação (AI) ou Área Contaminada sob Intervenção (ACI) possa implicar em impactos significativos aos recursos ambientais, o gerenciamento do risco poderá se basear nos resultados de uma avaliação de risco ecológico, a critério do órgão ambiental competente. As denominações AI e ACI, citadas nesta Resolução, foram alteradas/atualizadas para ACI e Área Contaminada com Risco Confirmado (ACRi), respectivamente, conforme consta do Decreto do Estado de São Paulo n.º 59.263 de 05 de junho de 2013 (SÃO PAULO, 2013a, citado a seguir (BRASIL, 2009);

- **Constituição Estadual** em seu art.193, item II, segundo a qual é atribuição da administração pública direta e indireta adotar medidas, nas diferentes áreas de ação pública e junto ao setor privado, para manter e promover o equilíbrio ecológico e a melhoria da qualidade ambiental, prevenindo a degradação em todas as suas formas e impedindo ou mitigando impactos ambientais negativos e recuperando o meio ambiente degradado (SÃO PAULO, 1989);

- **Decreto Estadual n.º 59.263, de 5 de junho de 2013**, que regulamenta a Lei Estadual n.º 13.577, de 8 de julho de 2009, que dispõe sobre diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento de áreas contaminadas, e dá providências correlatas, define que uma área será classificada como Área Contaminada com Risco Confirmado (ACRi) quando, entre outras situações, for observado risco inaceitável para organismos presentes nos ecossistemas, por meio da utilização de resultados de Avaliação de Risco Ecológico (SÃO PAULO, 2013a);

- **Decisão de Diretoria n.º 038/2017/C, de 07 fevereiro de 2017**, que estabelece que a Avaliação de Risco Ecológico deverá ser elaborada nas situações em que exista um ecossistema natural sob influência ou que possam estar sob influência de uma Área Contaminada sob Investigação (ACI) (CETESB, 2017).

- **Resolução SMA n.º 100, de 17 de outubro de 2013**. Regulamenta as exigências para os resultados analíticos, incluindo-se a amostragem, objeto de apreciação pelos órgãos integrantes do Sistema Estadual de Administração da Qualidade Ambiental, Proteção, Controle e Desenvolvimento do Meio Ambiente e Uso Adequado dos Recursos Naturais —SEAQUA (SÃO PAULO, 2013b);

- **ISO 19204**: Soil quality: procedure for site-specific ecological risk assessment of soil contamination (soil quality TRIAD approach) (ISO, 2017);

- **Federal Contaminated Sites Action Plan (FCSAP)**: ecological risk assessment guidance (CANADA, 2012).

- **Guidelines for ecological risk assessment**. (USEPA, 1998).

- **Manual de gerenciamento de áreas contaminadas [recurso eletrônico]**. (CETESB, 2021).

- **IRAM 29592:** calidad ambiental: evaluación del riesgo para los ecosistemas. (Estudio integrado de tres líneas de evidencia: química, ecotoxicológica y ecológica) (IRAM, 2021).

4 DEFINIÇÕES

Para os efeitos deste documento, aplicam-se os seguintes termos e definições:

Área de Interesse: Área geográfica direta ou indiretamente afetada pelos estressores, considerando, em todos os casos, a bacia hidrográfica na qual se localiza.

Área de Estudo: Área abrangida no estudo podendo incluir parcial ou totalmente as áreas de interesse.

Atributo: Qualidade ou característica de um receptor ecológico.

Avaliação de Habitat: Metodologia para estudo de campo que tem como objetivo avaliar o grau de alterações no habitat promovidas por ações antrópicas, de forma a prever impactos ecológicos. Em ecossistemas aquáticos pode-se aplicar protocolos de métricas já desenvolvidos, como o proposto pela United States Environmental Protection Agency (USEPA) (KAUFMANN et al., 1999).

Bem Ecológico a Proteger: Principal objeto a ser considerado na ARE, entendido como um componente ecológico de relevante interesse, podendo ser uma população, um grupo de espécies, uma comunidade biológica, a fauna, a flora, a qualidade do solo, das águas e do ar, ou todo um ecossistema. Por exemplo, uma espécie ameaçada de extinção ou de especial valor cultural, a avifauna, a biota aquática, um rio, serviços ecossistêmicos, entre outros.

Bioacumulação: Processo pelo qual substâncias acumulam nos tecidos de organismos. A bioacumulação ocorre quando a concentração de uma substância de interesse, na biota, é maior que a concentração no meio circundante.

Biodisponibilidade: Fração de um agente químico presente no ambiente disponível para interação com sistemas biológicos nos quais pode ser adsorvida, absorvida, acumulada ou metabolizada.

Biomagnificação: Processo de acúmulo progressivo de substâncias de um nível trófico para o outro ao longo da teia alimentar.

Biomarcadores: São alterações biológicas nos fluidos corporais, células ou tecidos, indicativas da exposição ou efeito, a concentrações subletais de estressores químicos, detectadas em nível molecular, celular e fisiológico.

Biota: Conjunto de seres vivos que vivem em determinado ecossistema ou região.

Caminho de Exposição: Percurso desenvolvido, ou que possa ser desenvolvido, por uma substância química de interesse (SQI) desde a fonte de contaminação até o receptor.

Compartimento Ambiental: Os compartimentos ambientais são constituídos por diferentes meios: meio físico (como solo, sedimento, água superficial, água intersticial e ar) e meio biótico (flora, fauna, microrganismos).

Concentração Basal: Nível de concentração natural de uma substância química de interesse presente em um compartimento ambiental (solo, ar, água ou sedimento), em um ambiente sem ou com pouco impacto antrópico.

Ecossistema: Sistemas naturais ou artificiais, limitados por um espaço físico, onde interagem fatores bióticos e abióticos, caracterizando determinadas estruturas e funções.

Efeito Estrutural: Efeito sobre atributos estruturais do receptor, relativo a características dos elementos que compõem o ecossistema, tais como a densidade ou abundância de organismos, no caso de uma população, ou a diversidade riqueza, equitabilidade e composição, no caso de uma comunidade ou ecossistema.

Efeito Funcional: Efeito sobre atributos funcionais do receptor, relativo a processos e fluxos, como a taxa de respiração, no caso de uma população, ou a ciclagem de nutrientes ou a taxa de decomposição, no caso de uma comunidade, ou ecossistema.

Entidade Ecológica: Organismo, população, comunidade, habitat ou ecossistema, que representa o bem ecológico a ser protegido.

Espécie Chave: Grupo funcional ou população, sem redundância; uma espécie, como um produtor primário ou predador, com grande influência na estrutura e no funcionamento de uma comunidade ou ecossistema. Quando é retirada do meio em que está inserida, causa grandes impactos e mudanças drásticas no ecossistema.

Espécie Exótica Invasora: Espécie que se encontra fora de sua área de distribuição natural e que, por suas vantagens competitivas, favorecida inicialmente pela ausência de competidores e predadores locais, ameaça ecossistemas, habitats e espécies nativas.

Estressor: Qualquer agente físico, químico ou biológico que possa induzir um efeito adverso a um receptor ecológico.

Exposição: Contato ou coocorrência de um receptor com um estressor.

Fonte Primária: Atividade, instalação ou material que são origem de estressores químicos para o ambiente.

Fonte Secundária: Meio atingido pelo estressor químico, proveniente da Fonte Primária, capaz de armazenar ou dispersar esse estressor e atuar como fonte para os compartimentos ambientais.

Impacto: Alteração da qualidade ambiental provocada por ação do homem, resultante da modificação de processos naturais ou sociais.

Habitat: Ambiente que oferece um conjunto de condições favoráveis para o desenvolvimento, sobrevivência e reprodução de determinados organismos.

Linhas de Evidência: Informações derivadas a partir de diferentes fontes ou utilizando diferentes técnicas que podem ser utilizadas para avaliar as hipóteses definidas, objetivando descrever e interpretar estimativas de risco. Tem-se como exemplos, linhas de evidência Química, Ecotoxicológica ou Ecológica.

Mesocosmos: Ensaios que simulam ecossistemas ou parte deles, nos quais organismos pertencentes a diferentes níveis tróficos são expostos, ao mesmo tempo, ao estressor de interesse. Podem ser efetuados em laboratório ou em campo.

Metas de Recuperação: Metas relacionadas com a restauração ou manutenção de espécies, populações, comunidades ou ecossistemas, devendo ser explícitas e quantificáveis. São estabelecidas com base nas métricas de avaliação ou em objetos de proteção, a serem acompanhadas para avaliar a eficiência das medidas de gerenciamento de risco adotadas.

Meta de Remediação: Concentração Máxima Aceitável da substância química de interesse que deve ser atingida nos compartimentos do meio físico, por meio da execução de medida de remediação.

Nível de Organização Biológica: Níveis hierárquicos de organização biológica que se inicia com a forma mais simples e se estende até a mais complexa, cada uma englobando a anterior.

Compreendem: célula, tecido, órgão, sistema de órgãos, organismo, população, comunidade, ecossistema, paisagem, bioma, ecosfera. A ARE engloba, normalmente, os níveis de organismo, população, comunidade, ecossistema e paisagem.

Objetos de Proteção: São os receptores ecológicos e seus respectivos atributos mensuráveis, selecionados para representar um determinado bem a proteger a ser considerado no âmbito da etapa de análise da ARE, como, por exemplo, os peixes e sua diversidade, a produção de serapilheira e sua taxa de decomposição, os carnívoros de topo e suas densidades populacionais.

Potencial Mutagênico: Potencial que possuem determinadas substâncias em reagir com o ácido desoxirribonucleico (DNA), causando danos a esta molécula e levando à formação de mutações, que podem estar envolvidas na carcinogênese.

Receptor Ecológico: Entidade ecológica exposta, ou potencialmente exposta, ao estressor químico de interesse.

Receptor Ecológico Suscetível: Receptor ecológico exposto, ou potencialmente exposto, sensível ao estressor químico de interesse.

Risco Ecológico: Probabilidade de um estressor químico produzir efeito adverso a uma entidade ecológica em condições de exposição específicas.

Risco Aceitável: É o nível de efeito adverso tolerável a ser definido com base nos objetivos de proteção, em dados científicos, ambientais, sociais e econômicos e considerando as incertezas.

Serviços Ecossistêmicos: Benefícios que o ser humano obtém dos ecossistemas direta ou indiretamente e que incluem serviços tais como a oferta alimentos, água, controle de doenças, polinização, sequestro de carbono, regulação do clima, produção de oxigênio, proteção e formação do solo, ciclagem de nutrientes, degradação de contaminantes orgânicos; culturais, como de lazer, e outros que mantêm as condições de vida na Terra.

Unidade de Exposição: Áreas que são delimitadas durante a Avaliação de Risco e que se caracterizam por conter receptores expostos, ou potencialmente expostos, a cenários comuns de exposição, considerando os caminhos de exposição e as substâncias químicas de interesse presentes.

Concentração Máxima Aceitável (CMA): Concentração da substância química de interesse acima da qual há necessidade de implementação de medidas de intervenção.

Valores de Referência da ARE: Valor de concentração para determinada Substância Química de Interesse (SQI), para os diferentes compartimentos afetados, obtido na literatura científica, na legislação (regulamentação) ou em um ambiente de referência, que possibilitará uma avaliação teórica do risco ecológico a partir das concentrações obtidas em campo. A origem do valor empregado para a definição da incerteza existente em torno do resultado obtido na comparação deve ser avaliada criticamente.

Nota: É importante que se esclareça que este termo não é um sinônimo dos Valores de Referência de Qualidade (VRQ) estabelecidos pela CETESB dentro dos valores orientadores para o solo no estado de São Paulo.).

