

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL E
RECURSOS HÍDRICOS

**Gerenciamento de Áreas Contaminadas por Hidrocarbonetos de
Petróleo no Distrito Federal - Avaliação dos métodos das Investigações
de Passivo Ambiental para nortear ações baseadas no risco à saúde
humana.**

SANDRO ANTONIO DE LIMA

ORIENTADOR: SERGIO KOIDE

CO-ORIENTADOR: RICARDO TEZINI MINOTI

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL
E RECURSOS HÍDRICOS**

BRASÍLIA/DF

2024

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL E
RECURSOS HÍDRICOS**

**Gerenciamento de Áreas Contaminadas por Hidrocarbonetos de Petróleo
no Distrito Federal - Avaliação dos métodos das Investigações de Passivo
Ambiental para nortear ações baseadas no risco à saúde humana.**

SANDRO ANTONIO DE LIMA

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE
BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA
OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE.**

APROVADA POR:

Prof. Sergio Koide, PhD (ENC-UnB) (ORIENTADOR)

**Prof. Carlos Henrique Ribeiro Lima, PhD (ENC-UnB) (EXAMINADOR
INTERNO)**

Bruno Esteves Távora, Dsc (MPDFT) (EXAMINADOR EXTERNO)

BRASÍLIA/DF, 28 DE AGOSTO DE 2024.

FICHA CATALOGRÁFICA

DE LIMA, SANDRO ANTONIO

Gerenciamento de Áreas Contaminadas por Hidrocarbonetos de Petróleo no Distrito Federal - Avaliação dos métodos das Investigações de Passivo Ambiental para nortear ações baseadas no risco à saúde humana. [Distrito Federal] 2024.

xvi, p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, 2024).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

- | | |
|--------------------------------|---------------------------|
| 1. Áreas Contaminadas | 2. Gerenciamento de Risco |
| 3. Hidrocarbonetos de Petróleo | 4. Gestão Ambiental |
| I. ENC/FT/UnB | II. Título (série) |

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

DE LIMA, S. A (2024). Gerenciamento de Áreas Contaminadas por Hidrocarbonetos de Petróleo no Distrito Federal - Avaliação dos métodos das Investigações de Passivo Ambiental para nortear ações baseadas no risco à saúde humana. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DM – 23 de setembro de 2024, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 350p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Sandro Antonio de Lima

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Gerenciamento de Áreas Contaminadas por Hidrocarbonetos de Petróleo no Distrito Federal - Avaliação dos métodos das Investigações de Passivo Ambiental para nortear ações baseadas no risco à saúde humana.

GRAU: Mestre ANO: 2024

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. A autora reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Sandro Antonio de Lima
sandroantonio.lima@gmail.com

AGRADECIMENTOS

À minha esposa Mariana e a minha filha Laura, razões do meu esforço; pelo suporte emocional, companheirismo e amor dedicado a mim.

À amiga Daniella pelas longas conversas e pela ajuda na construção do entendimento sobre o tema, na rotina de trabalho e fora dela.

Ao Brasília Ambiental por garantir as condições ideais para a participação no programa de mestrado e por fornecer os dados necessários ao desenvolvimento da pesquisa.

Aos amigos do PTARH, pelas longas horas de estudo, pelo convívio agradável e por dividirem comigo os anseios e as alegrias do processo.

Aos orientadores Sergio Koide e Ricardo Tezini Minoti, pela paciência e dedicação e sem os quais não teria atingido os objetivos desta pesquisa.

