

## Ata da 1ª Reunião do Grupo Técnico de Valoração do Dano Ambiental

### 1.0 Data

17/03/2020 (terça-feira).

### 2.0 Local

Reunião totalmente online na plataforma [gotomeeting.com](http://gotomeeting.com) em função do Covid-19, orientações municipais e da AESAS (à época) a opção de encontro presencial foi cancelada.

### 3.0 Horário

Das 14h às 16:40h.

### 4.0 Participantes

Camilo Chaves

Cesar Malta

Diego Nascimento

Erika Zuben

Flávia

Márcio Alberto

Fábio Mattos

Ricardo Pessoa

Rivaldo Mello

### 5.0 Resumo das Reunião

#### 5.1 Histórico do GT de Valoração do Dano Ambiental

(Cesar)

- Grupo formado no final de dez/19 e início de jan/20 após levantamento de anseios feitos na penúltima reunião dos associados de 2019.
- Na primeira reunião dos associados de 2020 foi informado que a primeira reunião do presente GT ocorreria entre a segunda quinzena de fevereiro e a primeira quinzena de março de 2020.

#### 5.2 Objetivos do GT

(Cesar)

- Levantamento amplo de como o assunto vem sendo conduzido na prática (historicamente e atualmente) em nível nacional, envolvendo as leis, procedimentos, regramentos, comunicações e opiniões (formais e informais) dos diversos órgãos de interesse (ex.: Cetesb, Ministérios Públicos, tribunais etc). Entendimento de quais modelos/conceitos de cálculos que estão atualmente sendo realizados. Ampla divulgação dos resultados e discussões para os associados para que os mesmos possam, como consultores, orientar melhor seus clientes desde o início do gerenciamento de áreas contaminadas.

#### 5.3 Plano de trabalho

(Cesar)

Inicialmente considerou-se a seguinte ordem de trabalho:

- Reunião com atores que possam atualizar os conceitos jurídicos do assunto, opinando sobre casos reais, bibliografias e os pronunciamentos oficiais feito pelos órgãos envolvidos.
- Balizamento técnico: reunião com técnicos que operam os cálculos de valoração ambientais no sentido de entender e divulgar os conceitos técnicos ali propostos.

#### 5.4 Assunto discutido:

(Todos)

- Foi apresentado e lido o recentíssimo documento “Informação Técnica CETESB 004/20/IC” recentemente emitido (30/01/2020) em um caso envolvendo uma área contaminada na região de Jurubatuba (SP-Capital).
- Numa opinião inicial de leitura, o documento foi estruturado em três partes: 1) uma defesa técnica em relação aos conceitos do Gerenciamento de Áreas Contaminadas atualmente conduzido pela Cetesb em relação à posicionamentos emitidos no artigo “Método de Valoração da Água Subterrânea Impactada por Atividades Contaminantes no Estado de São Paulo” do

CEPAS/USP e que a proposição da metodologia de valoração de dano ambiental é algo pacífico e de responsabilidade do Ministério Público, 2) Indicações técnicas/opiniões de pontos a serem revisados e a serem mantidos dentro do método de valoração proposto pelo CEPAS/USP complementando que a metodologia de GAC da Cetesb, se totalmente aplicada, já preconiza todas informações/preocupações conceituais para subsidiar um posterior cálculo de Valoração Ambiental a ser prosseguido pelo Ministério Público e 3) Sugestão conceitual por parte da Cetesb de como uma metodologia de valoração ambiental poderia ser feita e de como este assunto deveria ser formulado com outros atores (ex. universidades).

### **5.5 Próximos passos:**

(Todos)

- Solicitar apoio ao Comitê Jurídico para avaliar a “Informação Técnica CETESB 004/20/IC” divulgado, pois em princípio trata-se de uma forma de lidar com o assunto diferente daquela exposta em diversos encontros e debates técnicos acompanhados pelos associados.
- Comitê Jurídico: face a esta possível mudança de embasamento do órgão ambiental, avaliar as fragilidades jurídicas (adm, cível e penal) dos responsáveis técnicos que estão divulgando e conduzindo os casos juntos aos clientes considerando o “termo de reabilitação para uso declarado” como o “ponto final” de um processo ambiental.
- Comitê Jurídico: verificar a possibilidade de levantamento de casos envolvendo MP x CETESB na questão da Valoração do Dano Ambiental. Verificar também os recentes posicionamentos formais feitos por esta em relação ao assunto.
- Agendamento futuro de reunião conjunta: Comitê Jurídico e GT de Valoração de Danos.
- Avançar nas reuniões de balizamento técnico para entendimento dos cálculos (ex. CEPAS).
- Apresentar a “Informação Técnica CETESB 004/20/IC” para a próxima reunião de Diretoria.
- Utilizar ferramenta de proposição de datas online para definir a próxima data/horário de reunião tais como [https://doodle.com/pt\\_BR/](https://doodle.com/pt_BR/) (pago após 14 dias) ou <https://www.needtomeet.com/> (parecido mas com opções gratuitas)

-----  
Rev01 – 13/04/2020 – Cesar: acréscimo dos participantes, numeração de títulos e acréscimo de outra ferramenta para votação de data/horário de reunião (needtomeet).

-----  
Prazo de conclusão da Ata: 16/04/20

-X-



**COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO  
DEPARTAMENTO JURÍDICO**

**EXCELENTÍSSIMO SENHOR DOUTOR JUIZ DE DIREITO DA 8<sup>a</sup> VARA DA FAZENDA  
PÚBLICA DA COMARCA DE SÃO PAULO**

**Processo nº 1096882-42.2016.8.26.0100**

**CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo**, por sua advogada que ao final subscreve, nos autos da Ação Civil Pública em que contende com o **Ministério Público de São Paulo**, processo em epígrafe, vem respeitosamente à presença de Vossa Excelência, em atendimento ao r. despacho de fls., requerer a juntada da Informação Técnica nº 004/2020/IC que analisou a proposta de valoração de danos ambientais dos recursos hídricos subterrâneos apresentada pela Ministério Pública (MPSP).

Termos em que,

Pede deferimento.

São Paulo, 31 de janeiro de 2020.

**ALESSANDRA MARIA RANGEL KASSAB**

OAB/SP 181.125



## INFORMAÇÃO TÉCNICA

### COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO

Av. Prof. Frederico Hermann Jr., 345 - CEP 05459-900 - São Paulo - SP  
 C.N.P.J. nº 43.776.491/0001-70 - Insc. Est. nº 109.091.375-118 - Insc. Munic. nº 8.030.313-7  
 Site: [www.cetesb.sp.gov.br](http://www.cetesb.sp.gov.br)

Nº 004/2020/IC

Data. 30.01.2020

**INTERESSADO:** PJ/PJC

**ASSUNTO:** ACP - ZF do Brasil e Outro

**REFERÊNCIA:** ACP – Processo nº 1096882-42.2016.8.26.0100

### INTRODUÇÃO

A PJC solicitou a elaboração de Informação Técnica sobre a proposta de valoração de danos ambientais dos recursos hídricos subterrâneos apresentada pelo Ministério Público (MP).

### RESUMO DAS INFORMAÇÕES APRESENTADAS

A proposta de valoração dos danos apresentada pelo MP foi elaborada com base no Parecer Técnico do Centro de Apoio Operacional à Execução (CAEX) nº 0542758.

O método utilizado pelo CAEX para o cálculo da valoração dos danos foi o “*Método de Valoração da Água Subterrânea Impactada por Atividades Contaminantes no Estado de São Paulo*”, desenvolvido pelo Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas, do Instituto de Geociências da USP (CEPAS-USP) e publicado, em 2019, na Revista “Águas Subterrâneas” da Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (ABAS).

### AVALIAÇÃO DAS INFORMAÇÕES APRESENTADAS

A CETESB não concorda com o cálculo da valoração do dano efetuado pelo CAEX, uma vez que, após a avaliação detalhada do documento “*Método de Valoração da Água Subterrânea Impactada por Atividades Contaminantes no Estado de São Paulo*”, publicado na Revista Águas Subterrâneas, a CETESB considerou o método proposto inadequado para se efetuar o cálculo das indenizações no âmbito da responsabilidade civil ambiental, em função das premissas conservadoras e até mesmo irreais adotadas, principalmente, no cálculo do “*valor de uso indireto*” e “*valor de opção*”, que proporcionam a superestimação dos valores das indenizações.

Atenciosamente,

**Elton Gloeden**  
 Gerente do Departamento de Áreas Contaminadas - IC

## MÉTODO INJUSTO DE VALORAÇÃO DOS DANOS RELATIVOS ÀS ÁREAS CONTAMINADAS NO ESTADO DE SÃO PAULO

Elton Gloeden<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Áreas Contaminadas da CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo).

### RESUMO

O “*Método de Valoração da Água Subterrânea Impactada por Atividades Contaminantes no Estado de São Paulo*” apresentado em BERTOLO et al. (2019) é injusto, em função dos problemas levantados neste artigo, não sendo recomendada a sua utilização para o cálculo das indenizações em Ações Civis Públicas, relativas à danos em áreas contaminadas, promovidas pelo Ministério Público do Estado de São Paulo.

As críticas apresentadas em BERTOLO et al. (2019), relativas ao “*procedimento para gerenciamento de áreas contaminadas*”, descritos na Lei 13.577/2009, no Decreto 59.263/2013 e na Decisão de Diretoria 038/2017/C da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), são infundadas e inaceitáveis, considerando que esse procedimento tem como objetivo a recuperação ambiental da área contaminada, ou seja, a sua reabilitação para o uso declarado, não contemplando, como objetivo, a valoração dos danos.

Conforme o § 1º do artigo 14 da Lei 6.938/1981 da Política Nacional do Meio Ambiente, a responsabilidade pela elaboração do “*procedimento para reparação dos danos*” (identificação, caracterização e valoração de danos) é do Ministério Público Federal e dos Ministérios Públicos dos Estados. Embora o Ministério Público do Estado de São Paulo tenha empreendido esforços no sentido de definir esse procedimento, relativo às áreas contaminadas, até o momento, não existe procedimento validado em norma legal.

Desta forma, considerando que não existe procedimento específico para “*identificação, caracterização e valoração de danos ambientais em áreas contaminadas*”, incluído na legislação ambiental, neste artigo são apresentadas sugestões, com o objetivo de contribuir com o Ministério Público do Estado de São Paulo na elaboração desses.

### 1. INTRODUÇÃO

No artigo “*Método de Valoração da Água Subterrânea Impactada por Atividades Contaminantes no Estado de São Paulo*” (BERTOLO et al., 2019), publicado na Revista Águas Subterrâneas da Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (ABAS), é apresentado um método para valoração dos danos, proposto por pesquisadores do Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas (CEPAS/USP), do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, a pedido do Ministério Público do Estado de São Paulo (MP-SP).

O MP-SP está utilizando esse método para calcular o valor a ser cobrado dos responsáveis legais por áreas contaminadas, a título de indenização por danos, relacionados às águas subterrâneas, em Ações Civis Públicas.

Neste artigo é feita uma avaliação crítica do método de valoração dos danos desenvolvido pelos pesquisadores do CEPAS/USP, na qual são constatados problemas, que tornam o método inadequado, ao serem adotadas premissas infundadas para o cálculo das indenizações.

## 2. O GERENCIAMENTO DE ÁREAS CONTAMINADAS E A REPARAÇÃO DOS DANOS

Ao afirmar, no artigo *“Método de Valoração da Água Subterrânea Impactada por Atividades Contaminantes no Estado de São Paulo”* (BERTOLO et al., 2019), que *“...as ações previstas no GAC não resultam na extração total de contaminantes do meio contaminado, em especial nas águas subterrâneas, o que propicia a criação de não conformidades com leis federais mais amplas, que exigem do responsável a reparação integral de um dano ambiental.”* (sendo GAC a sigla que representa *“procedimento para gerenciamento de áreas contaminadas”*), os pesquisadores do CEPAS/USP demonstram desconhecimento sobre o procedimento para o gerenciamento de áreas contaminadas, descrito na Lei 13.577/2009, em seu Decreto Regulamentador 59.263/2013 e na Decisão de Diretoria 038/2017/C da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB).

Os pesquisadores do CEPAS-USP também confundem os conceitos de *“recuperação (remediação) executada pelas ações de gerenciamento de áreas contaminadas”* e *“reparação integral dos danos ambientais”*, quando afirmam que *“...Na maioria das situações, entretanto, as ações de recuperação (remediação) são mais limitadas que a reparação integral do dano, especialmente por razões econômicas e técnicas.”* *“A realização da valoração da água subterrânea é, portanto, o caminho possível para complementar a lacuna que existe entre a recuperação da qualidade da água subterrânea executada pelas ações de GAC e a reparação integral do dano a este recurso exigidas pela Legislação.”*.

Destaca-se que não há sentido em realizar essa confrontação, uma vez que o procedimento para a *“recuperação (remediação) executada pelas ações de gerenciamento de áreas contaminadas”* é distinto do procedimento para a *“reparação integral dos danos ambientais”*, visto que esses possuem objetivos diferentes, assim como são diferentes as responsabilidades pela sua elaboração e execução.

Enquanto o procedimento para a *“recuperação ambiental executada pelas ações de gerenciamento de áreas contaminadas”* tem como objetivo principal proporcionar a reabilitação da área contaminada para o uso declarado, o procedimento para *“reparação integral do dano”* tem por objetivo a restauração ou a recuperação *“in natura”* dos danos gerados a partir de uma área contaminada, ou a recuperação parcial dos danos, adicionada a compensação pecuniária, relativa aos danos irrestauráveis, irrecuperáveis e intercorrentes.

A obrigação da “*reparação dos danos*” está prevista no §3º do artigo 225 da Constituição Federal de 1988, descrito a seguir.

*§ 3º As condutas e atividades consideradas lesivas ao meio ambiente sujeitarão os infratores, pessoas físicas ou jurídicas, a sanções penais e administrativas, independentemente da obrigação de reparar os danos causados.*

Conforme o § 1º do artigo 14 da Lei 6.938/1981 da Política Nacional do Meio Ambiente, descrito a seguir, fica claro que a atribuição para estabelecer, coordenar e executar o “*procedimento para a reparação dos danos*” é do Ministério Público Federal e dos Ministérios Públicos dos Estados.