Vias de Ingresso: Mecanismo pelo qual o estressor químico de interesse entra no organismo, por exemplo, ingestão, inalação, contato dérmico e absorção pelas guelras.

5 ORIENTAÇÕES PARA A ELABORAÇÃO DA AVALIAÇÃO DE RISCO ECOLÓGICO

O Estudo de ARE deve ser executado em três etapas: Formulação do Problema, Análise e Caracterização de Risco.

O estudo se inicia com a etapa de Formulação do Problema que engloba a caracterização da área de interesse e seu entorno, a seleção dos estressores e dos receptores ecológicos, a elaboração de um modelo conceitual, a definição do(s) objeto(s) de proteção (*assessment endpoint*) e o Plano de Trabalho. A ARE pode ser qualitativa e/ou quantitativa, e o esquema para o seu desenvolvimento consta da **Figura 1**.

Deve ser ressaltado que as caracterizações da contaminação e dos compartimentos ambientais desenvolvidas para a ARE, devem levar em consideração o Bem Ecológico a Proteger, os Caminhos de Exposição e os Receptores Ecológicos identificados.

A etapa de Análise é executada por compartimento ambiental, para caracterizar a exposição e os efeitos aos quais os receptores ecológicos selecionados podem estar sujeitos em decorrência da existência de agentes estressores, considerando as escalas espacial e temporal, e a relação causal.

Na etapa final, de Caracterização do Risco, é estimado e descrito o risco dentro do contexto ecológico, sem deixar de considerar as interações entre estressores e receptores e também dos estressores entre si e dos receptores entre si.

O trabalho pode ser realizado em fases, inicialmente mais simplificadas e posteriormente aprofundadas, em função do grau de complexidade da área de interesse. A necessidade de aprofundamento pode ser avaliada em qualquer momento do estudo.

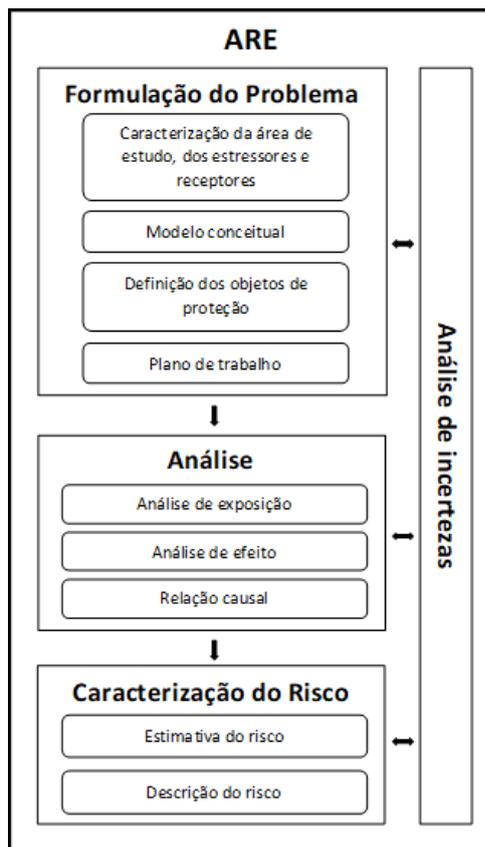
Ao longo do estudo deve-se identificar e avaliar as incertezas e, sempre que possível, eliminá-las ou minimizá-las, conforme estabelecido em **5.4**.

A ARE deve utilizar a melhor técnica analítica disponível e viável, adotando procedimentos padronizados e laboratórios acreditados, como previsto nos artigos 17, 18 e 19 da Resolução CONAMA 420/2009 (BRASIL, 2009) e na Resolução SMA 100/2013 (SÃO PAULO, 2013b).

Se, para alguns dos ensaios selecionados, não existirem laboratórios acreditados esses poderão ser aceitos, desde que executados por instituições/laboratórios que apresentem o detalhamento da metodologia, demonstrem sua competência, e que possuam capacidade para desenvolvê-los de acordo com critérios estabelecidos dentro de um sistema de qualidade analítica. Além disso, caso sejam adotados procedimentos não padronizados, deve ser demonstrada sua pertinência e sua validação. As alterações na metodologia deverão ser informadas, justificadas e validadas, considerando as disposições do art. 2º, § 3º, da Resolução SMA 100/2013 (SÃO PAULO, 2013b).

A **Figura 1** apresenta esquema para o desenvolvimento de uma ARE de acordo com o descrito nesta Norma.

Figura 1 – Etapas para a execução de uma ARE



Fonte: CETESB (2022)

5.1 Formulação do Problema

Esta etapa se inicia com o levantamento de dados primários (originais, obtidos em campo) e secundários (revisões bibliográficas) ou dados gerados na própria área contaminada em estudo. Envolve a caracterização das áreas de influência, a definição da área de estudo, a seleção e caracterização dos estressores e dos receptores ecológicos, o levantamento dos caminhos de exposição, das vias de ingresso, do modo de ação do estressor e a elaboração do modelo conceitual da ARE.

Com base nas informações levantadas conforme estabelecido em 5.1.1 a 5.1.4, caso se conclua pela ausência de receptores ecológicos suscetíveis, é possível encerrar a avaliação de risco ecológico, devendo ser apresentadas as informações descritas em 5.1.5.

A ocorrência na área de estudo de receptores ecológicos suscetíveis ao estressor determinará a necessidade de continuidade dos estudos, com a definição dos objetos de proteção e do Plano de Trabalho a serem estabelecidos seguindo os critérios e diretrizes descritas em 5.1.6 a 5.1.8.

5.1.1 Caracterização da Área de Estudo

A caracterização da área de estudo pode ser baseada em dados primários e/ou secundários. Cabe ao responsável técnico avaliar se os dados secundários disponíveis são suficientes, ou, se é necessária a sua complementação com dados primários. Na caracterização da área de estudo, devem ser observadas as exigências efetuadas no Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas (CETESB, 2021), para a realização das Etapas de Avaliação Preliminar, Investigação

Confirmatória e Investigação Detalhada. Especificamente para a ARE, as seguintes informações adicionais são necessárias:

- a) contextualizar a área de estudo em escala regional (p. ex.: microbacias, bacias), com levantamento e priorização dos ecossistemas ou compartimentos ambientais afetados ou que podem ser afetados;
- b) estabelecer os locais prioritários a serem avaliados;
- c) levantar a legislação ambiental pertinente, focando na verificação da existência de áreas protegidas na área de estudo e entorno;
- d) apresentar a caracterização física da área de estudo;
- e) apresentar levantamento faunístico e florístico da área de estudo, destacando as espécies de valor econômico, raras, endêmicas, ameaçadas e exóticas invasoras, conforme legislação federal e estadual em vigor, bem como as espécies/comunidades indicadoras da qualidade ambiental e sensíveis ao estressor;
- f) descrever os principais componentes da teia/cadeia alimentar do local, por tipo de ambiente, destacando as características biológicas, incluindo metabolismo microbiano, hábitos e ciclos de vida, hábito alimentar e variabilidade espacial e sazonal em suas distribuições e densidades que sejam pertinentes à investigação;
- g) identificar fontes primárias e secundárias, atuais e pretéritas, de impactos físicos, químicos e/ou biológicos que possam interferir no(s) bem(ns) de interesse ecológico a proteger e, conseqüentemente, nos resultados da investigação;
- h) apresentar os usos atual e pretendidos (futuros) para a área de estudo, respaldados pelo arcabouço legal;
- i) levantar os serviços ecossistêmicos potenciais associados à área de estudo.

5.1.2 Seleção e Caracterização dos Estressores Químicos

Estressores químicos envolvem todas as substâncias químicas inorgânicas (metais, metalóides, nutrientes, etc.) ou orgânicas (agrotóxicos, HPAs, PCBs, dioxinas e furanos, compostos organoclorados, medicamentos, retardantes de chama, etc.) que possam causar efeitos adversos à biota. Os estressores devem ser avaliados quanto aos seus potenciais de toxicidade, biodisponibilidade, bioacumulação, biomagnificação, mobilidade e transformação no ambiente.

Em uma ARE para áreas contaminadas, entre os estressores químicos potenciais, devem ser revistas as Substâncias Químicas de Interesse (SQIs) devendo, *a priori*, ser selecionadas aquelas cujas concentrações na matriz ambiental superem os padrões de qualidade de água superficial, valores orientadores de prevenção para solo, valores de intervenção para água subterrânea, conforme regulamentação vigente. Para sedimento devem ser utilizados os valores definidos pela Canadian Council of Ministers of the Environment – CCME (CANADA, 2012). Para as substâncias que não constarem nessas listas, poderão ser utilizados valores orientadores propostos por outras entidades reconhecidas, como, por exemplo, a USEPA para a proteção dos receptores ecológicos, ou valores de uma área de referência.

As substâncias químicas biomagnificáveis deverão ser sempre selecionadas como SQI. Recomenda-se considerar, quando pertinente, as concentrações basais, regionais ou locais, para as substâncias de origem não antrópica. A biodisponibilidade de uma potencial SQI poderá ser avaliada pela análise de suas concentrações na biota diretamente afetada, como por exemplo, na vegetação e na fauna edáfica, quando a contaminação estiver no solo, ou em macrófitas enraizadas, macroinvertebrados e peixes bentônicos, quando a contaminação estiver nos sedimentos.

Deve ser considerada também a existência, na área de interesse, de estressores físicos e biológicos que ocorram simultaneamente e possam ser fator de interferência no transporte, disponibilidade e exposição das SQIs aos bens a proteger.

A caracterização dos estressores químicos inclui, entre outras, a apresentação de informações relativas:

- a) à reavaliação dos estressores de interesse, suas fontes primárias e secundárias e sua distribuição na área de estudo, considerando os levantamentos anteriores, complementados com o necessário para a ARE e utilizando os valores de prevenção para matriz solo;
- b) ao mapeamento da distribuição dos contaminantes nos compartimentos ambientais, com foco na caracterização das unidades de exposição para os receptores ecológicos;
- c) ao levantamento de outros estressores que coocorrem na área (físico, biológico ou químico), suas fontes e distribuição na área de estudo;
- d) às propriedades físicas, químicas ou biológicas relacionadas à toxicidade, mobilidade, persistência e transferência na cadeia alimentar dos estressores;
- e) à interação dos estressores de interesse com as características do ambiente de estudo e com outros estressores presentes;
- f) ao levantamento de efeitos potenciais na biota (modos de ação).

5.1.3 Seleção e Caracterização dos Receptores Ecológicos

Devem ser selecionados os receptores ecológicos locais com maior potencial de serem afetados, com base no levantamento faunístico e florístico e/ou dos serviços ecossistêmicos do ambiente avaliado. Esses receptores ecológicos devem ser representativos do bem ecológico a proteger e devem ser definidos por compartimento ambiental. Em alguns casos o receptor ecológico pode corresponder ao bem ecológico a proteger.

A seleção dos receptores ecológicos deve considerar:

- a) aqueles que apresentam maior sensibilidade e suscetibilidade ao(s) estressor(es) de interesse;
- b) a presença de espécies de interesse (ex: ameaçadas, endêmicas, de importância cultural ou econômica);
- c) espécies-chave;
- d) os serviços ecossistêmicos associados ao bem ecológico a proteger;
- e) as vias de ingresso (por contato, ingestão e/ou inalação);
- f) os caminhos de exposição;
- g) os receptores ecológicos atuais e futuros, em função de alterações nas condições da área ou degradação das SQIs, considerando o bem ecológico a proteger e o uso da área de interesse.

Deve ser apresentada a justificativa para a seleção dos receptores.

