

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

Rayza Cristina de Oliveira

Valoração Econômica de Danos Ambientais em Áreas Contaminadas:
Estudo de caso da contaminação mercurial em Descoberto – MG

Juiz de Fora
2018

Rayza Cristina de Oliveira

**Valoração Econômica de Danos Ambientais em Áreas Contaminadas:
Estudo de caso da contaminação mercurial em Descoberto – MG**

Trabalho Final de Curso apresentado ao Colegiado do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Área de concentração: Meio Ambiente

Linha de pesquisa: Gerenciamento de áreas contaminadas

Orientador: Prof. Dr. Otávio Eurico de Aquino Branco

Juiz de Fora

2018

**“Valoração Econômica de Danos Ambientais em Áreas Contaminadas:
Estudo de caso da contaminação mercurial em Descoberto – MG”**

Rayza Cristina de Oliveira

Trabalho Final de Curso submetido à banca examinadora constituída de acordo com o artigo 9º da Resolução CCESA 4, de 9 de abril de 2012, estabelecida pelo Colegiado do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Aprovada em 6 de dezembro de 2018.

Por:

Prof. Dr. Luiz Evaristo Dias de Paiva

Prof. Dr. Jonathas Batista Gonçalves Silva

Prof. Dr. Otávio Eurico de Aquino Branco
Orientador

AGRADECIMENTOS

Essa é talvez a parte mais importante do trabalho, pois ela nos permite agradecer a cada um dos envolvidos nessa minha conquista. Agradeço a Deus pela capacidade e os dons que me foram dados, pelas bênçãos e forças derramadas a cada dia para que hoje eu pudesse chegar até aqui. Agradeço ao amparo da espiritualidade amiga que sempre me valeu nos momentos mais difíceis. Agradeço a minha tão amada vó Zezé que sempre cuidou e zelou por mim, pela educação que me foi dada e que me transformou no ser humano que sou hoje. Foi com a senhora que eu aprendi a ser grata e por isso agradeço por cada mínimo gesto seu. Nada do que eu disser vai ser o suficiente para agradecer a imensidão do que a senhora fez por mim, desde a sua maravilhosa comida preparada que me fortaleceu o corpo, até suas orações que fortaleceram a alma. Agradeço a minha mãe por sempre se preocupar com os meus estudos e em me dar sempre o melhor, tudo o que você me proporcionou foi imprescindível para que eu concluísse essa etapa. Obrigada por acreditar em mim mesmo quando eu estava desanimada. Obrigada pela palavra amiga que motivou a seguir. Agradeço ao meu pai por ser esse amigo-irmão, por estar sempre presente me auxiliando no que fosse necessário. Obrigada pela preciosa relação de confiança que sempre mantivemos e pelo apoio que sempre me foi dado em todos os sentidos. Agradeço aos meus tios e tias com muito carinho, que formaram uma rede de proteção na minha vida, que me ajudaram desde um simples dever, com entrega de trabalhos, levar para fazer provas, entre muitas outras coisas. Agradeço a vocês por toda ajuda dada. Agradeço ao meu amor Igor por ser sempre esse amigo e companheiro, pelo incentivo que sempre me deu e pela parceria nos momentos difíceis. Agradeço meu irmão pelo amor compartilhado. Agradeço a minha vó Tuca pelos cuidados dispensados a mim. Agradeço ao meu professor e orientador Otávio pelo desafio que me foi dado, o que me agregou muito conhecimento e auxiliou meu crescimento profissional. Aos professores Jonathas e Evaristo que contribuíram imensamente neste trabalho. Agradeço a professora Maria Helena e o professor Samuel, os quais eu tive o prazer de trabalhar e enxergar o mundo de uma forma diferente através do projeto de extensão. Agradeço o professor Fabiano pelo bom humor e o carinho que tornaram mais agradáveis o dia a dia da faculdade. Agradeço a Sônia por ser sempre tão prestativa facilitando a minha vida acadêmica e dos demais alunos. Agradeço a todos os professores da Faculdade de Engenharia pelo conhecimento passado. Agradeço o trabalho de todos os funcionários que permitiram a existência e o funcionamento da UFJF. Agradeço o Julião da SRS pela disponibilidade e atenção. Agradeço a Marília, Ederwanda, Gisele, Marilena, Ilsa e Carolina pelo o carinho e os conhecimentos transmitidos no meu período de estágio na SMA. A ajuda de todos vocês foi combustível para essa conquista. Por tanto a vitória é nossa. Muito obrigada!

RESUMO

O intenso desenvolvimento econômico e tecnológico que tem ocorrido ao longo dos anos acarretou uma significativa degradação ambiental, a qual comprometeria o bem-estar da população e colocaria limites no crescimento econômico. Conciliar a conservação ambiental com o crescimento da economia de forma a atingir o desenvolvimento sustentável é um grande desafio para nossa sociedade, principalmente porque as atividades econômicas são planejadas sem levar em conta as externalidades ambientais, ou seja, os custos que a sociedade paga por um dano causado ao recurso ambiental por determinada atividade ou terceiros. Embora os recursos ambientais não tenham seu preço reconhecido no mercado, seu valor econômico existe na medida que seu uso altera o bem-estar e qualidade de vida das pessoas. Neste sentido a valoração econômica ambiental pode ser utilizada como uma ferramenta útil para estimar o valor econômico do recurso ambiental (ou do dano causado) em relação ao mercado de bens e serviços. Neste contexto, este estudo buscou quantificar o valor do dano ambiental causado pela contaminação de mercúrio devido ao garimpo de ouro pretérito no município de Descoberto, na Zona da Mata do Estado de Minas Gerais. Para obter o valor econômico do dano ambiental causado pela contaminação mercurial foi utilizado o Método DEPRN elaborado pelo extinto Departamento Estadual de Proteção de Recursos Naturais da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. A aplicação do método é bastante simples, e consiste na utilização de um quadro e uma tabela para quantificar o fator de multiplicação. Esse fator é multiplicado pelo custo de recuperação da área contaminada. Foi realizada uma revisão das pesquisas e dos estudos realizados na área objeto deste trabalho para identificar os danos e os seus agravos. O valor econômico do dano ambiental obtido com aplicação do método foi de R\$ 14.238.582,08 (quatorze milhões, duzentos e trinta e oito mil, quinhentos e oitenta e dois reais e oito centavos). Esse valor pode ser ainda maior, porque não foram considerados nenhum impacto dos aspectos ambientais “fauna”, “flora” e “paisagem” por falta de estudos que comprovem os danos causados devido a contaminação de mercúrio e pela falta de conhecimento das características da área anterior à contaminação. E apesar dos gastos envolvidos na recuperação serem altos, nem todas as complexas propriedades de um atributo ambiental serão repostas pela simples substituição do recurso, mas já nos fornecem uma ideia dos prejuízos econômicos causados pela alteração na provisão do recurso natural.

Palavras-chave: Valoração Econômica Ambiental. Método do DEPRN. Gerenciamento de áreas contaminadas.

Sumário

1	Introdução	6
2	Objetivos.....	8
2.1	Objetivo Geral	8
2.2	Objetivos Específicos.....	8
3	Gerenciamento de Áreas Contaminadas.....	9
3.1	Aspectos Legais	9
3.1.1	Legislação Federal	9
3.1.2	Legislação Estadual	11
3.2	Aspectos Técnicos	12
3.2.1	Etapas de Gerenciamento de Áreas Contaminadas	15
3.2.2	Declaração de Áreas Contaminadas e Suspeitas de Contaminação	21
4	Valoração Econômica Ambiental	22
4.1	Valor Econômico do Dano Ambiental.....	22
4.2	Valor Econômico do Recurso Ambiental	23
4.3	Métodos de Valoração Econômica Ambiental	24
4.3.1	Métodos Diretos (Métodos da Função de Demanda)	25
4.3.2	Métodos Indiretos (Métodos da Função da Produção)	27
4.3.3	Método DEPRN.....	31
5	ESTUDO DE CASO: Contaminação mercurial em Descoberto – MG	39
5.1	Justificativa do estudo	40
5.2	Estudos realizados sobre o mercúrio e sobre a contaminação em Descoberto – MG	41
5.2.1	Contaminação mercurial nos solos	41
5.2.2	Contaminação mercurial nos sedimentos.....	43
5.2.3	Contaminação mercurial na água	45
5.2.4	Contaminação mercurial na atmosfera.....	47
5.3	Metodologia.....	50
5.3.1	Área de estudo	50
5.3.2	Método de Valoração do Dano Ambiental.....	51
5.4	Resultados e Discussão	52
5.4.1	Legislação brasileira sobre mercúrio	52
5.4.2	Custo de recuperação da área contaminada	52
5.4.3	Aplicação do Método DEPRN	53
5.5	Conclusões	58
	REFERÊNCIAS	59
	ANEXO A - DEPRN - Critérios de qualificação de agravos	65
	ANEXO B – Planilha orçamentária do projeto de descontaminação	73

1 Introdução

O intenso desenvolvimento econômico e tecnológico ocorrido após o fim da Segunda Guerra Mundial, acarretou uma significativa degradação ambiental, a qual comprometeria o bem-estar da população e colocaria limites no crescimento da economia. Com a preocupação de que algo deveria ser feito para proteção do meio ambiente, surgiu nos anos 60, os chamados “movimentos verdes”, que passaram a debater sobre a questão ambiental e possíveis mudanças no padrão de produção e consumo da sociedade. Neste contexto, a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento elaborou em 1987, o Relatório Brundtland, também conhecido como “Nosso Futuro Comum”, que concebeu a ideia de desenvolvimento sustentável, sendo definido como “o desenvolvimento que satisfaz as necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades”, criticando o modelo de desenvolvimento adotado pelos países industrializados e reproduzido pelas nações em desenvolvimento, e enfatizando os riscos do uso excessivo dos recursos naturais sem considerar a capacidade de suporte dos ecossistemas (ARAÚJO, 2013; MUELLER, 1996).

Segundo Motta (1998), desde o Relatório de Brundtland, conciliar crescimento econômico com conservação ambiental é um grande desafio para a sociedade atual. Então, para atingirmos o desenvolvimento sustentável, precisamos desenvolver uma gestão de forma em que o gestor acomode no orçamento financeiro limitado das instituições com opções que visem a proteção ambiental e o bem-estar da população. Portanto, para que o gestor possa tomar decisões acertadas, a valoração econômica de recursos ambientais pode ser utilizada como uma ferramenta útil para estimar o valor econômico deste em relação ao mercado de bens e serviços (MOTTA, 1970).

Com relação aos danos ambientais causados por atividades antrópicas, o princípio do poluidor-pagador (PPP) é a base para se falar em análise econômica destes danos. De acordo com o Princípio 16, da Declaração do Rio de Janeiro (1992), o poluidor deve “arcar com o custo decorrente da poluição, as autoridades nacionais devem promover a internalização dos custos ambientais e o uso de instrumentos econômicos, levando na devida conta o interesse público, sem distorcer o comércio e os investimentos internacionais (COLOMBO, 2006; ROSI, 2016). E ainda, a lei 6.938, de 31 de agosto de 1981, que instituiu a Política Nacional do Meio Ambiente, também corrobora a ideia de impor ao poluidor e ao predador, a obrigação de recuperar e/ou indenizar os danos causados.

Os custos por danos ambientais quando não são pagos por quem os produzem são externalizados através do sistema econômico para terceiros. Ou seja, os indivíduos que consomem, mesmo que indiretamente, também não pagam por esses custos. Consequentemente, alguém está degradando, mas não está fazendo a devida compensação que o PPP define (ARAÚJO, 2013).

Neste contexto, este estudo buscou quantificar o valor do dano ambiental causado pela contaminação de mercúrio devido ao garimpo de ouro pretérito no município de Descoberto, na Zona da Mata do Estado de Minas Gerais, classificada como “passivo órfão”, em que os custos de recuperação e indenização não podem ser imputados à entidade geradora, posto que não é identificada, sendo o primeiro caso de gerenciamento de área órfã do Estado.

2 Objetivos

2.1 Objetivo Geral

Constitui-se objetivo geral do trabalho contribuir para os estudos de valoração de dano ambiental de áreas contaminadas, tendo como estudo de caso a contaminação mercurial no município de Descoberto, no estado de Minas Gerais.

2.2 Objetivos Específicos

Constituem-se objetivos específicos desta pesquisa:

1. Levantamento da legislação aplicada ao Gerenciamento de Áreas Contaminadas.
2. Revisão bibliográfica da valoração econômica ambiental e suas metodologias.
3. Selecionar entre as metodologias de valoração a que melhor se aplica para o estudo de caso.
4. Levantamento dos estudos de diagnóstico e de recuperação ambiental relativos à contaminação mercurial em Descoberto – MG.
5. Quantificar o valor do dano ambiental causado pela contaminação de mercúrio devido ao garimpo de ouro pretérito em Descoberto – MG.

3 Gerenciamento de Áreas Contaminadas

O Gerenciamento de Áreas Contaminadas – GAC é o conjunto de medidas tomadas com o intuito de minimizar o risco proveniente da existência de áreas contaminadas à população e ao meio ambiente, proporcionando os instrumentos necessários à tomada de decisão quanto às formas de intervenção mais adequadas (COPAM, 2008).

Dessa forma, esse capítulo irá apresentar Aspectos Legais e Aspectos Técnicos relacionados ao GAC.

3.1 Aspectos Legais

3.1.1 Legislação Federal

A contaminação do solo e das águas subterrâneas é um problema que vem ganhando grande importância no Brasil nos últimos anos em função do aumento do número de áreas impactadas. Inicialmente, o único instrumento legal do gerenciamento de áreas contaminadas era a Constituição Federal do Brasil de 1988. Segundo a Constituição Federal do Brasil de 1988-Capítulo VI, artigo 225º, “todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações”. De acordo com o parágrafo 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”. E ainda, segundo o parágrafo 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”.

Segundo a Lei Federal nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que estabelece a Política Nacional do Meio Ambiente, artigo 4º, inciso VII, é “imposto ao poluidor e ao predador, a obrigação de recuperar e/ou indenizar os danos causados e, ao usuário, da contribuição pela utilização de recursos ambientais com fins econômicos”. De acordo com o artigo 14, o não cumprimento das medidas necessárias à preservação ou correção dos inconvenientes e danos causados pela degradação da qualidade ambiental sujeitará os transgressores à multa simples ou diária, à perda ou restrição de incentivos e benefícios fiscais concedidos pelo Poder Público, à perda ou suspensão de participação em linhas de financiamento em estabelecimentos oficiais de crédito e à suspensão de sua atividade. E ainda, no parágrafo 1º, “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".

A Lei Federal nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, também conhecida como Lei dos Crimes Ambientais. São considerados crimes ambientais, toda e qualquer ação que causar poluição de qualquer natureza que resulte ou possa resultar em danos à saúde ou que provoque a mortandade de animais ou a destruição significativa da flora.

A Resolução CONAMA nº 420, de dezembro de 2009, alterada pela 460/2013, que “dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas”, no Capítulo IV trata das Diretrizes para o Gerenciamento de Áreas Contaminadas. No artigo 21º, são definidos os princípios básicos para o GAC:

Art. 21. São princípios básicos para o gerenciamento de áreas contaminadas:

I - a geração e a disponibilização de informações;

II - a articulação, a cooperação e integração interinstitucional entre os órgãos da União, dos estados, do Distrito Federal e dos municípios, os proprietários, os usuários e demais beneficiados ou afetados;

III - a gradualidade na fixação de metas ambientais, como subsídio à definição de ações a serem cumpridas;

IV - a racionalidade e otimização de ações e custos;

V - a responsabilização do causador pelo dano e suas consequências; e,

VI - a comunicação de risco.

A Lei nº 6.766, 19 de dezembro de 1979, que “dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano”, no inciso II, do parágrafo único do artigo 3º, estabelece que não será permitido o parcelamento do solo em terrenos que tenham sido aterrados com material nocivo à saúde pública, sem que sejam previamente saneados.

A Resolução CONAMA nº 2, de 22 de agosto de 1991, que "dispõe sobre o tratamento a ser dado às cargas deterioradas, contaminadas ou fora de especificações", no artigo 1º, estabelece que "as cargas deterioradas, contaminadas, fora de especificação ou abandonadas são tratadas como fontes potenciais de risco para o meio ambiente até manifestação do órgão de Meio Ambiente competente", estando sujeito os infratores às penas previstas na legislação vigente.

3.1.2 Legislação Estadual

A Deliberação Normativa COPAM nº116, 27 de junho de 2008, que “dispõe sobre a declaração de informações relativas à identificação de áreas suspeitas de contaminação e contaminadas por substâncias químicas no Estado de Minas”, ressalta a necessidade de levantamento de informações referente às áreas suspeitas de contaminação e contaminadas por substâncias químicas, em empreendimentos cujas as atividades têm potencial de contaminação do solo e águas subterrâneas, visto que, a existência de áreas com solos contaminados pode configurar sério risco à saúde pública e ao meio ambiente. As informações cadastradas no Banco de Declarações Ambientais – BDA, possibilita a elaboração do Inventário Estadual de Áreas Contaminadas, que torna pública as informações pertinentes às áreas contaminadas, dando transparência às medidas empreendidas pelo Estado, bem como pelos responsáveis pelas contaminações (FEAM, 2016).

Ainda de acordo com o parágrafo único, do artigo 7º da DN COPAM nº 116, fica estabelecido que “até que sejam definidas normas nacionais ou específicas para o Estado de Minas Gerais, serão adotadas as normas da Cia. de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB e da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT pertinentes, para o gerenciamento das áreas suspeitas ou contaminadas, de acordo com o caso”.

A Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 02, de 08 de setembro de 2010, “institui o Programa Estadual de Gestão de Áreas Contaminadas, que estabelece as diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por substâncias químicas”. De acordo com o artigo 4º, os valores orientadores, a declaração de áreas suspeitas de contaminação e contaminadas, o Inventário Estadual de Áreas Suspeitas de Contaminação e Contaminadas, o Plano Ambiental de Fechamento de Mina – Pafem, o Plano de Encerramento de Atividades, o Plano Diretor e legislação de uso e ocupação do solo, os procedimentos técnicos para gerenciamento de áreas contaminadas, a comunicação de risco e a educação ambiental são alguns dos instrumentos para a proteção da qualidade do solo e para o gerenciamento de áreas contaminadas.

A Deliberação Normativa COPAM nº 166, 29 de junho de 2011, alterou o Anexo I da DN COPAM/CERH nº 02/10, estabelecendo os Valores de Referência de Qualidade dos Solos para o Estado de Minas Gerais, passando a vigorar o anexo único desta Deliberação Normativa.

A Deliberação Normativa COPAM nº 217, de 06 de dezembro de 2017, apresenta em seu Anexo Único uma listagem com as atividades e empreendimentos que apresentam potencial poluidor/degradador do meio ambiente.

3.2 Aspectos Técnicos

Os aspectos técnicos relacionados ao gerenciamento de áreas contaminadas, fundamentar-se-á na Resolução CONAMA nº 420/09, nas Deliberações Normativas COPAM Nº 116/08, COPAM/CERH Nº 02/10, COPAM Nº 166/11 e no que foi preconizado pelo Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas (Projeto CETESB – GTZ; Cooperação Técnica Brasil – Alemanha) e a Decisão de Diretoria Nº 103/2007/C/E, de 22 de junho de 2007.

Para avaliação da qualidade do solo e da água subterrânea, quanto à presença de substâncias químicas, devemos basear nos valores orientadores do Anexo I da DN COPAM 166/11. Os valores orientadores podem ser definidos como:

- I. Valores de Referência de Qualidade (VRQ): utilizados para caracterizar a ocorrência natural de substâncias químicas, considerando a política de prevenção e controle das funções do solo.
- II. Valores de Prevenção (VP): utilizados para indicar alterações da qualidade do solo que possam prejudicar sua funcionalidade e disciplinar a introdução de substâncias químicas no solo.
- III. Valores de Investigação (VI): utilizados para desencadear e definir ações de investigação e controle, indicando a necessidade de ações para resguardar os receptores de risco.

Para os solos que apresentam concentrações de substâncias químicas menores ou iguais ao VRQ não serão requeridas ações de gerenciamento na área de estudo. Para os solos que apresentam concentrações de pelo menos uma substância química maior do que o VRQ e menor ou igual ao VP, poderá ser verificada a possibilidade de ocorrência natural da substância ou da existência de fontes de poluição, com indicativos ou não de ações preventivas de controle, quando couber, não envolvendo necessariamente investigação. Para os solos que apresentam concentrações de pelo menos uma substância química maior que o VP e menor ou igual que o VI, será requerida a identificação e controle das fontes potenciais de contaminação, a avaliação da ocorrência natural da substância, e o monitoramento da qualidade do solo e da água subterrânea. E para os solos e águas subterrâneas que apresentam concentrações de pelo menos

uma substância química maior que o VI, serão requeridas ações para o gerenciamento da área contaminada.

A metodologia utilizada no gerenciamento de áreas contaminadas é constituída por etapas sequenciais, utilizando as informações obtidas em cada etapa como base para execução da etapa posterior, objetivando otimizar os recursos técnicos e econômicos, e classificar a área de estudo. As áreas são classificadas como:

a) Área com Potencial de Contaminação (AP): Aquela em que ocorrer atividades que, por suas características, possam acumular quantidades ou concentrações de substâncias químicas em condições de ocasionar contaminação do solo e das águas subterrâneas e acarretar danos à saúde humana e ao meio ambiente. Outras atividades não passíveis de regularização ambiental no Estado de Minas Gerais, a critério do órgão ambiental competente, também poderão ser consideradas.

b) Área Suspeita de Contaminação (AS): Aquela em que, mediante avaliação preliminar, for comprovada a existência de um ou mais indícios de contaminação relacionados na listagem a seguir:

- I. Área que teve ou tem disposição diretamente no solo, sem proteção, de matérias-primas, insumos e produtos, contendo pelo menos uma das seguintes substâncias químicas: Solventes orgânicos halogenados e não halogenados, hidrocarbonetos clorados voláteis, e não voláteis, dioxinas e furanos, compostos orgânicos nitrogenados, fosfatados e sulfurados (não agrotóxicos), hidrocarbonetos aromáticos e policíclicos aromáticos, fenóis, produtos da refinação do petróleo, alcatrão e similares, agrotóxicos, ácidos, bases, anidridos, metais, ligas e compostos metálicos, compostos inorgânicos de elevada toxicidade (cianetos, fluoretos, cromatos, sulfetos), substâncias utilizadas na mineração e substâncias explosivas.
- II. Área onde ocorreu acidente com derrame no solo de qualquer uma das substâncias químicas listadas no item anterior;
- III. Área onde foi detectado vazamento, infiltração ou acidente em tubulações, tanques e equipamentos de qualquer uma das substâncias químicas listadas no item I;
- IV. Área onde é detectada a presença de substância química, identificada por meio da presença física na superfície ou subsuperfície do solo ou a constatação de odores provenientes do solo.