*§ 1º - Sem obstar a aplicação das penalidades previstas neste artigo, é o poluidor obrigado, independentemente da existência de culpa, a indenizar ou reparar os danos causados ao meio ambiente e a terceiros, afetados por sua atividade. O Ministério Público da União e dos Estados terá legitimidade para propor ação de responsabilidade civil e criminal, por danos causados ao meio ambiente.*

O MP-SP reconhece a sua atribuição de estabelecer o “*procedimento para a reparação dos danos*”, uma vez que editou o Ato 36/2011, criando um Grupo de Trabalho “*com a missão de buscar a “fixação de diretrizes e, se possível, de metodologias de valoração do dano ambiental”*”, cujos resultados são apresentados em dois relatórios publicados no site do MP-SP (MP-SP, 2011 e MP-SP, 2012).

O desenvolvimento do método para valoração de dano, relativo às águas subterrâneas, apresentado no artigo publicado na Revista Águas Subterrâneas (BERTOLO et al., 2019), faz parte dos trabalhos desenvolvidos pelo Subgrupo VI - Áreas Contaminadas, cujo objetivo principal foi a criação de método para valoração de danos relacionados às áreas contaminadas.

Entretanto, os trabalhos desse Subgrupo se restringiram a criação do método para valoração de danos relacionados às águas subterrâneas, como recurso hídrico, não considerando os outros tipos de danos, que podem ser gerados a partir de uma área contaminada, principalmente, os danos à saúde humana e os danos ao patrimônio público e privado.

Desta forma, persiste a demanda do MP-SP, para a definição do “*procedimento para reparação dos danos*” relativo às áreas contaminadas, incluindo procedimentos para a identificação, caracterização e valoração de danos ambientais irrestauráveis, irrecuperáveis e intercorrentes, uma vez que até o momento não há procedimento específico sobre esse assunto validado em norma legal.

Por outro lado, o “*procedimento para gerenciamento de áreas contaminadas*”, introduzido por GLOEDEN (1999) e CETESB & GTZ (2001) é amplamente conhecido e detalhado na legislação ambiental vigente, sendo descrito na Resolução CONAMA 420/2009, na Lei Estadual 13.577/2009, no Decreto Estadual

Regulamentador 59.263/2013, na Decisão de Diretoria da CETESB 038/2017/C e na Instrução Técnica da CETESB 039/2017/C.

O “procedimento para gerenciamento de áreas contaminadas” se baseia nos resultados da realização das etapas de avaliação preliminar, investigação confirmatória, investigação detalhada e avaliação de risco, que são utilizados para embasar a elaboração do plano de intervenção, ou seja, os resultados das etapas iniciais do gerenciamento de áreas contaminadas, necessários para caracterização da área contaminada, são utilizados para definir quais medidas de intervenção são necessárias para sua reabilitação, conforme os artigos 40 e 44 do Decreto 59.263/2013, descritos a seguir.

*Artigo 40 - A tomada de decisão sobre as medidas de intervenção a serem adotadas em uma Área Contaminada com Risco Confirmado (ACRi) será subsidiada por Avaliação de Risco a ser executada pelo responsável legal.*

*Artigo 44 - O responsável legal pela área classificada como Área Contaminada com Risco Confirmado (ACRi) deverá desenvolver um Plano de Intervenção a ser executado sob sua responsabilidade, o qual deverá contemplar:*

- I - o controle ou eliminação das fontes de contaminação;*
- II - o uso atual e futuro do solo da área a ser reabilitada, que poderá incluir sua vizinhança, caso a contaminação extrapole ou possa extrapolar os limites da propriedade;*
- III - o resultado da Avaliação de Risco à saúde humana ou ecológica;*
- IV - a ultrapassagem dos padrões legais aplicáveis;*
- V - as medidas de intervenção consideradas técnica e economicamente viáveis e as consequências de sua aplicação;*
- VI - o cronograma de implementação das medidas de intervenção propostas;*
- VII - o programa de monitoramento da eficiência e eficácia das medidas de remediação;*
- VIII - os custos das medidas de intervenção propostas.*

*§ 1º - Para a elaboração do Plano de Intervenção poderão ser admitidas as medidas de remediação para tratamento e para contenção dos contaminantes, medidas de controle institucional e medidas de engenharia.*

Nesse procedimento, a escolha das medidas de intervenção não está restrita à proteção dos receptores humanos identificados, mas também estão contemplados os organismos presentes nos ecossistemas, os corpos d’água superficiais, as águas subterrâneas, os receptores expostos de forma aguda e o patrimônio público e privado, quando identificados na etapa de avaliação de risco, conforme artigo 36 do Decreto 59.263/2013, descrito a seguir.

*Artigo 36 - A área será classificada como Área Contaminada com Risco Confirmado (ACRi) nas seguintes situações:*

*I - realizada a Avaliação de Risco foi constatado que os valores definidos para risco aceitável à saúde humana foram ultrapassados, considerando-se os níveis de risco definidos por meio de Resolução conjunta da Secretaria Estadual de Meio Ambiente e da Secretaria Estadual de Saúde, após ouvido o CONSEMA;*

*II - quando for observado risco inaceitável para organismos presentes nos ecossistemas, por meio da utilização de resultados de Avaliação de Risco Ecológico;*

*III - nas situações em que os contaminantes gerados em uma área tenham atingido compartimentos do meio físico e determinado a ultrapassagem dos padrões legais aplicáveis ao enquadramento dos corpos d'água e de potabilidade;*

*IV - nas situações em que os contaminantes gerados possam atingir corpos d'água superficiais ou subterrâneos, determinando a ultrapassagem dos padrões legais aplicáveis, comprovadas por modelagem do transporte dos contaminantes;*

*V - nas situações em que haja risco à saúde ou à vida em decorrência de exposição aguda a contaminantes, ou à segurança do patrimônio público ou privado.*

*Parágrafo único - Na elaboração da Avaliação de Risco a que se refere o inciso I deste artigo, deverão ser consideradas todas as vias reais e potenciais de exposição.*

Desta forma, o “procedimento para gerenciamento de áreas contaminadas” é completo, eficaz e eficiente para proporcionar a recuperação ambiental de uma área contaminada, ou seja, propiciar seu uso seguro (reabilitação), de acordo com a legislação de uso e ocupação do solo vigente, e proporcionar o meio ambiente ecologicamente equilibrado para os usuários da área reabilitada, atendendo-se, portanto, ao que estabelece o artigo 225 da Constituição Federal de 1988.

Destaca-se que a Lei 13.577/2009 dispõe sobre diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento de áreas contaminadas e, portanto, estabelece procedimentos para “recuperar o meio ambiente degradado”, o que está de acordo com o § 2º do artigo 225 da Constituição Federal de 1988, ou seja:

*§ 2º Aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma da lei.*

A Lei 13.577/2009 também está em consonância com o artigo 2º da Lei 6.938/1981 da Política Nacional do Meio Ambiente, descrito a seguir, especialmente com o seu inciso VIII.

*Artigo 2º - A Política Nacional do Meio Ambiente tem por objetivo a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar, no País, condições ao desenvolvimento sócio-econômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana, atendidos os seguintes princípios:*

- I - ação governamental na manutenção do equilíbrio ecológico, considerando o meio ambiente como um patrimônio público a ser necessariamente assegurado e protegido, tendo em vista o uso coletivo;*
- II - racionalização do uso do solo, do subsolo, da água e do ar;*
- III - planejamento e fiscalização do uso dos recursos ambientais;*
- IV - proteção dos ecossistemas, com a preservação de áreas representativas;*
- V - controle e zoneamento das atividades potencial ou efetivamente poluidoras;*
- VI - incentivos ao estudo e à pesquisa de tecnologias orientadas para o uso racional e a proteção dos recursos ambientais;*
- VII - acompanhamento do estado da qualidade ambiental;*
- VIII - recuperação de áreas degradadas;*
- IX - proteção de áreas ameaçadas de degradação;*
- X - educação ambiental a todos os níveis de ensino, inclusive a educação da comunidade, objetivando capacitá-la para participação ativa na defesa do meio ambiente.*

Destaca-se que a regulamentação do inciso VIII do artigo 2º da Lei 6.938/1981, dada pelo artigo 3º do Decreto nº 97.632/1989, descrito a seguir, esclarece o objetivo da recuperação de áreas degradadas (ou contaminadas).

*Art. 3º A recuperação deverá ter por objetivo o retorno do sítio degradado a uma forma de utilização, de acordo com um plano preestabelecido para o uso do solo, visando a obtenção de uma estabilidade do meio ambiente.*

Frisa-se, novamente, que a Lei Estadual 13.577/2009 e seu Decreto Regulamentador 59.263/2013, estão de acordo com os textos legais federais citados, que versam sobre a necessidade de estabelecimento de procedimento específico para recuperação ambiental, ou, no caso, o “procedimento para gerenciamento de áreas contaminadas”, conforme citado no artigo 1º da Lei 13.577/2009, descrito a seguir.

*Artigo 1º - Esta lei trata da proteção da qualidade do solo contra alterações nocivas por contaminação, da definição de responsabilidades, da identificação e do cadastramento de áreas contaminadas e da remediação dessas áreas de forma a tornar seguros seus usos atual e futuro.*

Fica claro, portanto, conforme o seu artigo 2º, descrito a seguir, que a Lei 13.577/2009 e seu Decreto Regulamentador 59.263/2013, não dispõem sobre “procedimento para a reparação dos danos” (identificação, caracterização e valoração de danos), mas sim para o estabelecimento de procedimentos para

a identificação, investigação e adoção de medidas de intervenção em áreas contaminadas, visando principalmente, gerenciar os riscos identificados e garantir um uso seguro e sustentável da área reabilitada.

*Artigo 2º - Constitui objetivo desta lei garantir o uso sustentável do solo, protegendo-o de contaminações e prevenindo alterações nas suas características e funções, por meio de:*

- I - medidas para proteção da qualidade do solo e das águas subterrâneas;*
- II - medidas preventivas à geração de áreas contaminadas;*
- III - procedimentos para identificação de áreas contaminadas;*
- IV - garantia à saúde e à segurança da população exposta à contaminação;*
- V - promoção da remediação de áreas contaminadas e das águas subterrâneas por elas afetadas;*
- VI - incentivo à reutilização de áreas remediadas;*
- VII - promoção da articulação entre as instituições;*
- VIII - garantia à informação e à participação da população afetada nas decisões relacionadas com as áreas contaminadas.*

Portanto, não existem “*as não conformidades*”, ou “*as lacunas*”, citadas pelos pesquisadores do CEPAS/USP, em BERTOLO et al. (2019), entre a Lei Estadual 13.577/2009, com as leis federais mais amplas, ou seja, o artigo 225 da Constituição Federal de 1988 e a Lei 6.938/1981 da Política Nacional do Meio Ambiente.

A verdadeira “*lacuna*” existente é a falta de procedimento específico, validado em norma legal, para a “reparação dos danos”, ou seja, procedimentos para a identificação, caracterização e valoração de danos.

Entretanto, para executar essa tarefa é necessário propiciar auxílio ao Ministério Público, a ser concedido por órgãos ambientais e de saúde federais, estaduais e municipais, além de outras partes, como as universidades, uma vez que essa tarefa é complexa, havendo necessidade do envolvimento de vários tipos de conhecimentos e especialidades.

Ao contrário, os pesquisadores do CEPAS/USP atuaram de forma isolada, propondo alterações impróprias e inoportunas no “*procedimento para gerenciamento de áreas contaminadas*”, já consolidado, considerando que a “*extração total dos contaminantes do meio contaminado*”, deveria ser uma obrigação no âmbito do “*procedimento para gerenciamento de áreas contaminadas*”, o que não está previsto na Lei 13.577/2019, no Decreto 59.263/2013 e na Decisão de Diretoria 038/2017/C da CETESB.

Os pesquisadores do CEPAS/USP também apresentam críticas infundadas e sem conhecimento de causa ao “*procedimento de gerenciamento de áreas contaminadas*”, alegando que esse não é eficiente, quando aplicado de forma individual em regiões complexas com múltiplas fontes de contaminação, o que também não corresponde à realidade, uma vez que sempre há a necessidade da ação individualizada sobre cada área contaminada.

Cabe ser enfatizado que o procedimento simplista proposto pelos pesquisadores do CEPAS/USP, em BERTOLO et al. (2019), que impõe a obrigação de realizar a “*extração total de contaminantes do meio contaminado*”, como único caminho a ser seguido, para se atingir a recuperação ambiental da área contaminada, ou seja, a “*recuperação in natura*”, não é completo, eficaz e eficiente para se atingir a recuperação ambiental ou a reabilitação de áreas contaminadas, uma vez que, nas experiências onde houve sua aplicação, que ocorreram nas décadas de 70 e 80 do século XX, nos Estados Unidos da América e em vários países da Europa, esse procedimento se mostrou inadequado e impraticável. Posteriormente, nesses países, já na década de 90 do século XX, os procedimentos para a recuperação ambiental que utilizavam essa abordagem foram totalmente abortados.

Destaca-se que a mesma abordagem utilizada na Resolução CONAMA 420/2009, Lei Estadual 13.577/2009, Decreto Estadual Regulamentador 59.263/2013, Decisão de Diretoria da CETESB 038/2017/C e Instrução Técnica da CETESB 039/2017/C, para a recuperação ambiental ou reabilitação de áreas contaminadas, é utilizada, atualmente, na legislação ambiental de todos os países do mundo, que possuem legislação específica sobre o assunto “*gerenciamento de áreas contaminadas*”, destacando os Estados Unidos da América, a Alemanha, o Reino Unido, a França, a Holanda, o Canadá e a Austrália.

Desta forma, não é aceitável a proposta retrógrada apresentada pelos pesquisadores do CEPAS/USP (BERTOLO et al., 2019), que em nome da “*reparação integral dos danos ambientais*”, asseveram que “... *os serviços de remediação deveriam ocorrer até que ao menos os limites de potabilidade dos poluentes (Anexo XX da Portaria de Consolidação 5/2017-MS) sejam atingidos.*”, ou seja, esses pesquisadores pretendem impor mudanças inadequadas e infundadas na Lei 13.577/2009, em seu Decreto Regulamentador 59.263/2013, principalmente em seus artigos 40 e 44 citados, e na Decisão de Diretoria 038/2017/C da CETESB.

Cabe ser destacado que as ações previstas no “*procedimento para gerenciamento de áreas contaminadas*” resultam na “*extração total de contaminantes do meio contaminado*”, nas situações onde essa “*extração total de contaminantes*” seja indicada para propiciar o uso seguro da área reabilitada.