5.1.4 Modelo Conceitual do Risco Ecológico

O modelo conceitual resume as informações levantadas na caracterização da área de estudo, dos estressores químicos e na definição dos receptores ecológicos de interesse, devendo servir como um guia para a etapa analítica da avaliação do risco ecológico. Ele inclui descrições das fontes de estressores químicos, reais ou potenciais, primárias e secundárias, dos critérios de seleção das SQIs, da área de interesse e dos processos pelos quais os receptores ecológicos podem ser expostos, direta ou indiretamente, aos estressores químicos, incluindo a distribuição espacial (vertical e horizontal) das SQIs nas unidades de exposição, os caminhos de exposição e vias de ingresso.

Deve diferenciar os compartimentos de estudo e ambiente e considerar os fluxos envolvidos no transporte do estressor entre compartimentos.

Sua apresentação deve ser gráfica (figura/quadro), acompanhada por texto explicativo, claro e sintético. Deve transmitir as informações e hipóteses, levantadas e selecionadas na formulação do problema, aos tomadores de decisão e outros envolvidos.

O Modelo Conceitual de Risco Ecológico deve ser formulado considerando:

- a) impactos pretéritos, atuais e/ou futuros, de natureza física, química e/ou biológica, que podem afetar a área de estudo;
- b) estressores e suas caracterizações;
- c) efeitos potenciais diretos e indiretos, atuais e futuros dos estressores;
- d) compartimentos ambientais que podem ser afetados, tendo por base a distribuição espacial horizontal e vertical das concentrações dos estressores químicos e dos receptores ecológicos;
- e) teia alimentar específica da área de estudo;
- f) receptores ecológicos sensíveis aos estressores por compartimento ambiental;
- g) fluxos envolvidos no transporte do estressor intra e intercompartimentos, caminhos de exposição e as vias de ingresso por receptor ecológico a ser considerado no estudo;
- h) impactos resultantes da coocorrência de estressores químicos de interesse e receptores selecionados, e incertezas.

Com o Modelo Conceitual de Risco Ecológico são levantadas e selecionadas hipóteses sobre o risco potencial aos bens ecológicos a proteger. A seleção das hipóteses de risco mais apropriadas depende de um julgamento profissional especializado, sendo importante documentar a razão para esta seleção. As hipóteses de risco selecionadas deverão ser avaliadas durante o desenvolvimento da ARE e detalhadas.

A partir dos resultados obtidos nas etapas de análise e caracterização do risco, o Modelo Conceitual inicial deverá ser revisado.

Exemplos ilustrativos de Modelo Conceitual de Risco Ecológico constam do **Anexo A** deste documento.

5.1.5 Critérios para encerramento da ARE nesta Etapa

Se a partir de uma avaliação inicial não forem identificados receptores ecológicos suscetíveis, atuais ou futuros, não é necessária a elaboração de um Plano de Trabalho e a ARE se encerra nesta etapa. Isto se aplica nos casos em que os receptores identificados não são sensíveis aos estressores químicos, ou não foram verificados caminhos de exposição ou vias de ingresso que os exponha a contaminação detectada na área, considerando os usos atuais e futuros, das áreas de interesse.

Nesses casos, deve ser apresentado um Relatório Conclusivo, contendo as informações levantadas na formulação do problema, incluindo a caracterização da área de interesse, dos estressores e dos receptores, o modelo conceitual e as hipóteses levantadas, com as respectivas incertezas.

5.1.6 Continuidade da Avaliação de Risco Ecológico

Se forem identificados receptores ecológicos suscetíveis, atuais ou futuros, é necessária a continuidade da ARE com a definição dos Objetos de Proteção e a elaboração de um Plano de Trabalho para a execução da Avaliação de Risco Ecológico, em paralelo à execução da avaliação de risco para outros tipos de bens a proteger identificados, como a avaliação de risco à saúde humana,

avaliação de risco aos recursos naturais ou ambientais, avaliação de risco aos bens patrimoniais ou extrapatrimoniais e avaliação de risco à ordenação territorial.

Deve ser apresentado um relatório que justifique a continuidade da ARE, contendo as informações levantadas na formulação do problema, incluindo a caracterização da área de interesse, dos estressores e dos receptores, o modelo conceitual e as hipóteses levantadas, com as respectivas incertezas, incluindo o Plano de Trabalho que descreve a metodologia a ser empregada para a Caracterização do Risco.

Além de um cronograma de atividades, essa proposta deve incluir as informações levantadas nos itens anteriores, relativos à Formulação do Problema, como: caracterização da área de estudo, considerando os ecossistemas e seus compartimentos ambientais, bens a proteger, estressores químicos, sua distribuição e suas fontes, receptores ecológicos, caminhos de exposição e vias de ingresso a serem investigados, o modelo conceitual, as hipóteses a serem testadas e os Objetos de Proteção definidos, bem como o Plano de Trabalho, conforme disposto em **5.1.8**. Os caminhos de exposição, as vias de ingresso e as hipóteses descartadas deverão ser apresentados e justificados.

O **Apêndice A** apresenta exemplos de quadro síntese, contendo as variáveis selecionadas, por receptor ecológico, objeto(s) de proteção, linhas de evidência e métricas de avaliação.

5.1.7 Definição dos Objetos de Proteção (*Assessment Endpoints*)

Nesta etapa devem ser selecionados os objetos de proteção, definidos como os receptores ecológicos e seus respectivos atributos, como, por exemplo, os peixes e sua diversidade, a produção de serapilheira e sua taxa de decomposição, os carnívoros de topo e suas densidades populacionais. A seleção dos objetos de proteção deve estar relacionada aos objetivos da ARE, ou seja, à proteção de um determinado bem ecológico.

A seleção dos Objetos de Proteção deve atender aos seguintes critérios:

- a) Possuir atributos mensuráveis: deve ser mensurável direta ou indiretamente, qualitativa ou quantitativamente. Atributos que permitem medições diretas diminuem as incertezas;
- b) Possuir relevância ecológica: deve refletir características importantes do ecossistema e devem estar associados a outros atributos. Devem ajudar a manter a estrutura, a função e a diversidade do ecossistema ou de seus componentes. A relevância está associada à natureza e intensidade dos efeitos potenciais, às escalas temporal e espacial em que os efeitos podem ocorrer e o nível de organização biológica que pode ser afetado;
- c) Apresentar sensibilidade ao estressor químico: quão prontamente o receptor ecológico é afetado, sendo diretamente relacionada ao modo de ação do estressor e influenciada por características individuais e populacionais (p. ex. fisiologia, ciclo de vida, estágio de vida, preferência de habitat, taxa de reprodução e território) e pela presença de outros estressores e perturbações naturais;
- d) Atender requisitos legais: deve ser avaliada a existência de espécies, habitats e ecossistemas ameaçados ou protegidos, ou de importância socioeconômica e outros diplomas legais relativos às entidades ecológicas potencialmente afetadas;
- e) Ter relevância para as ações de gestão: considerar o uso de valores ecológicos com percepção pública nas decisões a serem tomadas, o que não deve se sobrepor à validade científica. Deve-se compatibilizar o rigor científico com o que é reconhecidamente valioso para o público e os gestores;
- f) Outros aspectos a serem considerados na escolha do Objeto de Proteção que orientarão as análises a serem realizadas, são: viabilidade técnica e científica e os usos reais e potenciais da área.

Quanto maior a área atingida ou a complexidade do problema, maior será o número de objetos de proteção selecionados.

5.1.8 Plano de Trabalho

O Plano de Trabalho descreve o desenho amostral e as metodologias a serem adotadas, para o desenvolvimento das etapas de Análise e Caracterização do Risco na Área de Interesse definidas no Modelo Conceitual de Avaliação de Risco Ecológico.

Essas amostragens podem ser planejadas e executadas durante a etapa de Investigação Detalhada, quando identificados os receptores ecológicos e complementado durante a execução da etapa de Avaliação de Risco.

Os pontos de amostragem devem ser selecionados considerando a heterogeneidade da área de estudo, procurando representar os diferentes ecossistemas, compartimentos ambientais e usos.

A amostragem dos compartimentos deve ser representativa das diferentes unidades de exposição, considerando a distribuição espacial das SQIs e dos receptores. Deve ser discriminado na metodologia o tratamento dos dados com relação às concentrações das SQIs obtidas para aplicação nas etapas de Análise e Caracterização do Risco Ecológico.

A escolha das variáveis a serem medidas deve ter como objetivo responder as hipóteses levantadas no Modelo Conceitual, considerando o(s) objeto(s) de proteção estabelecido(s) e as incertezas.

O trabalho pode ser realizado em fases simplificadas ou aprofundadas, a serem definidas neste plano.

5.2 Análise

Nesta etapa são levantados dados de campo para serem realizadas as investigações da probabilidade ou intensidade da exposição dos receptores aos estressores e da probabilidade ou intensidade dos efeitos adversos. O objetivo desta etapa é fornecer elementos para a etapa de Caracterização do Risco.

5.2.1 Linhas de Evidência

A Proposta de ARE para estressores químicos deve contemplar a realização de trabalhos de campo na Área de Interesse, para o detalhamento da situação em termos espaciais e temporais, envolvendo diferentes linhas de evidência.

Devem ser selecionadas linhas de evidência, ou seja, informações específicas (Química, Ecotoxicológica e Ecológica) que dizem respeito a algum aspecto importante do ambiente, as quais serão utilizadas para a avaliação das hipóteses definidas. Para estressores químicos devem ser contempladas, minimamente, três linhas de evidência (Química, Ecotoxicológica e Ecológica). Se uma substância química for bioacumulável, havendo risco de biomagnificação, uma quarta linha de evidência (Biomagnificação) deverá ser incorporada.

A Linha de Evidência Química envolve a determinação da distribuição espacial na área de estudo e da biodisponibilidade das SQIs e seu potencial de efeito adverso, por meio de comparação com valores orientadores obtidos com base em ensaios ecotoxicológicos, da determinação da fração biodisponível, da aplicação de modelos de biodisponibilidade e transferência ao longo da cadeia trófica e da determinação das concentrações das SQIs na biota da área de estudo. É recomendável a comparação com concentrações basais do local de interesse.

A Linha de Evidência Ecotoxicológica envolve a realização de ensaios em laboratório com amostras da área de estudo, ensaios *in situ*, ou experimentos em laboratório, tais como mesocosmo ou fortificação da amostra.

A Linha de Evidência Ecológica envolve a realização de levantamentos de indicadores estruturais e/ou funcionais na área de estudo e comparação com valores de referência, que podem ser obtidos em áreas de referência ou na literatura.

Para cada linha de evidência, devem ser definidas as variáveis que serão mensuradas. Os requisitos para a escolha das variáveis são: sensibilidade, custo-benefício, representatividade, complementariedade, disponibilidade de dados locais e possibilidade de determinar de forma padronizada por normas.

Decisões metodológicas, como o método de amostragem, o número e distribuição dos pontos de amostragem e a malha amostral dependerão dos compartimentos ambientais, da área de estudo, das unidades de exposição, de área de referência, da abrangência espacial do estudo e dos Objetos de Proteção selecionados. Por exemplo, a definição de pontos de amostragem com base em gradientes de concentração, quando couber, pode ser uma alternativa de desenho amostral, que também auxiliará a investigação da relação causal.

Para dimensionar exposição e efeito pode-se definir uma área de referência que deve ter condições físicas, químicas e ecológicas similares à área de estudo, porém sem a presença do(s) estressor(es). Pode-se ainda utilizar condições de referência de literatura, desde que sejam comparáveis à área de estudo.

5.2.1.1 Avaliação da Exposição

A Avaliação da Exposição estima a magnitude (qualitativa ou quantitativamente) do contato ou da coocorrência entre o estressor químico e o receptor. Considera frequência, duração, caminho de exposição e vias de ingresso pelos quais os estressores interagem com os receptores ecológicos. É realizada com base nas informações obtidas nas Linhas de Evidência Química e Biomagnificação.