- V. Área que teve ou tem disposição diretamente no solo, sem proteção, ou onde ocorreu vazamento, infiltração ou acidente com derrame no solo de resíduos perigosos ou não inertes, conforme classificação da Norma Técnica NBR 10.004/2004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas, ou daquela(s) que lhe suceder;
- VI. Área com indícios de contaminação de espécies animais e vegetais ou de seres humanos em decorrência da contaminação do solo e águas subterrâneas;
- VII. Área que apresenta outras evidências de contaminação do solo ou das águas subterrâneas.

c) Área Contaminada sob Investigação (AI): Aquela em que for comprovadamente constatada, mediante Investigação Confirmatória, a contaminação com concentrações de substâncias químicas no solo ou nas águas subterrâneas acima dos Valores de Investigação.

d) Área Contaminada sob Intervenção (ACI): Aquela em que for constatada a presença de substâncias químicas em fase livre, ou for comprovada a existência de risco à saúde humana, após investigação detalhada e avaliação de risco.

e) Área em Processo de Monitoramento para Reabilitação (AMR): Aquele em que for atingida a redução do risco aos níveis toleráveis, de acordo com as metas estipuladas na avaliação de risco, e também, não for caracterizada situação de perigo e não for verificada situação de risco à saúde humana igual ou superior aos níveis aceitáveis de acordo com a avaliação de risco.

f) Área Reabilitada para o Uso Declarado (AR): Aquela em que, após período de monitoramento para reabilitação, seja confirmada a eliminação do perigo ou a redução dos riscos a níveis toleráveis para o uso declarado.

Diante do exposto, a classificação da área de estudo será decorrente das informações obtidas em cada etapa do gerenciamento de áreas contaminadas, que são: identificação, avaliação preliminar, investigação confirmatória, investigação detalhada, avaliação de risco, remediação e monitoramento, que serão detalhadas a seguir.

3.2.1 Etapas de Gerenciamento de Áreas Contaminadas

1) Identificação de áreas com potencial de contaminação

Nessa etapa, são identificadas as áreas existentes na região de interesse em que ocorreu ou ocorre atividades com potencial de contaminação do solo e das águas subterrâneas e que podem acarretar danos aos bens a proteger.

A definição sobre quais atividades podem ser classificadas como potencialmente contaminadoras deve se basear, principalmente, na natureza das substâncias que são empregadas na mesma. Considerando o potencial poluidor/degradador sobre as variáveis ambientais ar, água e solo, a Tabela 1 do Anexo Único da Deliberação Normativa COPAM nº 217, de 06 de dezembro de 2017, apresenta uma listagem com atividades que são consideradas potencialmente contaminadoras, que são passíveis de licenciamento ambiental no Estado de Minas Gerais. Além dessas, a critério do órgão ambiental competente, outras atividades poderão ser consideradas potencialmente contaminadoras, como depósitos de resíduos sólidos urbanos, oficinas mecânicas, garagem de ônibus, dentre outras atividades não passíveis de regularização ambiental no nível estadual.

As informações sobre a Área Potencialmente Contaminada (AP) podem ser obtidas através do levantamento de dados existentes, de investigações, utilizando-se fotografias aéreas, e do recebimento e atendimento de denúncias ou reclamações. Essas diferentes técnicas podem ser utilizadas de preferência como técnicas complementares, em função das suas disponibilidades para a região de interesse.

Os dados assim obtidos devem ser tratados e apresentados em base cartográfica com escala apropriada. Esses resultados serão utilizados, posteriormente, como base para a execução da etapa de avaliação preliminar.

Poderá ser solicitada ao responsável por uma AP, mediante justificativa técnica, a execução de monitoramento da área e de seu entorno a fim de subsidiar ações de proteção da qualidade do solo e das águas subterrâneas.

2) Avaliação preliminar

Nesta etapa é realizada uma avaliação inicial com base nas informações disponíveis, como levantamento histórico, imagens e fotos, estudos sobre o meio físico, inspeções em campo e entrevistas visando fundamentar a suspeita de contaminação de uma área.

O levantamento histórico tem como objetivo recompor o cenário em que foram desenvolvidas as atividades de manejo, produção, armazenamento e disposição de substâncias em uma área, além da evolução do uso e ocupação do solo nas adjacências e o posicionamento dos bens a proteger.

Os estudos sobre o meio físico objetiva principalmente determinar as vias potenciais de transporte dos contaminantes e a localização e caracterização de bens a proteger que possam ser atingidos.

A obtenção de dados através de inspeção de reconhecimento da área é feita por meio de observações em campo e por entrevistas com pessoas do local e ajudam adquirir informações que não seriam obtidas com base na simples observação, e devem ser realizadas preferencialmente por equipe multidisciplinar

Os dados obtidos devem ser interpretados para estabelecer um modelo conceitual inicial da área, que poderá ser utilizado como base para o planejamento das etapas de investigação confirmatória e detalhada.

Caso a avaliação preliminar confirme os indícios de contaminação a área passa a ser classificada como Área Suspeita de Contaminação (AS), e o responsável deverá iniciar imediatamente a investigação confirmatória e realizar a Declaração de Áreas Suspeitas de Contaminação ou Contaminadas por meio de um formulário disponibilizado pela FEAM para preenchimento e envio em meio eletrônico.

3) Investigação confirmatória

A etapa de investigação confirmatória tem como objetivo principal confirmar ou não a existência de contaminação nas áreas suspeitas de contaminação, no solo e nas águas subterrâneas, em concentrações acima dos valores de investigação, identificadas na etapa de avaliação preliminar.

O processo de confirmação da contaminação dá-se, basicamente, pela tomada de amostras de solo e/ou água subterrânea para análises químicas. O número de amostras coletadas deve ser reduzido, porém suficiente para comprovar a contaminação.

Para local esses pontos e definir a profundidade de investigação, toma-se como base o conhecimento adquirido sobre a área na etapa de avaliação preliminar, onde foi definido o modelo conceitual inicial da área.

Em seguida, deve ser feita a interpretação dos resultados das análises realizadas nas amostras coletadas pela comparação dos valores de concentração obtidos com os valores orientadores estabelecidos no Anexo I da DN COPAM 166/11.

A critério do órgão ambiental competente, uma área na qual a investigação confirmatória indicar valores entre VP e VI poderá ser monitorada por no mínimo por dois anos, com periodicidade mínima semestral.

Ao ser confirmada a contaminação, o responsável pela área deverá, imediatamente, comunicar o fato ao órgão ambiental e realizar os estudos de investigação detalhada e de avaliação de risco, independente de manifestação prévia do órgão acerca do relatório de investigação confirmatória apresentado, sem prejuízo de qualquer complementação que venha a ser eventualmente solicitada. Assim, a área passa a ser classificada como Área Contaminada sob Investigação (AI), e a partir da data da classificação dada pelo órgão ambiental, o prazo de reabilitação da área é de até seis anos. O prazo poderá ser revisto, em função da magnitude e complexidade do caso, mediante apresentação de justificativa técnica, junto ao órgão ambiental competente.

Quando a concentração de uma substância for reconhecida pelo órgão ambiental como de ocorrência natural no solo ou nas águas subterrâneas, a área não será considerada (AI), entretanto, será necessária a implementação de ações específicas de proteção à saúde humana, definidas pelos órgãos competentes.

4) Investigação detalhada

Na etapa de investigação detalhada devem ser avaliadas as características da fonte de contaminação e do meio afetado, através da determinação das dimensões da área afetada, dos tipos e concentrações dos contaminantes presentes e da pluma de contaminação, para subsidiar a execução da avaliação de riscos e, conseqüentemente, para a definição das intervenções necessárias na área contaminada.

A metodologia utilizada para execução da etapa de investigação detalhada é semelhante à utilizada para a execução da etapa de investigação confirmatória, entretanto, os objetivos são diferentes.

Enquanto na etapa de investigação confirmatória o objetivo principal é confirmar a presença de contaminação na área suspeita, na etapa de investigação detalhada o objetivo principal é quantificar a contaminação, isto é, avaliar detalhadamente as características da fonte

de contaminação e dos meios afetados, determinando-se as dimensões das áreas ou volumes afetados, os tipos de contaminantes presentes e suas concentrações. Da mesma forma, devem ser definidas as características da pluma de contaminação, como seus limites e sua taxa de propagação.

5) Avaliação de risco

A avaliação de risco tem o objetivo de quantificar os riscos gerados pelas áreas contaminadas aos bens a proteger, como a saúde da população e os ecossistemas, para edificações, instalações de infraestrutura urbana, produção agrícola, entre outros. Essa quantificação é baseada em princípios de toxicologia, química e no conhecimento sobre o comportamento e transporte dos contaminantes.

Na avaliação de risco devem ser considerados os principais contaminantes nos diversos meios, bem como sua quantificação, identificar a população potencialmente atingida pela contaminação, as principais vias de exposição e determinar as concentrações de ingresso dos contaminantes. A partir desses dados, o risco é quantificado comparando o nível tolerável de risco à saúde humana com as concentrações existentes nos meios afetados e do uso proposto para a área.

O nível tolerável de risco à saúde humana, para substâncias carcinogênicas, é a probabilidade de ocorrência de um caso adicional de câncer em uma população exposta igual ou superior de 100.000 (cem mil) indivíduos. Já para substâncias não carcinogênicas, são aqueles valores de quociente de risco total inferiores a 1 (um), a que uma pessoa possa estar exposta por toda a sua vida. Em casos específicos, o órgão ambiental competente poderá considerar outros valores de níveis toleráveis de risco à saúde humana para substâncias carcinogênicas.

Os resultados da avaliação de risco podem subsidiar a tomada de decisão quanto às ações a serem implementadas, de modo a promover a recuperação da área para um uso definido. Em alguns casos, tais ações podem restringir-se à compatibilização do uso do solo com o nível de contaminação apresentado, não havendo, neste caso, necessidade de realização das etapas posteriores.

A avaliação de risco possibilita tanto a priorização na alocação de recursos financeiros para o gerenciamento de múltiplos sítios contaminados quanto a racionalização e maior eficiência no seu uso, o que é de extrema importância em um cenário de baixa disponibilidade de investimentos para a área (CÂNDIDO, 2017).

Caso seja constatada a presença de substâncias químicas em fase livre, ou for comprovada a existência de risco à saúde humana, a área será classificada com Área Contaminada sob Intervenção (ACI).

Quando a área contaminada implicar em impactos significativos aos recursos ambientais, o gerenciamento do risco poderá se basear nos resultados de uma avaliação de risco ecológico, a critério do órgão ambiental competente e justificado tecnicamente.

6) Remediação

A remediação é uma das ações de intervenção para reabilitação de área contaminada, que consiste em aplicação de técnicas, visando à remoção, contenção ou redução das concentrações de contaminantes. Na etapa de avaliação de riscos são definidos os objetivos da remediação, e devem ser selecionadas as técnicas mais adequadas entre as existentes.

As alternativas de intervenção para reabilitação de áreas contaminadas devem contemplar: a eliminação de perigo ou redução a níveis toleráveis dos riscos à segurança pública, à saúde humana e ao meio ambiente; restrição dos usos e ocupação do solo e das águas superficiais e subterrâneas; aplicação de técnicas de remediação e o monitoramento.

O responsável por uma Área Contaminada sob Intervenção (ACI) deve submeter ao órgão ambiental competente o Plano de Reabilitação de Área Contaminada (PRAC) a ser executado sob sua responsabilidade e expensas. O PRAC deve incluir: ações institucionais; medidas de controle ou eliminação das fontes de contaminação; caracterização do uso do solo atual e futuro da área objeto e sua circunvizinhança; os resultados da avaliação de risco à saúde humana; avaliação técnica e econômica das alternativas de intervenção em função da massa de contaminantes existentes e suas consequências, sua eficiência e os prazos envolvidos na implementação das ações de intervenção propostas para atingir as metas estabelecidas; projeto da alternativa de intervenção selecionada; programa de monitoramento das ações executadas; a necessidade de medidas de restrição quanto ao uso e Anotação de Responsabilidade Técnica – ART do responsável pela elaboração do PRAC, devendo ser continuamente revisado, visando à adequação das medidas aplicadas e avaliação de sua eficácia, podendo ser implantado mediante avaliação do órgão ambiental competente. Caso o órgão ambiental não se manifeste no prazo de 6 meses, o PRAC será considerado aprovado, sem prejuízo de qualquer complementação ou alteração que venha a ser eventualmente solicitada.

Deverá ser proposto pelo responsável pela área e avaliado pelo órgão ambiental competente, o uso pretendido para a área contaminada, com base no diagnóstico da área, na

avaliação de risco, nas ações de intervenção propostas e no zoneamento do uso do solo, caso a proposta atenda as exigências técnicas, então será definido o uso declarado da área contaminada.

Os trabalhos de remediação das áreas contaminadas devem ser continuamente avaliados de modo a verificar a real eficiência das medidas implementadas, assim como dos possíveis impactos causados aos bens a proteger pelas ações de remediação.

Atingidas as metas de intervenção propostas no PRAC, com redução do risco aos níveis toleráveis, e ainda, se não for caracterizada situação de perigo e não for verificada situação de risco à saúde humana igual ou superior aos níveis aceitáveis de acordo com a avaliação de risco, a área passa a ser classificada como Área em Processo de Monitoramento para Reabilitação (AMR). O responsável pela área deverá comunicar ao órgão ambiental competente a data de desativação do sistema e a data do início do monitoramento para reabilitação conforme o uso declarado.

7) Monitoramento

O monitoramento é a medição ou verificação, que pode ser continua ou periódica, para acompanhamento da condição de qualidade de um meio ou das suas características.

O responsável por uma Área em Processo de Monitoramento para Reabilitação deve submeter ao órgão ambiental competente o Plano de Monitoramento para Reabilitação, que deverá ser realizado por no mínimo dois anos, com periodicidade mínima semestral. Os resultados do monitoramento serão utilizados para verificar a eficiência da remediação, propiciando observar se os objetivos desta estão sendo atingidos ou não.

Caso ocorram concentrações acima das metas de intervenção durante esse período, a área será classificada como Área Contaminada sob Intervenção (ACI), e o responsável deverá realizar ou adequar o Plano de Reabilitação de Área Contaminada (PRAC). Entretanto, se após o período for confirmada a eliminação do perigo ou a redução dos riscos a níveis toleráveis para o uso declarado, a área será classificada como Área Reabilitada para o Uso Declarado (AR).

O gerenciamento de áreas contaminadas poderá ocorrer com procedimentos diferenciados do que foram apresentados anteriormente para a identificação e remediação das áreas, agrupando etapas, à critério do órgão ambiental, em função das peculiaridades da atividade ou da extensão da contaminação. Caso não seja possível identificar o responsável pela área contaminada, o Poder Público deverá intervir para resguardar a saúde e integridade da

população, e ainda, no planejamento das ações, deverão ser priorizados a população potencialmente exposta, a proteção dos recursos hídricos e as áreas de interesse ambiental.

3.2.2 Declaração de Áreas Contaminadas e Suspeitas de Contaminação

A Fundação Estadual do Ambiente – FEAM, possui um banco de dados com informações sobre as áreas contaminadas e suspeitas de contaminação cadastradas no Estado desde de 2007. Conforme estabelecido pela DN COPAM nº116/2008 os responsáveis por áreas contaminadas são convocados a declarar áreas contaminadas ou suspeitas de contaminação por meio do preenchimento de cadastro próprio disponibilizado no Banco de Declarações Ambientais – BDA. O BDA pode ser acessado na plataforma do Sistema Estadual do Meio Ambiente – SISEMA, o SISEMAnet.

O formulário para cadastro disponibilizado permite obter dados e informações sobre as atividades do empreendimento e seus responsáveis, a localização da área, a descrição do motivo da suspeita de contaminação ou da fonte de contaminação, as substâncias químicas, a situação da área quanto ao uso do solo, entre outros. Além disso, as informações consolidadas no BDA servem para elaboração do Inventário Estadual de Áreas Contaminadas, que é um instrumento para o gerenciamento das áreas e para elaboração do Programa Estadual de Gestão das Áreas Contaminadas.

4 Valoração Econômica Ambiental

4.1 Valor Econômico do Dano Ambiental

Na legislação brasileira não há uma definição de “dano ambiental”, apesar de encontrarmos esse termo expresso em leis e resoluções. Porém, a Política Nacional do Meio Ambiente, em que pese não conceituar o dano ambiental, define a degradação da qualidade ambiental como sendo a “alteração adversa das características do meio ambiente” (Art. 3º, II, Lei 6938/81). Também define “Poluição” como sendo a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente: “a) prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população; b) criem condições adversas às atividades sociais e econômicas; c) afetem desfavoravelmente a biota; d) afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente; e) lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos”.

Segundo Mirra (2002), o dano ambiental engloba, de um lado, a lesão que abrange os elementos naturais, artificiais e culturais, tratados como bem de uso comum do povo, juridicamente protegido e, de outro, significa a violação do direito de todos ao equilíbrio ecológico, direito humano fundamental, de natureza difusa.

Assim, o dano sob o qual recairá a análise valorativa pode ser qualquer modificação no meio ambiente que elimine a vida ou possibilite uma alteração adversa, que ponha em risco ou retire o equilíbrio ecológico (sob o aspecto biológico). É a “alteração, deterioração ou destruição, parcial ou total, de quaisquer dos recursos naturais, afetando adversamente o homem e/ou a natureza” (BENJAMIN, 1998, p. 48).

Neste sentido, a valoração econômica do dano ambiental tem como objetivo atribuir ao dano ambiental uma expressão econômica a fim de mensurar indenização e/ou a compensação financeira a ser imposta ao agente degradador (BADINI, 2011). No presente estudo, a valoração terá apenas o objetivo de estimar o valor econômico do dano ambiental.

Para responder ao quesito de qual o valor econômico do dano ambiental, os peritos deverão aplicar metodologias adequadas para cada caso, contudo, assim como outros profissionais da área de valoração ambiental, deparam-se com diversas dificuldades.

Conforme discorre Alvarenga e Barreiro (2011), há ainda poucos trabalhos relacionados ao tema e quem se propuser a estudá-lo e abordá-lo cientificamente irá encontrar várias indagações, conflitos e incertezas.

Na ocorrência de um dano ambiental, poucos são os procedimentos técnicos ou modelos de valoração ambiental que possuem aplicabilidade, sendo que a não unificação de procedimentos dificulta seu uso e sua aplicação em processos judiciais, como forma de compensação financeira (ARAÚJO, 2003).

4.2 Valor Econômico do Recurso Ambiental

Determinar o valor econômico de um recurso ambiental é estimar o valor monetário deste em relação aos outros bens e serviços disponíveis na economia, é através dele que se pode decidir medidas de recuperação ou até mesmo indenizações pecuniárias devidas em função de danos ao ambiente. O valor econômico dos recursos ambientais existe na medida que seu uso altera o nível de produção e o bem-estar da sociedade, refletindo o sacrifício de consumo e produção associado a sua preservação (ANTUNES, 2017; MOTTA, 1998).

O meio ambiente é considerado como patrimônio público (PNMA, art. 2º, inciso I), e segundo Antunes (2017), no Brasil, os órgãos de controle ambiental, no uso de suas atribuições, determinam a recomposição do meio ambiente lesado por alguma ação deletéria, necessitando, portanto, ter valores pecuniários capazes de oferecer alguma direção para a ação administrativa. Assim, o Valor Econômico dos Recursos Ambientais (VERA) é objeto de uma formulação que contempla o Valor de Uso (VU) e o Valor de Não-Uso (VNU). Para Nogueira, Medeiros e Arruda (2000), o Valor de Uso refere-se ao uso efetivo ou potencial que o recurso pode prover, já o Valor de Não-Uso ou valor intrínseco ou valor de existência reflete um valor que reside nos recursos ambientais, independentemente de uma relação com os seres humanos, de uso efetivo no presente ou de possibilidades de uso futuro.

O Valor de Uso pode ser subdividido em valor de uso direto, valor de uso indireto e valor de opção, conforme descrito por Motta (1997):

1. Valor de Uso Direto (VUD): valor que os indivíduos atribuem a um recurso ambiental pelo fato de o utilizarem diretamente. Exemplos: extrativismo, turismo, recreação e atividades de pesquisa científica;

2. Valor de Uso Indireto (VUI): valor que os indivíduos atribuem a um recurso ambiental quando o benefício do seu uso deriva de funções ecossistêmicas. Exemplos: contenção de erosão, controle climático e proteção de mananciais;

3. Valor de Opção (VO): valor que o indivíduo atribui à conservação de recursos, que podem estar ameaçados, para usos direto e indireto no futuro próximo. Exemplo: o benefício advindo de terapias genéticas com base em propriedades de genes ainda não descobertos de plantas em florestas tropicais.

Segundo Motta (1997), o valor de não-uso (representado pelo valor de existência) está dissociado do uso (embora represente consumo ambiental) e deriva-se de uma posição moral, cultural, ética ou altruística em relação aos direitos de existência de espécies não-humanas ou preservação de outras riquezas naturais, mesmo que essas não representem uso atual ou futuro para o indivíduo. Um exemplo de sua expressão é a grande atração da opinião pública para salvamento de baleias ou sua preservação em regiões remotas do planeta, onde a maioria das pessoas nunca visitará ou terá qualquer benefício de uso.