RESUMO

O Gerenciamento de Áreas Contaminadas (GAC) por hidrocarbonetos de petróleo, geradas a partir de empreendimentos relacionados ao armazenamento e distribuição de combustíveis é um dos principais desafios da agenda ambiental urbana brasileira, incluindo o Distrito Federal. Conforme a Resolução do CONAMA nº 420/2009, as áreas contaminadas devem ser gerenciadas a partir da metodologia de Ações Corretivas Baseadas no Risco - ACBR e, para isso, os órgãos ambientais devem criar procedimentos próprios que estabeleçam o cumprimento das diretrizes contidas na legislação. Essa metodologia pressupõe a investigação e o diagnóstico das áreas contaminadas como fonte de informação para uma avaliação de risco à saúde humana, cujo resultado deverá orientar as ações de intervenção necessárias para reabilitação da área. Assim, esta pesquisa propôs um protocolo de diagnóstico com procedimentos de investigação que orientam a coleta sistematizada de dados e produção de informações que subsidiem as ações dos responsáveis técnicos e legais e a tomada de decisão do órgão ambiental. A construção dos roteiros foi realizada com base nas orientações disponíveis na legislação e normalização dos estados brasileiros, destacando-se as normas de São Paulo e Paraná, bem como a partir de práticas associadas à investigação indicadas pela bibliografia pesquisada. A proposta foi testada por meio da aplicação dos roteiros a estudo de caso em área contaminada por hidrocarboneto de petróleo (posto Brazuca, DF), com base na documentação apresentada pelos responsáveis pela contaminação e a partir das discussões realizadas nas pesquisas de Santos (2009) e Távora (2010) para o mesmo empreendimento. A aplicação dos roteiros, considerando-os como ferramentas no aprimoramento das investigações e diagnósticos, mostrou sua importância para sistematizar/padronizar as coletas de dados e, conseqüentemente, produzir informações suficientes e adequadas para as tomadas de decisões. O estudo de caso realizado apontou que a não adoção de uma sistemática para orientar as investigações teve como conseqüências 22 anos decorridos desde a descoberta do problema; 138 documentos emitidos (estudos, projetos, relatórios, licenças ambientais, pareceres técnicos, etc.) e 8 técnicas de intervenção diferentes aplicadas na remediação e contenção das plumas de contaminação *in situ*, além de remoção de solo para tratamento *ex situ*. Apesar dos esforços, o monitoramento apresenta resultados incongruentes, que não permitem que a área seja declarada como reabilitada para o uso pretendido.

ABSTRACT

The management of areas contaminated by petroleum hydrocarbons from projects related to the storage and distribution of fuels is one of the main challenges of the Brazilian urban environmental agenda, including the Federal District. According to CONAMA Resolution No. 420/2009, the management of contaminated areas must use Risk-Based Corrective Actions (Ações Corretiva Baseadas no Risco – ACBR) methodology, so environmental agencies must establish their own procedures to ensure compliance with the guidelines contained in the legislation. This methodology approaches the investigation and diagnosis of contaminated areas as a source of information for the risk assessment of human health, and the results should guide necessary intervention actions for the rehabilitation of the area. Thus, this study proposed a diagnostic protocol with investigation procedure focused on developing investigation scripts that allowed the systematic collection of data and the production of information that supports the decision-making of environmental agencies. The methodology used consisted of researching the legislation of Brazilian states, where the primary procedures adopted as reference were from the São Paulo and the Paraná states, standard contents of the Brazilian Association of Technical Standards (Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT) and reference materials on the high-resolution investigation, the review and preparation of scripts that provide technical guidance for the investigation and diagnosis of contamination and risk assessment stages, and validation based on the application in a case study of an area contaminated by petroleum hydrocarbons, based on the findings of Santos (2009) and Távora (2010) for the same type of establishment. The reformulation of the scripts, considering them as tools for improving investigations and diagnoses, revealed that establishing them is extremely important to systematize/standardize data collection and produce sufficient information for decision-making. In contrast and reinforcing the conclusions, the case study carried out at the Brazuca gas station in the Federal District indicated that the non-adoption of the routines had the following consequences: 22 years have passed since the discovery of the problem; 138 documents issued (studies, projects, reports, environmental licenses, technical opinions, etc.) and eight different intervention techniques applied to the remediation and containment of in situ contamination plumes, in addition to soil removal for ex situ treatment. Despite these efforts, monitoring presents incongruous results that do not allow the area to be declared rehabilitated for its intended use.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
2	OBJETIVOS.....	6
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
3.1	CARACTERÍSTICAS E PROBLEMAS ASSOCIADOS AOS HIDROCARBONETOS DE PETRÓLEO.....	7
3.2	ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS E CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS PREPONDERANTES NO GERENCIAMENTO DE ÁREAS CONTAMINADAS POR HIDROCARBONETOS DE PETRÓLEO	12
3.2.1	Conceitos e parâmetros do fluxo de água subterrânea	12
3.2.2	Linhas equipotenciais e direção de fluxo	19
3.2.3	Conceitos e fenômenos da migração de hidrocarbonetos na zona saturada.....	20
3.2.4	Características químicas que influenciam a migração de hidrocarbonetos.....	25
3.3	O GERENCIAMENTO DE ÁREAS CONTAMINADAS POR MEIO DE AÇÕES CORRETIVAS BASEADAS NO RISCO	29
3.3.1	Avaliação de risco segundo a ACBR.....	34
3.3.2	Modelos preditivos nas ações corretivas baseadas no risco	42
3.4	FERRAMENTAS E METODOLOGIAS QUE APRIMORAM A INVESTIGAÇÃO E A CARACTERIZAÇÃO DE ÁREAS CONTAMINADAS	49
3.4.1	Modelo conceitual da área (MCA)	50