### 3. DANO E REPARAÇÃO DO DANO

Inicialmente, para o estabelecimento de “*procedimentos para a reparação dos danos*” (identificação, caracterização e valoração de danos) relacionados às áreas contaminadas, deve-se saber o que é “*dano*”.

No relatório publicado pelo MP-SP, em seu site (MP-SP, 2011), com base em ampla pesquisa bibliográfica realizada, é citado que “...na legislação ambiental brasileira não há definição para dano ambiental”.

Entretanto, nesse relatório é citado que por meio da interpretação da Lei 6.938/1981 da Política Nacional do Meio Ambiente e do artigo 225 da Constituição Federal de 1988, pode-se definir “*dano ambiental*” como:

*“...dano ambiental significa, numa primeira acepção, a alteração indesejável ao conjunto de elementos chamados meio ambiente e, numa segunda acepção, dano ambiental engloba os efeitos que esta modificação gera na saúde das pessoas e em seus interesses.”*

*“O conceito de dano ambiental engloba qualquer lesão aos elementos naturais, artificiais e culturais, tratados como bem de uso comum do povo, juridicamente protegido.”*

Em outro relatório publicado pelo MP-SP em seu site (MP-SP, 2012), é apresentada a seguinte definição para “dano ambiental”:

*“Dano é definido como sendo alterações adversas, observáveis ou mensuráveis, que ocorrem nos recursos naturais ou geram o impedimento dos seus serviços.”*

*“...Por seu turno, recursos naturais correspondem, dentre outros, ao solo, peixes, vida selvagem, ar, água, água subterrânea e mananciais para abastecimento.”*

*“...Os serviços, de sua vez, correspondem às funções realizadas pelos recursos naturais para benefício de outro recurso natural ou à sociedade, através de miríades de funções e serviços”.*

CARDIN & BARBOSA (2008) entendem que “dano ambiental” é a degradação ambiental que:

*...afeta diretamente o homem em sua saúde, segurança, atividades sociais e econômicas.*

Conforme MP-SP (2011), com base na Constituição Federal e na Lei 6.938/1981 da Política Nacional do Meio Ambiente, quando identificado e caracterizado um dano ambiental, a sua reparação deve ser integral (“Aliada à cessação da conduta poluidora, a reparação do dano ambiental deve ser integral, ....”).

Conforme MP-SP (2011), para se atingir a “reparação integral dos danos ambientais”, a reparação deve ser “*in natura*” e “*in situ*” (retorno ao *status quo ante* do meio ambiente).

Por sua vez, a reparação “*in natura*” pode ser atingida por meio da restauração ou da recuperação (ambas “*in situ*”).

A compensação ecológica também é uma das formas de se atingir a “reparação integral dos danos ambientais”, quando há impossibilidade total ou parcial da restauração ou recuperação “*in natura*”.

Por sua vez, a indenização em dinheiro (compensação econômica), para se atingir a “reparação integral dos danos ambientais”, somente é aplicável quando for impossível a restauração, a recuperação “*in natura*” ou a compensação ecológica, sendo que o valor da indenização deverá ser definido com base em estudo multidisciplinar.

Conforme CARDIN & BARBOSA (2008), a ideia, portanto, é priorizar o retorno ao *status quo ante* do meio ambiente (reparação ou recuperação *in natura*). Entretanto, quando isso não é possível, o “*poluidor*” deve recuperar e/ou indenizar (compensação econômica) os danos, conforme o inciso VII do artigo 4º da Lei 6.938/1981, da Política Nacional do Meio Ambiente, descrito a seguir.

*VII - à imposição, ao poluidor e ao predador, da obrigação de recuperar e/ou indenizar os danos causados e, ao usuário, da contribuição pela utilização de recursos ambientais com fins econômicos.*

#### 4. RISCO E REPARAÇÃO DO DANO

Conforme o inciso XIX do artigo 3º da Lei 13.577/2009, descrito a seguir, “Risco” pode ser entendido como a probabilidade de ocorrência de um dano.

*XIX. Risco: probabilidade de ocorrência de um efeito adverso em um receptor sensível;*

Durante o “*procedimento de gerenciamento de áreas contaminadas*”, as medidas de intervenção propostas pelo responsável legal e responsável técnico e aprovadas pela CETESB devem ser executadas mesmo sem ter ocorrido efetivamente um dano, ou mesmo, sem ter sido identificado um dano, uma vez que basta a identificação de riscos acima dos níveis aceitáveis, durante a etapa de avaliação de risco, para que as medidas de intervenção sejam deflagradas.

Entretanto, em muitos casos, é possível identificar a ocorrência de danos durante a execução das etapas do gerenciamento de áreas contaminadas, assim como obter informações úteis para a sua caracterização e valoração.

Portanto, as informações obtidas durante a execução das etapas do gerenciamento de áreas contaminadas poderiam ser utilizadas nos processos de reparação dos danos, nas Ações Civis Públicas promovidas pelo Ministério Público, onde se pretende definir o valor da indenização por danos irreparáveis, irrecuperáveis e intercorrentes relativos a áreas contaminadas.

Entretanto, deve-se ter em mente que nem sempre as informações geradas durante o processo de gerenciamento de áreas contaminadas serão suficientes para a identificação, caracterização e valoração dos danos, sendo, normalmente, necessárias investigações adicionais para obtenção dessas informações, que deveriam ser obtidas no âmbito do processo de reparação dos danos, a ser executado e coordenado pelo Ministério Público.

Desta forma, cabe ser esclarecido que não há necessidade de alterar o “*procedimento para gerenciamento de áreas contaminadas*”, como pretendem os pesquisadores do CEPAS/USP, para propiciar a geração das

informações necessárias para a identificação, caracterização e valoração de danos, mas sim criar um novo procedimento, completo, para a “*reparação dos danos*”, a ser coordenado pelo Ministério Público.

## 5. MÉTODO DE VALORAÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA PROPOSTO PELO CEPAS/USP

Em resumo, o método de valoração dos danos ambientais relacionados às águas subterrâneas e áreas contaminadas, apresentado em BERTOLO et al. (2019), se baseia na seguinte equação:

$$VERA = [Volume\ de\ Uso\ Direto + Volume\ de\ Uso\ Indireto + Volume\ de\ Opção] * R\$$$

A sigla VERA (Valoração Econômica do Recurso Ambiental, no caso, as águas subterrâneas), significa o valor a ser cobrado a título de indenização, que é a soma do Volume de Uso Direto, Volume de Uso Indireto e Volume de Opção, multiplicado pelo valor do metro cúbico de água subterrânea, representado pela sigla R\$.

O **valor do metro cúbico de água subterrânea** é estimado utilizando-se os valores estabelecidos pela SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo), ou o custo da extração de água por poços tubulares profundos, calculado com base nas características dos poços construídos na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), ou da região onde está localizada a área contaminada.

Para se determinar o **Volume de Uso Direto** deve ser calculado o volume de água, com concentração da substância química de interesse acima do valor de potabilidade, determinado na etapa de investigação detalhada do processo de gerenciamento de áreas contaminadas.

Para se determinar o **Volume de Uso Indireto** deve ser calculado o volume de água que passa pela seção do aquífero, com concentração da substância química de interesse acima do valor de potabilidade, no período entre a data de atingimento da meta de remediação, necessária para viabilizar o uso da área, até a data de atingimento da potabilidade, por atenuação natural.

Para se determinar o **Volume de Opção** deve ser calculado o volume de água potável adjacente à área onde há água subterrânea com concentração da substância química de interesse acima do valor de potabilidade (pluma dissolvida), que estaria impedido de ser utilizado, por meio do bombeamento realizado por poços de abastecimento de água.

## 6. PROBLEMAS DO MÉTODO INJUSTO DE VALORAÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA PROPOSTO PELO CEPAS/USP

### 6.1 LEI 13.577/2009, DECRETO 59.263/2013 E DECISÃO DE DIRETORIA 038/2017/C

A ação prevista no método proposto, ou seja, utilizar os padrões de potabilidade, como meta de remediação, obrigatoriamente, em todos os casos relativos ao gerenciamento de áreas contaminadas, para se atingir a “recuperação *in natura*”, eliminando-se a necessidade de indenização pecuniária, não estão incluídas nos procedimentos para gerenciamento de áreas contaminadas descritos na Lei 13.577/2009, em seu Decreto Regulamentador 59.263/2013 e na Decisão de Diretoria 038/2017 da CETESB.

### 6.2 MÉTODO LIMITADO

O método proposto trata-se de método para valoração dos danos especificamente relacionados às águas subterrâneas, como recurso hídrico, não sendo apresentada proposta de procedimento para a identificação, caracterização e valoração de inúmeros outros danos, que podem ocorrer em função da presença de uma área contaminada, como por exemplo, os danos a organismos e ecossistemas, os danos à saúde humana, os danos aos recurso hídricos superficiais e os danos ao patrimônio público e privado.

### 6.3 DESTINO DOS RECURSOS

De acordo com a proposta apresentada, os recursos obtidos com as indenizações deveriam ser endereçados à execução de projetos de monitoramento e de avaliação hidrogeológica em áreas urbanas dependentes de mananciais subterrâneos e afetadas por áreas contaminadas.

Entretanto, destaca-se que esses recursos devem ser destinados ao Fundo Estadual para Prevenção e Remediação de Áreas Contaminadas (FEPRAC), conforme artigo 99 do Decreto 59.263/2013, descrito a seguir.

*Artigo 99 - Os valores estipulados a título de indenização em ações judiciais concernentes a danos ambientais advindos de contaminação do solo e das águas subterrâneas deverão ser destinados ao Fundo Estadual para Prevenção e Remediação de Áreas Contaminadas - FEPRAC.*

### 6.4 VALOR DO METRO CÚBICO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

No método de valoração dos danos relacionados às águas subterrâneas proposto pelo pesquisadores do CEPAS/USP, para o cálculo do Volume de Uso Direto, do Volume de Uso Indireto e do Volume de Opção, parte-se da premissa de que o volume de água subterrânea, com concentrações da substância química de interesse acima do padrão de potabilidade, gerado a partir de uma área contaminada, está sendo

efetivamente utilizado ou poderá ser utilizado para abastecimento de água potável, por usuário devidamente autorizado pelo órgão responsável pela emissão de outorga, no Estado de São Paulo, o Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), o que não é a realidade encontrada, na maior parte dos casos relativos às áreas contaminadas.

Na grande maioria dos casos relativos às áreas contaminadas cadastradas pela CETESB são observadas alterações na qualidade das águas subterrâneas a poucos metros de profundidade, a partir do lençol freático, ou do nível d'água subterrânea, em áreas comerciais e industriais, que normalmente apresentam áreas de até 10.000 m<sup>2</sup>, constituindo plumas de contaminação, restritas ao terreno do empreendimento, que apresentam volumes insignificantes (em relação à possibilidade de utilização para abastecimento público ou mesmo privado), em média com 2.000 m<sup>3</sup> de água subterrânea contaminada.

Normalmente, as características hidrodinâmicas observadas nessas áreas nem mesmo são suficientes para classificar os materiais constituintes como “*aquíferos*”, mas sim como “*aquitardes*”, “*aquicludes*”, ou mesmo “*aquifugos*”, principalmente na RMSP, onde está concentrada a maior parte das áreas contaminadas registradas pela CETESB no Estado de São Paulo.

Além disso, na grande maioria das áreas contaminadas registradas estão envolvidas substâncias que não apresentam potencial para atingir as grandes profundidades onde a água subterrânea está sendo efetivamente extraída, por meio de poços tubulares profundos, para abastecimento de água.

Na realidade, nessas áreas contaminadas, as plumas de contaminação dissolvidas não atingem as profundidades onde a água subterrânea que está sendo efetivamente utilizada para abastecimento, uma vez que essas águas são extraídas de aquíferos localizados em profundidades que superam, normalmente, 50 metros na RMSP.

Hoje, no Estado de São Paulo, principalmente na RMSP e em outras aglomerações urbanas, os poços tubulares profundos de abastecimento de água devem ser construídos com selo de proteção sanitária, com tubos fechados, isolando-se, pelo menos 20 metros de profundidade, a partir da superfície do terreno, conforme estabelecido pelo DAEE (DAEE, 2015).

Essa proteção é necessária, em função da ocorrência de alterações na qualidade das águas subterrâneas, nos níveis mais próximos da superfície, causada, principalmente, por fontes difusas ou multipontuais de contaminação, como vazamentos da rede de esgotos, fossas sépticas, fossas negras e águas pluviais contaminadas.

Além disso, em áreas urbanas, o DAEE (DAEE, 2015) não recomenda a utilização de poços escavados (cacimbas ou cisternas) ou ponteiras com finalidade de uso como solução alternativa de abastecimento de água, uma vez que esses tipos de poços captam as águas subterrâneas em pequenas profundidades, onde ocorrem os problemas de quantidade e qualidade já citados.

Portanto, as “águas subterrâneas rasas”, normalmente atingidas pelas contaminações constatadas em áreas contaminadas, não são outorgáveis pelo órgão responsável (DAEE), pois apresentam os problemas de qualidade e quantidade citados.

Desta forma, não é justo atribuir o mesmo valor do metro cúbico da água tratada pela SABESP ou o preço do metro cúbico da água extraída de poços tubulares profundos ao valor do metro cúbico de “água subterrânea rasa”, não outorgável, no cálculo da indenização por dano ao recurso natural “água subterrânea”.

Destaca-se também que os valores resultantes do cálculo do custo da extração de água por poços tubulares profundos são assumidos valores, pelos pesquisadores do CEPAS/USP, para alguns parâmetros, de forma extremamente questionável, como por exemplo, os custos extremamente conservadores para acompanhamento da operação desse.

Entretanto, cabe ser destacado, que nas situações onde a substância química de interesse originada a partir de uma área contaminada atinja efetivamente as águas subterrâneas utilizadas para abastecimento público ou privado, por meio de poços de abastecimento tubulares profundos devidamente outorgados pelo órgão competente (DAEE), comprometendo a potabilidade, ou outro uso preponderante da água subterrânea, cabe a exigência de indenização, ao proprietário e usuários do poço de abastecimento de água atingido, e dano provocado pela contaminação de parte do recurso natural (aquéfero) utilizado para abastecimento de água, utilizando-se o preço do metro cúbico da água extraída de poços tubulares profundos.