Assim, uma expressão para VERA seria a seguinte:

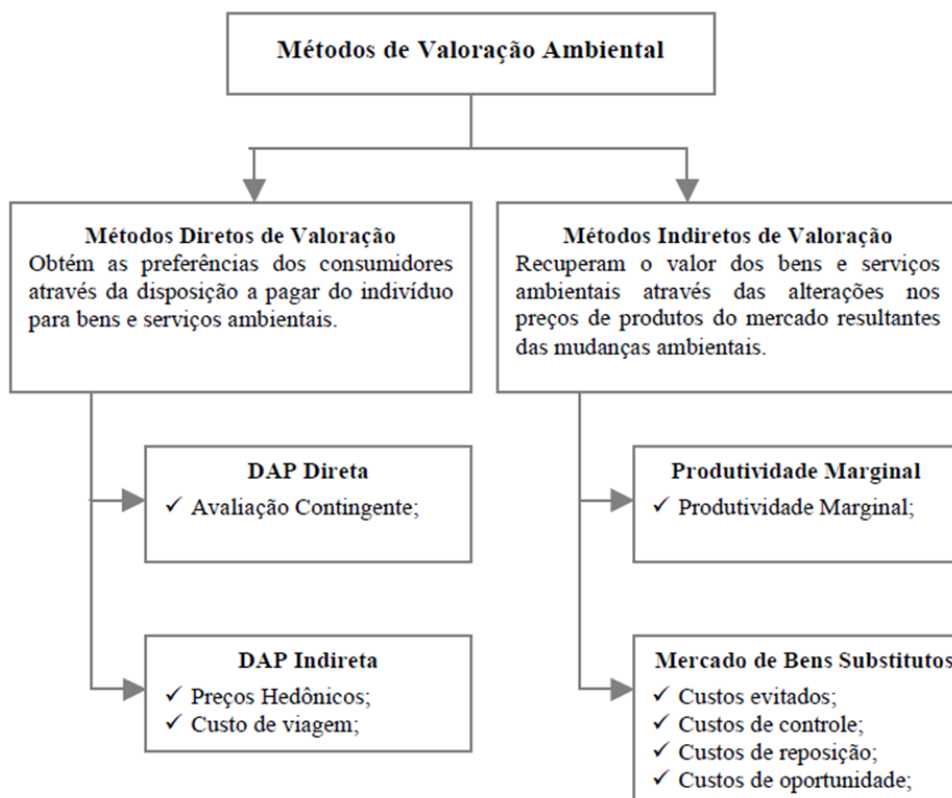
$$VERA = (VUD + VUI + VO) + VE \quad (1)$$

Porém, cada tipo de uso pode excluir outro tipo de uso do recurso ambiental. Por exemplo, o uso de uma área para pastagem exclui seu uso para conservação da floresta que cobria este solo. Assim, o primeiro passo na determinação do VERA será identificar estes conflitos de uso. O segundo passo será a determinação destes valores (MOTTA, 1998).

4.3 Métodos de Valoração Econômica Ambiental

Segundo Maia (2004) e Motta (1998), os métodos de valoração podem ser classificados em Métodos de Função da Demanda (Diretos) e Métodos da Função de Produção (Indiretos). Os métodos diretos procuram captar as preferências das pessoas utilizando-se de mercados hipotéticos ou de mercados de bens complementares para obter a disposição a pagar (DAP) dos indivíduos pelo bem ou serviço ambiental. Por sua vez, os denominados métodos indiretos procuram obter o valor do recurso através de uma função de produção, relacionando o impacto das alterações ambientais a produtos com preços no mercado. Uma síntese dos principais grupos de métodos e seus respectivos subgrupos é ilustrada na Figura 1.

Figura 1 – Métodos de Valoração Ambiental (MAIA, 2004)



A escolha de um ou outro método de valoração econômica do meio ambiente depende do objetivo da valoração, das hipóteses consideradas, da disponibilidade de dados e do conhecimento científico a respeito da dinâmica ecológica do objeto em questão.

4.3.1 Métodos Diretos (Métodos da Função de Demanda)

Os métodos diretos de valoração estimam o valor econômico do recurso ambiental a partir da própria disposição a pagar da população para bens e serviços ambientais. Estes métodos partem do pressuposto que a variação da quantidade ou da qualidade do recurso ambiental irá afetar os padrões de bem-estar das pessoas. Com a variação de bem-estar, podemos estimar a disposição a pagar das pessoas para evitar; ou a disposição a receber para aceitar as alterações do ambiente. A maneira de captação da DAP, direta ou indiretamente sobre as preferências das pessoas, será o determinante para classificarmos os métodos diretos de valoração (DUBEUX, 1998; MOTTA, 1998; ELETROBRÁS, 2000; MAIA, 2004; FURIO, 2006).

I) DAP direta

Segundo Maia (2004), a maior limitação dos métodos de valoração se encontra na ineficiência para estimação de valores que não se relacionam ao uso dos recursos ambientais, pois não há um mercado que englobe estes tipos de valores. As pessoas podem sentir satisfação na mera existência de recursos ambientais, como uma praia, rio ou lago, mesmo sem utilizá-los ativamente. Para a estimação econômica destes valores de não uso, acredita-se que um método de DAP direta possa trazer as informações significantes, através de questionamento individual dos valores que a população atribui àquele recurso. A DAP será a estimativa do valor total do recurso ambiental para a pessoa, representando tanto os valores de uso como os de existência. A avaliação contingente é o exemplo claro deste tipo de metodologia (DUBEUX, 1998; MOTTA, 1998; ELETROBRÁS, 2000; MAIA, 2004; FURIO, 2006).

▪ Avaliação Contingente

Segundo Mota (2012), o método de valoração contingente consiste na utilização de pesquisas amostrais para identificar, em termos monetários, as preferências individuais em relação a bens que não são comercializados em mercados. São criados mercados hipotéticos do recurso ambiental – ou cenários envolvendo mudanças no recurso - e as pessoas expressam suas preferências de disposição a pagar para evitar a alteração na qualidade ou quantidade do recurso ambiental. Por exemplo, valor monetário do dano, em análise de percepção, seja da qualidade de vida das pessoas ou na supressão de ativos naturais relevantes; ou como meio de se observar a natureza ou qualquer ente do capital natural, tais como manutenção de uma floresta em situação per se; dano causado a um parque arqueológico, ou a um museu de memória de cultura.

II) DAP indireta

Neste grupo os métodos obtêm indiretamente a disposição a pagar das pessoas para bens e serviços ambientais recorrendo a um mercado de bens complementares. Como exemplos de bens complementares podemos citar a qualidade da água do mar que determina o número de visitas a uma praia, e a poluição sonora que influencia o preço das residências em uma região. É esperado que o comportamento destes bens privados complementares possa trazer as informações necessárias para estudo da demanda pelo bem ou serviço ambiental (DUBEUX, 1998; MOTTA, 1998; ELETROBRÁS, 2000; MAIA, 2004; FURIO, 2006). Os

métodos indiretos de disposição a pagar mais conhecidos são o de preços hedônicos e o de custo de viagem.

- **Preços Hedônicos**

Para Mota (2012), o método de preço hedônico estima um preço implícito com base em atributos ambientais característicos de bens comercializados em mercado, por meio da observação desses mercados reais nos quais os bens são efetivamente comercializados. Por exemplo, diminuição do preço de residências em função da perda de belezas naturais raras (perda de floresta em frente às residências ou supressão de uma cachoeira para aproveitamento hídrico).

- **Custo de viagem**

O método de custo de viagem estima o preço de uso de um ativo ambiental por meio da análise dos gastos incorridos pelos visitantes ao local de visita. Por exemplo, o dano é estimado a partir de uma função de demanda por recreação, isto é, pelo impedimento de as pessoas visitarem o local em decorrência de perdas de atrativos naturais.

4.3.2 Métodos Indiretos (Métodos da Função da Produção)

Os métodos indiretos de valoração estimam o valor de um recurso ambiental através de uma função de produção. O objetivo é calcular o impacto de uma alteração marginal do recurso ambiental na atividade econômica, utilizando como referência produtos no mercado que sejam afetados pela modificação na provisão do bem ambiental. O impacto econômico sofrido na produção deste produto será uma estimativa dos benefícios embutidos no recurso ambiental (DUBEUX, 1998; MOTTA, 1998; ELETROBRÁS, 2000; MAIA, 2004; FURIO, 2006).

Segundo Maia (2014, estes métodos exigem o conhecimento da relação entre a alteração ambiental e o impacto econômico na produção, que pode ser calculado diretamente no preço de mercado do produto afetado (produtividade marginal) ou em um mercado de bens substitutos (custos evitados, custos de controle, custos de reposição, custos de oportunidade).

I) Produtividade Marginal

Segundo Mota (2012), o método da produtividade marginal é aplicável quando o recurso natural analisado é fator de produção ou insumo na produção de algum bem ou serviço comercializado no mercado, ou seja, este método visa a encontrar alguma ligação entre uma mudança no provimento de um recurso natural e a variação na produção de um bem ou serviço de mercado. Por exemplo, custo adicional de um produto agrícola decorrente do aumento de características ambientais observáveis, tais como incremento de poluição atmosférica, solo erodido ou outro fenômeno natural ou artificial.

II) Mercado de Bens Substitutos

Muitas vezes não conseguimos obter diretamente o preço de um produto afetado por uma alteração ambiental, mas podemos estimá-lo por algum substituto existente no mercado. A metodologia de mercado de bens substitutos parte do princípio de que a perda de qualidade ou escassez do bem ou serviço ambiental irá aumentar a procura por substitutos na tentativa de manter o mesmo nível de bem-estar da população (DUBEUX, 1998; MOTTA, 1998; ELETROBRÁS, 2000; MAIA, 2004; FURIO, 2006).

Segundo Maia (2014), as estimativas também são em geral subdimensionadas, pois tendem a considerar apenas os valores de uso direto e indireto dos recursos ambientais. Tantos valores de opção quanto valores de existência, como o da preservação das espécies em seus habitats naturais, não fazem parte da estimativa dos benefícios gerados pelo recurso ambiental, já que se referem a atributos insubstituíveis. Sabe-se também, da dificuldade de encontrarmos na natureza recursos que substituam com perfeição os benefícios gerados por outros recursos naturais. As propriedades ambientais são demasiadamente complexas e suas funções no ambiente pouco conhecidas para acreditarmos que possam ser substituídas eficientemente. A eficácia das estimativas dependerá sobretudo do objetivo da pesquisa, sendo muitas vezes suficientes para garantir, por exemplo, o uso sustentável de um recurso natural ou para evitar políticas de impactos ambientais. Nas próximas seções iremos apresentar quatro técnicas derivadas do mercado de bens substitutos, bastante conhecidas e de fácil aplicação. São elas: custos evitados, custos de controle, custos de reposição e custos de oportunidade.

▪ Custos evitados

Os custos evitados são muito utilizados em estudos de mortalidade e morbidade humana. O método estima o valor de um recurso ambiental através dos gastos com atividades defensivas substitutas ou complementares, que podem ser consideradas uma aproximação monetária sobre as mudanças destes atributos ambientais. Por exemplo, quando uma pessoa paga para ter acesso à água encanada, ou compra água mineral em supermercados, supõe-se que esteja avaliando todos os possíveis males da água poluída, e indiretamente valorando sua disposição a pagar pela água descontaminada. Os investimentos feitos pela indústria automobilística em acessórios para aumentar a segurança dos automóveis, como a utilização de airbags, também refletem a preocupação dos compradores com a diminuição do risco de morte em acidentes de trânsito, e podem gerar uma estimativa do valor dado à vida humana. Em muitos estudos de mortalidade o valor humano é estimado a partir dos ganhos previstos ao longo da vida do indivíduo, observando sua produtividade presente e sua expectativa de vida. Mesmo desconsiderando a falta de ética na valoração da vida humana, estas estimativas apresentam algumas expressivas falhas latentes: valores econômicos menores para os mais velhos e os mais pobres; valores nulos para os desocupados e inativos; ignorar as preferências dos consumidores (DUBEUX, 1998; MOTTA, 1998; ELETROBRÁS, 2000; MAIA, 2004; FURIO, 2006).

▪ Custos de controle

Custos de controle representam os gastos necessários para evitar a variação do bem ambiental e garantir a qualidade dos benefícios gerados à população. É o caso do tratamento de esgoto para evitar a poluição dos rios e um sistema de controle de emissão de poluentes de uma indústria para evitar a contaminação da atmosfera (DUBEUX, 1998; MAIA, 2004; FURIO, 2006).

Por limitar o consumo presente do capital natural, o controle da degradação contribui para manter um nível sustentável de exploração, permitindo o aproveitamento dos recursos naturais pelas gerações futuras. As maiores dificuldades deste método estão relacionadas à estimação dos custos marginais de controle ambiental e dos benefícios gerados pela preservação (MAIA, 2014).

Os investimentos de controle ambiental tendem a gerar benefícios diversos, sendo necessário um estudo muito rigoroso para determinação de todos estes. Como não há também um consenso quanto ao nível adequado de sustentabilidade, as pessoas encontram sérias

difficultades para ajustar os custos aos benefícios marginais e determinar o nível ótimo de provisão do recurso natural (MAIA, 2014).

▪ **Custos de oportunidade**

Embora desejável do ponto de vista ambiental, a preservação gera um custo social e econômico que deve ser compartilhado entre os diversos agentes que usufruem dos benefícios da conservação. Toda conservação traz consigo um custo de oportunidade das atividades econômicas que poderiam estar sendo desenvolvidas na área de proteção, representando, portanto, as perdas econômicas da população em virtude das restrições de uso dos recursos ambientais (MAIA, 2014).

No caso de um parque ou reserva florestal com exploração restringida o custo de oportunidade de sua preservação seria dado pelos benefícios de uma possível atividade de exploração de madeira. Por outro lado, os benefícios ecológicos da preservação poderiam ser expressos pela renda gerada em atividades sustentáveis como o ecoturismo e a exploração de ervas medicinais (MAIA, 2014).

Alguns cuidados especiais devem ser tomados na estimativa. Atividades insustentáveis irão gerar danos irreversíveis e reduzir a oferta do bem ou serviço ambiental ao longo do tempo, e este fato não pode ser desconsiderado na estimativa dos custos de oportunidade destas explorações (MAIA, 2014).

▪ **Custos de reposição**

No custo de reposição a estimativa dos benefícios gerados por um recurso ambiental será dada pelos gastos necessários para reposição ou reparação após o mesmo ser danificado. É o caso do reflorestamento em áreas desmatadas e da fertilização para manutenção da produtividade agrícola em áreas onde o solo foi degradado (MAIA, 2014).

Suas estimativas baseiam-se em preços de mercado para repor ou reparar o bem ou serviço danificado, partindo do pressuposto que o recurso ambiental possa ser devidamente substituído. Como nem todas as propriedades do bem ambiental podem ser completamente repostas, as estimativas tendem a ser subestimadas, mas já nos fornecem uma ideia dos prejuízos econômicos causados pela alteração na provisão do recurso natural. Os reflorestamentos estão longe de recuperar toda a biodiversidade existente em uma floresta nativa, assim como a adubação química jamais irá repor integralmente toda fertilidade do solo que levou milhões de anos para se constituir (MAIA, 2014).

Esta metodologia (conjugada ou não com outros métodos) tem sido aplicada por peritos e profissionais da área ambiental em diferentes órgãos federais e estaduais, principalmente para o cálculo do valor do dano ambiental. A saber, na Divisão de Assessoramento Técnico do Ministério Público do Estado do Rio Grande do Sul (CARDOSO, 2003), na Perícia da Polícia Federal (MAGLIANO, 2012) e na Perícia Criminal do Distrito Federal (ALMEIDA, 2010). E, ainda, Peritos Judiciais no contexto de ações civis públicas tem utilizado esse método para fixação do valor indenizatório – como exemplo no caso do despejo de resíduos industriais perigosos no Rio Sorocaba (STEIGLEDER, 2011).

Steigleder (2011) considera que a metodologia do custo de reposição/restauração é um ponto de partida muito relevante na valoração do dano ambiental para o auxílio à justiça em ações civis e criminais, desde que se analisem as particularidades técnicas e restauração de bens ambientais. Deve sempre ser utilizado, de forma isolada ou combinada com outras metodologias, a depender do nível de informações disponíveis, para que se obtenha a valoração do dano material (objetivo).

4.3.3 Método DEPRN

Esta metodologia foi elaborada pelo extinto Departamento Estadual de Proteção de Recursos Naturais (DEPRN) da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo e apresentada inicialmente em um Seminário promovido pelo próprio órgão em 1992 (GALLI, 1996). Tem como objetivo atender duas premissas básicas: ser de aplicação prática e ser aplicável às condições brasileiras (NETO, 2012).

A aplicação da metodologia é bastante simples, e consiste no uso de um quadro e de uma tabela (Quadro 1 e Tabela 1) para identificar os danos e qualificá-los. Também será necessário o valor de exploração ou o valor de recuperação dos recursos lesados e aplicação da seguinte equação:

$$\text{DANO} = [\Sigma(\text{Fator de multiplicação})] \times \text{Valor de Recuperação} \quad (2)$$

No Quadro 1, o meio ambiente é dividido em seis aspectos ambientais: ar; água; solo e subsolo; fauna; flora e paisagem. Para cada aspecto do ambiente são considerados dois tipos de danos (um de índice 1,0 e outro de índice 1,5) e, para cada tipo de danos são descritos diversos agravos que são qualificados de 0 a 3 unidades, conforme consta no Anexo A.

Quadro 1 – Descrição e qualificação dos agravos, segundo o aspecto do ambiente e tipo do dano. (GALLI, 1996 apud KASKANTZIS NETO, 2012).

ASPECTO AMBIENTAL	TIPO DE DANO	DESCRIÇÃO E QUALIFICAÇÃO DOS AGRAVOS							
		Toxicidade da emissão	Proximidade de centros urbanos	Áreas protegidas	Comprometimento do aquífero	Morte ou dano à fauna	Morte ou dano à flora	Dano ao patrimônio ou monumento natural	
ATMOSFERA	Impacto causado pela emissão de gases, partículas, agentes biológico, energia								
	Impacto na dinâmica atmosférica (x 1,5)	Morte ou dano à fauna	Morte ou dano à flora	Alteração da qualidade do ar	Previsão de reequilíbrio				
ÁGUA	Impacto causado por compostos químicos, físicos, biológico, energia	Toxicidade da emissão	Comprometimento do aquífero	Áreas protegidas	Dano ao solo e/ou subsolo	Morte ou dano à fauna	Morte ou dano à flora	Dano ao patrimônio ou monumento natural	
	Impacto na hidrodinâmica (x 1,5)	Morte ou dano à fauna	Morte ou dano à flora	Alteração da classe do corpo hídrico	Alteração da vazão / volume de água	Previsão de reequilíbrio			
SOLO / SUBSOLO	Impacto causado por agentes químicos, físicos, biológicos e energia	Toxicidade da emissão	Comprometimento do aquífero	Áreas protegidas	Assoreamento de corpo hídrico	Morte ou dano à fauna	Morte ou dano à flora	Dano ao patrimônio ou monumento natural	Objetivando comercialização
	Impacto na dinâmica solo e/ou subsolo (x 1,5)	Morte ou dano à fauna	Morte ou dano à flora	Alteração na capacidade de uso da terra	Dano ao relevo	Previsão de reequilíbrio			
FAUNA	Dano aos indivíduos	Áreas protegidas	Espécies ameaçadas de extinção	Espécies endêmica	Fêmeas	Objetivando comercialização			
	Impacto na dinâmica da comunidade (x 1,5)	Importância relativa	Morte ou dano à flora	Alteração dos nichos ecológicos	Previsão de reequilíbrio				
FLORA	Dano aos indivíduos	Áreas protegidas	Espécies ameaçadas de extinção	Espécies endêmica	Favorecimento da erosão	Dano ao patrimônio ou monumento Natural	Objetivando comercialização		
	Impacto na dinâmica da comunidade (x 1,5)	Morte ou dano à fauna	Importância relativa	Alteração dos nichos ecológicos	Previsão de reequilíbrio				
PAISAGEM	Dano à paisagem	Áreas e/ou municípios protegidos	Proximidade de centros urbanos	Reversão do dano	Comprometimento do aquífero	Comprometimento do solo - subsolo	Morte ou dano à fauna	Morte ou dano à flora	Dano ao patrimônio monumento nat.
	Dano ao patrimônio cultural, histórico, turístico, arquitet., artístico (x 1,5)	Proximidade de centros urbanos	Reversão do dano	Comprometimento do aquífero	Comprometimento do solo / subsolo	Morte ou dano à fauna	Morte ou dano à flora		

Para melhor entendimento, o Quadro 1 foi fragmentado em cada aspecto e terá incluído os critérios para qualificação dos danos que estão especificados no Anexo A.

Quadro 2 – Tipo de dano, descrição e qualificação dos agravos para o aspecto ambiental “AR”.