Para estressores químicos, deve-se detalhar a distribuição de suas concentrações ambientais, considerando, quando necessário, aspectos temporais (sazonais) e seu potencial de biodisponibilidade, de bioacumulação e de biomagnificação, além de sua mobilidade e transformação no ambiente.

As concentrações dos estressores obtidas em campo nos compartimentos ambientais devem ser avaliadas tendo como base a magnitude da superação dos padrões de qualidade de água superficial, dos valores orientadores de prevenção para solo, dos valores de intervenção para água subterrânea, conforme regulamentação vigente, bem como para sedimento dos valores definidos pela Canadian Council of Ministers of the Environment – CCME (CANADA, 2012). Para as substâncias que não constarem nessas listas, poderão ser utilizados valores orientadores propostos por outras entidades reconhecidas, como, por exemplo, a USEPA ou valores de uma área de referência.

Deve ser realizada uma avaliação crítica dos valores de literatura, comparando-os com as concentrações basais da região, ou presentes em uma área de referência.

A avaliação da exposição por contato direto, ingestão ou inalação pode ser realizada, por exemplo, por meio de análise da concentração da substância de interesse no tecido da biota, na medição de sua fração disponível, na aplicação de biomarcadores ou ser estimada por meio de Modelos de Exposição. Neste caso, podem ser utilizados protocolos, como, por exemplo, da USEPA (1998) ou do CCME (CANADA, 2012), com adaptações para a fauna local, incluindo variações nos hábitos alimentares e de vida, além das características físicas (porte, morfologia, anatomia) dos receptores. A aplicação de espécies substitutas em Modelos de Exposição, ao invés dos receptores selecionados, somente poderá ser utilizada quando for justificado tecnicamente, com informações das espécies, mostrando a similaridade de hábito alimentar, porte e habitat.

Para receptores de grande porte, o modelo de habitat também pode ser utilizado, principalmente quando a área impactada for menor que a área de forrageamento (território) do receptor de interesse. Essa avaliação procura realizar uma estimativa mais realista de coocorrência, ou contato, entre

receptor e estressor. Nesses casos a área de forrageamento (território) pode influenciar os limites da área de estudo.

Os modelos deverão utilizar a parametrização das propriedades físico-químicas das SQIs já publicadas pela CETESB na sua Planilha de Avaliação de Risco à Saúde Humana.

5.2.1.2 Avaliação de Efeitos

A Avaliação dos Efeitos considera a interação do estressor com o receptor ecológico suscetível por meio de linhas de evidência como a Ecotoxicológica e Ecológica.

Esta etapa tem como objetivo avaliar, a partir de dados obtidos em trabalho de campo e/ou laboratório, qualitativa ou quantitativamente, as respostas biológicas provocadas pelos estressores nos receptores ecológicos selecionados, por compartimento ambiental. Deve considerar a comparação dos levantamentos de dados de campo e de laboratório com áreas de referência ou valores de literatura, para cada linha de evidência.

O desenho amostral deve considerar a variabilidade natural nas escalas espacial, como gradientes de distribuição, e temporal, como a sazonalidade ou o ciclo hidrológico e a interferência de outros estressores que eventualmente ocorram na área de estudo.

5.2.1.2.1 Efeitos Ecotoxicológicos

A Linha de Evidência Ecotoxicológica envolve a realização de ensaios em laboratório ou *in situ* com amostras ambientais. A escolha dos ensaios ecotoxicológicos em laboratório deve considerar a matriz a ser analisada (solo, água e sedimento) e o tipo de efeito esperado pela exposição à SQI, conforme previsto no modelo conceitual. Os ensaios devem ser apropriados para avaliar os efeitos selecionados. (p.ex., uma vez que bifenilas policloradas (PCB) causam efeito na reprodução, o ensaio a ser selecionado deve estabelecer a avaliação desse efeito).

O organismo-teste deve ser sensível à SQI, tolerante às condições do meio, como granulometria do sedimento ou dureza da água, e representativo dos organismos residentes na área estudada.

Devem ser utilizados, quando disponíveis, pelo menos três tipos de ensaios, considerando organismos de diferentes níveis tróficos, hábitos alimentares e de vida, representativos de cada compartimento ambiental analisado, englobando as diferentes vias de exposição. Recomenda-se dar prioridade aos ensaios padronizados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e organizações internacionais similares.

Em alguns casos, pode-se usar espécies que não tenham protocolos padronizados, mas que representem melhor os receptores ecológicos locais, desde que o laboratório ou instituição responsável comprove o uso de procedimentos de controle de qualidade.

5.2.1.2.2 Efeitos Ecológicos

A Linha de Evidência Ecológica envolve a realização de trabalhos de campo para avaliar aspectos estruturais e/ou funcionais do ecossistema em que a área de interesse está inserida, de forma a identificar possíveis alterações causadas pelo estressor.

Na seleção das variáveis a serem mensuradas, quando possível, deve-se utilizar o nível de organização biológica do receptor, para diminuir as incertezas. O nível imediato superior ao receptor pode ser utilizado para definição do contexto espacial do estudo e o inferior para avaliar os mecanismos de ação do estressor. Por exemplo, se o Objeto de Proteção for a manutenção da diversidade da comunidade de peixes (receptor) de um lago, o nível imediato superior é o ecossistema aquático e o inferior a população de uma ou mais espécies de peixes de interesse.

Nesta etapa deverá ser realizada uma análise das respostas ecológicas aos estressores que terá como produto uma avaliação dos efeitos adversos que estão ocorrendo ou podem ocorrer na área de estudo.

5.2.1.2.3 Outros Efeitos

Outros efeitos causados por substâncias químicas, como, por exemplo, seu potencial mutagênico ou de causar alterações endócrinas, podem gerar novas linhas de evidência.

5.2.2 Relação Causal

O estudo deve procurar identificar se os efeitos observados estão relacionados ao estressor químico, considerando os efeitos esperados, conforme as hipóteses definidas na formulação do problema, além de outros efeitos observados e não previstos naquela etapa, e sua associação com os estressores. Os seguintes critérios podem ser considerados:

- a) Robustez da associação: quando o valor mensurado no ambiente contaminado é significativamente diferente do Valor de Referência adotado para a ARE, de acordo com o critério de decisão definido;
- b) Analogia: quando a relação entre o efeito observado e o estressor for encontrada em outros estudos;
- c) Especificidade da associação: quando a variável selecionada indica efeito específico ao estressor, por exemplo, o uso de biomarcadores específicos;
- d) Consistência da associação: repetição do resultado obtido na mesma área de interesse, na série temporal de dados ou em outros receptores;
- e) Gradiente biológico *in situ*: quando for possível estabelecer um gradiente espacial dos efeitos em função das concentrações dos estressores em campo (dose-resposta);
- f) Aceitabilidade biológica: quando um mecanismo de ação do estressor sobre o receptor ecológico, ou de outro organismo do mesmo grupo taxonômico, for descrito na literatura;
- g) Investigação da toxicidade: por meio de experimentação em campo ou em laboratório (manipulação da amostra) visando tornar não disponível o agente estressor, reduzindo ou eliminando seu potencial tóxico, para verificar a manutenção, ou não, do efeito aos organismos.

5.3 Caracterização de Risco

A caracterização do risco engloba a integração das avaliações de exposição e efeito (estimativa do risco) e sua contextualização com a área de interesse (descrição do risco), sempre considerando as incertezas levantadas na etapa de análise.

A avaliação dos efeitos, no local em investigação, deve basear-se em análise de campo e de laboratório. Com relação à exposição, avalia-se a probabilidade de um estressor provocar um efeito adverso sobre receptores ecológicos e em qual dimensão.

A avaliação da exposição deve ser realizada para o cenário atual de disponibilidade das SQI, bem como para outros cenários passíveis de ocorrer na área de estudo, decorrentes de alterações ambientais. Para tanto, pode-se, por exemplo, modelar do ponto de vista teórico, os efeitos prováveis de uma determinada SQI em diferentes condições.

A caracterização do risco em uma determinada área finaliza com uma síntese e deve apresentar uma conclusão acerca da existência de risco acima dos níveis considerados aceitáveis, indicando a sua extensão, objetos de proteção afetados e da necessidade de adoção de medidas de intervenção, baseadas em metas de remediação e recuperação, justificando as ações propostas. O estabelecimento dos níveis de riscos considerados aceitáveis será realizado caso a caso e

devidamente justificado.

O estudo deve incluir uma análise das incertezas na avaliação de risco realizada, bem como ilustração e explicação do modelo conceitual revisado.

Se os estudos forem inconclusivos e demandem estudos complementares, estes devem ser devidamente justificados e apresentados, juntamente com um novo cronograma de atividades.

5.3.1 Estimativa do Risco

Na estimativa de risco, devem ser consideradas todas as informações obtidas e todos os resultados dos ensaios realizados, apresentados de forma clara e integrada. Essa estimativa pode ter caráter qualitativo, semiquantitativo ou quantitativo.

Os critérios (qualitativos ou quantitativos) para o estabelecimento da aceitabilidade do risco devem ser definidos, caso a caso, em cada nível de avaliação e devem ter sido pré-definidos na Proposta de Continuidade da ARE, considerando os usos atuais e futuros propostos para a área de interesse e, em alguns casos, para o seu entorno. Eventuais alterações posteriores nos critérios de avaliação de risco devem ser tecnicamente justificadas, considerando eventuais contribuições dos envolvidos.

Em um primeiro momento, os dados devem ser agrupados por objeto de proteção e por linha de evidência. Dentro de cada linha de evidência os resultados de exposição e efeito devem ser interpretados e apresentados na forma de índices qualitativos ou quantitativos, de acordo com o melhor conhecimento disponível na literatura ou com os especialistas consultados.

A princípio podem ser atribuídos os mesmos pesos para análises e linhas de evidência, no entanto, pesos diferentes podem ser justificados no Plano de Trabalho, dependendo de fatores como: considerações ecológicas, com especial atenção para os grupos de interesse (grupos funcionais, espécies sensíveis, ameaçadas e/ou carismáticas); incertezas e na correção de tendências dos efeitos medidos e calculados.

Em seguida deve-se realizar a integração das diferentes linhas de evidência. Neste momento é avaliado em que medida as linhas de evidência indicam risco de forma qualitativa e/ou quantitativa. A título ilustrativo alguns exemplos de como descrever os resultados das diversas linhas de evidência são apresentados no Apêndice B e de sua integração no Apêndice C e no Anexo B.

No cálculo de um índice quantitativo final a partir da fusão das três ou mais linhas de evidência, é essencial que os seguintes procedimentos sejam adotados:

- a) transformar, quando necessário, o valor da variável para garantir que tenha o mesmo direcionamento do gradiente de qualidade com relação ao efeito/impacto;
- b) calcular a razão entre o valor obtido de cada variável e o seu valor na área ou condição de referência ($RTR = \text{ratio to reference}$ ou razão em relação ao valor de referência adotado);
- c) calcular os índices parciais relativos a cada linha de evidência;
- d) escalonar os índices parciais de forma que todas as linhas de evidência tenham uma classificação comum e unificada, por exemplo de 0 a 1 ou 0 a 100;
- e) calcular o risco integrado final a partir da fusão dos índices parciais.

A ARE deve indicar, na sua conclusão, as concentrações máximas aceitáveis (CMA) das SQIs que caracterize um risco aceitável, de forma a orientar, quando necessário, a definição de metas de remediação para o gerenciamento do risco.