Destaca-se que a ocorrência de contaminação das águas subterrâneas profundas utilizadas para abastecimento somente é possível nos casos onde ocorreu a migração de fase livre de substâncias imiscíveis e mais densas que a água, solventes clorados, como o tetracloroeteno e o tricloroeteno, atingindo grandes profundidades, gerando plumas dissolvidas, com vários tamanhos e formas e em vários níveis do aquífero. Nesses casos é complexa a tarefa de se obter uma estimativa representativa do volume da pluma de contaminação, fato que dificulta ou impossibilita o cálculo do Volume de Uso Direto, do Volume de Uso Indireto e do Volume de Opção.

## 6.5 ESFORÇOS DE REMEDIAÇÃO

A adoção do maior volume de água subterrânea possível (determinado na etapa de investigação detalhada), com concentração da substância química de interesse acima do valor de potabilidade no cálculo do Volume de Uso Direto, sem considerar os esforços de remediação efetuados pelo Responsável Legal, com o objetivo de remover as fontes de contaminação primária e secundária, e reduzir, ou mesmo, remover o volume de água com concentrações acima do valor de potabilidade, se constitui em uma abordagem equivocada, pois superestima o volume de água a ser utilizado, uma vez que no cálculo da indenização devem ser considerados somente os danos irreparáveis, irrecuperáveis ou intercorrentes.

## 6.6 POROSIDADE TOTAL VERSUS POROSIDADE EFETIVA

No cálculo do Volume de Uso Direto é utilizada a porosidade total, ao invés da porosidade efetiva, o que novamente superestima o volume de água a ser utilizado no cálculo do valor da indenização.

## 6.7 ATENUAÇÃO NATURAL E SUSTENTABILIDADE

Considerar o Volume de Uso Indireto no cálculo do valor da indenização, também é uma abordagem equivocada, pois também provoca uma superestimativa do volume a ser utilizado no cálculo da indenização, uma vez que se assume que a atenuação natural é produto somente da diluição provocada pela passagem de água pelo aquífero, ou seja, pela advecção associada à dispersividade. Esta abordagem não considera que há contribuição significativa de outros fenômenos na atenuação natural, como a adsorção, a volatilização, a biodegradação, as reações abióticas e a difusão molecular.

Além disso, não há sentido em cobrar o valor dos serviços prestados pela atenuação natural, uma vez que atingir a condição para que ela aconteça, nos casos de gerenciamento de áreas contaminadas, já é um esforço significativo e sustentável para se atingir a recuperação ambiental, ou a reabilitação da área, ou mesmo a reparação total ou parcial dos danos, principalmente quando esses objetivos podem ocorrer em um tempo menor do que uma geração (25 anos), o que é esperado na maioria das situações.

## 6.8 VOLUME DE OPÇÃO - ÁGUA POTÁVEL

Considerar o Volume de Opção no cálculo do valor da indenização, também é uma abordagem equivocada, pois também superestima o volume a ser utilizado no cálculo da indenização.

Esse cálculo incluiu enorme volume de água sem qualquer alteração na sua qualidade, sob a argumentação de que essa água deixou de ser utilizada, o que, em todos os casos, não é a realidade, uma vez que, nos casos relativos às áreas contaminadas, não há poços de abastecimento de água funcionando, localizados exatamente ao redor das plumas de contaminação, como foi estabelecido como premissa no método proposto pelos pesquisadores do CEPAS/USP.

Além disso, para o cálculo do Volume de Opção são utilizadas outras premissas irreais, assumindo-se, por exemplo, que há possibilidade de ocorrência de transporte das substâncias químicas de interesse em fase dissolvida da superfície do lençol freático até as profundidades onde há produção de água para abastecimento (profundidades maiores do que 50 metros na RMSP), em todos os casos e para todos os tipos de substâncias químicas, o que não é a realidade, além de serem utilizadas vazões médias de poços de abastecimento de água tubulares profundos existentes na região, o que também é completamente irreal.

Destaca-se novamente que a adoção dessas premissas inadequadas leva a obtenção de volumes de água gigantescos! Esses volumes gigantescos de água, **sem alteração de qualidade**, são incluídos no cálculo das indenizações de forma completamente injusta!

## 7. CONTRIBUIÇÃO PARA A ELABORAÇÃO DE PROCEDIMENTO PARA REPARAÇÃO DOS DANOS EM ÁREAS CONTAMINADAS

Considerando que o “*Método de Valoração da Água Subterrânea Impactada por Atividades Contaminantes no Estado de São Paulo*” (BERTOLO et al., 2019) é injusto, em função dos problemas levantados no item 6, não sendo recomendada a sua utilização para o cálculo das indenizações em ações civis públicas, são apresentadas, a seguir, sugestões para auxiliar o MP-SP na elaboração de um “*procedimento para a reparação de danos em áreas contaminadas*”, uma vez que não há método validado para aplicação como norma legal.

Para a elaboração do “*procedimento para reparação de danos em áreas contaminadas*” são sugeridas três etapas principais: identificação, caracterização e valoração dos danos.

Desta forma, para verificar se, efetivamente, ocorreram danos em uma área contaminada será necessário, inicialmente, executar a etapa de identificação de danos. Caso sejam identificados danos, esses deverão ser caracterizados, visando propiciar a sua valoração, a ser utilizada no cálculo da indenização.

Para executar as etapas de identificação, de caracterização e de valoração dos danos em uma área contaminada, deverá ser utilizada equipe multidisciplinar, uma vez que nessa avaliação podem ser identificados vários tipos de danos, como danos aos recursos ambientais, danos à saúde humana, danos a organismos e a ecossistemas, danos aos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, danos ao patrimônio público e privado e danos extrapatrimoniais, que por sua vez podem ser enquadrados em diferentes classes como, danos irrecuperáveis ou recuperáveis parcialmente, danos de interesse individual, danos de interesse coletivo e danos de interesse difuso, além de danos intercorrentes.

### 7.1 PROCEDIMENTO PARA IDENTIFICAÇÃO DOS DANOS EM ÁREAS CONTAMINADAS

Para a elaboração do procedimento para identificação dos danos em áreas contaminadas são propostas as seguintes etapas: avaliação das informações existentes relativas ao gerenciamento da área contaminada, avaliação das alterações na qualidade dos recursos naturais e da exposição aos receptores identificados e investigação dos danos.

### 7.1.1 AVALIAÇÃO DAS INFORMAÇÕES EXISTENTES RELATIVAS AO GERENCIAMENTO DA ÁREA CONTAMINADA

Para iniciar o procedimento para a identificação de danos relativos à áreas contaminadas deverão ser utilizadas as informações obtidas nas etapas do gerenciamento da área contaminada, especialmente, nas etapas de investigação detalhada e avaliação de risco, devendo ser levantados os riscos identificados, acima dos níveis aceitáveis, em função da existência da área contaminada, conforme Decisão de Diretoria 038/2017/C, ou seja:

- a) houve identificação de risco inaceitável à saúde humana?
- b) houve identificação de risco inaceitável à organismos presentes no ecossistema avaliado, ou riscos ao próprio ecossistema?
- c) houve riscos inaceitáveis aos recursos naturais em função da ultrapassagem dos padrões legais, de potabilidade, para o enquadramento dos corpos d'água, ou para outros padrões legais aplicáveis?
- d) houve riscos inaceitáveis aos recursos naturais em função da possibilidade de haver ultrapassagem (prevista por modelagem matemática) dos padrões legais, de potabilidade, para o enquadramento dos corpos d'água, ou para outros padrões legais?
- e) houve risco inaceitável à saúde ou à vida em decorrência de exposição aguda a contaminantes, ou à segurança do patrimônio público ou privado?

Em seguida deverão ser listados e descritos os receptores humanos, os receptores ecológicos, os ecossistemas, os recursos naturais e os bens públicos e privados, para os quais foram identificados riscos acima dos níveis aceitáveis na etapa de avaliação de risco do processo de gerenciamento da área contaminada.

### 7.1.2 AVALIAÇÃO DAS ALTERAÇÕES NA QUALIDADE DOS RECURSOS NATURAIS E DA EXPOSIÇÃO AOS RECEPTORES IDENTIFICADOS

Na etapa de avaliação das alterações na qualidade dos recursos naturais e da exposição aos receptores identificados, para cada receptor ou recurso natural identificado na etapa anterior deverá ser feita uma avaliação das informações existentes, geradas no processo de gerenciamento de áreas contaminadas, principalmente na etapa de execução do plano de intervenção, visando confirmar se houveram, efetivamente, alterações na qualidade dos recursos naturais ou a exposição dos receptores identificados às substâncias químicas de interesse envolvidas no caso.

Caso essas informações não sejam suficientes para descartar ou para confirmar a existência de alteração na qualidade dos recursos naturais ou a efetiva exposição dos receptores identificados deverão ser realizadas investigações adicionais, utilizando-se de métodos diretos, visando levantar novas informações que sejam conclusivas.

Caso os resultados dessa investigação adicional, considerada conclusiva, não confirmem a ocorrência de alteração na qualidade dos recursos naturais ou a efetiva exposição dos receptores identificados, estará descartada a ocorrência de dano. Por outro lado, caso essas sejam confirmadas, serão necessárias novas avaliações com o objetivo de confirmar, ou não, a ocorrência do dano na etapa seguinte de investigação dos danos.

#### 7.1.3 INVESTIGAÇÃO DOS DANOS

Uma vez caracterizada alterações na qualidade dos recursos naturais e da exposição aos receptores identificados às substâncias químicas de interesse envolvidas no caso, nesta etapa, poderá se chegar às seguintes conclusões: danos foram identificados ou há possibilidade de ocorrência de danos.

Nos casos onde há possibilidade de ocorrência de danos deverão ser iniciadas novas investigações, por meio de métodos diretos, com o objetivo de confirmar a ocorrência de danos relacionados à área contaminada em avaliação.

#### 7.2 CARACTERIZAÇÃO DOS DANOS

Uma vez identificada a existência de danos, esses deverão ser caracterizados, sendo definidas as suas dimensões, antes e após a adoção de medidas de intervenção no processo de gerenciamento da área contaminada, visando caracterizar os danos irreparáveis, irrecuperáveis e intercorrentes, para os quais deve ser feita a sua valoração.

#### 7.3 VALORAÇÃO DOS DANOS

Com base nas informações obtidas no processo de reparação dos danos ambientais deve ser realizada a valoração dos danos identificados e caracterizados, por equipe multidisciplinar, que deve considerar os esforços realizados pela adoção de medidas de intervenção no processo de gerenciamento da área contaminada.

### 8. INFORMAÇÕES ERRADAS SOBRE O GERENCIAMENTO DE ÁREAS CONTAMINADAS NO ESTADO DE SÃO PAULO

No artigo apresentado na Revista Águas Subterrâneas, pelos pesquisadores do CEPAS/USP, as informações sobre o Gerenciamento de Áreas Contaminadas no Estado de São Paulo são apresentadas de forma errada.

*“O Estado de São Paulo reporta a existência de 6110 áreas contaminadas (CETESB, 2018), sendo a maioria dessas (4384 casos) associadas com vazamentos de combustíveis em postos de serviços.”*

No Texto Explicativo da Relação de Áreas Contaminadas e Reabilitadas no Estado de São Paulo, de 2018 (CETESB, 2018), publicado no *site* da CETESB, não está citado que existem 6.110 áreas contaminadas, mas sim 6.110 áreas registradas ou cadastradas, que recebem diferentes classificações em função do estágio de investigação ou de intervenções realizadas.

Desta forma, nem todas as 6.110 áreas registradas são áreas contaminadas, na verdade, são 3.260 áreas contaminadas, ou seja, 697 Áreas Contaminadas sob Investigação, 897 Áreas Contaminadas com Risco Confirmado, 1.441 Áreas Contaminadas em Processo de Remediação e 225 Áreas Contaminadas em Processo de Reutilização.

Para atingir o número total de áreas registradas (6.110) temos 1.397 Áreas em Processo de Monitoramento para Encerramento e 1.453 Áreas Reabilitadas para o Uso Declarado, que não são classificadas como áreas contaminadas.

Estes números demonstram o sucesso do Processo de Gerenciamento de Áreas Contaminadas, conduzido pela CETESB no Estado de São Paulo, que estão apresentados no *site* da CETESB (CETESB, 2018).

No Texto explicativo da Relação de Áreas Contaminadas e Reabilitadas no Estado de São Paulo, com atualização até dezembro de 2018 (CETESB, 2018), o grande destaque foi o crescimento do número de Áreas Reabilitadas (1.453), que teve um aumento de 23% em relação ao registrado em dezembro de 2017 (1.184).

Nesse Texto Explicativo também foi destacado que a soma do número de Áreas Reabilitadas para Uso Declarado (1.453) e de Áreas em Processo de Monitoramento para Encerramento (1.397), representam 47% das áreas cadastradas (2.850 de 6.110), ou seja, praticamente metade das áreas cadastradas já estão aptas para o uso declarado, não sendo mais classificadas como áreas contaminadas.

## 9. CONCLUSÕES

O “*Método de Valoração da Água Subterrânea Impactada por Atividades Contaminantes no Estado de São Paulo*” proposto em BERTOLO et al. (2019) é injusto não sendo recomendada a sua utilização para o cálculo das indenizações em ações civis públicas relativas à danos ambientais em áreas contaminadas, promovidas pelo Ministério Público do Estado de São Paulo, uma vez que as premissas adotadas para sua definição são inadequadas.

As críticas e propostas apresentadas em BERTOLO et al. (2019), relativas aos procedimentos para gerenciamento de áreas contaminadas, descritos na Lei 13.577/2009, no Decreto 59.263/2013 e na Decisão de Diretoria 038/2017/C da CETESB, são infundadas e inaceitáveis, considerando que esses procedimentos tem como objetivo a recuperação ambiental da área contaminada, ou seja a sua reabilitação para o uso proposto, enquanto que os procedimentos para a “*reparação integral dos danos*” tem como objetivo a

valoração dos danos ambientais. A responsabilidade pela elaboração do procedimento para a “*reparação integral dos danos*”, ou seja, para a identificação, caracterização e valoração dos danos ambientais não é da CETESB, mas sim do Ministério Público Federal e dos Ministérios Públicos dos Estados, conforme estabelece a Política Nacional do Meio Ambiente.