Aspecto	Tipo de Dano	Fator	Descrição dos agravos	Qualificação dos agravos	
A R	Impacto causado pela emissão de gases, partículas, agente biológicos ou energia.	1,0	Toxidade da emissão	Comprovada	3
				Fortes indícios	2
				Suposta	1
			Proximidade de centros urbanos	≥ 60.000 hab, distante até 10 km	2
				≥ 60.000 hab, distante até 25 km	1
			Localização em relação a área protegida	Dentro da área	2
				Sob influência	1
			Comprometimento do aquífero	Comprovado	2
				Suposto	1
			Morte ou dano à fauna	Comprovado	2
				Suposto	1
			Morte ou dano à flora	Comprovado	2
				Suposto	1
			Dano ao patrimônio e/ou monumento natural	Comprovado	2
				Suposto	1
	Impactos na dinâmica atmosférica	1,5	Morte ou dano à fauna	Comprovado	2
				Suposto	1
			Morte ou dano à flora	Comprovado	2
				Suposto	1
			Alteração da qualidade do ar	Emergência	3
				Alerta	2
				Atenção	1
			Previsão de reequilíbrio	Longo prazo/ Alto custo	3
				Médio prazo/ Médio custo	2
				Curto prazo/ Baixo custo	1

Quadro 3 – Tipo de dano, descrição e qualificação dos agravos para o aspecto ambiental “ÁGUA”

Aspecto	Tipo de Dano	Fator	Descrição dos agravos	Qualificação dos agravos	
Á G U A	Impacto causado por compostos químicos, físicos, biológicos ou energia.	1,0	Toxidade da emissão	Comprovada	3
				Fortes indícios	2
				Suposta	1
			Comprometimento do aquífero	Comprovado	3
				Fortes indícios	2
				Suposto	1
			Localização em relação a área protegida	Dentro da área	3
				Na mesma bacia à montante	2
				Na mesma bacia à jusante	1
			Dano ao solo e/ou subsolo	Comprovado	3
				Fortes indícios	2
				Suposto	1
			Morte ou dano à fauna	Comprovado	2
				Suposto	1
			Morte ou dano à flora	Comprovado	2
				Suposto	1
			Dano ao patrimônio e/ou monumento natural	Comprovado	2
				Suposto	1
	Impactos na hidrodinâmica	1,5	Morte ou dano à fauna	Comprovado	2
				Suposto	1
			Morte ou dano à flora	Comprovado	2
				Suposto	1
			Alteração na classe do corpo hídrico	Comprovado	3
				Significativa	2
				Não significativa	1
			Previsão de reequilíbrio	Longo prazo/ Alto custo	3
				Médio prazo/ Médio custo	2
				Curto prazo/ Baixo custo	1

Quadro 4 – Tipo de dano, descrição e qualificação dos agravos para o aspecto ambiental “SOLO”

Aspecto	Tipo de Dano	Fator	Descrição dos agravos	Qualificação dos agravos	
S O L O E S U B S O L O	Impacto causado por compostos químicos, físicos, biológicos ou energia.	1,0	Toxidade da emissão	Comprovada	3
				Fortes indícios	2
				Suposta	1
			Comprometimento do aquífero	Comprovado	3
				Fortes indícios	2
				Suposto	1
			Localização em relação a área protegida	Totalmente inserido	2
				Parcialmente inserido	1
			Assoreamento de corpos hídricos	Grande intensidade	3
				Média intensidade	2
				Pequena intensidade	1
			Morte ou dano à fauna	Comprovado	2
				Suposto	1
			Morte ou dano à flora	Comprovado	2
				Suposto	1
			Dano ao patrimônio e/ou monumento natural	Comprovado	2
				Suposto	1
			Objetivando a comercialização	Atividade principal ou secundária	1
	Impactos na dinâmica solo/ subsolo	1,5	Morte ou dano à fauna	Comprovado	2
				Suposto	1
			Morte ou dano à flora	Comprovado	2
				Suposto	1
			Alteração na capacidade de uso da terra	Em mais de uma classe	3
				Em uma classe	2
				Na mesma classe de uso	1
			Danos ao relevo	Ocorrido	3
				Grande risco	2
				Pequeno risco	1
			Previsão de reequilíbrio	Longo prazo/ Alto custo	3
				Médio prazo/ Médio custo	2
				Curto prazo/ Baixo custo	1

Quadro 5 – Tipo de dano, descrição e qualificação dos agravos para o aspecto ambiental “FAUNA”

Aspecto	Tipo de Dano	Fator	Descrição dos agravos	Qualificação dos agravos	
F A U N A	Danos aos indivíduos	1,0	Localização em relação a área protegida	Dentro da área	3
				No raio de ação do animal	2
			Ocorrência de espécies ameaçadas de extinção	Comprovada	3
				Suposta	2
			Ocorrência de espécies endêmicas	Comprovada	2
				Suposta	1
			Ocorrências de fêmeas	Prenhas ou ovadas	3
				Comprovada	2
			Objetivando comercialização	Suposta	1
				Atividade principal	3
	Impacto na dinâmica da comunidade	1,5	Importância relativa da espécie	Atividade secundária	2
				Não se reproduz em cativeiro	3
				Se reproduz em cativeiro	2
			Morte ou dano à flora	Criada comercialmente	1
				Comprovada	3
				Fortes indícios	2
			Alteração dos nichos ecológicos	Suposta	1
				Comprovada	3
				Fortes indícios	2
			Previsão de reequilíbrio	Suposta	1
				Longo prazo/ Espécies ameaçadas	3
				Médio prazo/ Espécies endêmicas	2
				Curto prazo/ outras espécies	1

Quadro 6 – Tipo de dano, descrição e qualificação dos agravos para o aspecto ambiental “FLORA”

Aspecto	Tipo de Dano	Fator	Descrição dos agravos	Qualificação dos agravos	
F L O R A	Dano aos indivíduos	1,0	Localização em relação a área protegida	Totalmente inserido	3
				Parcialmente inserido	2
			Ocorrência de espécies ameaçadas de extinção	Comprovada	3
				Suposta	2
			Ocorrência de espécies endêmicas	Comprovada	2
				Suposta	1
			Favorecimento à erosão	Comprovado	3
				Fortes indícios	2
				Suposto	1
			Dano ao patrimônio e/ou monumento natural	Comprovado	2
				Suposto	1
			Objetivando comercialização	Atividade principal	2
				Atividade secundária	1
	Impacto na dinâmica da comunidade	1,5	Morte ou dano à fauna	Comprovada	3
				Fortes indícios	2
				Suposta	1
			Importância da área	Área > 30x que a área degradada	3
				Área entre 10 e 30x a área degradada	2
				Área até 10x > que a área degradada	1
			Alteração dos nichos ecológicos	Comprovada	3
				Fortes indícios	2
				Suposta	1
			Previsão de reequilíbrio	Longo prazo/ Estágio avançado	3
				Médio prazo/ Estágio médio	2
				Curto prazo/ Estágio inicial	1

Quadro 7 – Tipo de dano, descrição e qualificação dos agravos para o aspecto ambiental “PAISAGEM”

Aspecto	Tipo de Dano	Fator	Descrição dos agravos	Qualificação dos agravos	
P A I S A G E M	Dano à paisagem	1,0	Localização em relação a área e/ou municípios protegidos	Dentro	3
				≥ 60.000 hab, distante até 10 km	3
			Proximidade de centros urbanos	≥ 60.000 hab, distante até 25 km	2
				≥ 60.000 hab, distante até 50 km	1
			Reversão do dano	Alto custo	3
				Médio custo	2
				Baixo custo	1
			Comprometimento do aquífero	Diretamente relacionado	2
				Não diretamente relacionado	1
			Comprometimento do complexo solo/subsolo	Diretamente relacionado	2
				Não diretamente relacionado	1
			Morte ou dano à fauna	Diretamente relacionado	2
				Não diretamente relacionado	1
			Morte ou dano à flora	Diretamente relacionado	2
				Não diretamente relacionado	1
	Dano ao patrimônio cultural, histórico, turístico, arquitetônico e artístico	1,5	Dano ao patrimônio e/ou monumento natural	Tombado pelo CONDEPHAAT ou SPHAM	2
				Não tombado	1
			Proximidade de centros urbanos	≥ 60.000 hab, distante até 10 km	3
				≥ 60.000 hab, distante até 25 km	2
				≥ 60.000 hab, distante até 50 km	1
			Reversão do dano	Alto custo	3
				Médio custo	2
				Baixo custo	1
			Comprometimento do aquífero	Diretamente relacionado	2
				Não diretamente relacionado	1
			Comprometimento do complexo solo/subsolo	Diretamente relacionado	2
				Não diretamente relacionado	1
			Morte ou dano à fauna	Diretamente relacionado	2
				Não diretamente relacionado	1
			Morte ou dano à flora	Diretamente relacionado	2
				Não diretamente relacionado	1
			Dano ao patrimônio e/ou monumento natural	Tombado pelo CONDEPHAAT ou SPHAM	2
				Não tombado	1

Vamos analisar de forma simplificada a metodologia de aplicação com o exemplo de garimpo de ouro:

Quadro 8 – Exemplo de aplicação do Método DEPRN

Aspecto	Tipo de Dano	Fator	Descrição dos agravos	Qualificação dos agravos
S O L O E S U B S O L O	Impacto causado por compostos químicos, físicos, biológicos ou energia.	1,0	Toxidade da emissão	Comprovada 3
				Fortes indícios 2
				Suposta 1
			Comprometimento do aquífero	Comprovado 3
				Fortes indícios 2
				Suposto 1
			Localização em relação a área protegida	Totalmente inserido 2
				Parcialmente inserido 1
			Assoreamento de corpos hídricos	Grande intensidade 3
				Média intensidade 2
				Pequena intensidade 1
			Morte ou dano à fauna	Comprovado 2
				Suposto 1
			Morte ou dano à flora	Comprovado 2
				Suposto 1
			Dano ao patrimônio e/ou monumento natural	Comprovado 2
				Suposto 1
			Objetivando a comercialização	Atividade principal ou secundária 1
	Impactos na dinâmica solo/ subsolo	1,5	Morte ou dano à fauna	Comprovado 2
				Suposto 1
			Morte ou dano à flora	Comprovado 2
				Suposto 1
			Alteração na capacidade de uso da terra	Em mais de uma classe 3
				Em uma classe 2
				Na mesma classe de uso 1
			Danos ao relevo	Ocorrido 3
				Grande risco 2
				Pequeno risco 1
			Previsão de reequilíbrio	Longo prazo/ Alto custo 3
				Médio prazo/ Médio custo 2
				Curto prazo/ Baixo custo 1

Aspecto ambiental: Solo/subsolo

– Tipo de dano: Impacto causado por compostos químicos, físicos, biológicos ou energia.

Fator: 1,0

a) Toxidade de emissão do mercúrio: Comprovada = 3

Segundo ATSDR (2007), o mercúrio é a terceira substância mais tóxica no mundo.

b) Assoreamento de corpos hídricos: Pequena intensidade = 1

Garimpo de ouro é uma atividade com potencial de assoreamento de corpos hídricos.

c) Objetivando a comercialização: Atividade principal ou secundária = 1

O garimpo de ouro visa o comércio

– Tipo de dano: Impactos na dinâmica solo/ subsolo

Fator: 1,5

a) Danos ao relevo: Ocorrido = 3

O garimpo de ouro causa danos ao relevo

b) Previsão de reequilíbrio: Longo prazo/Alto custo = 3

Quando não é possível saber a previsão de reequilíbrio, utiliza-se o custo de recuperação da área.

Após a identificação dos agravos iremos somar o valor obtido nas qualificações, atentando para o fator de cada tipo de dano:

$$\sum_{\text{solo}} = [1,0 \times (3 + 1 + 1)] + [1,5 \times (3 + 3)]$$

$$\sum_{\text{solo}} = 14$$

Repetimos esse processo para os demais aspectos ambientais. Suponha que obtemos os seguintes valores para os aspectos ambientais ar, água e solo, e que nos demais aspectos não foram identificados danos:

$$\sum_{\text{ar}} = 3$$

$$\sum_{\text{água}} = 4$$

$$\sum_{\text{solo}} = 14$$

Com o valor obtido no somatório dos aspectos ambientais, iremos identificar o “fator multiplicador” de cada aspecto, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Índices de qualificação dos agravos (GALLI, 1996 apud NETO, 2012).

Aspectos Ambientais	Intervalo do índice de qualificação dos agravos				
Ar	≤ 6,8	≤ 13,6	≤ 20,4	≤ 27,2	≤ 34,0
Água	≤ 7,2	≤ 14,4	≤ 21,6	≤ 28,8	≤ 36,0
Solo-Subsolo	≤ 7,5	≤ 15,0	≤ 22,5	≤ 30,0	≤ 37,5
Fauna	≤ 6,4	≤ 12,7	≤ 19,2	≤ 25,6	≤ 32,0
Flora	≤ 6,6	≤ 13,2	≤ 19,8	≤ 26,4	≤ 33,0
Paisagem	≤ 8,0	≤ 16,8	≤ 24,0	≤ 32,0	≤ 40,0
Fator Multiplicador	1,6	3,2	6,4	12,8	25,6

Como o somatório para o “ar” foi menor que 6,8 – o fator multiplicador é 1,6. Para a “água” foi menor que 7,2 – o fator multiplicador é 1,6 e para o “solo” foi menor que 15,0 – o fator multiplicador é 3,2.

Então, para utilizarmos a Equação 2, temos que somar o fator multiplicador de cada aspecto:

$$\text{DANO} = (1,6 + 1,6 + 3,2) \times \text{Valor de Recuperação}$$

Considerando um valor de recuperação de R\$ 50.000,00 (cinquenta mil reais), obteremos o seguinte resultado:

$$\text{DANO} = 6,4 \times \text{R\$ } 50.000,00$$

$$\text{DANO} = \text{R\$ } 320.000,00$$

Dessa forma, para exemplo simplificado do garimpo de ouro, o valor econômico do dano ambiental é de R\$ 320.000,00 (trezentos e vinte mil reais).

A aplicação do método no estudo de caso deste trabalho será apresentada mais adiante no item 5.4.3. Com o exemplo apresentado anteriormente pretendeu-se apenas facilitar a compreensão do Método DEPRN.

5 ESTUDO DE CASO: Contaminação mercurial em Descoberto – MG

Em dezembro de 2002, moradores da área rural, na localidade denominada Serra da Grama, perceberam a presença de um elemento prateado quando foi realizado um corte em um terreno para a abertura da estrada de acesso a uma propriedade particular, que provocou o afloramento do mercúrio em sua forma líquida. Na Figura 2 os círculos brancos destacam as “bolas prateadas” de mercúrio que afloraram na região. (MARQUES, 2007; DURÃO, 2010; TINÔCO et al, 2010; OLIVEIRA, 2014).

Figura 2 – Afloramento do mercúrio elementar no solo em Descoberto/MG (TINÔCO, 2008)



O ponto de afloramento encontra-se a, aproximadamente, 20 metros do córrego Rico, que deságua no ribeirão do Grama, pertencente à sub-bacia do rio Pomba e afluente da bacia do Paraíba do Sul (FEAM, 2005). À jusante da área afetada, a Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA realizava a captação da água para abastecimento público para as cidades de Descoberto e São João Nepomuceno, porém após a confirmação da presença do mercúrio na água em elevada concentração (0,0024 mg/L), sendo superior ao valor máximo permitido (0,0002 mg/L, águas doces, classe 1 e 2) para águas superficiais de acordo com a Resolução CONAMA n° 357, de 17 de março de 2005, o fornecimento de água foi interrompido como medida de segurança, e passou-se a utilizar o córrego da Matinha para captação (CDTN/FEAM, 2005; DURÃO, 2010).

Após, foram realizadas análises de amostras de solo que revelaram concentrações de mercúrio consideradas elevadas, indicando a contaminação da região, sendo necessária a interdição de 8.000 m² em razão da possibilidade de risco à saúde humana, à fauna e à flora.

No período de estudo e de discussão nos órgãos ambientais, a medida de gerenciamento adotada emergencial adotada foi a de cercamento da área, proibição da pesca e implementação dos sistemas de decantação das águas de drenagem, porém não foi possível manter o isolamento da área por muitos anos devido a ruptura das cercas e invasão por parte do gado leiteiro criado na propriedade e a falta de manutenção das medidas adotadas.

Durante onze anos o Estado de Minas Gerais e a Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM permaneceram em inércia com relação as medidas de gerenciamento da área contaminada. Somente após a Ação Civil Pública, proposta pelo Ministério Público de Minas Gerais – MPMG em janeiro de 2014, que a FEAM determinou a remoção de toda a camada de solo contaminado e sua destinação para aterro de resíduos perigosos operante, devendo ser projetado com sistema de impermeabilização e proteção para evitar o aporte e mobilização de contaminantes para o meio ambiente. E passados quinze anos sem efetivas ações de remediação, em 2017, o Departamento de Edificações e Estradas de Rodagem de Minas Gerais – DEER MG tornou público o edital de licitação Nº 045/2017 para execução dos serviços de descontaminação da área.

5.1 Justificativa do estudo

A contaminação de mercúrio ocorreu nas proximidades da Reserva Biológica da Represa do Grama, dotada de mata natural, muitas nascentes, cachoeiras e diversas espécies de fauna e flora, considerada de valor inestimável para o ecossistema regional. Além disso, as águas da bacia do ribeirão do Grama são utilizadas para recreação, natação, pesca e dessedentação de animais, e também, era utilizada como manancial de abastecimento público para as cidades de Descoberto e São João Nepomuceno, ocasionando a exposição da população ao contaminante (TINÔCO et al, 2010; MPMG, 2014).

Visto que o mercúrio é a terceira substância mais tóxica, e seu ciclo biogeoquímico envolve processos que ocorrem no solo, na água e na atmosfera, e é facilmente acumulado na maioria dos organismos, a contaminação por esse metal apresenta grande perigo ao meio ambiente e à saúde humana. Nas populações expostas ao metal foram observadas alterações cromossômicas nas células sanguíneas que demonstram a genotoxicidade do mercúrio, e ainda, lesões permanentes no cérebro, irritabilidade, tremores, dificuldades de memória que caracterizam sua neurotoxicidade, além de ser teratogênico, pois atravessa a placenta podendo provocar no feto lesões cerebrais graves, produzir desorganização do posicionamento dos neurônios do córtex, o que leva a paralisia cerebral, tônus muscular alterado e atraso no

desenvolvimento (FARIAS, 2006; ATSDR, 2007; WINDMÖLLER et al., 2007; MPMG, 2014).

Dessa forma, a contaminação de mercúrio no município de Descoberto é uma adversidade para o meio ambiente, para a segurança hídrica e para a saúde pública, ou seja, tem potencial de causar danos aos bens a proteger: a saúde e o bem-estar da população, a fauna e a flora, a qualidade do solo, das águas e do ar e os interesses de proteção à natureza/paisagem. E para quantificar o valor dos danos causados, iremos realizar a valoração econômica ambiental.

5.2 Estudos realizados sobre o mercúrio e sobre a contaminação em Descoberto – MG

5.2.1 Contaminação mercurial nos solos

O Hg atinge os ambientes de superfície principalmente pela deposição atmosférica, pela denudação (erosão) física e química de componentes geológicos contendo Hg e devido a efluentes de atividades antrópicas. Uma vez que no Brasil não existem litologias com concentrações significativas de Hg, o Hg presente em solos, sedimentos e na biota é, provavelmente, originado na deposição atmosférica e nos efluentes de atividades antrópicas. A variação espacial observada na concentração de Hg em solos é, portanto, devido às diferenças nas taxas de deposição atmosférica, e à presença de efluentes de atividades emissoras (MMA, 2013)

Estima-se em 200.000 t a quantidade de Hg emitido desde 1890 para a atmosfera, sendo que destes, 95% são depositados em solo; 3% nas águas oceânicas superficiais e 2% permanecem na atmosfera (MMA, 2013).

No Quadro 9 é possível visualizar as concentrações de mercúrio total em solos já verificados até então no município de Descoberto- MG. O estudo realizado por Oliveira (2014) comparado aos trabalhos já realizados na área, apresentou o maior nível de concentração de mercúrio total detectado após o evento de afloramento de mercúrio na área contaminada, quando foram verificados valores de até 8826 mg/kg de mercúrio total.

Na pesquisa mais recente realizada na área, Pacheco-Ferreira et al (2015) coletaram 21 amostras de solo que apresentaram uma média $0,37 \pm 0,71$ mg/kg. Na Figura 3 são apresentadas a distribuição dos pontos de coleta no mapa com as concentrações de Hg obtidas para o referido ponto. O valor mínimo foi de 0,083 mg/kg, enquanto a máxima foi encontrada na área contaminada (3,43 mg/kg). Todas as amostras apresentaram valores acima do valor de referência de qualidade para o solo, a saber 0,05 mg/kg (COPAM,2011), e apenas a amostra da

área contaminada apresentou concentrações maiores que o valor de prevenção – 0,5 mg/kg (COPAM,2011). Foram ressaltados no Quadro 9 os pontos de coleta mais próximo à área contaminada.

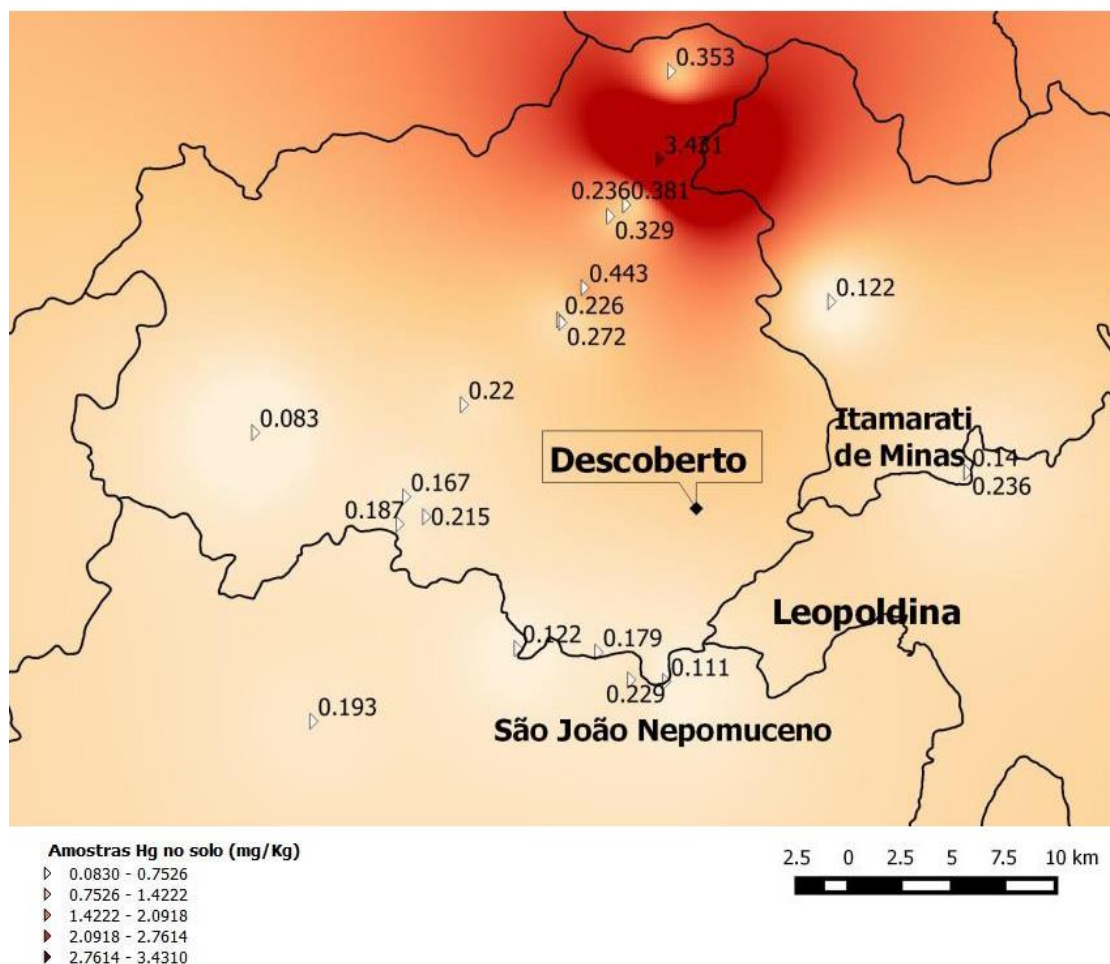
Quadro 9 – Concentrações de mercúrio total em solos verificados em estudos realizados em Descoberto – MG. Modificado Oliveira (2014).