5.3.2 Descrição do Risco

Na descrição do risco, deverá ser apresentada a síntese da estimativa de risco por estressor químico, por compartimento ambiental, por unidade de exposição e, quando cabível, nos diferentes habitats, informando quais apresentaram risco inaceitável e quais apresentaram risco aceitável, incluindo a justificativa dessas classificações. A síntese dos riscos poderá ser apresentada na forma de quadros, gráficos e a contextualização espacial do risco, no formato de mapas de risco, por estressor e objeto de proteção.

Deverá ser realizada uma análise crítica dos resultados, incluindo uma avaliação das incertezas, e uma interpretação da significância ecológica dos efeitos adversos apontados pelos parâmetros de avaliação.

A contextualização temporal do risco deve ser apresentada considerando o ciclo de vida dos receptores afetados e outros aspectos do ambiente. Se o risco para o cenário atual for considerado aceitável, avaliar qual a probabilidade de ocorrerem futuras alterações ambientais na área, sob quais condições, que tornem o risco inaceitável.

Com base na análise crítica, poderá ser justificada a necessidade da realização de investigação complementar.

5.4 Análise das Incertezas

A análise de incertezas permeia toda a avaliação de risco ecológico, da etapa de formulação do problema até a caracterização do risco. É base para a discussão de incertezas, a avaliação da representatividade, da acurácia, da precisão, da integridade e da comparabilidade dos dados. O resultado dessa avaliação deve identificar o impacto das incertezas acumuladas na ARE e a descrição de eventuais medidas que possam resultar em sua redução. Deve se diferenciar premissas e conclusões que podem ser assumidas com baixa incerteza de outras com maior incerteza.

As incertezas encontradas no processo da ARE podem ser expressas de forma qualitativa ou quantitativa. Essas incertezas devem ser apresentadas e discutidas claramente ao longo do trabalho, incluindo a sua forma de expressão e de cálculo. Para incertezas qualitativas, deverá ser apresentado o critério para estabelecer as classes de alta, de média e de baixa incerteza. Se forem quantificáveis podem ser apresentadas por representação gráfica como, por exemplo, boxplots, ou estatísticas descritivas como, por exemplo, mínimo, máximo, mediana, média, variância.

As incertezas na etapa da formulação do problema estão especialmente relacionadas à qualidade e a quantidade dos dados disponíveis, bem como aos critérios para a seleção dos objetos de proteção com base nas suas relevâncias ecológicas para o caso em questão. Na etapa da análise, as incertezas estão embutidas principalmente na execução do planejamento amostral, bem como dos ensaios laboratoriais. Na etapa de caracterização do risco, as incertezas ocorrem em função de muitos fatores, incluindo a qualidade dos dados e a habilidade das linhas de evidência em detectarem a magnitude do efeito (sensibilidade), sua especificidade para o estressor de interesse, bem como sua representatividade espacial e temporal.

No **Anexo C** é apresentada a Tabela de Incertezas que pode auxiliar na sua identificação. Algumas incertezas podem ser quantificadas, outras não, mas sempre deverá ser atribuído um nível de incerteza ao resultado. O nível de incerteza, por sua vez, está relacionado ao grau de confiança associado à probabilidade de um evento acontecer e, este ocorrendo, ao grau de confiança associado à sua severidade. As incertezas devem ser apontadas na documentação a ser entregue, assim como as técnicas eventualmente empregadas em sua minimização ou eliminação. Algumas dessas técnicas são análises estatísticas, revisão dos dados, coleta adicional de dados, réplicas de campo e laboratório, uso de métodos padronizados e de procedimentos de controle de qualidade, participação de especialistas, revisão do texto, revisão bibliográfica, uso do princípio da precaução, análise de decisão multicritérios e gerenciamento adaptativo. Uma escolha equivocada de técnicas empregadas pode gerar ainda mais incertezas.

Na caracterização do risco, o nível das incertezas deverá estar contemplado, pois determina o alcance dos resultados obtidos. Se for considerado que o nível de incerteza é inaceitável, estudos complementares poderão ser necessários.

5.5 Relatório de Avaliação de Risco Ecológico

Deverá ser apresentado um documento final contendo uma revisão da Formulação do Problema, do Modelo Conceitual e descrevendo as etapas de Análise e Caracterização do Risco, incluindo uma conclusão sobre a ocorrência de risco acima dos níveis considerados aceitáveis na Área de Interesse, refletindo o grau das incertezas associadas a cada etapa.

Esse documento deve apresentar eventuais propostas de cronograma de atividades subsequentes que, pode incluir o monitoramento da área, ou adoção de medidas de intervenção cabíveis. A seleção das variáveis a serem monitoradas deve, sempre que possível, contemplar aquelas já utilizadas na avaliação de risco.

A ARE e outras avaliações de risco pertinentes devem ser realizadas concomitantemente e consideradas em conjunto na proposta de medidas de Intervenção.

REFERÊNCIAS

BATLEY, G.E.; BURTON, G.A.; CHAPMAN, P.M.; FORBES, V.E. Uncertainties in sediment quality Weight-of-Evidence (WOE) assessments. **Human and Ecological Risk Assessment: an international journal**, United Kingdom, v. 8, n. 7, p. 1517-1547, Dec. 2002. DOI: 10.1080/20028091057466.

BRASIL. **Lei n. 9.985, de 18 de julho de 2000**. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2000. Com alterações posteriores. Publicada originalmente no DOU, 19 jul. 2000. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9985.htm. Acesso em: set. 2022.

BRASIL. MMA. CONAMA. **Resolução n. 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, DF: MMA, 2005. Com alterações posteriores. Publicada originalmente no DOU, n. 53, p. 58-63, 18 mar. 2005. Disponível em: http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=450. Acesso em: set. 2022.

BRASIL. MMA. CONAMA. **Resolução n. 420, de 28 de dezembro de 2009**. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo [...]. Brasília, DF: MMA, 2009. Com alterações posteriores. Publicada originalmente no DOU, n. 249, 30 dez. 2009. Disponível em: http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=601. Acesso em: set. 2022.

BRASIL. MMA. CONAMA. **Resolução n. 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n. 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Diário Oficial da União: República Federativa do Brasil: seção 1: Poder Executivo**, Brasília, DF, ano 148, n. 92, p. 89-92, 16 maio 2011. Disponível em: http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=627. Acesso em: set. 2022.

CANADA. Environment Canada. **Federal Contaminated Sites Action Plan (FCSAP)**: ecological risk assessment guidance. Gatineau QC: Environment Canada, 2012. [219 p.] ISBN no. 978-1-100-22282-0. Disponível em: https://www.canada.ca/content/dam/eccc/migration/fcs-scf/B15E990A-C0A8-4780-9124-07650F3A68EA/ERA-20Guidance-2030-20March-202012_FINAL_En.pdf. Acesso em: set. 2022.

CETESB. Decisão de Diretoria n. 038/2017/C, de 7 fevereiro de 2017. Dispõe sobre a aprovação do “Procedimento para a Proteção da Qualidade do Solo e das Águas Subterrâneas”, da revisão do “Procedimento para o Gerenciamento de Áreas Contaminadas” e estabelece “ [...]”. **Diário Oficial [do] Estado de São Paulo: seção 1: Poder Executivo**, São Paulo, v. 127, n. 28, p. 47-52, 10 fev. 2017. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2014/12/DD-038-2017-C.pdf>. Acesso em: set. 2022.

CETESB. **Manual de gerenciamento de áreas contaminadas**. Organizadores [e] revisores Elton Gloeden, André Silva Oliveira, Fernando Ricardo Scolamieri Pereira. 3.ed. São Paulo: CETESB, 2021. Arquivos de texto (cap.), PDF, 2 MB. ISBN 978-65-5577-016-2. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/documentacao/manual-de-gerenciamento-de-areas-contaminadas/>. Acesso em: set. 2022.

CHAPMAN, P.M.; HOLLERT, H. Should the sediment quality triad become a tetrad, a pentad, or possibly even a hexad? **JSS – J. Soils & Sediments**, New York, v. 6, n. 1, p. 4-8, Feb. 2006. <https://doi.org/10.1065/jss2006.01.152>

CHAPMAN, P.M.; MCDONALD, B.G. Using the sediment quality triad (SQT) in ecological risk assessment. *In*: BLAISE, C.; FÉRARD, J.-F. (ed.). **Small-scale freshwater toxicity investigations: hazard assessment schemes**. 1st ed. The Netherlands: Springer, 2005. v. 2, chap. 10, p. 305-329. DOI: https://link.springer.com/chapter/10.1007/1-4020-3553-5_11.

CHILE. Ministerio del Medio Ambiente; CENMA. **Lineamientos metodológicos para la evaluación de riesgo ecológico**. Equipo de trabajo Lorenzo Caballero *et al.* Santiago, CL: CENMA/Ministerio del Medio Ambiente, 2014. 90 p. Disponível em: <https://sqi.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/07/g2-Guia-Methodologica-Evaluacion-Riesgo-Ambiental.pdf>. Acesso em: set. 2022.

DALE, V.H. *et al.* Enhancing the ecological risk assessment process. **Integrated Environmental Assessment Management**, Medford, MA, v. 4, n. 3, p. 306–313, 2008. DOI: https://doi.org/10.1897/IEAM_2007-066.1.

ISO. **ISO 19204**: soil quality: procedure for site-specific ecological risk assessment of soil contamination (soil quality TRIAD approach). 1st ed. Geneva: ISO, 2017. 27 p.

IRAM. **IRAM 29592**: calidad ambiental: evaluación del riesgo para los ecosistemas: (estudio integrado de tres líneas de evidencia: química, ecotoxicológica y ecológica). 1.ed. Buenos Aires, AR: IRAM, 2021. 52 p.

JENSEN J.; MESMAN M. (ed.). **Ecological risk assessment of contaminated land**: decision support for site specific investigations. Bilthoven, NL: RIVM, 2006. 136 p. (RIVM report n. 711701047). Part of EU-funded 'Liberation' project. ISBN 978-90-6960-138-0. Disponível em: <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/711701047.pdf>. Acesso em: set. 2022.

KAPUSTKA, L.A. Ecological risk assessment toward a landscape perspective. *In*: KAPUSTKA, L.A.; LANDIS, W.G. (ed.). **Environmental risk assessment and management from a landscape perspective**. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2010. Chap. 2, p. 11-31. DOI: 10.1002/9780470593028. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9780470593028>. Acesso em: set. 2022.

KAUFMANN, P.R. *et al.* **Quantifying physical habitat in wadeable streams**. Washington, DC: USEPA. 1999. 150 p. (EPA/620/R-99/003). Disponível em: <https://archive.epa.gov/emap/archive-emap/web/html/phyhab.html>. Acesso em: set. 2022.

MESMAN, M. *et al.* **Handreiking triade**: locatiespecifiek ecologisch onderzoek in stap drie van het saneringscriterium. Bilthoven, NL: RIVM, 2007. (RIVM Report n. 711701068). Disponível em: <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/711701068.pdf>. Acesso em: abr. 2022.

MORAES, R. *et al.* Establishing causality between exposure to metals and effects on fish. **Human and Ecological Risk Assessment**: an international journal, United Kingdom, v. 9, n. 1, p. 149-169, 2003. DOI: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/713609857>.

MORAES, R.; MOLANDER, S. A Procedure for Ecological Tiered Assessment of Risks (PETAR). **Human and Ecological Risk Assessment**: an International journal, United Kingdom, v. 10, n. 2, p. 349-371, 2004. DOI: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10807030490438427>.

NIEMEYER, J.C. **Ecological risk assessment of a tropical metal contaminated area: the case study of Santo Amaro, Bahia, Brazil**. Orientador: Prof. Dr. José Paulo Sousa. Coorientador Prof. Dr. Eduardo Mendes da Silva. 2012. 260 p. Tese (Doutorado em Biologia) – Faculdade de Ciência e

Tecnologia, University of Coimbra, Portugal, 2013. Disponível em: <https://estudogeral.sib.uc.pt/handle/10316/21661>. Acesso em: set. 2022.