3.4.2	Investigação de Alta Resolução (High-Resolution Site Characterization - HRSC) e melhores práticas na investigação de áreas contaminadas.....	51
3.5	PARÂMETROS DE INTERESSE DA ACBR E ESTRATÉGIA ADOTADA PELA CETESB PARA AVALIAÇÃO DE RISCO..	58
3.6	ASPECTOS LEGAIS PARA AÇÕES CORRETIVAS BASEADAS NO RISCO.....	62
4	METODOLOGIA	68
5	RESULTADOS.....	74
5.1	PARÂMETROS DE INTERESSE DAS PLANILHAS DE AVALIAÇÃO DE RISCO DA CETESB.....	74
5.2	PANORAMA DO ARCABOUÇO LEGISLATIVO DOS ESTADOS BRASILEIROS.....	81
5.3	ANÁLISE COMPARATIVA DAS NORMAS ABNT FRENTE AO MANUAL DE GERENCIAMENTO DE ÁREAS CONTAMINADAS DA CETESB	88
5.3.1	Avaliação preliminar	89
5.3.2	Investigação confirmatória	91
5.3.3	Investigação detalhada	93
5.4	ELABORAÇÃO DO PROTOCOLO DE DIAGNÓSTICO	96
5.5	ESTUDO DE CASO	112
6	CONCLUSÕES	130
7	RECOMENDAÇÕES	132
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	134
	APÊNDICE 01 - ROTEIROS DE INVESTIGAÇÃO E SEUS ANEXOS	145

APÊNDICE 02 - AVALIAÇÃO ESTUDOS E MANIFESTAÇÕES	
TÉCNICAS ELABORADOS PARA O ESTUDO DE CASO. ...	222
APÊNDICE 03 - RELAÇÃO DE LEIS E NORMAS SOBRE O	
GERENCIAMENTO DE ÁREAS CONTAMINADAS E	
REGULARIZAÇÃO AMBIENTAL NO BRASIL.....	265
ANEXO 01 – TRANSCRIÇÃO DAS EQUAÇÕES ASTM - STANDARD	
GUIDE FOR RISK-BASED CORRECTIVE ACTION APPLIED	
AT PETROLEUM RELEASE SITES (ASTM, 1995) E TABELA	
DE AVALIAÇÃO DE SENSIBILIDADE (ASTM, 1999).....	308