Referência	HgT (mg/kg)	Local da coleta
FEAM, CDTN e CPRM (2005)	0,2 a 8826	Área contaminada
RAMOS,CASTILHOS e EGLER (2007)	0,497 a 1,33	
OLIVEIRA (2014)	0,03 a 16,55	
PACHECO-FERREIRA et al (2015)	3,431	
ALEXANDRE (2006)	0,003 a 0,34	Ribeirão do Grama
TINÔCO (2008)	0,33	
PACHECO-FERREIRA et al (2015)	0,215	
RAMOS,CASTILHOS e EGLER (2007)	0,417	Local de referência próximo a área contaminada
TINÔCO (2008)	0,26	Propriedade particular cortada pelo córrego Rico
TINÔCO (2008)	0,40 a 0,55	Calha do ribeirão do Ronca
OLIVEIRA (2014)	0,03 a 0,17	A montante da área contaminada
PACHECO-FERREIRA et al (2015)	3,29	Casa da Gelcira acesso ao Grama
	3,81	Casa Maria Resende
	2,36	Casa Sr. Fisin de Paula

Os valores obtidos a montante da área contaminada indicam possíveis focos de contaminação ainda não detectados. Esses novos focos de contaminação podem estar relacionados à disseminação do contaminante pela atmosfera já que o mercúrio metálico possui alta volatilidade. Essa alta volatilidade contribui para a maior dispersão do mercúrio, aumentando a exposição da população (OLIVEIRA, 2014).

Os níveis de mercúrio encontrados no solo foram semelhantes aos existentes em locais de mineração na Amazônia (0,03 a 0,37 mg/kg) e em áreas urbanas (0,03 a 1,33 mg/kg) próximas às lojas de queima de ouro (PACHECO-FERREIRA et al, 2015).

Figura 3 – Mapa referente as concentrações de Hg no solo (PACHECO-FERREIRA et al, 2015).



5.2.2 Contaminação mercurial nos sedimentos

Os sedimentos de fundo, também chamados de sedimentos de corrente, são formados por partículas minerais e orgânicas que se encontram em contato com a parte inferior dos corpos de água natural, como rios e lagos. Em razão da capacidade de armazenar materiais pouco solúveis, como é o caso da maioria dos compostos de mercúrio e de outros elementos-traço tóxicos e da sua característica de estar em equilíbrio físico e químico com as águas superficiais, os sedimentos possuem grande importância ambiental (FEAM, CDTN e CPRM, 2005).

Em casos de contaminação por mercúrio em sistemas aquáticos devido as entradas de Hg tanto da deposição atmosférica quanto da lixiviação dos solos da bacia de drenagem, quase a totalidade do metal, aproximadamente 98%, se encontra nos sedimentos de corrente. Os metais pesados se ligam predominantemente ao material em suspensão e se acumulam finalmente nos sedimentos. As características biológicas e físico-químicas dos sedimentos

provocam não somente a mineralização e acumulação do mercúrio, como também podem provocar a remobilização do mercúrio, tornando-o disponível para a cadeia trófica (SILVA, 1993 apud OLIVEIRA, 2014).

A avaliação dos níveis de mercúrio no sedimento de rios atualmente é um indicador amplamente generalizado, inclusive para áreas de importância ecológica. Tal indicador ganhou relevância após a demonstração da grande proporção de mercúrio encontrada em tecidos musculares de peixes e a capacidade que o sedimento tem de metilar o mercúrio a partir de formas inorgânicas (VIEIRA, ALHO, FERREIRA, 1995).

Para a avaliação da contaminação por mercúrio em sedimentos podemos comparar com os valores orientadores estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 454 (BRASIL, 2012), onde são considerados os seguintes limites, Nível 1 – 0,17 mg/kg (limiar abaixo do qual há menor probabilidade de efeitos adversos à biota) e Nível 2 – 0,486 mg/kg (limiar acima do qual há maior probabilidade de efeitos adversos à biota).

Ao analisar os trabalhos pretéritos realizados na região de Descoberto, é possível observar que Oliveira (2014) encontrou a maior concentração de mercúrio em sedimentos fluviais (1,67 mg/kg) para o curso d'água denominado Córrego Rico que corta a área contaminada, demonstrando a grande probabilidade de efeitos adversos à biota no local. Com relação aos valores obtidos no Ribeirão Grama é notado que a maior concentração (0,510 mg/kg) foi detectada por Alexandre (2006), como verificado na Quadro 10.

Quadro 10 – Concentrações de mercúrio total em sedimentos fluviais verificados em Descoberto – MG. Adaptado de OLIVEIRA (2014)

Referência	HgT (mg/kg)	Curso d'água
FEAM, CDTN e CPRM (2005)	0,02 a 0,75	Córrego Rico
TINÔCO (2008)	0,13 a 0,42	
CESAR et al (2009)	0,078 e 0,237	
OLIVEIRA (2014)	0,03 a 1,67	
FEAM, CDTN e CPRM (2005)	0,02 a 0,16	Ribeirão do Grama
ALEXANDRE (2006)	0,02 e 0,510	
TINÔCO (2008)	0,20 a 0,37	
OLIVEIRA (2014)	0,17 a 0,19	
TINÔCO (2008)	0,31 a 0,61	Ribeirão do Ronca
OLIVEIRA (2014)	0,16 a 0,17	Córrego da Matinha

Os resultados obtidos nos estudos relacionados no Quadro 10 comprovam a contaminação dos sedimentos fluviais. Em Oliveira (2014), das 18 (dezoito) amostras de sedimentos fluviais analisadas 4 (quatro) apresentam concentração acima do Nível 1 (0,17 mg/kg), concentração abaixo da qual raramente são esperados efeitos adversos à biota, 1 (uma) apresentou concentração superior ao Nível 2, 0,486 mg/kg, concentração acima da qual esses efeitos são frequentemente observados. O mesmo ocorreu no estudo realizado pela FEAM, CDTN e CPRM (2005), porém foram coletadas 13 amostras.

Os maiores níveis de mercúrio total em sedimentos fluviais foram observados no Córrego Rico, curso d'água que corta a área contaminada. É importante ressaltar que no Córrego da Matinha, local onde ocorre a captação de água do município, também foi verificada concentração de mercúrio no limite do Nível 1 (o córrego se localiza a jusante da área contaminada). Esses resultados demonstram que houve carreamento de mercúrio para área de drenagem do local contaminado, e ainda, pode estar relacionado a dispersão do contaminante pela atmosfera (OLIVEIRA, 2014).

5.2.3 Contaminação mercurial na água

De acordo com a Deliberação Normativa COPAM Nº 10/1986 e a Resolução CONAMA 357/2005, as concentrações de mercúrio nos cursos de água monitorados não pode exceder 0,0002 mg/L (ou 0,2 µg/L).

No estudo realizado pela FEAM, CDTN e CPRM (2006), foram coletadas 12 amostras de água superficial. Dessas amostras, uma apresentou concentração de mercúrio acima do limite estabelecido nas legislações ambientais. Essa amostra foi coletada em novembro de 2005 no ponto localizado no córrego Rico à jusante da área interditada, que indicou concentração de mercúrio de 0,34 mg/L.

No período de 2002 a 2004, a Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA, a Diretoria de Vigilância Ambiental em Saúde da Secretaria de Estado da Saúde DVAS/SES, a FEAM e o CDTN realizaram a coleta de 63 amostras de água do córrego Rico, ribeirão do Grama e rio Novo. Amostras realizadas pela COPASA em 26/12/2002 (2,4 mg/L) e pela FEAM/CETEC/CDTN em 18/03/2004 (0,30 mg/L) no ribeirão da Grama indicaram concentrações anormais de mercúrio em ponto localizado próximo à captação existente nesse curso de água. Todas as outras 61 amostras possuíam concentrações de mercúrio inferiores a 0,20 mg/L, incluindo nessas amostras as coletadas próximo ao local de afloramento (FEAM, CDTN e CPRM, 2006).

A avaliação conjunta das 75 amostras de água indica que a qualidade dos cursos de água que drenam a área contaminada pode estar sendo influenciada pela presença de mercúrio no solo da região, apesar da maior parte das análises (72 amostras) apresentarem concentrações reduzidas desse metal. Entretanto, o fato de duas amostras apresentarem teores anômalos de mercúrio em pontos muito distantes da área contaminada indica a existência de outros focos de contaminação na bacia hidrográfica ou a ressuspensão de sedimentos após eventos hidrológicos extremos. Também é importante observar que as amostragens que indicaram concentrações elevadas de mercúrio foram conduzidas no período de chuvas, sendo que houve a ocorrência de precipitação intensa nos dias que precederam essas amostragens (FEAM, CDTN e CPRM, 2006).

Dessa forma, torna-se importante que sejam realizados estudos para identificação de outras áreas contaminadas na bacia do ribeirão do Gramma e outras bacias hidrográficas localizadas na região, uma vez que os levantamentos históricos indicaram a existência de intensa atividade garimpeira no século XIX em toda a região (FEAM, CDTN e CPRM, 2006).

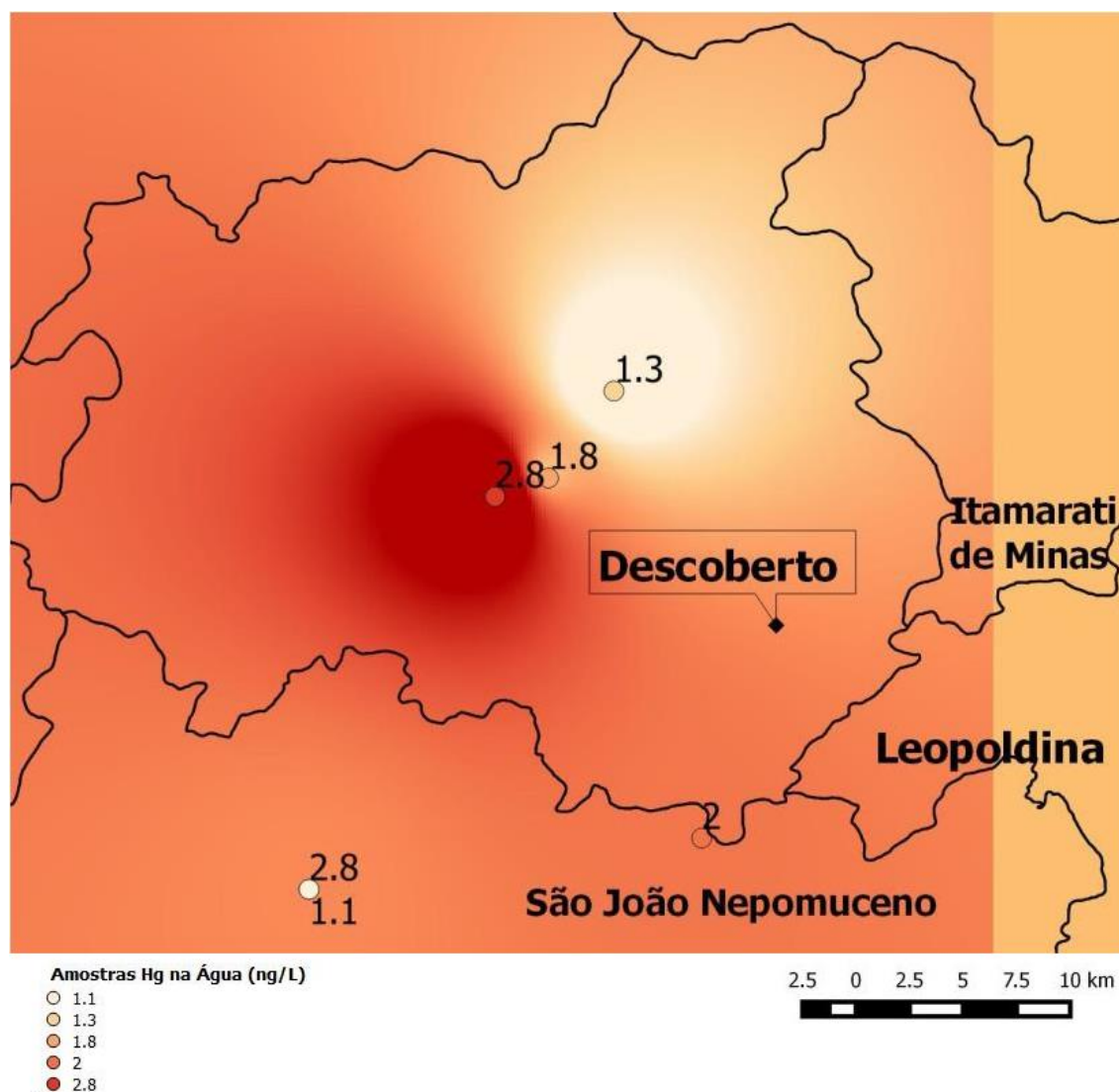
Em estudo mais recente realizado por Pacheco-Ferreira et al (2015) foram realizadas a coleta de 32 amostras de água, nas quais 81 % (27) apresentaram-se abaixo do limite de detecção ($\leq 0,90 \mu\text{g/L}$). No entanto, o mercúrio estava presente em outras seis amostras provenientes de áreas relevantes, tais como abastecimento de água e tratamento, variando 1,1 a 2,8 $\mu\text{g/L}$. No Quadro 11 são apresentados alguns dos pontos de coleta e na Figura 4, a distribuição dos pontos de coleta no mapa com as concentrações de Hg obtidas para o referido ponto.

Na Figura 4 são apresentadas a distribuição dos pontos de coleta no mapa com concentrações de Hg obtidas no referido ponto. Como se trata de coleta de amostras em rios que apresentam estruturas lineares, o mapa não representa de forma adequada a realidade, porém é possível observar que a contaminação de mercúrio ocorre mais a jusante da área contaminada.

Quadro 11 – Pontos de coleta de água. Modificado de Pacheco-Ferreira et al (2015).

Localidade	Água ($\mu\text{g/L}$)
Área de captação de água da COPASA	1,3
Asilo	1,8
Mina Boca do Leão - entrada da Cidade de Descoberto	2,8

Figura 4 – Mapa referente as concentrações de Hg na água (PACHECO-FERREIRA et al, 2015).



5.2.4 Contaminação mercurial na atmosfera

O mercúrio existe na atmosfera principalmente como mercúrio elementar gasoso (Hg^0 – 90 a 99 %); mercúrio ligado ao material particulado ($\text{Hg}^p < 5\%$) e mercúrio gasoso divalente ou mercúrio gasoso reativo ($\text{Hg}^r < 5\%$). O Hg^0 forma mais abundante, é praticamente insolúvel em água e apresenta baixa reatividade, resultando em um longo tempo de residência na atmosfera e na possibilidade de ser transportado por longas distâncias, sendo assim considerado um poluente global (Ferrara et al., 2000; Lindberg et al., 2007; Poissant et al., 2002 apud MMA, 2013).

As maiores concentrações de Hg^0 são encontradas na Ásia, com a maior média de $13,5 \text{ ng/m}^3$, em Guangzhou, China e o maior valor máximo (225 ng/m^3) em Seul, Coréia. No Brasil, em áreas urbanas que ainda comercializam ouro de garimpo, as concentrações de Hg no ar atingem até $3,6 \text{ ng/m}^3$, embora durante o período de maior intensidade do garimpo, pudessem atingir até $15,0 \text{ ng/m}^3$. Em áreas altamente industrializadas na região metropolitana de Campinas, SP, as concentrações atingem até $7,0 \text{ ng/m}^3$ (Amouroux et al., 1999; Fostier & Michelazzo, 2006; Kim et al., 2006; Wang et al., 2007; Almeida et al., 2008 apud MMA, 2013).

No estudo realizado por Pacheco-Ferreira et al (2015) foram realizadas a coleta de 43 amostras de ar em áreas cultivadas (lavouras ou hortas), proximidade de corpos hídricos e regiões sabidamente com mercúrio no solo. No Quadro 12 são apresentados alguns dos pontos de coleta e na Figura 5, a distribuição dos pontos de coleta no mapa com as concentrações de Hg obtidas para o referido ponto.

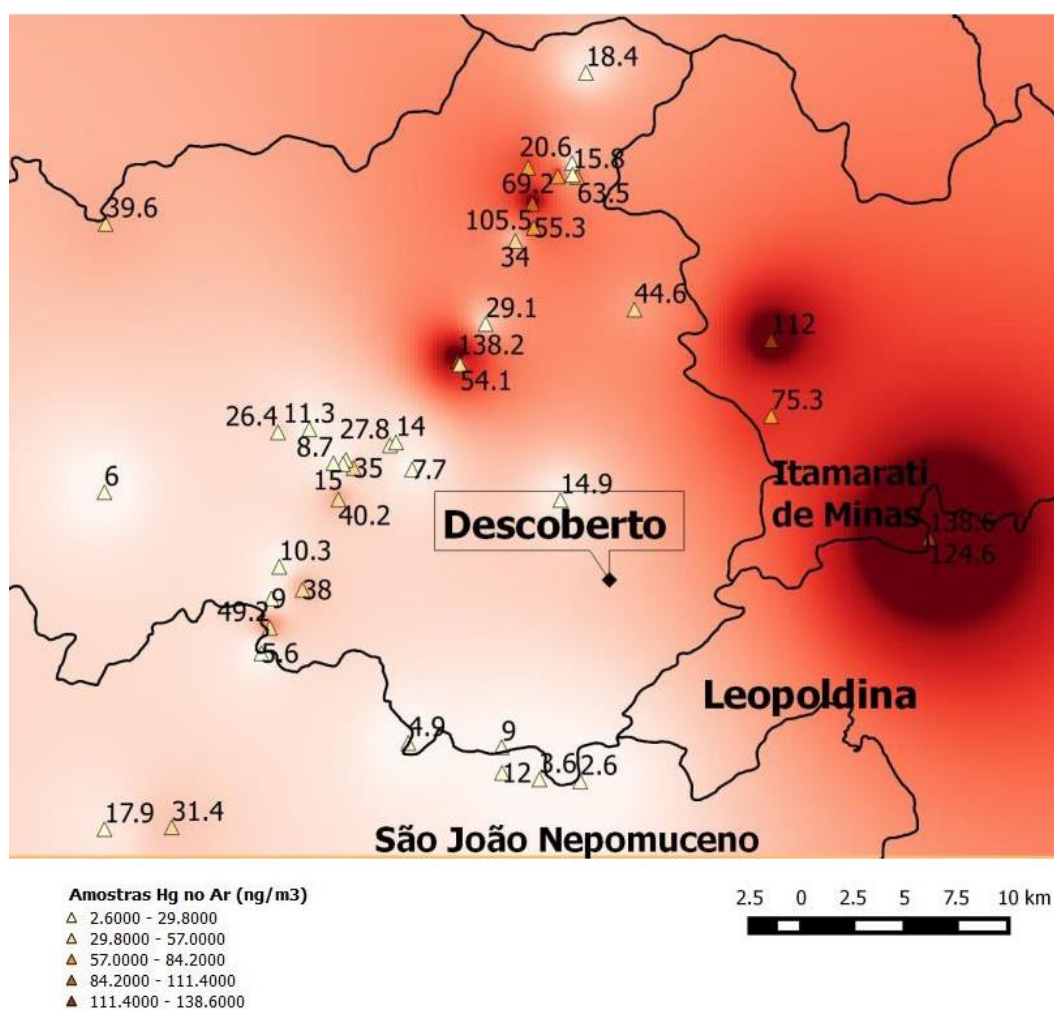
Quadro 12 – Pontos de coleta de ar. Modificado de Pacheco-Ferreira et al (2015).

Localidade	Ar (ng/m^3)
Posto de saúde Grama de Cima	21
Área contaminada	16
Casa do Sr. Lote	64
Córrego do Angico	69
Casa José dos Santos	106
Casa Maria Resende	55
Casa da Gelcira - Estrada de acesso ao Grama	34
Lagoa do Chiquintinho	29
Área de captação de água da COPASA	138
Bar e Residência	54
Estação de Tratamento de Água – COPASA (faz a captação dos rios Grama, Matinha e Carlos Alves)	31
Estação de Tratamento de Água – COPASA – Ribeirão Carlos Alves	18

O nível médio de mercúrio encontrado por Pacheco-Ferreira (2015) no ar foi de $39,4 \pm 37,5 \text{ ng/m}^3$, com mediana em $27,8 \text{ ng/m}^3$. A área onde o mercúrio fluiu do solo mostrou níveis elevados, variando de 55 a 105 ng/m^3 . No entanto, o local onde ocorre a captação de água que abastece a cidade apresentou concentrações maiores do que aquelas encontradas na conhecida zona contaminada (132 ng/m^3).