NIEMEYER, J.C. *et al.* Environmental risk assessment of a metal contaminated area in the tropics: tier I: screening phase. **Journal of Soils and Sediments**, Switzerland, v. 10, n. 8, p. 1557-1571, Dec. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11368-010-0255-x>.

NIEMEYER, J.C. *et al.* Ecological risk assessment of a metal-contaminated area in the tropics: tier II: detailed assessment. **PLOS ONE**, San Francisco, CA, v. 10, n. 11, p. e0141772, 3 Nov. 2015. ISSN: 1932-6203 (online). DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0141772>. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0141772>. Acesso em: set. 2022.

PEREIRA, R.; RIBEIRO, R.; GONÇALVES, F. Plan for an integrated human and environmental risk assessment in the S. Domingos mine area (Portugal). **Human and Ecological Risk Assessment: an international journal**, United Kingdom, v. 10, n. 3, p. 543-578, June 2004. DOI: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10807030490452197>.

RODRIGUES, A.P. *et al.* **Avaliação de risco ecológico: conceitos básicos, metodologia e estudo de caso**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2011. 127 p. (Série Estudos e Documentos – SED 78, ISSN 0103-6319). ISBN 978-85-61121-4-7. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/238>. Acesso em: set. 2022.

RUTGERS, M.; JENSEN, J. Site-specific ecological risk assessment. *In*: SWARTJES, F.A. (ed). **Dealing with contaminated sites: from theory towards practical application**. Dordrecht: Springer, 2011. Part IV: Ecological aspects, Chap. 15, p. 693–720. ISBN-13 978-9048197569.

SÃO PAULO. [Constituição (1989)]. **Constituição Estadual de 05 de outubro de 1989**. São Paulo: Assembleia Legislativa do Estado, 1989. Última atualização: Decisão do Supremo Tribunal Federal, nos autos ADI n. 7137. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/constituicao/1989/compilacao-constituicao-0-05.10.1989.html>. Acesso em: set. 2022.

SÃO PAULO (Estado). **Decreto n. 59.263, de 5 de junho de 2013**. Regulamenta a Lei n. 13.577, de 8 de julho de 2009, que dispõe sobre diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento de áreas contaminadas, e dá providências correlatas. São Paulo: Assembleia Legislativa do Estado, 2013a. Com retificação posterior. Publicado originalmente no DOE, 5 jun. 2013. Retificação no DOE, 6 jun. 2013. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/2013/decreto-59263-05.06.2013.html>. Acesso em: set. 2022.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Estado do Meio Ambiente. Resolução SMA – 33, de 22 de maio de 2009. Dispõe sobre a criação de grupo de Trabalho para o Desenvolvimento de Proposta para “Estratégia Estadual sobre Espécies Exóticas Invasoras”. **Diário Oficial [do] Estado de São Paulo**: seção 1: Poder Executivo, São Paulo, v. 119, n. 95, p. 33, 23 maio 2009. Processo SMA 7.602-2009. Disponível em: https://www.imprensaoficial.com.br/Certificacao/Certificador.aspx?link=%2f2009%2fexecutivo%2520secao%2520i%2fmaio%2f23%2fpag_0033_3l6FN71QIKKTKeFNVTVFPQD1TPP.pdf&pagina=33&data=23/05/2009&caderno=Executivo%20I. Acesso em: set. 2022.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Estado do Meio Ambiente. **Resolução SMA-100, de 17-10-2013**. Regulamenta as exigências para os resultados analíticos, incluindo-se a amostragem, objeto de apreciação pelos órgãos integrantes do Sistema Estadual de Administração da Qualidade Ambiental, Proteção, Controle e Desenvolvimento do Meio Ambiente e Uso Adequado dos Recursos Naturais – SEAQUA. São Paulo: SMA, 2013b. Com retificação posterior. Publicada originalmente no DOE, v. 123, n. 198, p. 36, 18 out. 2013. Retificação no DOE, p. 41, 22 out. 2013. Disponível em: <https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/legislacao/2013/10/resolucao-sma-100-2013-2/>. Acesso em: set. 2022.

SKINNER, D.J.C. *et al.* Identifying uncertainty in environmental risk assessments: the development of a novel typology and its implications for risk characterization. **Human and Ecological Risk Assessment**: an international journal, United Kingdom, v. 20, n. 3, p. 607-640, 2014. DOI: 10.1080/10807039.2013.779899.

USEPA. **Guidelines for ecological risk assessment**. Washington, DC: EPA, 1998. 188 p. (EPA/630/R-95/002F). Published on May 14, 1998, Federal Register 63(93):26846-26924). Disponível em: https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-11/documents/eco_risk_assessment1998.pdf. Acesso em: set. 2022.

APÊNDICE A

EXEMPLOS DE QUADROS SÍNTESE DA ETAPA DE FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

A) Ecossistema Aquático

RECEPTOR ECOLÓGICO	OBJETO DE PROTEÇÃO	LINHA DE EVIDÊNCIA	MÉTRICAS DE AVALIAÇÃO
Macroinvertebrados aquáticos	Estrutura e função desta comunidade	Química	<ul style="list-style-type: none"> Medição das concentrações totais do estressor em sedimento e comparação dos resultados com valores de referência. Avaliação da fração disponível e das concentrações na biomassa de grupos importantes da comunidade.
		Ecológica	<ul style="list-style-type: none"> Medição de densidades e índices de estrutura com aplicação de testes estatísticos para comparação com as condições de referência e regressão com as concentrações disponíveis. Avaliação da taxa de decomposição nos sedimentos e comparação com as condições de referência.
		Ecotoxicológica	<ul style="list-style-type: none"> Pelo menos 3 ensaios com diferentes espécies de organismos bentônicos que exibam similares ecológicos no ambiente e avaliando diferentes tipos de efeito.
Peixes, aves, mamíferos e anfíbios	Estrutura e viabilidade destas populações	Química	<ul style="list-style-type: none"> Uso do modelo da cadeia trófica que compara a exposição estimada com valores tóxicos de referência relevantes.
		Ecológica	<ul style="list-style-type: none"> Avaliação quantitativa e qualitativa das populações locais e comparação com o ambiente de referência.

Fonte: Adaptado de CANADA (2012)

B) Ecossistema Terrestre

RECEPTOR ECOLÓGICO	OBJETO DE PROTEÇÃO	LINHA DE EVIDÊNCIA	MÉTRICAS DE AVALIAÇÃO
Plantas	Estrutura das comunidades de plantas	Ecotoxicológica	Ensaio laboratorial com plantas
		Ecológica	Porcentagem de cobertura vegetal
Invertebrados do solo	Viabilidade das populações da fauna edáfica	Ecotoxicológica	Ensaio agudo com minhocas
		Ecológica	Ensaio crônico com colêmbolos Bolsas de decomposição
Comunidade microbiana	Viabilidade das populações microbianas do solo	Ecotoxicológica	Ensaio de atividade enzimática
		Ecológica	Biomassa microbiana Bait lâmina
Aves	Viabilidade das populações de aves	Química	Concentração das SQIs em itens alimentares
Pequenos mamíferos herbívoros	Viabilidade das populações de pequenos mamíferos herbívoros	Química	Concentração das SQIs em plantas que servem de alimento
Predadores de topo	Viabilidade das populações de predadores de topo	Química	Modelagem da teia trófica

Fonte: Adaptado de J. C. Niemeyer (2012)

APÊNDICE B

EXEMPLOS DE QUADROS DE DESCRIÇÃO DOS RESULTADOS

A) Ecossistema Aquático

Receptor ecológico	Objeto de proteção	Linha de evidência	Métricas de avaliação	Magnitude das métricas de avaliação	Incerteza da magnitude	Escala espacial	Relação causal	Incerteza da Relação Causal	Relevância Ecológica	Avaliação
Macrófitas	Análise da comunidade	Química	Concentração em sedimento e água superficial	Acima dos valores de referência	Moderada	100 m ²	Nenhuma	Moderada	Baixa	Os valores de referência para o estressor não foram desenvolvidos para macrófitas e, portanto, a incerteza na comparação é alta. A análise de comunidade indica que não há efeito, mas a incerteza é alta.
		Ecológica	Métricas de estrutura da comunidade	Negligenciável	Alta	na	na	na	Alta	
Bentos	Estrutura da comunidade	Química	Concentração em sedimento e água superficial	Acima dos valores de referência	Moderada	100 m ²	Fraca	Alta	Baixa	Efeitos e incertezas moderados. Três medidas de efeito mostram efeito moderado, com evidência variável de relação causal.
		Ecotoxicológica	Teste de sobrevivência	Moderada	Alta	100 m ²	Forte	Baixa	Moderada	
			Teste de crescimento	Baixa	Alta	30 m ²	Fraca	Baixa	Moderada	
		Ecológica	Densidade total	Moderada	Moderada	30 m ²	Nenhuma	Moderada	Alta	
Riqueza	Moderada		Moderada	30 m ²	Fraca	Moderada	Alta			
Peixes	Abundância e viabilidade das populações	Química	Concentração em água superficial	Acima dos valores de referência	Moderada	na	Fraca	Alta	Moderada	Efeito negligenciável a moderado, com incertezas moderadas. Os dados não indicam efeito direto sobre a ictiofauna, mas a incerteza é alta. Algum efeito sobre a fonte de alimento pode ocorrer, mas a escala espacial é limitada e impactos sobre o nível populacional são improváveis.
		Ecológica	Abundância relativa	Negligenciável	Alta	na	na	na	Alta	
			Abundância e diversidade de itens alimentares	Moderada	Moderada	30 m ²	Nenhuma	na	Alta	
Aves, mamíferos e anfíbios	Abundância e viabilidade das populações	Química	Modelo de cadeia alimentar	Negligenciável	Moderada	na	na	na	Moderada	Efeito negligenciável com incerteza moderada. Coeficiente de Risco (HQ) < 1 em todos os casos. Alguma incerteza relacionada aos Valores de referência de toxicidade (TRVs).

* As regras de decisão para a definição dos escores (Alto, moderado, baixo) devem ser definidos para cada métrica de avaliação na formulação do problema.

* na – não aplicável, uma vez que não foi observado efeito.