Desta forma, considerando que até o momento não existem procedimentos específicos para “*identificação, caracterização e valoração de danos ambientais em áreas contaminadas*”, validados em norma legal, neste artigo são apresentadas sugestões, para sua elaboração.

Destaca-se que as informações apresentadas em BERTOLO et. al. (2019) sobre o processo de gerenciamento de áreas contaminadas no Estado de São Paulo estão erradas, sendo recomendando consultar o site da CETESB (CETESB, 2018) para obtenção das informações corretas.

## 10. REFERÊNCIAS

- BERTOLO, R. A.; HIRATA, R.; ALY JUNIOR, O. Método de Valoração da Água Subterrânea Impactada por Atividades Contaminantes no Estado de São Paulo. Águas Subterrâneas, v. 33, n. 3, p. 303-313, 2019.
- CARDIN, V. S. G. & BARBOSA, H. C. Formas de Reparação do Dano Ambiental. Revista de Ciências Jurídicas - UEM, v.6 n.2, p. 155-178, jul./dez. 2008.
- CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo; GTZ – Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit Gmbh. Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas. 2.ed., 2001.
- CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Relatório de Áreas Contaminadas e Reabilitadas no Estado de São Paulo (Texto Explicativo). 2018. 12p. [https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/wp-content/uploads/sites/17/2019/04/Texto-explicativo\\_dez-2018.pdf](https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/wp-content/uploads/sites/17/2019/04/Texto-explicativo_dez-2018.pdf). Acesso em 04/11/2019.
- DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica. Instrução Técnica DPO nº 006.2015.
- GLOEDEN, E. Gerenciamento de Áreas Contaminadas na Bacia Hidrográfica do Reservatório Guarapiranga. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, USP, 1999. 225p.
- MPSP – Ministério Público do Estado de São Paulo. RELATÓRIO DO GRUPO DE TRABALHO – Ato PGJ nº 36/2011, 2011. [http://www.mpsp.mp.br/portal/page/portal/cao\\_urbanismo\\_e\\_meio\\_ambiente](http://www.mpsp.mp.br/portal/page/portal/cao_urbanismo_e_meio_ambiente). Acesso em 04/11/2019.
- MPSP – Ministério Público do Estado de São Paulo. Relatório Final do Grupo de Trabalho de Valoração do Dano Ambiental (Ato PGJ 45/2012 – 27/09/2012 a 14/09/2014 - Versão Retificada (fls. 31 a 33), 2012. [http://www.mpsp.mp.br/portal/page/portal/cao\\_urbanismo\\_e\\_meio\\_ambiente/relat%C3%B3rio%20final%20-%20retificado\\_0.pdf](http://www.mpsp.mp.br/portal/page/portal/cao_urbanismo_e_meio_ambiente/relat%C3%B3rio%20final%20-%20retificado_0.pdf). Acesso em 04/11/2019.

## Artigos

# Método de Valoração da Água Subterrânea Impactada por Atividades Contaminantes no Estado de São Paulo

## Method for economic valuation of groundwaters impacted by contaminant activities in the state of São Paulo

Reginaldo Antonio Bertolo<sup>1</sup>; Ricardo Hirata<sup>1</sup>; Osvaldo Aly Junior<sup>1</sup>✉

<sup>1</sup> Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas. Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (CEPAS | USP), São Paulo, SP.

✉ [bertolo@usp.br](mailto:bertolo@usp.br), [rhirata@usp.br](mailto:rhirata@usp.br), [oalyjunior@gmail.com](mailto:oalyjunior@gmail.com)

### Resumo

#### Palavras-chave:

Valoração.  
Dano Ambiental.  
Áreas Contaminadas.  
Água Subterrânea.  
Aquífero.  
Reparação Integral.  
Recuperação Ambiental.

As águas subterrâneas apresentam uma notável importância para os ecossistemas, atuando na perenidade de rios e na sustentação da vida aquática, assim como no atendimento de vários tipos de necessidades humanas. Estas águas vêm sendo deterioradas nas últimas décadas, em especial nas áreas urbanas, colocando em risco suas funções e serviços ecossistêmicos. No Estado de São Paulo, a aplicação dos procedimentos de gerenciamento de áreas contaminadas (GAC), previstos na Lei Estadual 13577/2009 e demais instrumentos, contribuem para a melhoria das condições ambientais e propiciam condições seguras de uso do solo. Por outro lado, reconhece-se que as ações previstas no GAC não resultam na extração total de contaminantes do meio contaminado, em especial nas águas subterrâneas, o que propicia a criação de não conformidades com leis federais mais amplas, que exigem do responsável a reparação integral de um dano ambiental. Este trabalho objetiva apresentar um método de valoração dos serviços ecossistêmicos prestados pelas águas subterrâneas e aquíferos, servindo como parâmetro para a quantificação da reparação integral do dano ambiental. O método implica na realização do cálculo dos volumes de água subterrânea associados ao problema ambiental, multiplicados por um valor de custo unitário da água subterrânea. As equações utilizadas para a quantificação dos volumes de água são apresentadas, assim como uma discussão sobre a utilização dos valores unitários. O resultado final deste trabalho, avalia-se, é a criação de conformidades entre as legislações Estadual e Federal que tratam do tema.

### Abstract

#### Keywords:

Valuation.  
Environmental Damage.  
Contaminated Sites.  
Groundwater.  
Aquifer.  
Full Compensation.  
Environmental Recovery.

Revisado por pares.  
Recebido em: 26/01/2019.  
Aprovado em: 08/08/2019.

Groundwater has a remarkable importance for ecosystems, ensuring river flows and sustaining aquatic life, as well as on meeting various types of human needs. These waters have been deteriorating in the last decades, especially in urban areas, putting at risk their ecosystem functions and services. The procedures for the management of contaminated sites (GAC) in the state of São Paulo, described in the state Law 13577/2009 and its instruments, contribute to the improvement of environmental conditions and create safe conditions for land use. However, it is acknowledged that the actions foreseen in the GAC procedures do not result in the total extraction of contaminants from the environment, especially in groundwater, which leads to the creation of non-compliance with broader federal laws, which require full compensation of the environmental damages. This work aims to present a method for calculating the economic value of ecosystem services provided by groundwater and aquifers, serving as a parameter for the quantification of the full compensation of the environmental damage. The method implies the accomplishment of the calculation of groundwater volumes associated with the environmental problem, multiplied by a unit cost value of groundwater. The equations used to quantify water volumes are presented, as well as a discussion on the use of the unit values. The final result of this work, it is believed, is the creation of conformities between the State and Federal legislations that deal with the subject.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v33i3.29479>

## 1. INTRODUÇÃO

As águas subterrâneas apresentam significativa relevância no abastecimento público no Brasil, participando do suprimento de 75% dos núcleos urbanos paulistas e de 53% nos municípios brasileiros (ANA, 2015). Embora os aquíferos não sejam a principal fonte de água na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), os poços tubulares privados são essenciais por

equilibrar as demandas: a somatória das extrações de mais de 12 mil poços privados faz dos aquíferos um dos principais mananciais disponíveis, com extrações superiores a 10 mil litros por segundo (HIRATA et al., 2012).

A despeito da importância que a água subterrânea apresenta na maioria das situações, tem-se notado que os aquíferos vêm sofrendo deterioração progressiva ao longo das décadas, provocada pelas diferentes atividades humanas que ocorrem em

áreas urbanas e rurais. Dentre elas, as áreas contaminadas apresentam destaque, por serem geradas comumente em ambiente urbano-industrial onde há intensa utilização de água subterrânea por poços de abastecimento privados.

O Estado de São Paulo reporta a existência de 6110 áreas contaminadas (CETESB, 2018), sendo a maioria dessas (4384 casos) associadas com vazamentos de combustíveis em postos de serviços. Os casos conhecidos em indústrias (1158) perfazem uma minoria no cadastro, a despeito do elevado potencial de existência de casos ainda desconhecidos, dada a existência de milhares de estabelecimentos de potencial poluidor (com destaque para a cadeia produtiva de veículos automotores e da indústria química - CNI, 2014), e a existência de ao menos 2000 áreas industriais desativadas com elevado potencial poluidor (CUNHA, 1997).

Nas últimas décadas, a legislação e as políticas públicas têm sido aprimoradas, resultando na melhora das ações de gerenciamento das áreas contaminadas. Entretanto, falta à sociedade civil e aos tomadores de decisão a realização de ações efetivas para o aperfeiçoamento da proteção do recurso hídrico subterrâneo. Avalia-se que tal situação seja consequência do desconhecimento pela sociedade do real papel e valor das águas subterrâneas, não somente para o abastecimento público e privado, mas também de suas funções e serviços ecossistêmicos.

A crise hídrica paulista de 2014 e 2015 fez reforçar a importância do papel das águas subterrâneas na RMSP (BERTOLO et al., 2015). Houve uma corrida desenfreada pela construção de poços durante a estiagem, especialmente de forma irregular. Até mesmo a principal concessionária de abastecimento público (SABESP), que considera apenas os reservatórios de águas superficiais como relevantes para o abastecimento, rendeu-se à possibilidade de construção de poços tubulares em áreas de maior estresse hídrico (CEPAS-USP, 2016).

Ainda durante a referida crise, notou-se, entretanto, que os aquíferos da região industrial do Jurubatuba encontravam-se cheios, mas impedidos de ser utilizados devido à ocorrência de contaminação por solventes organoclorados. Nesta região, 41 poços de abastecimento foram interditados pelo Poder Público em 2005, representando prejuízos da ordem de dezenas de milhões de reais, que seriam evitados caso a água subterrânea pudesse de alguma forma ser utilizada.

A RMSP apresenta 136 áreas com potencial de contaminação igual ou superior ao encontrado em Jurubatuba (FABHAT-SER-VMAR, 2012), ou seja, há outras inúmeras áreas industrializadas com elevado potencial de contaminação de aquíferos, com pouco ou nenhum controle de qualidade da água subterrânea explotada. Se por um lado, a água subterrânea contribui para a segurança hídrica na RMSP, por outro nota-se que a sociedade sofre um significativo prejuízo com a perda deste recurso quando a poluição ocorre. E esta é a principal justificativa para se estabelecer uma metodologia para definir um valor monetário da importância da água subterrânea para a sociedade.

Este trabalho objetiva descrever um método para o cálculo do

valor econômico dos serviços ecossistêmicos prestados pelas águas subterrâneas e aquíferos. Este método possibilita realizar o cálculo de indenização à sociedade pelo período em que ela se mantém privada do uso do recurso contaminado, servindo como parâmetro para a quantificação da reparação integral do dano ambiental.

Os exemplos mais comuns de valoração de recursos ambientais ameaçados por atividades humanas estão relacionadas com biodiversidade, florestas e corpos de água superficial, como as apresentadas em Motta (1997). Sobre as águas subterrâneas, estudos sobre danos econômicos existem especialmente para aspectos quantitativos do recurso (ex. BANN; WOOD, 2012; FENICHEL et al., 2016; NRC, 1997) e para casos de alteração de qualidade em ambiente rural ou por intrusão salina (ex. WALKER; HOEHN, 1990; RINAUDO et al., 2003; NRC, 1997). Estudos sobre danos econômicos originados pela existência de áreas contaminadas referem-se especialmente sobre estigma e perda de valor de propriedades (ex. PAGE; RABINOWITZ, 2007; IPT, 2018). Metodologias de valoração similares à descrita neste artigo, que apresenta a água subterrânea como um recurso submetido a riscos pela ocorrência de áreas contaminadas, são raras na literatura científica, mas são discutidas em NRC (1997), para o caso de contaminação de aquíferos por organoclorados de Woburn (EUA), e em Duford (2000).

A aplicação da metodologia de valoração de águas subterrâneas pelo Poder Público, de forma pioneira, pode representar um avanço significativo para a proteção do recurso hídrico e da saúde pública, dado que fundos são necessários para a execução de projetos de monitoramento e de avaliação hidrogeológica em áreas urbanas dependentes de mananciais subterrâneos e afetadas por áreas contaminadas (Bertolo, 2017).

## 2. FUNÇÕES, SERVIÇOS E A VALORAÇÃO ECONÔMICA AMBIENTAL DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

Funções ecossistêmicas são definidas como as interações existentes entre os elementos estruturais de um ecossistema, incluindo a transferência de energia, a ciclagem de nutrientes, a regulação climática e o ciclo da água (DALY; FARLEY, 2008). Os serviços ecossistêmicos são aqueles prestados pelos ecossistemas e espécies para a sustentação das condições da vida humana na Terra, ou seja, os ecossistemas geram benefícios diretos e indiretos ao ser humano (DALY, 1997).

No que se refere às águas subterrâneas, Rebouças (2006) e Danielopol et al. (2004) identificam as suas principais funções ecossistêmicas como de Habitat, Regulação, Informação e Produção. Já os principais serviços ecossistêmicos prestados pelas águas subterrâneas são identificados como de Provisão, Regulação, Suporte e Cultural. Esses conceitos foram detalhados em Aly Jr et al. (2015) e servem de base para a metodologia de valoração.

A valoração ambiental é um método através do qual se busca estimar os custos dos passivos ambientais sobre o patrimônio natural (ANDRADE, 2010; DUNFORD, 2000; JOB, 2010). A valoração é o resultado do emprego de um conjunto de ferramentas de suporte à gestão ambiental e que permite estimar

de forma preventiva e/ou corretiva o valor dos serviços prestados pela natureza para a sociedade (MOTA, 1997, 2006).

O cálculo econômico dos recursos ambientais é realizado através do método da Valoração Econômica do Recurso Ambiental (VERA – Equação 1) (MOTA, 1997, 2006):

$$\text{VERA} = \text{Valor de Uso Direto} + \text{Valor de Uso Indireto} + \text{Valor de Opção} + \text{Valor de Existência} \quad (1)$$

No caso das águas subterrâneas e aquíferos, a composição do VERA dá-se como (HARDISTY; ÖZDEMIROGLU, 2005):

Valor de uso direto: está relacionado com a apropriação das águas subterrâneas via extração, como o fornecimento de água potável ou não potável para os diversos fins;

Valor de uso indireto: se relaciona com benefícios associados com as funções ecossistêmicas, ou seja, com a dinâmica e o funcionamento dos aquíferos, como o fluxo de base dos rios e a atenuação natural dos contaminantes nos aquíferos;

Valor de opção: é o valor atribuído à preservação do recurso que pode estar ameaçado para uso direto e/ou indireto no futuro; e

Valor de existência: são intrínsecos dos recursos e estão dissociados do uso. O valor é oriundo de uma posição moral, cultural, ética ou altruísta em relação à existência do recurso, mesmo que não representem uso atual ou futuro. Este valor é de definição subjetiva, é determinado por intermédio de entrevistas com a população e é normalmente considerado na equação quando os valores de uso direto, indireto e de opção não são aplicáveis.