As amostras de ar apresentaram concentrações maiores do que aquelas encontradas nas regiões contaminadas da Amazônia (de 1,3 a 1,6 ng/m³) e de áreas urbanas (3,6 ng/m³) que ainda comercializam ouro de garimpo. Em São Paulo, a média foi de 1,25 a 12,80 ng/m³ (Artaxo et al., 2000; Fadini & Jardim, 2001; Magarelli & Fostier, 2005; Fostier & Michelazzo, 2006; Almeida et al., 2008 apud MMA, 2013).

Figura 5 – Mapa referente as concentrações de Hg no ar (PACHECO-FERREIRA et al, 2015).

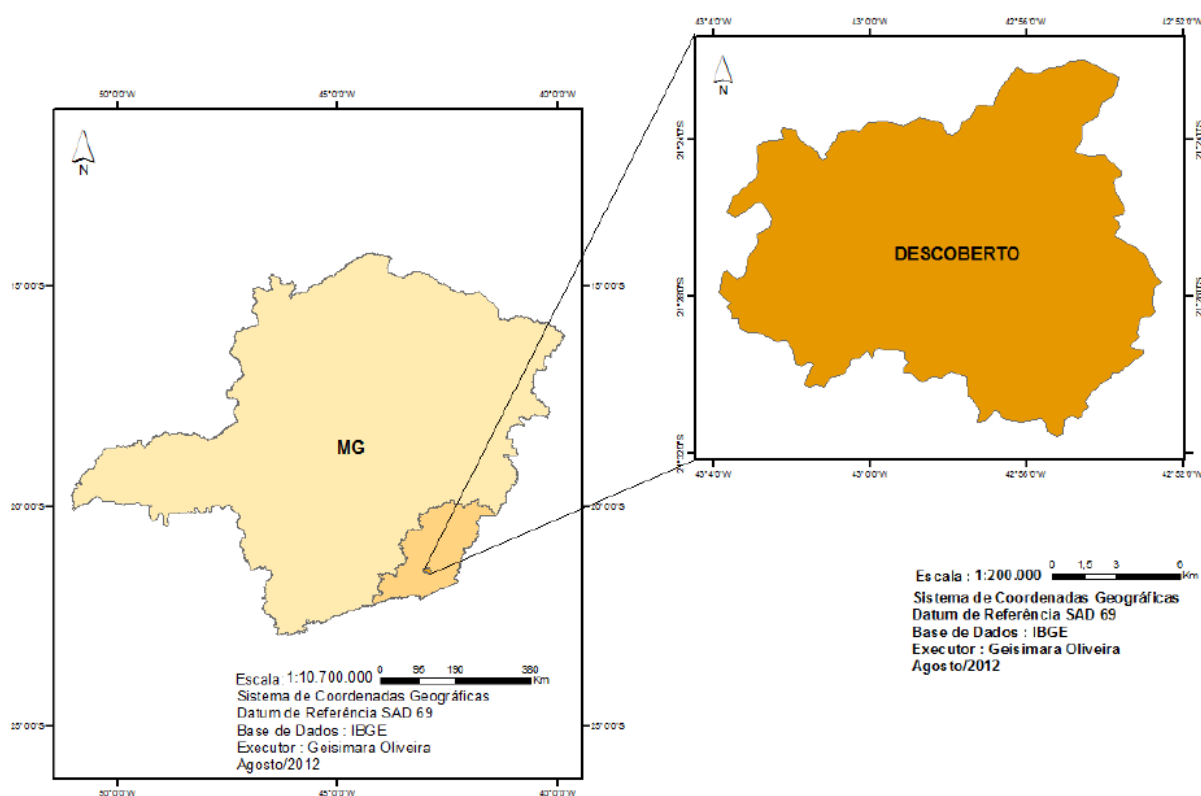


5.3 Metodologia

5.3.1 Área de estudo

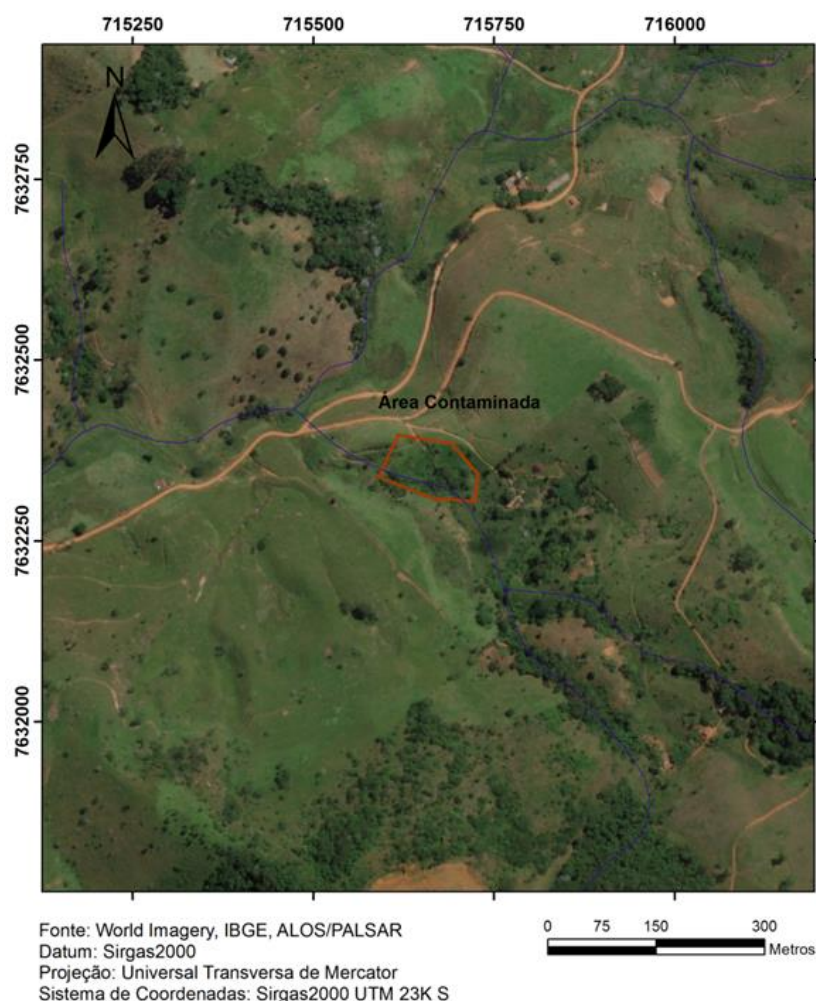
A aplicação do método de valoração do dano ambiental será na área contaminada por mercúrio no município de Descoberto, na Zona da Mata do Estado de Minas Gerais, situado a 370 km de Belo Horizonte e 52 quilômetros de Juiz de Fora. A Figura 6 mostra o mapa situando o município de Descoberto no Estado de Minas Gerais.

Figura 6 – Localização do município de Descoberto em Minas Gerais (OLIVEIRA, 2014).



A área de estudo considerada é toda a região interdita pela FEAM e as suas redondezas imediatas. A área interdita apresenta 8.000 m², sendo 6.680 m² de Área de Preservação Permanente. A Figura 7 apresenta uma visão de satélite das proximidades da área contaminada apresenta uma visão de satélite das proximidades da área contaminada. O perímetro em vermelho destaca a área interdita pela FEAM, e em azul o córrego Rico (que corta a área interdita).

Figura 7 – Visão de satélite da área contaminada e das proximidades (CÂNDIDO, 2017).



5.3.2 Método de Valoração do Dano Ambiental

A escolha dos métodos de valoração econômica ambiental foi feita com base naqueles que mais atendiam aos seguintes critérios: objetividade, simplicidade, transparência e aplicabilidade ao estudo de caso.

Por esse motivo não foram utilizados os métodos diretos com curva de demanda (Método Valoração Contingente, Método Custo Viagem e Método Preços Hedônicos) por serem considerados dispendiosos e demorados.

No presente trabalho, optou-se pela aplicação do Método do DEPRN (GALLI, 1996) que se utiliza do Método Indireto de Custo de Reposição conjugado com fator de multiplicação, com o intuito de estimar o Valor Econômico do Dano Ambiental.

5.4 Resultados e Discussão

5.4.1 Legislação brasileira sobre mercúrio

O Brasil não produz mercúrio. A sua importação e comercialização são controladas pelo IBAMA por meio da portaria n. 32 de 12/05/95 e decreto n. 97.634/89, que estabelece a obrigatoriedade do cadastramento no IBAMA das pessoas físicas e jurídicas que “importem, produzam ou comercializem a substância mercúrio metálico”.

O uso do mercúrio metálico na extração do ouro é também regulamentado. O decreto 97.507/89 proíbe o uso de mercúrio na atividade de extração de ouro, “exceto em atividades licenciadas pelo órgão ambiental competente”. Por outro lado, a obrigatoriedade de recuperação das áreas degradadas pela atividade garimpeira é igualmente regulamentada pelo decreto 97.632/89.

Por meio do Decreto nº 9.470, de 14 de agosto de 2018, foi promulgada a Convenção de Minamata sobre Mercúrio. Com a promulgação, a convenção entra em pleno vigor no território nacional. Seu principal objetivo é proteger a saúde humana e o meio ambiente dos efeitos adversos de emissões e liberações de mercúrio e seus compostos.

5.4.2 Custo de recuperação da área contaminada

O custo de recuperação da área degradada foi orçado pelo Departamento de Edificações e Estradas de Rodagem de Minas Gerais – DEER MG com base no projeto executivo de descontaminação elaborado pela empresa GEOLOCK Consultoria e Engenharia Ambiental Ltda, a pedido da FEAM, a fim de viabilizar a licitação para execução dos serviços projetados, e que culminou no edital Nº 045/2017.

A intervenção proposta no projeto apresentado consiste basicamente em escavação do material contaminado e destinação do mesmo para aterro classe I preparado para receber resíduos contaminados.

A execução dos serviços de descontaminação da área contaminada foi orçada em R\$ 2.224.778,45 (dois milhões, duzentos e vinte e quatro mil, setecentos e setenta e oito reais e quarenta e cinco centavos) para o mês de julho de 2017.

O Quadro 13 apresenta o resumo da planilha orçamentária. A planilha completa encontra-se no Anexo B.

Quadro 13 – Resumo da planilha orçamentária do projeto de descontaminação da área.

DESCRIÇÃO	PREÇO (R\$)
1ª ETAPA DO PROJETO	
Mobilização, desmobilização, instalações iniciais e serviços preliminares	165.569,12
Fornecimento de EPI conforme projeto	27.637,24
Movimentação de solo contaminado inclusive limpeza de vegetal e demolição de estruturas existentes	278.642,80
Serviços técnicos específicos para acompanhamento de remoção	78.792,66
Destinação final de material contaminado em aterro Classe I	576.800,00
Tratamento e disposição final de efluentes gerados na obra	64.801,72
Reconstituição da flora conforme projeto tecnico – PTRF	36.987,79
Manutenções posteriores	63.805,73
``as built``	7.481,60
2ª ETAPA DO PROJETO	
Movimentação de solo contaminado inclusive limpeza vegetal e demolição de estruturas existentes	278.642,80
Destinação final de material contaminado em aterro Classe I	576.800,00
Administração local	68.817,00
TOTAL	2.224.778,45

5.4.3 Aplicação do Método DEPRN

Primeiramente será avaliado o fator de multiplicação, de acordo com a Tabela 1 e Quadro 1, para os seguintes aspectos ambientais: Atmosfera, Água e Solo.

1) ATMOSFERA

1.1) Toxidade de emissão

– Comprovada = 3

O mercúrio é a terceira substância mais tóxica e é facilmente acumulado na maioria dos organismos, a contaminação por esse metal apresenta grande perigo ao meio ambiente e à saúde humana (FARIAS, 2006; ATSDR, 2007; WINDMÖLLER et al., 2007; MPMG, 2014).

Além das emissões antrópicas, que neste caso se deu pela queima do amalgama, é também constantemente reemitido para a atmosfera (60% das emissões totais), através da ressuspensão dos compostos depositados em solos e sedimentos de águas superficiais e pela queima de biomassa (UNEP, 2013). O mercúrio pode perdurar em altos níveis mesmo muito tempo após a redução das emissões primárias, indicando a longa persistência dos seus compostos no meio (UNEP, 2013).

FATOR MULTIPLICADOR = 1,6

2) ÁGUA

2.1) Toxidade de emissão

– Comprovada = 3

Nos meios aquáticos e solos úmidos (como de brejos, pântanos e mangues) o mercúrio pode estar em forma solúvel ou depositado em sedimentos, que é o ambiente mais favorável à conversão do mercúrio inorgânico para metilmercúrio, que apresenta um alto potencial tóxico, e se acumula ao longo da cadeia trófica (UNEP, 2013). Esse, por sua vez, apresenta um tempo de detenção de aproximadamente 11 anos até sofrer processos de desmetilação (UNEP, 2013).

2.2) Localização em relação as áreas protegidas (unidades de conservação)

– Na mesma bacia hidrográfica à jusante = 1

A área contaminada está localizada à jusante da Reserva Particular do Patrimônio Natural Alto da Boa Vista – I e II (unidade de conservação), na Serra do Relógio, porção norte do município de Descoberto–MG, região da Zona da Mata Mineira.

Na região ainda são encontradas extensas áreas preservadas como a Reserva Biológica Represa do Grama, onde é feita a captação de água para o abastecimento municipal (à jusante da área contaminada).

O córrego Rico (que corta a área contaminada e sofreu contaminação) é afluente do ribeirão da Grama, que por sua vez é afluente da margem esquerda do rio Novo, que é tributário da margem direita do rio Pomba, que é afluente do rio Paraíba do Sul.

$$\text{FATOR MULTIPLICADOR} = (3+1 = 4) = 1,6$$

3) SOLO

3.1) Toxidade de emissão

– Comprovada = 3

Ocorre grande tempo de detenção no meio devido a predominância dos compostos inorgânicos e metálicos do mercúrio, que são fortemente retidos pela fase sólida pelos processos de sorção (DURÃO, 2010; OLIVEIRA, 2014). No entanto, as transformações do mercúrio da forma metálica para iônica pode favorecer a sua lixiviação e contaminação de águas subterrâneas, elevando a sua mobilidade (MELAMED & BÔAS, 2002).

3.2) Assoreamento de corpos hídricos

– Pequena intensidade = 1

A extração de ouro que ocorreu na área contaminada apresenta características de lavra em aluvião, que consiste em remover o solo formando uma cava à céu aberto que pode causar o carreamento de partículas sólidas que podem provocar o de assoreamento de corpos hídricos (MPMG, 2012).

Devido ao desconhecimento da conformação do corpo hídrico (Corrêgo Rico) anteriores à atividade de mineração, considerou-se o assoreamento de pequena intensidade.

3.3) Objetivando a comercialização

– Atividade principal ou secundária = 1

Através da análise de documentos históricos e entrevista com moradores, os pesquisadores da FEAM, CDTN e CPRM (2006) encontraram como possível fonte de

contaminação o garimpo de ouro realizado no município no século XIX, com início 1824, no qual tem-se por objetivo comercializar o ouro extraído.

3.4) Danos ao relevo (alteração da declividade, desmoronamento, outros)

$$- \text{Ocorrido} = 3 \times 1,5 = 4,5$$

A extração de ouro que ocorreu na área contaminada apresenta características de lavra em aluvião, que consiste em remover o solo formando uma cava à céu aberto que altera a conformação do relevo (MPMG, 2012). Como o terreno é acidentado, considerou-se que houve danos ao relevo.

3.5) Previsão de reequilíbrio na condição natural (caso não haja possibilidade de previsão do prazo, utilizar os critérios de custo de recuperação na seguinte ordem: baixo custo (menor que o da exploração) = 1; médio custo (equivalente ao da exploração) = 2; alto custo (maior que da recuperação) = 3

$$- \text{Longo prazo (Alto custo)} = 3 \times 1,5 = 4,5$$

Com base no valor orçado pelo DEER para recuperação da área contaminada.

$$\mathbf{FATOR\ MULTIPLICADOR = (3+1+1+4,5+4,5 = 14) = 3,2}$$

$$\mathbf{\Sigma\ Fator\ de\ multiplicação = (1,6+1,6+3,2) = 6,4}$$

Considerando o custo de recuperação da área contaminada em estudo, estabelecido pelo Departamento de Edificações e Estradas de Rodagem de Minas Gerais – DEER MG, de R\$ 2.224.778,45 (detalhado no item 5.4.2) e considerando a proposta metodológica elaborada pelo extinto Departamento Estadual de Proteção de Recursos Naturais (DEPRN) da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (item 4.3.3), estima-se como valor econômico do dano ambiental referente a essa área contaminada:

$$\mathbf{DANO = \Sigma\ FATOR\ DE\ MULTIPLICAÇÃO\ X\ VALOR\ DE\ RECUPERAÇÃO}$$

$$\mathbf{DANO = 6,4 \times R\$ 2.224.778,45 = R\$ 14.238.582,08}$$

Assim, segundo o método DEPRN, o valor econômico do dano ambiental do local em estudo é de R\$ 14.238.582,08 (quatorze milhões, duzentos e trinta e oito mil, quinhentos e oitenta e dois reais e oito centavos), o que representa R\$ 1779,82 (mil, setecentos e setenta e nove reais e oitenta e dois centavos) por metro quadrado.

Ressalta-se que os aspectos ambientais “fauna”, “flora” e “paisagem” não foram considerados nessa avaliação, por falta de estudos que comprovem esses danos devido a contaminação de mercúrio e também pela falta de conhecimento das características da área anterior à contaminação.

No estudo realizado por Tinôco et al (2010), as concentrações de mercúrio em peixes mantiveram-se abaixo do limite máximo estabelecido pela portaria Anvisa 685/1998 de 0,5 mg/kg para não predadores e 1,0 mg/kg para predadores e abaixo do limite estabelecido pela WHO (1991) para consumo frequente (0,30 mg/kg). Também não foi observada contaminação das águas subterrâneas. Apenas uma amostra coletada em novembro de 2005 apresentou concentrações anômalas de mercúrio, porém está abaixo do limite estabelecido na Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde como padrão de potabilidade, que é de 1 mg/L. O mercúrio não foi detectado nessas águas, provavelmente, pela retenção por adsorção nas argilas presentes e concentração do contaminante restrita às nas formações superficiais do solo, além do processo de percolação incipiente.

Assim, caso novos estudos sejam realizados e sejam comprovados os dados causados aos recursos naturais, o valor econômico estimado do dano ambiental pode aumentar.

5.5 Conclusões

Devido as características da área de estudo deste trabalho, sentiu-se dificuldade em encontrar um método de valoração econômica que pudesse ser aplicado. A maioria dos métodos são aplicados em áreas maiores que um hectare. Neste sentido, o método DEPRN não sofre limitações na sua aplicação pelo tamanho da área a ser valorada. Ele pode ser aplicado em qualquer área, desde que seja possível obter o custo de recuperação da área contaminada/degradada ou o valor de exploração dos bens lesados, sendo esse um ponto limitante do método. Por outro lado, mostrou-se bem abrangente ao usar um fator de multiplicação que é calculado a partir de critérios que levam em conta todos os aspectos afetados.

O método mais adequado para cada caso de valoração econômica do recurso ou do dano ambiental irá depender do objetivo da valoração, das hipóteses consideradas, da disponibilidade de dados, conhecimento científico a respeito da dinâmica ecológica do objeto em questão e das especificidades da situação analisada. Não há como comprovar a eficiência de um método em relação ao outro, mesmo porque não há como precisar o real valor de um recurso ou do dano ambiental.

Neste sentido, é importante ressaltar que o valor obtido pela aplicação do método pode ser ainda maior, porque não foram considerados os aspectos ambientais “fauna”, “flora” e “paisagem” por falta de estudos que comprovem os danos causados devido a contaminação de mercúrio e pela falta de conhecimento das características da área anterior à contaminação. E por maiores que sejam os gastos envolvidos na recuperação, nem todas as complexas propriedades de um atributo ambiental serão repostas pela simples substituição do recurso, mas já nos fornecem uma ideia dos prejuízos econômicos causados pela alteração na provisão do recurso natural.

REFERÊNCIAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.515-1**: 2007. Passivo ambiental em solo e água subterrânea – Parte 1: Avaliação Preliminar. Rio de Janeiro, RJ, 2007. 47p.
- AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). Chapter 6: Exposure Evaluation: Evaluating Exposure Pathways. In: Public Health Assessment Guidance Manual. Atlanta, Georgia. Atlanta: US Department of Health and Human Services. 2005. Disponível em: < <https://www.atsdr.cdc.gov/hac/phamanual/ch6.html> > Acesso em: 05 jan 2018.
- ALEXANDRE, S. C. Avaliação de Área Contaminada por Mercúrio Total em Descoberto – Minas Gerais. Dissertação de mestrado. Viçosa, UFV, 2005.
- ALMEIDA, M.D.; MARINS, R.V.; PARAQUETTI, H.H.M. & LACERDA, L.D. 2008. METHODOLOGY optimization and application for measure of gaseous elemental mercury in the Amazon atmosphere. **Journal of the Brazilian Chemical Society** 19(7): 1290-1297.
- AMOUROUX, D., WASSERMAN, J.C., TESSIER, E. & DONARD, O.F.X. 1999. Elemental mercury in the atmosphere of a tropical Amazonian forest (French Guiana). **Environmental Science & Technology** 33, 3044-3048.
- ANTUNES, P. B. A recuperação de danos ecológicos no direito brasileiro. **Veredas do Direito: Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável**, Belo Horizonte, v. 14, n. 29, p. 293-321, out. 2017. ISSN 21798699. Disponível em: <<http://www.domhelder.edu.br/revista/index.php/veredas/article/view/1056>>. Acesso em: 12 dez. 2017.
- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). Portaria Nº 685, de 27 de agosto de 1998.
- ARAÚJO, I. T. **Disposição a pagar pela recuperação/preservação da caatinga no município de Mossoró-RN**. 2013. Dissertação (Mestrado em Ambiente, Tecnologia e Sociedade) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró-RN.
- ARTAXO, P., DE CAMPOS, R.C., FERNANDES, E.T., MARTINS, J.V., XIAO, Z.F., LINDQVIST, O., FERNANDEZ-JIMENEZ, M.T. & MAENHAUT, W. 2000. Large scale mercury and trace element measurements in the Amazon basin. **Atmospheric Environment** 34, 4085-4096.
- BADINI, L. Apresentação. **MPMG Jurídico**, Belo Horizonte, Edição especial, p.1, 2011.
- BRASIL. Lei Federal nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=5>>. Acesso em 16 de abril de 2017.