Fonte: Adaptado de CANADA (2012)

B) Ecossistema Terrestre

(Continua)

RECEPTOR ECOLÓGICO	OBJETO DE PROTEÇÃO	LINHA DE EVIDÊNCIA	MÉTRICAS DE AVALIAÇÃO	MAGNITUDE	INCERTEZA DA MAGNITUDE	ESCALA ESPACIAL	RELAÇÃO CAUSAL	INCERTEZA DA RELAÇÃO CAUSAL	RELEVÂNCIA ECOLÓGICA	AVALIAÇÃO
Plantas	Estrutura da Comunidade	Química	Concentração no solo das SQIs	Acima dos valores de referência	Moderada	1000 m ²	Nenhuma, pois são valores derivados para invertebrados	Alta	Baixa	Efeito baixo com incerteza alta – os valores de referência não são baseados em plantas. A análise da comunidade indica efeito baixo, a causa pode estar mais relacionada a infecção com fungo do que com as SQIs. A incerteza é alta.
		Ecológica	Levantamento da Comunidade	Baixa	Alta	na	Nenhuma Sem relação da biomassa e riqueza com a química do solo	Alta	Alta	
Invertebrados do solo	Viabilidade das populações da fauna edáfica	Química	Concentração no solo das SQIs	Acima dos valores de referência	Moderada	1000 m ²	Evidência fraca de relação entre os valores de referência invertebrados (literatura) devido à variação dos fatores de toxicidades	Alta	Alta	Efeito baixo com incerteza de moderada a alta. Embora as concentrações das SQIs sejam elevadas nos tecidos da minhoca e tenham sido observados alguns locais com toxicidade, os resultados dos ensaios de toxicidade não são correlacionados com as SQIs. A linha ecológica mais relevante (riqueza e abundância de invertebrados) não indica efeitos.
		Química	Bioacumulação nos tecidos de minhocas	Moderado	Alta	300 m ²	Evidência fraca (literatura) que as concentrações das SQIs possam causar toxicidade	Moderada	Moderada	
		Ecotoxicológica	Ensaio de toxicidade com minhocas - sobrevivência	Baixa	Moderada	30 m ²	Nenhuma evidência de relação entre concentração e resposta. Um resultado de toxicidade elevada, mas não em elevada concentração do contaminante.	Moderada	Moderada	
		Ecológica	Abundância e riqueza – amostragem em quadrantes	Negligenciável	Alta	na	na	na	Alta	

B) Ecossistema Terrestre

(Conclusão)

RECEPTOR ECOLÓGICO	OBJETO DE PROTEÇÃO	LINHA DE EVIDÊNCIA	MÉTRICAS DE AVALIAÇÃO	MAGNITUDE	INCERTEZA DA MAGNITUDE	ESCALA ESPACIAL	RELAÇÃO CAUSAL	INCERTEZA DA RELAÇÃO CAUSAL	RELEVÂNCIA ECOLÓGICA	AVALIAÇÃO
Aves	Viabilidade das populações de aves	Ecológica	Levantamento da Comunidade	Negligenciável	Alta	na	na	na	Alta	Efeito baixo com incerteza moderada – quociente de risco baseado em espécies (galinha e codorna) sem relevância conhecida para aves silvestres, e com cenário de exposição altamente conservativo. Efeitos previstos são baixos, mesmo com pequenas respostas individuais (se presentes) é improvável que se traduza em efeitos populacionais.
		Química	Modelo de Cadeia Alimentar (quantidade de alimentos para fêmeas em época de reprodução)	Baixo	Moderada	1000 m ²	Relação dose-resposta baseada em literatura bem estabelecida, mas com grande variação entre as espécies	Moderada	Moderada	
Mamíferos	Viabilidade das populações de mamíferos	Química	Modelo de Cadeia Alimentar	Negligenciável	Moderada	1000 m ²	na	na	Moderada	Efeito negligenciável com incerteza moderada, principalmente incerteza relacionada aos Valores de Referência de Toxicidade (TRVs) que são baseados em espécies domésticas e espécies de laboratório. Nenhuma medida de campo disponível para confirmação.

* As regras de decisão para a definição dos escores (Alto, moderado, baixo) devem ser definidos para cada métrica de avaliação na formulação do problema.

* na – não aplicável, uma vez que não foi observado efeito.

Fonte: Adaptado de CANADA (2012)

APÊNDICE C

EXEMPLO DE MATRIZ DE INTEGRAÇÃO
PARA AVALIAÇÃO QUALI E QUANTITATIVA DO RISCO

Trata-se de exemplo hipotético em que os resultados de cinco linhas de evidência para cinco locais com sedimentos contaminados (A a E) são comparados com os resultados de uma área de Referência (F). Em outros casos, é possível realizar a comparação com outros Valores de Referência da ARE e/ou aplicar índices de qualidade já consolidados que embutem condições de referência em seu diagnóstico. No exemplo abaixo, os RTRs (*Ratio to Reference*) são as razões entre os valores encontrados em cada local com os da área de Referência. Nas linhas de evidência química, de enriquecimento orgânico e bioacumulação, por exemplo, ao se dividir as concentrações encontradas nos locais contaminados pelas concentrações da área de referência, observa-se a diferença de cada local em relação à condição desejada (da referência). Ao associar esses resultados com as linhas de evidência Ecológica e Ecotoxicológica, é possível avaliar se as SQLs estão biodisponíveis e se podem estar associadas aos efeitos adversos observados na biota.

Linha de Evidência Química						
pontos de coleta	A	B	C	D	E	F (Ref)
Arsênio (mg/Kg)	2,3	<2	<2	<1	5,13	<1
Cádmio (mg/Kg)	<0,60	<0,5	<0,5	0,12	0,4	<0,5
Chumbo (mg/Kg)	12	<5	5,93	6	10,1	15,5
Cobre (mg/Kg)	14,0	<4	8,63	18,0	41,2	20,6
Cromo (mg/Kg)	34,2	16,9	11,2	10,0	44,3	12,5
Mercúrio (mg/Kg)	0,04	<0,01	0,07	<0,1	0,13	0,04
Níquel (mg/Kg)	15,7	2,7	3,41	20,4	14,3	10,3
Zinco (mg/Kg)	45,8	8,48	40,2	50,0	130,0	49,3
PCBs totais (µg/Kg)	17,5		1002,2	12,0	20,2	17,5
pp' DDE (µg/Kg)	0,67		<0,25	0,5	1,2	1,12
HPAs totais (µg/Kg)	227,7		525	481,9	2549,9	206
RTR						
Arsênio	2,30	2,00	2,00	1,00	5,13	1,00
Cádmio	1,20	1,00	1,00	0,24	0,80	1,00
Chumbo	0,77	0,32	0,38	0,39	0,65	1,00
Cobre	0,68	0,19	0,42	0,87	2,00	1,00
Cromo	2,74	1,35	0,90	0,80	3,54	1,00
Mercúrio	1,00	0,25	1,75	2,50	3,25	1,00
Níquel	1,52	0,26	0,33	1,98	1,39	1,00
Zinco	0,93	0,17	0,82	1,01	2,64	1,00
PCBs totais	1,00		57,27	0,69	1,15	1,00
pp' DDE	0,60		0,22	0,45	1,07	1,00
HPAs totais	1,11		2,55	2,34	12,38	1,00
IP_{Quím} (média aritmética)	1,27	0,69	6,51	0,99	2,16	1,00
IP_{Quím} (escalonado*)	0,20	0,11	1,00	0,15	0,33	0,15
Linha de Evidência Enriquecimento Orgânico						
pontos de coleta	A	B	C	D	E	F (Ref)
Fósforo (mg/Kg)	50	319	245	1655	1266	64,8
Carbono Orgânico Total (%)	1,00	2,25	4,22	8,70	6,05	<1
RTR						
Fósforo	0,77	4,92	3,78	25,54	19,54	1,00
Carbono Orgânico Total	1,00	2,25	4,22	8,70	6,05	1,00
IP_{EO} (média aritmética)	0,89	3,59	4,00	17,12	12,79	1,00
IP_{EO} (escalonado*)	0,05	0,21	0,23	1,00	0,75	0,06

APÊNDICE C (cont.)

Linha de Evidência Ecotoxicológica**						
pontos de coleta	A	B	C	D	E	F (Ref)
<i>Hyalella</i> (sobrevivência/crescimento)	1	2	3	1	1	1
<i>Chironomus</i> (sobrevivência, deformidade)	3	1	3	1	1	1
RTR						
<i>Hyalella</i>	1	2	3	1	1	1
<i>Chironomus</i>	3	1	3	1	1	1
IP_{Ecotox} (média aritmética)	2,00	1,50	3,00	1,00	1,00	1,00
IP_{Ecotox} (escalonado*)	0,67	0,50	1,00	0,33	0,33	0,33
Linha de Evidência Ecológica						
pontos de coleta	A	B	C	D	E	F (Ref)
S _{nat}	9	9	9	3	10	13
ICS	5,87	6,78	0,55	1,13	4,07	10,692
T/DT	0,95	0,34	1,00	0,99	0,98	0,19
transformação						
1/S _{nat}	0,11	0,11	0,11	0,33	0,10	0,08
1/ICS	0,17	0,15	1,83	0,88	0,25	0,09
RTR						
1/S _{nat}	1,44	1,44	1,44	4,33	1,30	1,00
1/ICS	1,82	1,58	19,53	9,46	2,63	1,00
T/DT	5,09	1,83	5,37	5,31	5,29	1,00
IP_{Ecol} (média aritmética)	2,79	1,62	8,78	6,37	3,07	1,00
IP_{Ecol} (escalonado*)	0,32	0,18	1,00	0,72	0,35	0,11
Linha de Evidência Bioacumulação						
pontos de coleta	A	B	C	D	E	F (Ref)
<i>Chironomus</i> - Cu (µg/g)	1,39	1,30	28,8	1,00	6,51	1,42
<i>Chironomus</i> - Ni (µg/g)	0,07	<0,07	15	<0,07	4,29	<0,07
<i>Chironomus</i> - Cd (µg/g)	<0,01	<0,01	0,19	<0,01	0,05	<0,01
<i>Chironomus</i> - Pb (µg/g)	<0,05	58,10	<0,05	0,06	3,18	<0,05
RTR						
<i>Chironomus</i> - Cu	0,98	0,92	20,28	0,70	4,58	1,00
<i>Chironomus</i> - Ni	1,00	1,00	214,29	1,00	61,29	1,00
<i>Chironomus</i> - Cd	1,00	1,00	19,00	1,00	5,00	1,00
<i>Chironomus</i> - Pb	1,00	1162,00	1,00	1,20	63,60	1,00
IP_{Bioac} (média aritmética)	0,99	291,23	63,64	0,98	33,62	1,00
IP_{Bioac} (escalonado*)	0,003	1,000	0,219	0,003	0,115	0,003
INTEGRAÇÃO						
RI_{final} (média aritmética dos escalonados)	0,25	0,40	0,69	0,44	0,38	0,13
L.E. Química	+	-	+	-	+	-
L.E. Enriquecimento Orgânico	-	+	+	+	+	-
L.E. Ecotoxicológica	+	+	+	-	-	-
L.E. Ecológica	+	-	+	+	+	-
L.E. Bioacumulação	-	+	+	-	+	-

* O escalonamento (0,00 a 1,00) foi realizado pela relação dos valores dos RTR parciais de cada ponto com o maior valor obtido

**Efeitos ecotoxicológicos: 1 = Não Tóxico; 2 = Efeito Subletal; 3 = Efeito Agudo

RTR = *ratio to reference* = razão com relação ao ambiente de referência (F)

IP = Índice Parcial

S_{nat} = riqueza de nativos

ICS = Índice de Comparação Sequencial

T/DT = % de organismos tolerantes

RI = Risco Integrado = média dos IPs escalonados

L.E. = Linha de Evidência

+ = condição negativamente alterada em relação ao referência; - = similar ao referência