### 3. REPARAÇÃO INTEGRAL VERSUS RECUPERAÇÃO DE ÁREAS CONTAMINADAS

De acordo com a Constituição Federal (artigo 225, §3º) e a Lei 6938/81 da Política Nacional de Meio Ambiente (artigo 14, §1º), o Brasil escolheu adotar a ideia de que todo dano ambiental deverá ser integralmente reparado pelo poluidor até a restituição completa do equilíbrio ecológico e das funções e serviços do ecossistema impactado. A consequência prática deste conjunto de regras é que, em casos de contaminação de água subterrânea, os serviços de remediação deveriam ocorrer até que ao menos os limites de potabilidade dos poluentes (Anexo XX da Portaria de Consolidação 5/2017-MS) sejam atingidos. Encontra-se incluída nestas regras, a ideia de que o poluidor deverá ressarcir a sociedade de todo o prejuízo

que a poluição causou no período entre o início do dano até a sua reparação total, período este que a sociedade permaneceu impedida de se beneficiar dos serviços prestados pelo recurso.

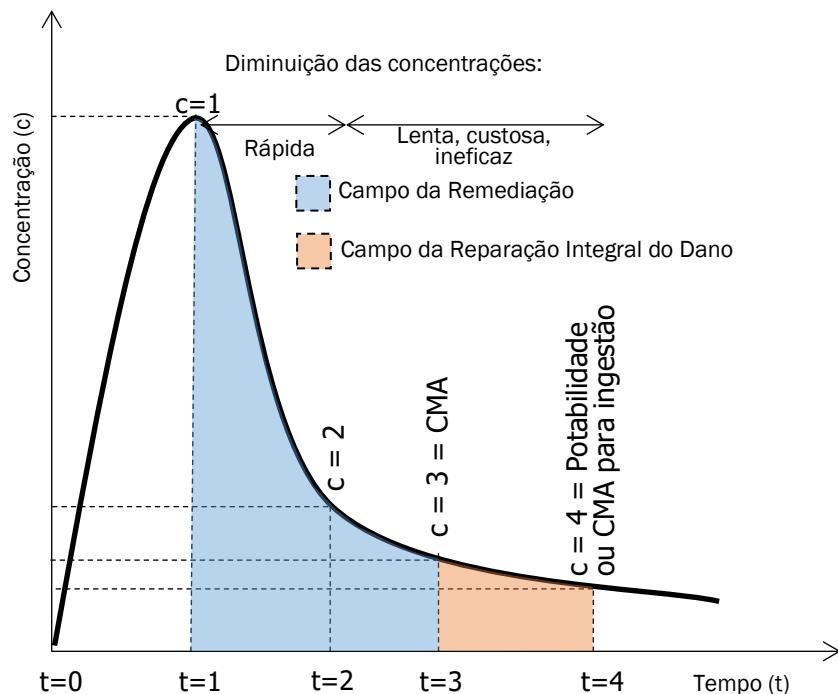
O processo de Gerenciamento de Áreas Contaminadas (GAC) apresenta, como ferramentas importantes, as regras descritas na Resolução CONAMA 420/2009 e na Lei 13577/2009 (para o Estado de São Paulo). Esta Legislação apresenta a recuperação ambiental como a meta a ser alcançada, definindo-a como um conjunto de ações que visam a isolar, conter, minimizar ou eliminar a contaminação, objetivando a utilização da área contaminada para determinado uso.

O GAC parte do princípio de que a recuperação da aptidão para determinado uso do solo é mais viável técnica e economicamente do que a reparação integral das funções e serviços ecossistêmicos originais. Portanto, o GAC não tem como meta a reparação integral do dano, mas a garantia do uso seguro da área contaminada para uma finalidade declarada. Nos casos de áreas urbanas, o GAC consiste na adoção de várias medidas que visam a preservar a saúde humana na área recuperada, mas admite a presença de alguma quantidade remanescente do contaminante em concentrações seguras para o uso futuro que se declara fazer da área.

No processo de GAC, as dimensões e intensidades da contaminação são mensuradas nos diferentes meios afetados, os receptores à contaminação são identificados e os riscos são quantificados. A recuperação da área contaminada é realizada através de ações de remediação e ações de compatibilização do uso do solo, denominadas de Plano de Intervenção. Na remediação, ações são realizadas visando à aceleração da redução das concentrações dos contaminantes até que sejam atingidas as Concentrações Máximas Aceitáveis (CMAs). Estas ações são somadas a outras medidas de controle institucional, que possibilitam a utilização de uma área contendo o contaminante em concentrações seguras para os seres humanos e para o meio ambiente, desde que certas precauções sejam tomadas.

Os campos de ação da remediação e da reparação integral são visualizados na Figura 1, que apresenta, de forma genérica, o comportamento das concentrações de um contaminante na água subterrânea desde o tempo inicial ( $t=0$ ) até o tempo em que a concentração atingiu o limite seguro para a ingestão (potabilidade ou CMA para ingestão) ( $t=4$ ), passando por um período intermediário de execução de atividades de remediação, entre os tempos  $t=1$  e  $t=3$ .

**Figura 1** – Comportamento genérico das concentrações de contaminantes na água subterrânea antes, durante e após a execução de medidas de remediação



Durante o espalhamento da contaminação, as concentrações se elevam entre os tempos  $t=0$  e  $t=1$ . Após a realização das investigações, avaliação de riscos à saúde humana/ambiental (se necessário), da definição de Concentrações Máximas Aceitáveis (CMAs) e do plano de intervenção no tempo  $t=1$ , a remediação se inicia e se estende até o tempo  $t=3$ , quando a CMA é atingida. As concentrações diminuem rapidamente de  $t=1$  a  $t=2$ , mas o ritmo da queda das concentrações do contaminante na água subterrânea diminui consideravelmente de  $t=2$  a  $t=3$  (CMAs). Entre  $t=3$  e  $t=4$ , o método de GAC garante que os riscos estão controlados, mas a água subterrânea está impossibilitada de uso como fonte de água potável, enquanto os serviços ambientais de atenuação natural não reduzem as concentrações até os limites seguros para a ingestão ( $C=4$ ). O tempo entre  $t=3$  e  $t=4$ , não raro, é longo, pois as concentrações  $C=3$  (CMAs) e  $C=4$  (limite seguro para a ingestão) são pequenas. Isto, associado às complexidades hidrogeológicas, faz frequentemente criar limitações que tornam a remediação ineficaz e antieconômica. Desta forma, é razoável considerar a existência de situações de contaminação de água subterrânea classificáveis como economicamente e/ou tecnicamente inviáveis, dada a impossibilidade das concentrações alcançarem os limites seguros para a ingestão entre os tempos  $t=2$  e  $t=4$  num período razoável e compatível com o estabelecido pela legislação.

A complexidade hidrogeológica e a toxicidade dos contaminantes fazem com que as distâncias entre as concentrações  $C=2$ ,  $C=3$  e  $C=4$  sejam específicas para cada caso. Complexidades hidrogeológicas e biogeoquímicas podem fazer a concentração  $C=2$  ser muito maior que a  $C=3$ , inviabilizando qualquer ação de remediação; concentrações  $C=3$  (CMA) podem ser menores que os limites de potabilidade ( $C=4$ ) em algumas

situações, o que pode tornar questionável o próprio valor da potabilidade como indicador da reparação integral do dano ambiental.

Na maioria das situações, entretanto, as ações de recuperação (remediação) são mais limitadas que a reparação integral do dano, especialmente por razões econômicas e técnicas. As ações de GAC, apesar desta limitação, representam uma abordagem imprescindível, pois possibilitam a reabilitação, revitalização e reutilização de áreas contaminadas de forma segura e viável economicamente. A realização da valoração da água subterrânea é, portanto, o caminho possível para complementar a lacuna que existe entre a recuperação da qualidade da água subterrânea executada pelas ações de GAC e a reparação integral do dano a este recurso exigidas pela Legislação. Os recursos obtidos com a aplicação da ferramenta de valoração poderiam ser revertidas para a execução de projetos destinados à própria melhoria das condições dos recursos hídricos subterrâneos e à proteção da saúde pública. A valoração não representa uma ferramenta de punição ao responsável legal pela área contaminada, mas um instrumento técnico que possibilita obter recursos que complementam os trabalhos de gestão de áreas contaminadas pelo poder público, proporcional ao tamanho do problema ambiental.

A valoração de águas subterrâneas pode ser realizada em paralelo aos procedimentos de GAC. Isto se deve pois dados do meio físico e da contaminação são necessários para a quantificação do volume de água que foi impactada. Estes estarão disponíveis com a conclusão da etapa de Investigação Detalhada do GAC, quando as plumas terão seus limites e taxas de propagação definidos, assim como as CMAs e o Plano de Intervenção (ações de remediação e/ou de controle institucional).

nal). O momento ideal para a execução da valoração corresponde, portanto, ao tempo  $t=1$  (Figura 1).

#### 4. MÉTODO DE QUANTIFICAÇÃO DO VALOR DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

##### 4.1. Equações de Valoração da Água Subterrânea

O quadro 1 exibe as equações gerais que são utilizadas para a valoração da água subterrânea (VERA) em suas diferentes funções e serviços ecossistêmicos (Equação 1). De uma forma geral, para as diferentes finalidades, a valoração é calculada multiplicando-se um volume de água num determinado tempo por um valor de custo unitário da água.

A Equação 2 é utilizada nas situações em que um volume de aquífero com água subterrânea contaminada é conhecido. O valor total da água corresponde à multiplicação deste volume por um custo unitário de sua substituição, que varia em função da finalidade da água, se para fins potáveis ou não potáveis.

A Equação 3 se aplica especialmente nas situações de uso indireto da água subterrânea, quando suas funções e serviços ecossistêmicos estão comprometidos pela inadequação de sua qualidade como fluxo de base para um corpo de água superficial. O valor da água se calcula multiplicando a vazão de

descarga do aquífero pelo tempo em que o aquífero deixa de prestar sua função/serviço, por um custo unitário, que pode ser associado ao tratamento da água para adequação ao enquadramento da classe do corpo receptor.

A Equação 4 é aplicada nas situações em que se deseja calcular os serviços prestados pelo próprio aquífero em realizar a atenuação natural de uma pluma de contaminação. Sabendo-se as dimensões de uma pluma, calcula-se a vazão do aquífero que passa através da pluma durante o tempo em que os serviços de atenuação natural realizam a reparação integral do dano ambiental.

A Equação 5 pode ser aplicada em situações específicas, quando um dano ambiental resulta em perdas coletivas, como numa hipotética situação de contaminação de um aquífero de água mineral em um balneário. As perdas de faturamento da economia do balneário durante o tempo de recuperação da atividade econômica podem servir de critério para a determinação do valor total da água.

Para o cálculo do valor de opção, são utilizadas as mesmas equações para a obtenção do valor de uso direto. O valor de existência, como indicado anteriormente, é subjetivo e determinado nas situações em que os valores dos demais usos não são aplicáveis.

**Quadro 1** – Equações gerais para dimensionar o valor da água subterrânea em suas diferentes funções e serviços

Função e/ou Serviço Ecossistêmico	Equação
Serviço de Provisão: Fornecimento de água potável ou não potável, mediante extração, para consumo humano e diversos fins (uso direto).	$VA = V_{cont} * R\$$ (2)  $VA = \text{Valor da Água (em R\$)};$ $V_{cont} = \text{Volume de água contaminada em um aquífero (em m}^3\text{)};$ $R\$ = \text{Custo de substituição da água (em R\$/m}^3\text{)}.$
Função de Regulação/ Serviços de Suporte: Reservação subterrânea de água de recarga por chuva ou por recarga artificial (uso indireto).	$VA = Fl_{base} * t * R\$$ (3)  $VA = \text{Valor da Água (em R\$)}$ $Fl_{base} = \text{vazão de descarga de água subterrânea contaminada (fluxo de base) no rio (em m}^3/\text{ano)};$ $t = \text{tempo de descarga (em anos)};$ $R\$ = \text{Custo da água tratada para o enquadramento da classe do rio, conforme padrões da Resolução CONAMA 357/2005 (em R\$/m}^3\text{)}.$
Função de Habitat/ Serviços de Regulação: Fluxo de base que pereniza rios, garante irrigação, pesca, aquicultura, transporte fluvial e geração de energia (uso indireto).	$VA = Q_{aqf} * t * R\$$ (4)  $VA = \text{Valor da Água (em R\$)}$ $Q_{aqf} = \text{vazão do aquífero através de uma seção perpendicular à pluma de contaminação (em m}^3/\text{ano)};$ $t = \text{tempo da atenuação natural (em anos)};$ $R\$ = \text{Custo de substituição da água (em R\$/m}^3\text{)}.$
Serviço de Suporte: Atenuação natural dos contaminantes (uso indireto).	$VA = Perda faturamento (R\$/ano) \times \text{Tempo de Recuperação da Atividade Econômica (anos)}$ (5)
Função de Informação/ Serviços Culturais: Turismo e lazer.	

## 4.2. Cálculos de Volumes de Água Subterrânea a serem Valorados

Considerando a existência de uma pluma de contaminação em um aquífero (Figura 2) e o comportamento das concentrações no tempo conforme indicado na Figura 1, os volumes de água a serem valorados correspondem à somatória: (1) do volume da pluma no tempo  $t=1$ ; (2) do volume de água relativo ao tempo decorrido entre os momentos  $t=3$  e  $t=4$  (associado com os serviços ambientais prestados pela atenuação natural no futuro, após a remediação); e (3) do volume de aquífero adjacente à pluma de contaminação, cuja opção de uso da água é impedida para evitar a migração da pluma induzida pelo bombeamento de um poço.