BRASIL. Presidência da República. Lei 6.938 de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Brasília, DF, 31 de ago. 1981.

BRASIL. Lei Federal Nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências.

BRASIL. Resolução nº 454 CONAMA de 01/11/12. Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional. Brasília, 2012.

BRASIL. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988. 292 p.

BRASIL. Resolução nº 2 CONAMA de 22/08/91. Dispõe sobre adoção ações corretivas, de tratamento e de disposição final de cargas deterioradas, contaminadas ou fora das especificações ou abandonadas. Brasília, 1991.

BRASIL. Resolução nº 420 CONAMA de 28/12/09. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Brasília, 2009.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Classificação de águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional. D.O.U., nº 53, p. 58-63, Brasília, 2005.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 420, de 28 de dezembro de 2009. Critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. D. O. U., nº 429, p. 81-84, Brasília, 2009.

CÂNDIDO, V. B. R. **Análise de Risco Ambiental: O Caso da Contaminação Mercurial em Descoberto – MG**. 2017. 100 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2017.

CARDOSO, A. R. A. **A Degradação Ambiental e seus Valores Econômicos Associados**, Porto Alegre: Sérgio Antonio Fabris Editor, 2003, 96 p.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (São Paulo). Manual de gerenciamento de áreas contaminadas / CETESB, GTZ. 2.ed. São Paulo : CETESB, 2001.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL
DECISÃO DE DIRETORIA Nº 103/2007/C/E, de 22 de junho de 2007.

COLOMBO, S. R. B. O Princípio do poluidor-pagador. In: Âmbito Jurídico, Rio Grande, IX, n. 28, abr 2006. Disponível em:
<http://www.ambitojuridico.com.br/site/index.php?n_link=revista_artigos_leitura&artigo_id=932>. Acesso em 25 de nov de 2017.

COPAM – CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL (Minas Gerais). Deliberação Normativa COPAM nº. 02, de 08 de setembro de 2010. Institui o Programa Estadual de Gestão de Áreas Contaminadas, que estabelece as diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por substâncias químicas. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?IdNorma=14670>>. Acesso em 16 de abril de 2017.

COPAM – CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL (Minas Gerais). **Deliberação Normativa COPAM nº 116 de 27 de junho de 2008.** Dispõe sobre a declaração de informações relativas à identificação de áreas suspeitas de contaminação e contaminadas por substâncias químicas no Estado de Minas Gerais. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=7974>>. Acesso em 16 de abril de 2017.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Relatório de Estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo. CETESB; 2001.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Decisão de diretoria nº 045/2014/e/c/i, de 20 de fevereiro de 2014. Dispõe sobre a aprovação dos Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo – 2014, em substituição aos Valores Orientadores de 2005 e dá outras providências. Diário Oficial do Estado de São Paulo, nº 124, p. 53, 21/02/2014.

DEBEUX, Carolina B S. **A valoração econômica como instrumento de gestão ambiental – o caso da despoluição da Baía de Guanabara.** COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 1998.

DECLARAÇÃO DO RIO DE JANEIRO. **Estudos Avançados.** [online]. 1992, vol.6, n.15, pp.153-159. ISSN 0103-4014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40141992000200013>>. Acesso em 10 nov. 2017.

DURÃO JÚNIOR, W. A. Especiação, Quantificação, Distribuição e Transporte de Mercúrio em Solos Contaminados do Município de Descoberto, Minas Gerais. Tese de doutorado. Belo Horizonte, UFMG, 2010.

ELETROBRÁS. DEA. **Metodologia de valoração das externalidades ambientais da geração hidrelétrica e termelétrica com vistas à sua incorporação no planejamento de longo prazo do setor elétrico.** / Centrais Elétricas Brasileiras S.A., DEA; coordenado por Mírian Regini Nutti. – Rio de Janeiro : Eletrobrás, 2000.

FADINI, P.S. & JARDIM, W.F. 2001. Is the Negro River Basin (Amazon) impacted by naturally occurring mercury? **Science of the Total Environment** 275, 71-82.

FEAM – FUNDAÇÃO ESTADUAL DO AMBIENTE (Minas Gerais). **Inventário de áreas suspeitas de contaminação e contaminadas do Estado de Minas Gerais,** 2016.

FEAM, CDTN e CPRM - Fundação Estadual do Meio Ambiente; Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear e Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Diagnóstico da contaminação ambiental em Descoberto, Minas Gerais, em decorrência do afloramento de mercúrio em dezembro de 2002. Belo Horizonte, 2005.

FEAM, CDTN e CPRM - Fundação Estadual do Meio Ambiente; Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear e Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Capítulo 4: Análise de Risco. In: Diagnóstico da contaminação ambiental em Descoberto, Minas Gerais, em decorrência do afloramento de mercúrio em dezembro de 2002 – Relatório Final. Belo Horizonte, 2006.

FERRARA, R., MAZZOLAI, B., LANZILLOTTA, E., NUCARO, E. & PIRRONE, N. 2000. Volcanoes as emission sources of atmospheric mercury in the Mediterranean basin. **Science of the Total Environment** 259, 115- 121

FOSTIER, A.H. & MICHELAZZO, P.A.M. 2006. Gaseous and particulate atmospheric mercury concentrations in the Campinas Metropolitan Region (Sao Paulo State, Brazil). **Journal of the Brazilian Chemical Society** 17, 886-894

FURIO, P. R. (2006). **Valoração Ambiental: aplicação de métodos de valoração em empresas dos setores mineração, papel e celulose e siderurgia**. Rio de Janeiro: Escola Brasileira de Administração Pública e de Empresas.

GALLI, F. Valoração de danos ambientais: subsídio para ação civil. **Série Divulgação e Informação**, 193, Companhia Energética de São Paulo, CESP, São Paulo, 1996.

KIM, K.H., MISHRA, V.K. & HONG, S. 2006. The rapid and continuous monitoring of gaseous elemental mercury (GEM) behavior in ambient air. **Atmospheric Environment** 40, 3281-3293.

LACERDA, L. D. e PFEIFFER, W. C. Mercury from Gold Mining in the Amazon Environment - an Overview. **Química Nova**, v.15, n.2, p. 155-160, 1992.

LINDBERG, S., BULLOCK, R., EBINGHAUS, R., ENGSTROM, D., FENG, X.B., FITZGERALD, W., PIRRONE, N., PRESTBO, E. & SEIGNEUR, C. 2007. A synthesis of progress and uncertainties in attributing the sources of mercury in deposition. **Ambio** 36, 19-32

MAGARELLI, G. & FOSTIER, A.H. 2005. Influence of deforestation on the mercury air/soil exchange in the Negro River Basin, Amazon. **Atmospheric Environment** 39, 7518-7528.

MAGLIANO, M. M. De quanto é o rombo ambiental no Brasil. **Revista Perícia Federal**. Brasília, n. 29, ano 13, p. 8-13. mar/2012.

MAIA, A. G. **Valoração de recursos ambientais**. 2002. 199 p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Econômico, Espaço e Meio Ambiente) – Universidade de Campinas, Campinas, 2002.

MELAMED, R., VILLAS BÔAS, R. C. Mecanismos de Interação Físico-Química e Mobilidade do Mercúrio em Solos, Sedimentos e Rejeitos de Garimpo de Ouro. Série Tecnologia Ambiental. Rio de Janeiro, CETEM/MCT, 2002.

MINISTÉRIO PÚBLICO DE MINAS GERAIS (MPMG). Inquérito Civil nº MPMG-0629.03.000001-8. Ação Civil Pública – Contaminação por Mercúrio em Descoberto. MPMG, 2014.

MINISTÉRIO PÚBLICO DE MINAS GERAIS (MPMG). MPMG Jurídico. Revista do Ministério Público de Minas Gerais. Edição Especial Guia Técnico de Mineração. MPMG, 2012.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Diagnóstico Preliminar sobre o Mercúrio no Brasil. Brasília, MMA, 2013.

MIRRA, A. L. V. **Ação civil pública e a reparação do dano ao meio ambiente**. São Paulo: Juarez de Oliveira, 2002. 416 p.

MOTTA, R. S. Valoração econômica como um critério de decisão. **Revista do Tribunal de Contas da União**, Brasília, v.1, n.1, p. 92-95, 1970.

MOTTA, R. S. **Manual para valoração econômica de recursos ambientais**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal, 1998.

MUELLER, C. C. Economia e meio ambiente na perspectiva do mundo industrializado: uma avaliação da economia ambiental neoclássica. **Estudos Econômicos**, São Paulo, v. 26, n. 2, p. 261-304, maio-agosto, 1996.

NETO, G. K. **Desempenho de modelos de valoração econômica de danos ambientais decorrentes da contaminação do solo: cates, vcp, hea, deprn**. MPMG Jurídico, Belo Horizonte, Edição especial, p.31-37, 2011.

NOGUEIRA, J. M.; MEDEIROS, M. A.; ARRUDA, F. S. Valoração econômica do meio ambiente: ciência ou empiricismo? **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v.17, n.2, p. 81-115, 2000.

OLIVEIRA, G. A. Avaliação dos níveis atuais de mercúrio total em área contaminada no município de Descoberto – MG. Dissertação de mestrado. Juiz de Fora, UFJF, 2014.

PACHECO-FERREIRA, H; LEITE, M.A.A; PÉREZ, M. A.; VATER, M.C.; ROMERO, M.; SCHAEFFER, P.D.; MOREIRA, M.F.R; AMORIM, A.P.C.F.; VECHI, A.; GONÇALVES, R.; SILVA, R.D.; Níveis de mercúrio em amostras ambientais e biológicas. Pesquisa: Elaboração de protocolo clínico e diretrizes terapêuticas para a vigilância em saúde de populações expostas ao mercúrio. Centro de Ciências da Saúde. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2015.

POISSANT, L., DOMMERGUE, A. & FERRARI, C.P. 2002. Mercury as a global pollutant. **Journal de Physique** Iv 12, 143-160.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE (UNEP). Global Mercury Assessment 2013: Sources, Emissions, Releases and Environmental Transport. UNEP Chemicals Branch, Geneva, Switzerland, 2013.

RAMOS, A. S.; CASTILHOS, Z. C.; EGLER, S. G. Avaliação ecotoxicológica de solo contaminado por mercúrio metálico utilizando o oligoqueta *Eisenia foetida*. In: XIV Jornada de Iniciação Científica. Rio de Janeiro, CETEM, 2007

ROSI, G. M. S. Internalização de custos dos danos ambientais para o poluidor. In: Âmbito Jurídico, Rio Grande, XIX, n. 154, nov 2016. Disponível em: <http://www.ambitojuridico.com.br/site/index.php?n_link=revista_artigos_leitura&artigo_id=18248&revista_caderno=5>. Acesso em: 25 de nov 2017

SILVA, A.P. Coleta de amostras em solos, sedimentos e águas de ambientes impactados por mercúrio para monitoramento ambiental. In: Câmara V, M. **Mercúrio em áreas de garimpos de ouro**. Centro Panamericano de Ecologia Humana e Saúde, Série Vigilância no 12, México, p.107-114, 1993.

STEIGLEDER, A. M. Valoração de Danos Ambientais Irreversíveis. **MPMG Jurídico**, Belo Horizonte, Edição especial, p.24-30, 2011.

TINÔCO, A. A. P. et al. Avaliação de contaminação por mercúrio em Descoberto, MG. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, vol.15, n.4, p. 305-314, 2010.

WANG, Z.W., CHEN, Z.S., DUAN, N. & ZHANG, X.S. 2007. Gaseous elemental mercury concentration in atmosphere at urban and remote sites in China. **Journal of Environmental Sciences** 19, 176-180.

WINDMÖLLER, C.C. et al. Distribuição e especiação de mercúrio em sedimentos de áreas de garimpo de ouro do Quadrilátero Ferrífero (MG). **Química Nova**, v. 30, n. 5, p. 1088-1094, 2007.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Inorganic mercury. Environmental Health Criteria, Geneva, v. 118, 1991.

ANEXO A - DEPRN - Critérios de qualificação de agravos

1) AR

Os agravos descritos na linha Impacto na dinâmica atmosférica da Quadro 1, têm os seus valores multiplicados por 1,5.

- Toxicidade da emissão (baseada em literatura científica):
 - Comprovada = 3
 - Fortes indícios = 2
 - Suposta = 1
- Proximidade de centros urbanos (baseado em censo demográfico):
 - Centro urbano (população ≥ 60.000 hab) distante até 10km = 2
 - Centro urbano (população ≥ 60.000 hab) distante até 25km = 1
- Localização em relação a áreas protegidas (Unidades de Conservação):
 - Dentro da área = 2
 - Sob influência = 1
- Comprometimento do aquífero, decorrente do dano ao ar (estudar o aspecto água):
 - Comprovado = 2
 - Suposto = 1
- Morte ou dano à fauna, decorrente do dano ao ar (estudar o aspecto fauna):
 - Comprovado = 2
 - Suposto = 1
- Morte ou dano à flora, decorrente do dano ao ar (estudar o aspecto flora):
 - Comprovado = 2
 - Suposto = 1
- Dano ao patrimônio cultural, histórico, artístico, arquitetônico e turístico e/ou monumentos naturais, decorrente do dano ao ar (estudar o aspecto paisagem):
 - Comprovado = 2
 - Suposto = 1
- Alteração da qualidade do ar:
 - Estado de emergência = 3
 - Estado de Alerta = 2
 - Estado de Atenção ou péssimo = 1

- Previsão de reequilíbrio (caso não haja possibilidade de previsão de prazo, utilizar o critério custo de recuperação ou dos equipamentos preventivos: baixo custo = 1; médio custo = 2; alto custo = 3):

- Curto prazo = 1
- Médio prazo = 2
- Longo prazo = 3

2) ÁGUA

Os agravos descritos na linha Impacto na hidrodinâmica (alteração do fluxo e/ou vazão) da Quadro 1, têm seus valores multiplicados por 1,5.

- Toxicidade da emissão (baseada em literatura científica):
 - Comprovada = 3
 - Fortes indícios = 2
 - Suposta = 1
- Comprometimento do aquífero:
 - Comprovado = 3
 - Fortes indícios = 2
 - Suposto = 1
- Localização em relação as áreas protegidas (Unidades de Conservação e Áreas de Preservação Permanente definidas em legislação):
 - Dentro = 3
 - Na mesma bacia hidrográfica à montante = 2
 - Na mesma bacia hidrográfica à jusante = 1
- Dano ao complexo solo/subsolo, decorrente do dano à água (estudar o aspecto solo/subsolo):
 - Comprovado = 3
 - Fortes indícios = 2
 - Suposto = 1
- Morte ou dano à fauna, decorrente do dano à água:
 - Comprovado = 2
 - Suposto = 1
- Morte ou dano à flora, decorrente do dano à água (estudar o aspecto flora):
 - Comprovado = 2
 - Suposto = 1

- Dano ao patrimônio cultural, histórico, artístico, arquitetônico e turístico e/ou monumentos naturais, decorrente do dano à água (estudar o aspecto paisagem):
 - Comprovado = 2
 - Suposto = 1
- Alteração da classe do corpo hídrico (baseado na Resolução CONAMA nº 20 de 18/06/86):
 - Comprovada = 3
- Alteração na vazão / volume de água:
 - Significativa = 2
 - Não significativa = 1
- Previsão de reequilíbrio na condição natural (caso não haja possibilidade de previsão de prazo, utilizar o critério custo de recuperação ou dos equipamentos preventivos: baixo custo = 1; médio custo = 2; alto custo = 3)
 - Curto prazo = 1
 - Médio prazo = 2
 - Longo prazo = 3

3) SOLO E SUBSOLO

Os agravos descritos na linha Impacto na dinâmica do complexo solo-subsolo (movimentação de solo, corte ou aterro) da Quadro 1, têm seus valores multiplicados por 1,5.

- Toxicidade da emissão (baseada em literatura científica):
 - Comprovada = 3
 - Fortes indícios = 2
 - Suposta = 1
- Comprometimento do aquífero, decorrente do dano ao complexo solo/subsolo (estudar o aspecto água):
 - Comprovado = 3
 - Fortes indícios = 2
 - Suposto = 1
- Localização em relação às áreas protegidas (Unidades de Conservação e Áreas de Preservação Permanente definidas em legislação):
 - Totalmente inserido = 2
 - Parcialmente inserido = 1
- Assoreamento de corpos hídricos (estudar o aspecto água):

- Grande intensidade = 3
- Média intensidade = 2
- Pequena intensidade = 1
- Morte ou dano à fauna, decorrente do dano ao complexo solo/subsolo (estudar o aspecto fauna):
 - Comprovado = 2
 - Suposto = 1
- Morte ou dano à flora, decorrente do dano ao solo/subsolo (estudar o aspecto flora):
 - Comprovado = 2
 - Suposto = 1
- Dano ao patrimônio cultural, histórico, artístico, arquitetônico e turístico e/ou a monumentos naturais, decorrentes do dano ao complexo solo/subsolo (estudar o aspecto paisagem):
 - Comprovado = 2
 - Suposto = 1
- Objetivando a comercialização:
 - Atividade principal ou secundária = 1
- Alteração na capacidade de uso da terra:
 - Em mais de uma classe (por ex: classe 1 para 3) = 3
 - Em uma classe (por ex: classe 1 para 2) = 2
 - Na mesma classe de uso (subclasses) = 1
- Danos ao relevo (alterações da declividade, desmoronamentos, etc) (estudar o aspecto paisagem):
 - Ocorrido = 3
 - Grande risco = 2
 - Pequeno risco = 1
- Previsão de reequilíbrio na condição natural (caso não haja possibilidade de previsão do prazo, utilizar os critérios de custo de recuperação: baixo custo (menor que o da exploração) = 1; médio custo (equivalente ao da exploração) = 2; alto custo (maior que da recuperação) = 3):
 - Curto prazo = 1
 - Médio prazo = 2
 - Longo prazo = 3

4) FAUNA

Os agravos descritos na linha de Impacto na dinâmica da comunidade da Quadro 1 têm seus valores multiplicados por 1,5.

- Localização em relação às áreas protegidas (Unidades de Conservação e Áreas de Preservação Permanente definidas por legislação):

- Dentro = 3
- No raio de ação do animal = 2

- Ocorrência de espécies ameaçadas de extinção (Baseada na Portaria do IBAMA Nº 1.522 de 19/12/89):

- Comprovada = 3
- Suposta = 2

- Ocorrência de espécies endêmicas (baseada em literatura científica):

- Comprovada = 2
- Suposta = 1

- Ocorrência de Fêmeas:

- Prenhas ou ovadas = 3
- Comprovada = 2
- Suposta = 1

- Objetivando comercialização:

- Atividade principal = 3
- Atividade secundária = 2

- Importância relativa:

- Espécie que não se reproduz em cativeiro = 3
- Espécie que se reproduz em cativeiro = 2
- Espécie criada comercialmente = 1

- Morte ou dano à flora decorrente do dano à fauna (estudar aspecto flora):

- Comprovado = 3
- Fortes indícios = 2
- Suposto = 1

- Alteração nos nichos ecológicos:

- Comprovada = 3
- Fortes indícios = 2
- Suposta = 1

- Previsão de reequilíbrio (natural) (caso não haja possibilidade de previsão de prazo, utilizar como critério: outras espécies = 1; espécies endêmicas = 2; espécies ameaçadas = 3):

- Longo prazo = 3
- Médio prazo = 2
- Curto prazo = 1

5) FLORA

Os agravos descritos na linha Impacto na dinâmica da comunidade da Quadro 1, têm seus valores multiplicados por 1,5. Para maciços maiores que 0,1ha, deve-se analisar os danos aos indivíduos e a comunidade.

- Localização em relação às áreas protegidas (Unidades de Conservação e Áreas de Preservação Permanente definidas por Lei):

- Totalmente inserido = 3
- Parcialmente inserido = 2

- Ocorrências de espécies ameaçadas de extinção (Portaria IBAMA No 1522 de 19/12/89):

- Comprovada = 3
- Suposta = 2

- Ocorrência de espécies endêmicas (baseado em literatura científica):

- Real ocorrência = 2
- Suposta ocorrência = 1

- Favorecimento à erosão (estudar solo e subsolo):

- Comprovada = 3
- Fortes indícios = 2
- Suposta = 1

- Dano ao patrimônio cultural, histórico, artístico, arqueológico e turístico e ao monumento cultural, decorrente do dano à flora (estudar o aspecto paisagem):

- Comprovado = 2
- Suposto = 1

- Objetivando a comercialização:

- Atividade principal = 2
- Atividade secundária = 1

- Morte ou dano à fauna, decorrente do dano à flora (estudar o aspecto fauna):

- Comprovada = 3

- Fortes indícios = 2
- Suposto = 1
- Importância relativa. Possibilidade de ocorrência na região de parcela similar qualitativamente e quantitativamente à área degradada (estudar o aspecto paisagem):
 - Área maior que 30 vezes a área degradada = 3
 - Área entre 10 e 30 vezes a área degradada = 2
 - Área até 10 vezes maior que a área degradada = 3
- Alteração nos nichos ecológicos:
 - Comprovada = 3
 - Fortes indícios = 2
 - Suposta = 1
- Previsão de reequilíbrio (natural) (caso não haja possibilidade de previsão de prazo, analisar o estágio de regeneração: inicial = 1; médio = 2; avançado = 3)
 - Longo prazo = 3
 - Médio prazo = 2
 - Curto prazo = 1

6) PAISAGEM

Os agravos descritos na linha Dano ao patrimônio cultural, histórico, artístico e turístico (legalmente constituído, tombado pelo CONDEPHAAT ou SPHAN), da Quadro 1 têm seus valores multiplicados por 1,5.