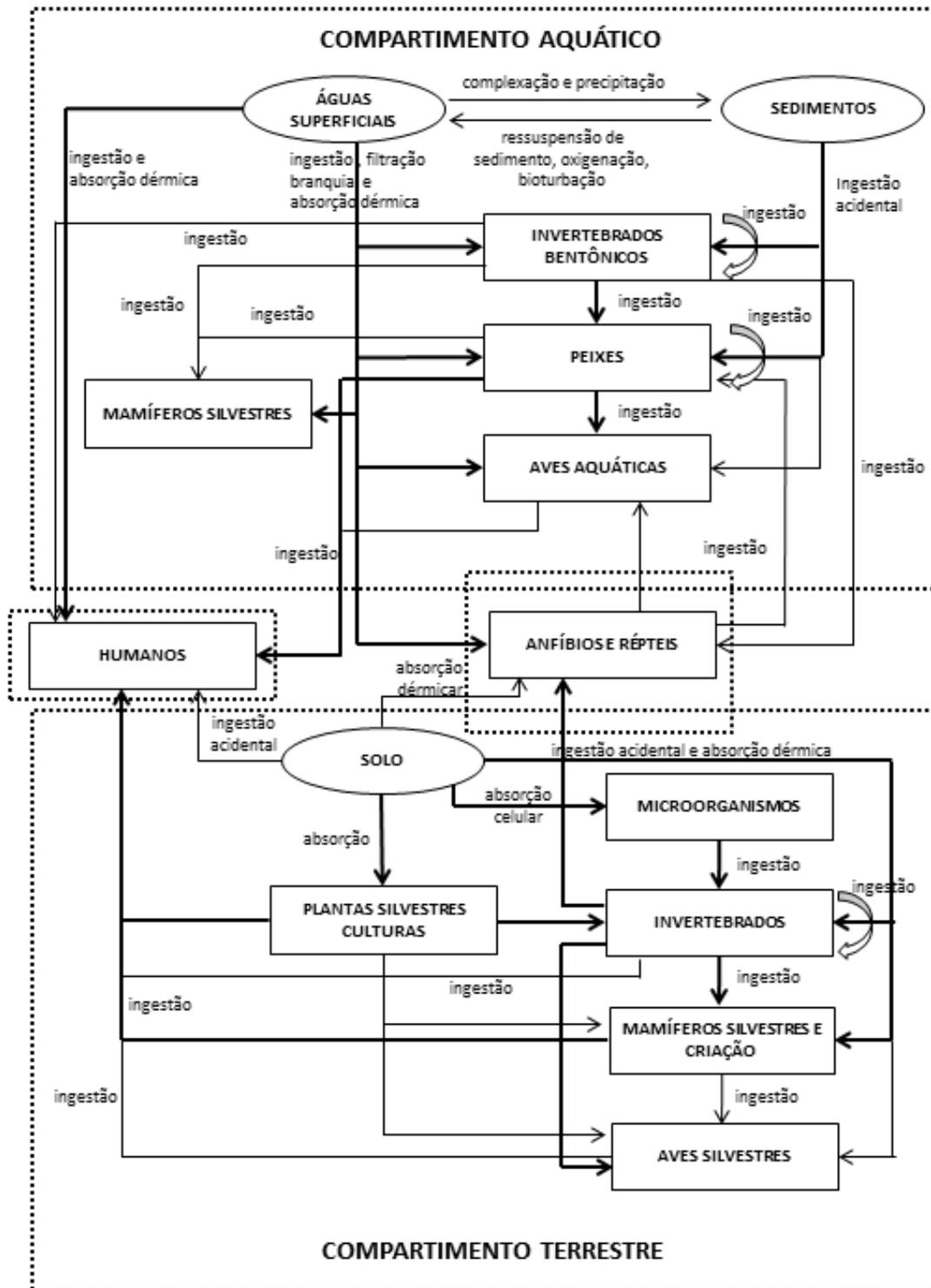
APÊNDICE C (conclusão)

Os resultados da integração são expressos para cada local, como o RI_{final} que, neste caso, é uma média aritmética dos resultados dos IPs escalonados (*i.e.* com a mesma direção em relação ao gradiente de qualidade e grandezas entre 0 e 1) das cinco linhas de evidência. Esse resultado deve ser interpretado em conjunto com o detalhamento da indicação de risco de cada linha de evidência, que neste caso são expressas qualitativamente como positiva (+) ou negativa (-), considerando a diferença dos IPs escalonados dos locais com o referência daquela linha de evidência. No exemplo em questão, pode-se observar que todas as áreas tem RI_{final} com valores 2x ou mais em relação ao Referência (F). Destaca-se o local C, com o maior RI_{final} indicando, ainda, relação positiva (+) nas cinco linhas de evidência, ou seja, tanto do ponto de vista de concentrações encontradas, como de efeitos adversos, resultando em risco acima do aceitável. Por outro lado, o local D não indica presença de risco associado aos contaminantes que não sejam de origem orgânica, enquanto que no local B é provável que os efeitos observados estejam relacionados ao chumbo (Pb), SQI biodisponível que estaria causando dano à biota local mesmo que em baixas concentrações, neste caso, há uma indicação da necessidade de levantamento de mais informações.

...//Anexo A

ANEXO A – Exemplos de Modelos Conceituais

A) Modelo Conceitual Genérico envolvendo estressor químico.



Fonte: Pereira et al. (2004, p. 558).

//Anexo B

ANEXO B – Integração dos Resultados

Exemplo de matriz de decisão retirado de trabalho para avaliação de ambientes aquáticos

Q	T	B	Bio	CONCLUSÕES POSSÍVEIS	AÇÕES/DECISÕES POSSÍVEIS
1	-	-	-	-	NENHUMA
2	+	-	-	-	NENHUMA
3*	-	-	-	+	DETERMINAR FONTE(S) DA BIOMAGNIFICAÇÃO
4	-	+	-	-	CONTAMINANTES MEDIDOS AUSENTES OU NÃO BIODISPONÍVEIS DETERMINAR CAUSA(S) PARA TOXICIDADE
5	-	-	+	-	DETERMINAR CAUSA(S) PARA ALTERAÇÃO NA BIOTA
6	+	-	+	-	DETERMINAR CAUSA(S) PARA ALTERAÇÃO NA BIOTA E BIOMAGNIFICAÇÃO
7	-	-	+	+	DETERMINAR CAUSA(S) PARA TOXICIDADE MAS NÃO EFEITOS <i>IN SITU</i>
8	+	+	-	-	CONTAMINANTES TÓXICOS PRESENTES, MAS NÃO ESTÃO CAUSANDO EFEITOS <i>IN SITU</i> DETERMINAR OUTRO ESTRESSOR(ES)/FONTE(S) QUE POSSAM ESTAR CAUSANDO AS RESPOSTAS OBSERVADAS
9*	-	+	+	-	EFEITOS BIOLÓGICOS ADVERSOS <i>IN SITU</i> NÃO RELACIONADOS COM OS CONTAMINANTES MEDIDOS
10*	-	+	+	+	BIOMAGNIFICAÇÃO PODE ESTAR RELACIONADA COM OS CONTAMINANTES MEDIDOS
11*	-	+	-	+	BIOMAGNIFICAÇÃO E ALTERAÇÃO NA BIOTA PODEM ESTAR RELACIONADAS COM OS CONTAMINANTES MEDIDOS
12*	+	-	-	+	CONTAMINANTES TÓXICOS, EMBORA NÃO ESTEJAM CAUSANDO ALTERAÇÃO NA BIOTA; PODEM ESTAR BIOMAGNIFICANDO
13*	+	-	+	+	AVALIAÇÃO DE RISCO (PODE ENVOLVER INVESTIGAÇÕES ADICIONAIS)
14*	+	+	-	+	EFEITO BIOLÓGICO ADVERSO APARENTEMENTE RELACIONADO COM OS CONTAMINANTES MEDIDOS
15*	+	+	+	-	
16*	+	+	+	+	

LEGENDA:

Q = química; T = ecotoxicidade; B = biota; Bio = biomagnificação; + = efeito significativo; - ausência de efeito significativo; * risco inaceitável, embora nem sempre relacionado à contaminação.

Fonte: Chapman e McDonald (2005, p. 308).

Exemplo de matriz de integração dos resultados para avaliação de ambientes terrestres

Integração dos dados de um ARE para ecossistema terrestre pela tríade, conforme definido na Holanda.

Linha de Evidência	Parâmetro	Peso	Amostra		
		Fator	A	B	C
Química	Soma da Pressão Tóxica – concentrações totais no solo	1	0,00	0,76	0,92
	Soma da Pressão Tóxica – concentrações na água intersticial	1	0,00	0,62	0,75
	Efeito* (químico)		0,00	0,70	0,86
Ecotoxicológica	Microtox	1	0,36	0,21	0,70
	Teste com minhocas	1	0,00	0,00	0,52
	Teste de germinação	1	0,00	0,05	0,20
	Efeito* (ecotoxicológico)		0,14	0,09	0,51
Ecológica	Análise da comunidade de nematóides	1	0,00	0,50	0,55
	Parâmetros microbianos	1	0,00	0,25	0,45
	Análise da comunidade de micro-artrópodes	1	0,00	0,15	0,32
	Análise da comunidade de plantas	1	0,00	0,00	0,60
	Presença de Minhocas	1	0,00	0,45	0,24
	Efeito* (ecológico)		0,00	0,29	0,45
	Efeito da avaliação química	1	0,00	0,70	0,86
	Efeito da avaliação ecotoxicológica	1	0,14	0,09	0,51
	Efeito da avaliação ecológica	1	0,00	0,29	0,45
	Avaliação integrada (risco)		0,05	0,42	0,67
	Fator de Desvio		0,14	0,55	0,38

Fonte: modificado de Rutgers e Jensen (2011, p. 708).

* Os cálculos dos efeitos para cada linha de evidência são realizados por amostra, conforme exemplificado para a amostra B – linha de evidência química:

Linha de Evidência	Parâmetro	Peso	Amostra	Cálculos do efeito químico
		Fator	B	
Química	Soma da Pressão Tóxica – concentrações totais	1	0,76	$\text{Log}_{10}(1-0,76) = -0,619789$ (a)
	Soma da Pressão Tóxica – concentrações na água intersticial	1	0,62	$\text{Log}_{10}(1-0,62) = -0,420216$ (b)
		efeito (químico)		$(a+b)/2 = -0,520003$
				$1-(10^{-0,520003}) = \mathbf{0,70}$

Fonte: CETESB (2022)

Em uma primeira etapa, os dados são agrupados por linha de evidência, ou seja, química, ecotoxicológica e ecológica. Os fatores de ponderação foram definidos como 1 por padrão (primeira coluna).

O cálculo da avaliação integrada (risco) é realizado da mesma forma que o cálculo realizado por linha de evidência. Para avaliação do nível de (des)concordância entre as linhas de evidência é calculado o fator de desvio entre as linhas de evidência ($D = 1,73 \times$ desvio padrão). Quando esse fator for inferior a 0,4, um valor de risco integrado pode ser usado para sustentar a decisão de gerenciamento do local. Na Holanda, a utilização de uma tabela síntese é proposta para apresentar os resultados de uma tríade como parte de uma ARE (MESMAN et al. 2007).

...//Anexo-C

ANEXO C – Tabela de Incertezas

Natureza	Localização	Sublocalização	Definição
Epistêmica	Dados	Disponibilidade	Dados incompletos, escassos ou ausentes
		Precisão	Falta de acurácia ou precisão na obtenção de dados
		Confiabilidade	Dado errôneo por alguma razão específica
	Linguagem	Ambiguidade	Vários significados possíveis
		Subespecificidade	Significados não exatos
		Imprecisão	Significado não é claro e compreensível
	Sistema	Causa	Dúvidas sobre a fonte de perigo
		Efeito	Dúvidas quanto a influência de um estressor (fonte) particular sobre o(s) receptor(es)
		Processo	Dúvidas sobre o risco ou não identificação de algo vital para o sucesso da avaliação
Aleatória	Variabilidade	Humana	Resultante de ações enviesadas e subjetivas
		Natural	Relacionada às características estocásticas dos sistemas naturais
	Extrapolação	Intraespecífica	Informação de alguns membros de uma espécie é usada para outros membros da mesma espécie
		Interespecífica	Informação de uma espécie é usada para outra espécie
		Laboratório	Informação obtida em condições laboratoriais é usada para representar cenários reais
		Quantidade	Informação específica de uma quantidade é usada para representar outra
		Espacial	Informação específica de uma escala espacial é usada para representar outra
		Temporal	Informação específica de período é usada para representar outro
Combinada	Modelo	Estrutura	Relacionada com a representação de processos do mundo real na forma de modelo
		Saída	Reflete o nível de confiança nos resultados produzidos
	Decisão	Decisão	Dúvidas em torno da ação ideal, geralmente por causa de diferentes objetivos

Fonte: Skinner et al. (2014, p. 614).