As figuras 2 e 3 conceituam os volumes da pluma e da área adjacente de restrição de uso futuro no tempo  $t=1$ . A Equação

1, de valoração econômica (VERA), é utilizada para calcular os volumes de água considerados, mediante um custo unitário de água potável ou não potável. A Equação 6 representa a VERA adaptada a esta situação.

$$\text{VERA} = [\text{Volume de Uso Direto} + \text{Volume de Uso Indireto} + \text{Volume de Opção}] * \text{R\$} \quad (6)$$

Onde:

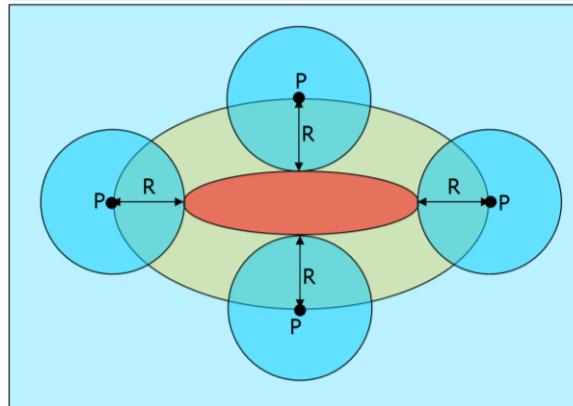
Volume de Uso Direto = Volume da pluma no presente ( $t_1$ ) (Figura 2 e Equação 1);

Volume de Uso Indireto = Volume da pluma previsto entre  $t_3$  e  $t_4$  (Equação 4);

Volume de Opção = Volume de água potável adjacente à pluma, com restrição de uso futuro (Figuras 2 e 3 e Equação 1);

R\\$ = valor do  $\text{m}^3$  de água potável

**Figura 2** – Situação em planta de uma pluma de contaminação genérica no tempo  $t=1$ , incluindo a área adjacente, de restrição de uso futuro. As distâncias  $R$  dos poços de produção  $P$  em relação à pluma de contaminação definem a área de restrição de bombeamento (em verde claro)



1. Pluma de contaminação no tempo  $t_1$
2. Área adjacente à pluma com água subterrânea potável, mas com restrição de uso futuro, por existência de risco de migração da pluma caso haja bombeamento.
3. Área segura, sem restrição de uso futuro da água potável.

### 4.2.1. Cálculo do volume de uso direto (pluma no tempo $t=1$ )

O volume de água subterrânea na pluma de contaminação no tempo  $t=1$  é obtido pela medição da área da pluma, da sua espessura e da porosidade total do aquífero na pluma, com a utilização da Equação 7. Os limites da pluma correspondem a todo o volume com concentrações acima dos limites de potabilidade do contaminante.

$$V_{\text{pluma}}(t_1) = V_{\text{aqcont}} * n \quad (7)$$

onde:

$V_{\text{aqcont}}$  = volume de aquífero contaminado (acima da potabilidade). Representa a área da pluma vezes a sua espessura média ( $\text{L}^3$ );

$n$  = porosidade total do aquífero ( $\text{L}^3 \cdot \text{L}^{-3}$ ).

de remediação ( $t=3$ , quando as CMAs são alcançadas) e o atingimento da potabilidade da água subterrânea ( $t=4$ , Figura 1). Neste período, os serviços ambientais de atenuação natural serão prestados pelo aquífero, mas a água subterrânea ainda terá a sua utilização restrinida.

O Volume  $t_3-t_4$  (Equação 8) é obtido multiplicando-se a vazão do trecho do aquífero impactado (Lei de Darcy – Equação 9) pelo tempo necessário para o decaimento das concentrações  $C_3$  a  $C_4$  por atenuação natural (Figura 1). Este tempo se calcula através da equação de decaimento de primeira ordem (Equação 10).

$$\text{Volume } t_3-t_4 = Q * t \quad (8)$$

$$Q = K * A * \Delta h / \Delta l \quad (9)$$

$$t = -\ln(C_4/C_3) / \lambda \quad (10)$$

onde:

$Q$  = vazão do aquífero impactado ( $\text{L}^3 \cdot \text{T}^{-1}$ );

$t$  = tempo do decaimento das concentrações entre  $t=3$  e  $t=4$  ( $\text{T}$ );

$K$  = condutividade hidráulica ( $\text{L}/\text{T}$ );

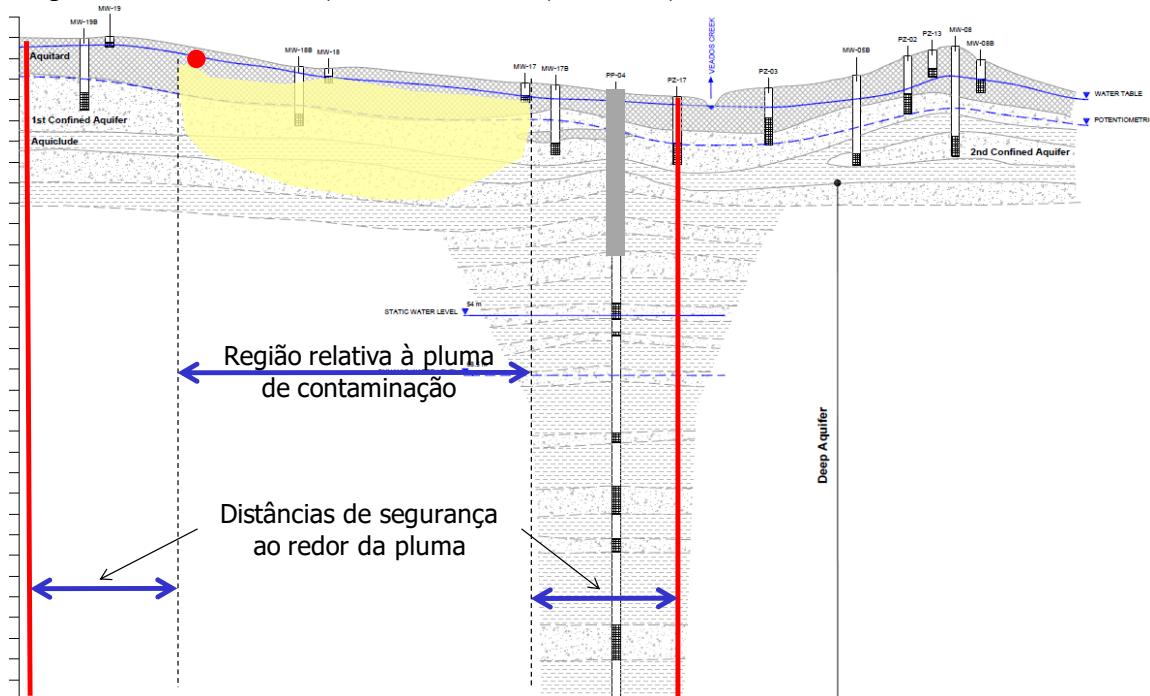
### 4.2.2. Cálculo do volume de uso indireto (pluma entre os tempos $t=3$ e $t=4$ )

Como indicado anteriormente, uma pluma de contaminação residual poderá ocorrer entre os tempos do fim das atividades

A = área da seção transversal à pluma de contaminação, perpendicular ao sentido do fluxo de água subterrânea ( $L^2$ );  
 $\Delta h/\Delta l$  = gradiente hidráulico ( $L.L^{-1}$ );  
 $C_3$  = concentração da meta de remediação baseada em risco ( $M.L^{-3}$ );  
 $C_4$  = concentração da meta de potabilidade ou CMA de ingestão ( $M.L^{-3}$ );  
 $\lambda$  = taxa constante de decaimento ( $T^{-1}$ ).

A taxa constante de decaimento pode ser obtida por três métodos descritos em Wiedemeier et al., (1999): pelo balanço de massa, através de monitoramento das concentrações no campo por no mínimo três eventos anuais; pelo uso de traçadores, como o trimetilbenzeno, seguida de aplicação de equação apropriada; e o método que assume equilíbrio de estado estacionário, desenvolvida por Buscheck e Alcantar (1995).

**Figura 3** – Seção exibindo o modelo conceitual de uma pluma de contaminação no tempo  $t=1$  (em amarelo), num aquífero contendo um poço, incluindo a área adjacente, de restrição de uso futuro, delimitada pelas distâncias de segurança ao redor da pluma e pela região imediatamente abaixo da pluma, até a base útil explotável do aquífero



#### 4.2.3. Cálculo do volume de opção

O volume de opção corresponde àquele adjacente à pluma de contaminação cujo uso da água subterrânea é restringido, a fim de que não haja o espalhamento da pluma por bombeamento de um poço localizado nos arredores.

A ideia de proteção do usuário deste volume de aquífero já vem sendo utilizada como ação de gerenciamento no Estado de São Paulo: o artigo 3º da Resolução Conjunta SMA/SE-RHS/SES nº 3 (São Paulo, 2006) indica o Estado pode conceder ou não a outorga de um novo poço, caso este se situe numa distância de até 500 m de uma área contaminada conhecida.

Com base no apresentado nas figuras 2 e 3, uma distância das bordas da pluma ao poço em bombeamento deve ser definida para garantir que a água permaneça potável em longo prazo e evitar o espalhamento da pluma de contaminação no aquífero em direção ao poço.

Os limites de segurança são função de uma série de variáveis, dentre elas a vazão do poço, a porosidade, espessura saturada e a condutividade hidráulica do aquífero, a sua potenciometria, se os poços são totalmente penetrantes ou não, se há

interferências hidráulicas entre poços, o tipo do contaminante e as suas taxas de degradação e, especialmente, o grau de heterogeneidade do aquífero.

Um cálculo mais exato desta distância é possível pela utilização de modelos numéricos de fluxo e transporte, que requer, entretanto, a obtenção de grande quantidade de dados para descrever os aquíferos heterogêneos, o deslocamento da pluma de contaminação neste meio e as condições de transição da exploração dos poços de produção.

Existem outros métodos simples para a delimitação de perímetro de proteção de poços, como o raio fixo calculado ou o método de modelos analíticos, que implicam em realização de simplificações nas determinações (FOSTER et al., 2002; IRI-TANI & EZAKI, 2010). O método do raio fixo calculado é o que melhor se ajusta ao cálculo do volume de opção. Se fundamenta numa abordagem geométrica em que uma área circular é definida ao redor do poço, cujo raio é estabelecido por uma equação analítica de fluxo volumétrico (USEPA, 1994). No caso específico, para uma pluma de contaminação preeexistente, o raio  $R$  será a distância a partir do poço que irá definir o volume de opção e, portanto, a área em que novos poços não deverão ser instalados ao redor da pluma (Figura 2).

A Equação 11 indica que o raio é calculado a partir de um tempo de trânsito definido, escolhido como limite de critério, em função das taxas diárias de bombeamento, porosidade efetiva e espessura saturada do aquífero.

$$R = \sqrt{\frac{Q \cdot t}{\pi \cdot b \cdot n_e}} \quad (11)$$

onde:

R = raio fixo calculado (L);

Q = vazão do poço de produção ( $L^3 \cdot T^{-1}$ );

t = tempo de trânsito (T);

b = espessura da zona saturada do aquífero (L);

$n_e$  = porosidade efetiva ( $L^3 \cdot L^{-3}$ ).

Os pressupostos utilizados para a adoção do método do raio fixo calculado são de que: (1) o aquífero é homogêneo e isotrópico; (2) o poço tem vazão constante; (3) o aquífero não possui gradiente hidráulico; (4) há fluxo horizontal radial ao redor do poço; e (5) o poço é totalmente penetrante no aquífero. Valores de parâmetros hidrogeológicos de aquíferos do Estado de São Paulo são obtidos em Carvalho & Hirata (2012), Iritani & Ezaki (2010) e em Conicelli (2014).

Na Equação 11, a variável mais sensível é o tempo de trânsito, que é definido de forma arbitrária em função do grau de persistência do contaminante. Em geral, um tempo de trânsito de 50 dias é utilizado para a definição da zona de proteção microbiológica imediatamente ao redor de poços de produção (FOSTER et al., 2002). Para contaminantes persistentes, móveis e de degradação complexa, como os solventes organoclorados, a proposta é a de utilização de um valor de tempo de trânsito de 10 anos, conforme utilizado em países europeus (FOSTER et al., 2002; CARVALHO & HIRATA, 2012). Este valor é considerado de segurança, pois haverá tempo para a ocorrência de atenuação natural do contaminante, que faria reduzir as concentrações na pluma de contaminação. Para os hidrocarbonetos leves de petróleo (gasolina, diesel e similares), o tempo de trânsito de 2 anos é indicado (FOSTER et al., 2002), por serem de degradabilidade mais rápida.

### 4.3. Valores Unitários da Água Subterrânea

Na valoração, os volumes totais são multiplicados pelo valor de custo unitário do metro cúbico de água (Equação 6). Neste trabalho, o valor unitário da água subterrânea é discutido de duas formas: um equivalente aos custos de substituição ou de

extração de água subterrânea por poços; e outro equivalente aos custos de realização da gestão dos recursos hídricos subterrâneos em longo prazo.

#### 4.3.1. Valores Equivalentes aos Custos de Substituição e de Extração de Água Subterrânea

A água subterrânea pode ter valor correspondente àquele de substituição da água fornecida por uma concessionária pública ou por uma empresa privada (como aquelas que distribuem água por caminhão pipa). Esta situação pode se aplicar especialmente quando um usuário de água subterrânea tem o seu poço interditado devido à contaminação do aquífero e é obrigado a utilizar a água de abastecimento público em sua substituição. Como referência, nos dias atuais, a concessionária SABESP pratica o valor de R\$ 20,42 pelo metro cúbico de água tratada para consumidores industriais e comerciais na RMSP (acima de 50 m<sup>3</sup>/mês – SABESP, 2019).

A água subterrânea pode também ter o seu valor correspondente aos custos de extração de água por poços tubulares, que correspondem àqueles que os usuários teriam com a construção, operação e manutenção do poço ao longo de 30 anos de sua vida útil. A Tabela 1 exibe os valores do custo do m<sup>3</sup> de água subterrânea extraída por poços situados nos aquíferos sedimentar e cristalino da RMSP, com base em dados médios observados de profundidade e de vazão de outorga dos poços (HIRATA et al. 2012). Dentre as variáveis utilizadas para o cálculo do custo, a mais sensível é a vazão de operação do poço. Assim, uma vazão correspondendo à metade da outorgada resultará que o custo do m<sup>3</sup> será o dobro do apresentado na Tabela 1. Outra variável sensível refere-se aos custos de operação do poço, representada pela mão de obra que fará o acompanhamento diário do funcionamento do sistema.