- Localização em relação a área e/ou municípios protegidos (Unidade de Conservação e Áreas de Preservação Permanente definidas pela Legislação):
 - Dentro = 3
- Proximidade de centros urbanos
 - Centro urbano (população \geq a 60.000 hab) distante até 10km = 3
 - Centro urbano (população \geq a 60.000 hab) distante até 25km = 2
 - Centro urbano (população \geq a 60.000 hab) distante até 50km = 1
- Reversão do dano:
 - Alto custo = 3
 - Médio custo = 2
 - Baixo custo = 1
- Comprometimento do aquífero (estudar o aspecto água):

- Diretamente relacionado = 2
- Não diretamente relacionado = 1
- Comprometimento do complexo solo / subsolo (estudar o aspecto solo/subsolo)
 - Diretamente relacionado = 2
 - Não diretamente relacionado = 1
- Morte ou dano à fauna (estudar o aspecto fauna):
 - Diretamente relacionado = 2
 - Não diretamente relacionado = 1
- Morte ou dano à flora (estudar o aspecto flora):
 - Diretamente relacionado = 2
 - Não diretamente relacionado = 1
- Dano ao patrimônio cultural, histórico, artístico, arqueológico e turístico, e/ou cultural
 - Tombado pelo CONDEPHAAT ou SPHAM = 2
 - Não tombado = 1

ANEXO B – Planilha orçamentária do projeto de descontaminação

ITEM	DESCRIÇÃO	UNIDADE	QUANTIDADE	P.UNIT.	P.TOTAL
	1º ETAPA DO PROJETO				
01.	MOBILIZAÇÃO, DESMOBILIZAÇÃO, INSTALAÇÕES INICIAIS E SERVIÇOS PRELIMINARES				
	MOBILIZAÇÃO E DESMOBILIZAÇÃO				
01.01	MOBILIZAÇÃO E DESMOBILIZAÇÃO GERAL DE OBRAS	UN	1,00	31.871,72	31.871,72
	PLACA DE OBRA E SINALIZAÇÃO GERAL				
01.02	FORNECIMENTO E COLOCAÇÃO DE PLACAS DE OBRAS EM CHAPA GALVANIZADA(4,00 X 2,00 M) - SÃO CONFECCIONADAS EM CHAPA GALVANIZADA 26. AS CHAPAS SERÃO AFIKADAS COM REBITES 410 E PARAFUSOS 3/8. EM UMA ESTRUTURA METÁLICA COM VIGA U 2 ENRUECIDA E METALON 20MMX20MM. SUPORTE EM EUCALIPTO AUTOCLAVADO PINTADAS NA FRENTE E NO VERSO COM FUNDO ANTICORROSIVO E TINTA AUTOMOTIVA CONFORME MANUAL DE IDENTIDADE VISUAL DO GOVERNO DE MINAS	UN	1,00	1.096,72	1.096,33
01.03	SINALIZAÇÃO GERAL DE OBRAS COM UTILIZAÇÃO DE PLACAS	UN	1,00	1.298,40	1298,4
	GRUPO GERADOR				
01.04	GRUPO GERADOR 60 KVA, INCLUSIVE OPERADOR MANUTENÇÃO E COMBUSTIVEL	MÊS	3,00	8.520,00	25.560,00
	CONTAINER E BANHEIRO QUÍMICO				
01.05	CONTAINER 6.00X2.30X2.82 M COM ISOLAMENTO TÉRMICO PARA ESCRITÓRIO COM AR CONDICIONADO, INCLUSIVE MOBILIÁRIO E INSTALAÇÕES	MÊS	3,00	825,00	25.560,00
01.06	CONTAINER 6.00X2.30X2.82 M COM ISOLAMENTO TÉRMICO PARA VESTIÁRIO COM 7 CHUVEIROS E 2 LAVATÓRIOS. COMPLETO, INCLUSIVE INSTALAÇÕES	MÊS	3,00	1.140,00	3.420,00
01.07	CONTAINER 6.00X2.30X2.82 M COM ISOLAMENTO TÉRMICO REFEITÓRIO COMPLETO, INCLUSIVE MOBILIÁRIO, AQUECEDOR DE MARMITAS E INSTALAÇÕES	MÊS	3,00	825,00	2.475,00
01.08	CONTAINER 6.00X2.30X2.82 M COM ISOLAMENTO TÉRMICO DEPOSITO E FERRAMENTARIA COM LAVATÓRIO. INCLUSIVE MOBILIÁRIO E INSTALAÇÕES.	MÊS	3,00	825,00	2.475,00
01.09	CONTAINER 6.00X2.30X2.82 M COM ISOLAMENTO TÉRMICO PARA TROCA DE EPI'S. INCLUSIVE MOBILIÁRIO E INSTALAÇÕES	MÊS	3,00	900,00	2.700,00
01.10	BANHEIRO QUÍMICO 110X120X230CM COM MANUTENÇÃO	MÊS	12,00	702,40	8.428,80

INSTALAÇÕES DE ENERGIA, ÁGUA E ESGOTO					
01.11	INSTAÇÃO DE ENERGIA, ÁGUA E ESGOTO PARA ATENDER AO CANTEIRO DE OBRAS INCLUSIVE ESTRUTURA PARA APOIAR CAIXA D'ÁGUA PARA ABASTECIMENTO (ÁREA VERDE E AMARELA DO PROJETO)	UN	1,00	23.673,58	23.673,58
	EXECUÇÃO DE LAVA-PÉS				
01.12	EXECUÇÃO DE LAVA-PÉS PARA LIMPEZA DAS BOTAS DOS TRABALHADORES COMPLETO (ESTRUTURA COMPLETA PARA O LOCAL DE LAVAGEM, IMPERMEABILIZAÇÃO, CANALETA E RESERVATÓRIO PARA RECONHECIMENTO DAS ÁGUAS GERADAS)	UN	1,00	8.536,55	8.536,55
	CAMINHOS DE SERVIÇO EM PÓ DE PEDRA E APLICAÇÃO DE BRITA EM PISO				
01.13	APLICAÇÃO DE PÓ DE PEDRA PARA ACESSO ÀS ÁREAS DE ESCAVAÇÃO (CAMINHOS DE SERVIÇO)	M3	64,00	115,47	7.390,08
01.14	APLICAÇÃO DE BRITA NO PISO DAS ÁREAS DE ESTACIONAMENTO, ESCRITÓRIO, VESTIÁRIO E ETC. CONFORME NECESSIDADE	M3	20,00	121,67	2.433,40
	CERCA				
01.15	CERCA DE 5 FIOS DE ARAME FARPADO E MOURÕES DE EUCALIPTO (ÁREA DE ZONEAMENTO DE SEGURANÇA)	M	322	25,93	8.349,46
01.16	REMANEJAMENTO DE CERCA COM APROVEITAMENTO DE MATERIAL	M	32,00	20,05	641,60
	DIQUE DE CONTENÇÃO PARA EVITAR CARREAMENTO DE MATERIAL DA CAVA PARA O CÓRREGO				
01.17	DIQUE EM SOLO COMPACTADO. MÃO DE OBRA, FORNECIMENTO E TRANSPORTE DE SOLO ARGILOSO. EQUIPAMENTOS E POSTERIOR AFASTAMENTO COM DESTINAÇÃO ADEQUADA DO MATERIAL	M3	340,00	71,65	24.361,00
01.18	FORNECIMENTO E INSTALAÇÕES DE MANTA E PEAD DE 1.50MM SOBRE DIQUE E POSTERIOR AFASTAMENTO COM DESTINAÇÃO ADEQUADA AO MATERIAL	M2	240,00	34,93	8.383,20
	SUBTOTAL				165.569,12
02.	FORNECIMENTO DE EPI CONFORME PROJETO				
02.01	CAPACETE DE SEGURANÇA	UN	6,00	75,00	450,00
02.02	ÓCULOS DE SEGURANÇA CONTRA IMPACTOS	UN	20,00	50,00	1.000,00
02.03	ÓCULOS AMPLA VISÃO	UN	20,00	63,00	1.260,00
02.04	LUVAS NITRILICAS - PUNHO 36CM	UN	192,00	23,99	4.606,08
02.05	LUVAS NITRILICAS PARA AMOSTRAGEM	UN	100,00	9,00	900,00
02.06	LUVA DE RASPA	UN	48,00	30,01	1.440,48
02.07	BONITA DE COURO COM BICO DE AÇO OU POLIPROPILENO	UN	10,00	77,99	779,90
02.08	BOTAS DE BORRACHA	UN	10,00	134,99	1.349,90

02.09	UNIFORME EM BRIM COM CAMISA MANGA LONGA	UN	66,00	87,01	5.742,66
02.10	CAPA OU CONJUNTO PARA CHUVA	UN	6,00	23,99	143,94
02.11	MACACÃO TIPO TYVEK	UN	72,00	52,49	3.779,28
02.12	MACACÃO TYCHEM QC	UN	48,00	75,00	3.600,00
02.13	PROTECTOR AURICULAR TIPO CONCHA OU PLUG	UN	10,00	60,00	600,00
02.14	RESPIRADOR SEMIFACIAL COM FILTRO COMBINADO- CARTUCHOS QUIMICOS ACOPLADOS PARA VAPORES DE MERCÚRIO E MECÂNICO PARA PARTICULADOS	UN	6,00	247,50	1.485,00
02.15	PROTEÇÃO CONTRA ANIMAL PEÇONHENTO PERNEIRA	UN	10,00	50,00	500,00
	SUB-TOTAL				27.637,24
03.	MOVIMENTAÇÃO DE SOLO CONTAMINADO INCLUSIVE LIMPEZA DE VEGETAL E DEMOLIÇÃO DE ESTRUTURAS EXISTENTES				
03.01	ESCAVADEIRA HIDRAULICA SOBRE ESTEIRA R140 HYUNDAI OU EQUIVALENTE	H	400,00	194,99	77.996,00
03.02	CAMINHÃO PIPA 10.000 LITROS	H	200,00	60,00	12.000,00
03.03	CAMINHÃO TRAÇADO VOLKSWAGEN 2626 OU EQUIVALENTE	H	200,00	150,00	30.000,00
03.04	CAMINHÃO DESENTUPIDOR 5.000 LITROS - PARA ENVIAR EFLUENTES CONTAMINADOS (LAVA BOTAS) OU NÃO PARA DESTINAÇÃO FINAL	KM	520,00	11,54	6.000,80
03.05	CARRETA DE ATÉ 25 TON. PARA TRANSPORTE DE SOLO CONTAMINADO INCLUSIVE LONA PLÁSTICA E DEMAIS ACESSÓRIOS QUE GARANTAM ESTANQUEIDADE ABSOLUTA	TONXKM	267.800	0,57	152.642,80
	SUB-TOTAL				278.642,80
04.	SERVIÇOS TÉCNICOS ESPECÍFICOS PARA ACOMPANHAMENTO DE REMOÇÃO				
04.01	EQUIPE DE TOPOGRAFIA PARA ACOMPANHAMENTO DOS SERVIÇOS	UN	1,00	10.000,00	10.000,00
04.02	AMOSTRAGEM DE SOLO- COLETA E ANÁLISE PAREDE E FUNDO DE CAVA PARA VERIFICAÇÃO DE CRITÉRIOS PARA PARADA - RU'SH TIME VISANDO REDUZIR ESPERA EM CAMPO	UN	266,00	90,01	23.942,66
04.03	AMOSTRAGEM DE AR - MERCÚRIO (VAPOR E PARTICULADO), POEIRA TOTAL. POEIRA RESPIRÁVEL. SÍLICA LIVRE. REALIZAR AMOSTRAGEM AMBIENTAIS E PESSOAIS	UN	12,00	3.737,50	44.850,00
	SUB-TOTAL				78.792,66
05.	DESTINAÇÃO FINAL DE MATERIAL CONTAMINADO EM ATERRO CLASSE I				
05.01	DESTINAÇÃO FINAL DE RESÍDUOS EM ATERRO CLASSE I	TON	2.060	280,00	576.800,00
	SUB-TOTAL				576.800,00
06.	TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO FINAL DE EFLUENTES GERADOS NA OBRA				

06.01	TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO FINAL DE EFLUENTES GERADOS NA OBRA (LAVA-BOTAS, LAVAGEM FINAL DOS EQUIPAMENTOS E ETC.)	M3	188,00	344,69	64.801,72
	SUB-TOTAL				64.801,72
07.	RECONSTITUIÇÃO DA FLORA CONFORME PROJETO TECNICO - PTRF				
07.01	PROJETO E ACOMPANHAMENTO TECNICO DE RECONSTITUIÇÃO DA FLORA (PTRF) - REVISÃO DE PRÉ-ESTUDO ELABORADO PELA FEAM- CONFORME DELIBERAÇÃO NORMATIVA COPAM Nº 76/2004. INCLUINDO A NECESSIDADE DE POSSÍVEIS INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES	UN	1,00	5.465,55	5.465,55
07.02	PREPARO DO SOLO COM GRADAGEM MECANIZADA LEVE	M2	6.680	0,62	4.141,60
07.03	FORNECIMENTO E APLICAÇÃO DE CALCÁRIO (50G/M2)	KG	337,00	2,17	731,29
07.04	FORNECIMENTO E APLICAÇÃO DE SUPERFOSFATO SIMPLES (300 KG/HÁ) PARA FORRAGEIRAS NA APP	KG	202,00	9,28	1.874,56
07.05	FORNECIMENTO E APLICAÇÃO DE ESTERNO NO FUNDO DA COVA (0,50L/COVA)	LITROS	199,00	1,93	384,07
07.06	FORNECIMENTO E APLICAÇÃO DE ADUBO NPK 06-30-06 (DOSAGEM DE 200 G/COVA)	KG	80,00	15,46	6.594,88
07.07	SEMEADURA DA LEGUMINOSA FORRAGEIRA ARACHIS PINTOI OU AMENDOIN FORRAGEIRO SOBRE A SUPERFÍCIE	KG	4,00	1.648,72	6.594,88
07.08	SEMEADURA DE VEGETAÇÃO (BRAQUIÁRIA) PARA RECOMPOSIÇÃO DE TALUDE	KG	6,00	85,07	510,42
07.09	FORNECIMENTO E PLANTIO DE MUDA FEDEGOSO	UN	67,00	31,71	2.124,57
07.10	FORNECIMENTO E PLANTIO DE MUDA JACARÉ	UN	67,00	31,71	2.124,57
07.11	FORNECIMENTO E PLANTIO DE MUDA SANGRA D'ÁGUA	UN	67,00	31,71	2.124,57
07.12	FORNECIMENTO E PLANTIO DE MUDA ANGICO VERMELHO	UN	20,00	31,71	634,2
07.13	FORNECIMENTO E PLANTIO DE MUDA IPÊ MULATO	UN	20,00	31,71	634,2
07.14	FORNECIMENTO E PLANTIO DE MUDA PAINEIRAS	UN	20,00	54,13	1.082,60
07.15	FORNECIMENTO E PLANTIO DE MUDA INGA	UN	20,00	54,13	1.082,60
07.16	FORNECIMENTO E PLANTIO DE MUDA CURAMADRE	UN	20,00	54,13	1.082,60
07.17	FORNECIMENTO E PLANTIO DE MUDA TAMBORIL	UN	20,00	54,13	1.082,60
07.18	FORNECIMENTO E PLANTIO DE MUDA ANGELIM	UN	14,00	54,13	757,82
07.19	FORNECIMENTO E PLANTIO DE MUDA IPÊ ROXO	UN	14,00	54,13	757,82
07.20	FORNECIMENTO E PLANTIO DE MUDA IPÊ ROSA	UN	14,00	54,13	757,82
07.21	FORNECIMENTO E PLANTIO DE MUDA JATOBÁ	UN	21,00	54,13	1.136,73
07.22	FORNECIMENTO E PLANTIO DE MUDA CEDRO	UN	21,00	31,71	665,91
	SUB-TOTAL				36.987,79

08.	MANUTENÇÕES POSTERIORES				
08.01	MANUTENÇÃO GEOTÉCNICAS CONSIDERANDO PRINCIPALMENTE INSPEÇÃO VISUAL PERIÓDICAS DA ÁREA POR ENGENHEIRO ESPECIALISTA. A INSPEÇÃO SERÁ REALIZADA MENSALMENTE ATÉ O 1º ANO APÓS A REMOÇÃO (COM EMISSÃO DE RELATÓRIO TÉCNICO E FOTOGRÁFICO) E, TRIMESTRALMENTE NO 2º ANO, SENDO QUE MAIORES VERIFICAÇÕES PODERÃO SER REALIZADAS NAS ÉPOCAS MAIS CHUVOSAS - OBS: A CONTRATADA (BASEADA NOS RELATÓRIOS E LAUDOS) DEVE GARANTIR CORREÇÕES NECESSÁRIAS DEVIDO A EVENTUAIS APARECIMENTOS DE EROSSÕES NO SOLO. A VEGETAÇÃO TAMBÉM DEVERÁ SER MANTIDA VISANDO PROTEGER O SOLO	UN	16,00	1.800,00	28.800,00
08.02	MONITORAMENTO AMBIENTAL MEDIANTE AVALIAÇÃO DOS POÇOS EXISTENTES NA ÁREA PARA VERIFICAÇÃO DA QUALIDADE AMBIENTAL DAS ÁGUAS. REALIZAÇÃO DE DUAS CAMPANHAS DE MONITORAMENTO (SEMESTRAIS), COM COLETA DE ÁGUAS NOS POÇOS. DURANTE O PERÍODO DE UM ANO APÓS À REMOÇÃO (CADA CAMPANHA CORRESPONDE À COLETA EM 4 POÇOS - ÁGUAS SUBTERRÂNEAS - E 2 PONTOS EM ÁGUAS SUPERFICIAIS- A JUSANTE E A MONTANTE)	UN	12,00	666,00	7.999,92
08.03	INSTALAÇÃO DE NOVOS POÇOS CONTEMPLANDO TAMBÉM ÁREAS JUSANTE E A MONTANTE DA ÁREA DE REMOÇÃO	UN	4,00	2.250,00	9.000,00
08.04	FORNECIMENTO E APLICAÇÃO DE ADUBO FORMULADO NPK 50 E 20 PARA ÁRVORES (NA DOSAGEM 150 G/COVA - APÓS O 1º E 2º ANO DO PLANTIO DAS ÁRVORES) E PLANTAS FORRAGEIRAS LEGUMINOSAS E GRAMÍNEAS (NA PROPORÇÃO DE 300 KG/HA)	KG	233,00	13,33	3.105,98
08.05	COMBATE À FORMIGA ATÉ RAIOS DE 100 METROS ATRAVÉS DE ISCA FORMICIDA E MIP (MICRO PORTA ISCA) NA PROPORÇÃO DE 10 G DE ISCA POR M2 DE TERRA SOLTA DE FORMIGUEIRO	KG	67,00	99,96	6.697,32
08.06	EXECUÇÃO DE CAPINA APÓS 3 MESES DO PLANTIO DAS ÁRVORES	M2	3.780	2,17	8.202,60
09.	SUB-TOTAL				63.805,73
09.01	"AS BUILT"				
	"AS BUILT" DE PROJETO COM ÁREAS ATÉ 10.000 M2	M2	6.680	1,12	7.481,60
	SUB-TOTAL				7.481,60

	2º ETAPA DO PROJETO				
10.	MOVIMENTAÇÃO DE SOLO CONTAMINADO INCLUSIVE LIMPEZA VEGETAL E DEMOLIÇÃO DE ESTRUTURAS EXISTENTES - 2º ETAPA DO				
10.01	ESCAVADEIRA HIDRAULICA SOBRE ESTEIRAS R140 HYUNDAI OU EQUIVALENTE	H	400,00	194,00	77.996,00
10.02	CAMINHÃO PIPA 10.000 LITROS	H	200,00	60,00	12.000,00
10.03	CAMINHÃO TRACADO VOLKSWAGEN 2626 OU EQUIVALENTE	H	200,00	150,00	30.000,00
10.04	CAMINHÃO DESENTUPIDOR 5.000 LITROS - PARA ENVIAR EFLUENTES CONTAMINADOS (LAVA BOTAS) OU NÃO PARA DESTINAÇÃO FINAL	KM	520,00	11,54	6.000,80
10.05	CARRETA DE ATÉ 25 TON. PARA TRANSPORTE DE SOLO CONTAMINADO INCLUSIVE LONA PLÁSTICA E DEMAIS ACESSÓRIOS QUE GARANTAM ESTANQUEIDADE ABSOLUTA	TONxKM	267.800	0,57	152.642,80
	SUB-TOTAL				278.642,80
11.	DESTINAÇÃO FINAL DE MATERIAL CONTAMINADO EM ATERRO CLASSE I - 2º ETAPA DO PROJETO				
11.01	DESTINAÇÃO FINAL DE RESÍDUOS EM ATERRO CLASSE I	TON	2.060	280,00	576.800,00
	SUB-TOTAL				576.800,00
12.	ADMINISTRAÇÃO LOCAL				
12.01	ADMINISTRAÇÃO LOCAL, INCLUSIVE: MANUTENÇÃO DE DO CANTEIRO DE OBRAS, TREINAMENTO, DOCUMENTAÇÃO, PROGRAMAS, PLANOS E CONTROLES RELACIONADOS À SEGURANÇA E MEDICINA DO TRABALHO CONFORME PROJETO - A ADMINISTRAÇÃO DA OBRA DEVERÁ ACOMPANHAR TODOS OS PROCESSOS DA OBRA	UN	1,00	68.817,00	68.817,00
	SUB-TOTAL				68.817,00
TOTAL					2.224.778,45