#### 4.3.2. Valores Equivalentes aos Custos de um Projeto de Gestão

Em situações de casos complexos de contaminação da água subterrânea, onde várias áreas fontes próximas podem ocorrer e as porções mais profundas dos aquíferos são impactadas sem que as responsabilidades tenham sido identificadas claramente, o exercício da aplicação das medidas institucionais previstas na Legislação por parte dos responsáveis legais das áreas contaminadas tem efeito limitado.

**Tabela 1** – Variáveis consideradas para o cálculo do custo do metro cúbico de água extraídos de poços tubulares profundos

	Poço Sedimentar	Poço Cristalino
Profundidade (m)	150	300
Vazão de outorga (m <sup>3</sup> /h)	8	8
Vazão de operação (m <sup>3</sup> /h)	8	8
Custo de construção (R\$ em 30 anos)	330.000	220.000
Manutenção (R\$ por mês) <sup>(1)</sup>	617	633
Operação (R\$ por mês) <sup>(2)</sup>	5.000	5.000
Instalação e manutenção de estação de tratamento para remoção de Fe (R\$/mês) <sup>(3)</sup>	650	650
Custos com monitoramento de qualidade da água (análises químicas) (R\$/mês) <sup>(4)</sup>	1500	1500
Produtos químicos (R\$/mês) <sup>(5)</sup>	528	528
Energia elétrica (R\$/mês) <sup>(6)</sup>	1628	2559
Outorga e cobrança de uso (R\$/mês)	196	196
Custo total mensal (R\$/mês) <sup>(7)</sup>	12.905	13.279
Custo total em 30 anos (R\$)	4.746.697	4.780.612
Vazão de operação (m <sup>3</sup> em 30 anos)	1.728.000	1.728.000
Custo do m <sup>3</sup> <sup>(8)</sup>	2,75	2,77

(1) Inclui estimativa de custos de subcontratados, peças e bombas submersas (substituídas a cada 5 anos); (2) custos da equipe de operação, controle e inspeção diária do funcionamento do sistema; (3) inclui os custos de equipamento e mão de obra de uma estação de tratamento para remoção de concentrações de 1 mg/L de Fe (substituídas a cada 5 anos); (4) relacionados com o plano de monitoramento do Anexo XX da Portaria de Consolidação MS 5/2017; (5) hipoclorito de sódio, utilizado para desinfecção; (6) operação de bombas submersas de 7 e 11 HP de potência, regime de 600 horas/mês e custo de energia de R\$ 0,52/kWh; (7) acrescido de um fator de contingenciamento de 20%; (8) calculado dividindo-se o custo total em 30 anos pela vazão de operação em 30 anos. Quantidades e valores obtidos pelo CEPAS-USP para a realização desta pesquisa. Todos os valores se referem a outubro/2018.

Exemplos desta situação são as várias áreas industriais que ocupam regiões extensas na RMSP, como aquelas das várzeas dos principais rios da região (Tietê, Pinheiros e Tamanhuateí, até a região do ABCD), e as vizinhas às principais rodovias da região. Em todas elas, a água subterrânea representa um importante insumo gerador do desenvolvimento, embora uma boa parcela destas áreas industriais encontre-se abandonada, ociosa ou subutilizada e apresentando contaminação (*brownfields*). Em muitos desses casos, a estratégia de gerenciamento individual de áreas contaminadas tem funcionamento limitado, dada a maior probabilidade de não existência de um responsável legal identificável para várias das propriedades (BARBOSA *et al.*, 2017).

Nestas situações de regiões industriais amplas, avalia-se que a participação do Estado tenha que ser mais efetiva, através da organização e realização de projetos de gestão integrada de áreas contaminadas, adequando as atividades a estratégias consonantes à escala do problema ambiental (BERTOLO, 2017). Recursos públicos seriam necessários, desta forma, para: (1) a formação de banco de dados para a gestão de áreas contaminadas, possibilitando a geração de estudos em escalas apropriadas às atividades de planejamento; (2) a realização de investigações da qualidade do solo e água subterrânea em áreas públicas e industriais onde o responsável legal não tenha sido determinado; (3) o monitoramento da qualidade dos aquíferos explorados por poços tubulares, de forma a realizar a proteção à saúde de usuários de poços próximos

de áreas contaminadas; e (4) desenvolver e adaptar tecnologias para a investigação e monitoramento de detalhe da hidrogeologia e do transporte de contaminantes nos aquíferos.

O valor unitário do custo da água subterrânea seria, desta forma, obtido a partir da determinação do custo total de um projeto de gestão integrada de longo prazo, e que seria compartilhado entre os responsáveis legais de uma determinada área geográfica afetada pela contaminação. O montante a ser compartilhado por cada responsável legal seria proporcional ao volume de água afetado por cada área contaminada identificada, calculado através da metodologia proposta neste trabalho.

## 5. CONCLUSÕES

Este trabalho objetivou desenvolver uma metodologia para o cálculo do valor econômico dos serviços ecossistêmicos prestados pelas águas subterrâneas e pelos aquíferos. A realização da valoração da água subterrânea complementa a lacuna que existe entre a recuperação da qualidade da água subterrânea, executada pelas ações de GAC, e a necessidade da reparação integral do dano a este recurso, exigidas pela Legislação.

A metodologia de valoração adotada implica na realização do cálculo dos volumes de água subterrânea associados com o

problema ambiental, multiplicado por um valor de custo unitário de sua substituição. O cálculo dos volumes demanda que valores de vários parâmetros hidrogeológicos e geoquímicos dos contaminantes sejam determinados. Os valores unitários da água subterrânea podem ser definidos a partir dos custos de sua substituição ou extração por poços, ou mesmo a partir do compartilhamento dos custos de um projeto de interesse coletivo para a gestão de recursos hídricos subterrâneos no contexto de áreas contaminadas.

A metodologia proposta não tem a pretensão de delimitar os volumes de forma exata, assim como também não utiliza um valor econômico exato para a água subterrânea, dado que este mercado não existe. Mas ela se cabe como uma referência técnica de aplicação simples, de forma que possibilita a quantificação relativa dos problemas ambientais, pois casos de contaminação de maiores dimensões tendem a resultar maiores volumes a serem valorados.

O montante calculado pode não ser considerado o definitivo a ser cobrado, mas é apropriado como uma referência inicial para a negociação com o responsável legal pela contaminação. A disposição para pagar pelo responsável, por sua vez, tende a ser maior à medida que se faz clara a forma como os recursos serão aplicados, em especial se estes forem utilizados para a gestão da água subterrânea e melhoria das condições ambientais do próprio local afetado pelas áreas contaminadas.

## AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos ao geólogo Antônio Pinhatti pela contribuição ao cálculo do custo da água por poços tubulares (Tabela 1). E ao Ministério Público do Estado de São Paulo pelo financiamento e suporte a esta pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- ALY JR, O.; BERTOLO, R.; HIRATA, R.; PUGGA, B.P. Princípios da valoração dos recursos hídricos subterrâneos impactados por atividades contaminantes. In: LUTTI, J.E.I.; LEITE, L.F.T.C.; ROCHA, L.F.; SERRA, T.B. (Org.). *Temas de direito ambiental*. 1.ed. SP: Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, p.161-184. 2015.
- ANDRADE, D. C. *Modelagem e valoração de serviços ecossistêmicos: uma contribuição da economia ecológica*. Tese (Doutorado) - Instituto de Economia, UNICAMP, 2010.
- BANN, C.; WOOD, S.C. Valuing groundwater: A practical approach for integrating groundwater economic values into decision making – A case study in Namibia, Southern Africa. International Conference on Groundwater Special Edition. Water SA, v. 38, n. 3, p.461-466, 2012.
- BARBOSA, M., BERTOLO, R., HIRATA, R. A Method for Environmental Data Management Applied to Megasites in the State of São Paulo, Brazil. *Journal of Water Resource and Protection*, v. 9, n. 3, p.322-338, 2017.
- BERTOLO, R. *Bases técnicas para a gestão de áreas contaminadas por solventes organoclorados em aquíferos fraturados*. Tese (Doutorado de Livre Docência) - Instituto de Geociências, USP, 2017.
- BERTOLO, R.; HIRATA, R.; CONICELLI, B.; SIMONATO, M.; PINHATTI, A.; FERNANDES, A. Água subterrânea para abastecimento público na Região Metropolitana de São Paulo: é possível utilizá-la em larga escala? *Revista DAE*, 199, p. 6-17, 2015.
- BUSCHECK, T.E., ALCANTAR, C.M., Regression Techniques and Analytical Solutions to Demonstrate Intrinsic Bioremediation. In: *Proceeding of the Batelle International Symposium on In Situ and On-Site*, Columbus, OH Batelle Press, p. 109-116, 1995.
- CARVALHO, A.M. e HIRATA, R. Avaliação de métodos para a proteção dos poços de abastecimento público do Estado de São Paulo. *Geologia USP*, Série Científica, v.12, n. 1, p.53-70, 2012.
- CEPAS-USP. Estudo hidrogeológico para o diagnóstico da disponibilidade hídrica subterrânea para o abastecimento de água na Região Metropolitana de São Paulo. SABESP: Relatório Técnico (circulação restrita), 2016. 126p.
- CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Relatório de Áreas Contaminadas e Reabilitadas no Estado de São Paulo. CETESB. 2018. 12p. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/relacao-de-areas-contaminadas/>. Acesso em 23/07/2019.
- CNI – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. *Perfil da Indústria nos Estados*. Relatório. CNI. Brasília. 2014. 220p.
- CONICELLI, B. *Gestão das águas subterrâneas na Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (SP)*. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, USP.. 2014. 163 p.
- CUNHA, R.C.A. *Avaliação de risco em áreas contaminadas por fontes industriais desativadas – estudo de caso*. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, USP, 1997. 165 p.
- DALY, H. *Nature's services: societal dependence on natural ecosystems*. Island Press, Washington, DC, 1997. 392p.
- DALY, H., FARLEY, J. *Economia Ecológica: princípios e aplicações*. Instituto Piaget, Portugal, 2008. 532 p.
- DANIELOPOL, D. L.; GIBERT, J.; GRIEBLER, C.; et al. Incorporating ecological perspectives in european groundwater management policy. *Environmental Conservation*, v.31, n.3, p.185–189, 2004.
- DUNFORD, R. W. Estimating groundwater damage from hazardous substance releases. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v.126, n. 6, p.366-373, 2000.
- FABHAT-SERVMAR. *Mapeamento das áreas potenciais de risco de contaminação das águas subterrâneas na UGRHI 6 e suas regiões de recarga*. Relatório síntese. FABHAT, São Paulo. 2012. 38p.
- FENICHEL, E.P.; ABBOTT, J.K.; BAYHAM, J. BOONE, W., HAACKER, E.M.K., PFEIFFER, L. Measuring the value of groundwater and other forms of natural capital. *PNAS Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. v.113, n. 9, p.2382-2387. 2016.
- FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. *Groundwater quality protection: a guide for water utilities, municipal authorities and environmental agencies*. World Bank Publication, Washington, D.C. 2002. 103 p.
- HARDISTY, P.E. e ÖZDEMIROGLU, E. *The Economics of Groundwater Remediation and Protection*. CRC Press, 2005. 336 p.
- HIRATA, R.; BERTOLO, R.; CONICELLI, B.P.; MALDANER, C. *Hidrogeologia da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê*. In Negro et al. *Twin Cities – Solos das Regiões Metropolitanas de São Paulo e Curitiba*. ABMS. São Paulo. p.67-82. 2012.
- IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. *A produção imobiliária e a reabilitação de áreas degradadas: contratação de serviços, responsabilidades legais e viabilidade de empreendimentos*. IPT/SECOVI, São Paulo/SP, 2018. 122p.
- IRITANI, M. e EZAKI, S. Roteiro orientativo para delimitação de área de proteção de poço. *Cadernos do Projeto Ambiental Estratégico Aquíferos*. 1. ed., n.2. Instituto Geológico SMA-SP. São Paulo, 2010. 48 p.
- JOB, C.A. *Groundwater economics*. CRC Press, EUA, 1. ed. 687p. 2010.

- MOTA, R. S. *Economia ambiental*. RJ: Editora FGV, 2006. 228 p.
- MOTA, R. S. *Manual para a Valoração Econômica de Recursos Ambientais*. RJ: IPEA/PNUD/CNPq, 1997. 242 p.
- NRC - US NATIONAL RESEARCH COUNCIL. *Valuing ground water: economic concepts and approaches*. Committee on Valuing Groundwater, Commission on Geosciences, Environment and Resources. National Academy Press, Washington DC, 1997. 202 p.
- PAGE, G.W.; RABINOWITZ, H. Groundwater Contamination: Its Effects on Property Values and Cities. *Journal of the American Planning Association*, v. 59, n. 4, p.473-481, 1993.
- REBOUÇAS, A. Águas Subterrâneas. In REBOUÇAS, A., BRAGA, B., TUNDISI, J. G. (org). *Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. 3. ed. São Paulo: Escrituras Editora, p.111-144, 2006.
- RINAUDO, J.D.; LOUBIER, S.; GÖERLACH, B.; INTERWIES, E. *Economic assessment of groundwater protection. Executive Summary*. BRGM/RC-52323-FR. 2003. 30 p.
- SABESP. *Comunicado 05/19. Valores de tarifas de água para a RMSP, Interior e Litoral, com vigência após 11/05/2019*. Disponível em: [http://site.sabesp.com.br/site/uploads/file/asabesp\\_docket/Comunicado%205-19.pdf](http://site.sabesp.com.br/site/uploads/file/asabesp_docket/Comunicado%205-19.pdf). Acesso em 23/07/2019.
- SÃO PAULO (SMA, SERHS, SES). (2006). *Resolução conjunta SMA/SE-RHS/SS n. 3, de 21.06.2006*. Disponível em: <https://ctesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/legislacao/>. Acesso em 23/07/2019.
- USEPA – U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Groundwater and wellhead protection Handbook*. EPA/625/R-94/001. USEPA, Office of Research and Development, Washington, 1994. 288p.
- WALKER, D.R.; HOEHN, J.P. The economic damages of groundwater contamination in small rural communities: An application to nitrates. *NORTH Central Journal of Agricultural Economics*, v. 12, n. 1, p.47-56. 1990.
- WIEDEMEIER, T.H.; RIFAI, H.S.; NEWELL, C.J.; WILSON, J.T. *Natural Attenuation of Fuels and Chlorinated Solvents in the Subsurface*. John Wiley & Sons Inc. New York. 1999. 617p.