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1. Características comuns de áreas de armazenamento de gasolina e diesel contaminadas. Adaptado de ITRC (2014).	9
Tabela 3.2. Classificação de carcinogenicidade de substâncias. Fonte: Autor: Adaptado de IARC (2023).	10
Tabela 3.3. Informações principais dos modelos. Fonte: Adaptado de ASTM (1999).	45
Tabela 3.4. Métodos analíticos de resposta rápida (real time). Fonte: Adaptado de ABNT (2023)	54
Tabela 5.1. Parâmetros do meio físico com possibilidade de alteração nas Planilhas CETESB.	75
Tabela 5.2. Parâmetros do meio físico que não podem ser alterados nas Planilhas CETESB.	77
Tabela 5.3. Parâmetros do meio físico alterados a partir de relações matemáticas com parâmetros alteráveis nas Planilhas CETESB.	78
Tabela 5.4. Principais leis e normas sobre GAC nos estados brasileiros.	81
Tabela 5.5. Panorama do GAC para postos de combustíveis.	82
Tabela A1. 1. Exemplo de planilha para modelo conceitual inicial. Fonte: IAT (2020). .	162
Tabela A2. 1. Histórico processual do Auto Posto Morada dos Nobres (Antigo Brazuca).	222
Tabela A3. 1. Leis e Normas dos estados sobre a regularização ambiental e gerenciamento de áreas contaminadas.	265
Tabela An1. 1. Equações usadas para o desenvolvimento dos “Nível 1 - Risk-Based Screening evel (RBSL) ou Níveis Aceitáveis Baseados no Risco – NABR (Maximiano 2001)” – Efeitos Carcinogênicos.	308
Tabela An1. 2. Equações usadas para o desenvolvimento do “Nível 1 - Risk-Based Screening Level (RBSL)” ou Níveis Aceitáveis Baseados no Risco – NABR (Maximiano 2001) – Efeitos Não-carcinogênicos.	310

Tabela An1. 3. Fatores de exposição que aparecem nas tabelas A2.1 e A2.2 (conceitos parametrizados com planilha CETESB).....	312
Tabela An1. 4. Fatores de Volatilização (VF_i), Fator de Lixiviação (LF_{sw}) e Coeficientes de Difusão Efetiva (D_i^{eff}).....	314
Tabela An1. 5. Parâmetros de solo, construção, superfície e subsuperfície usados nos exemplos de RBSL Nível 1 gerados (conceitos parametrizados com planilha CETESB).317	
Tabela An 1. 6. Exemplos de modelos de transporte de níveis de triagem. Adaptado de ASTM (1995).	320
Tabela An 1. 7. Parâmetros da Tabela An1.6. Adaptado de ASTM (1995).....	324
Tabela An 1. 8. Sensibilidade dos Parâmetros de entrada dos modelos com base no destino e caminho de transporte. Adaptado de ASTM (1999).....	327

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1. Processos que influenciam na migração de contaminantes (Maximiano, 2001).	23
Quadro 3.2. Parâmetros envolvidos no cálculo de risco - Metodologia RBCA (ASTM 1995)	59
Quadro 5.3. Normas ABNT atreladas ao GAC	88
Quadro 5.2. Conteúdo do Relatório de Avaliação Preliminar	102
Quadro 5.3. Itens que compõem os Planos Preliminares de Amostragem.	103
Quadro 5.4. Itens que compõem o Relatório de Investigação Confirmatória.	105
Quadro 5.5. Itens do Relatório de Investigação Detalhada.	106
Quadro 5.6. Itens do Relatório da avaliação de risco.	107

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1. Exemplos de compostos alifáticos e aromáticos. Fonte: Adaptado de ITRC (2014).	8
Figura 3.2. As diferentes zonas de armazenamento de água subterrânea localizadas nas zonas não saturadas e saturadas. Adaptado de UNEP (2022).	13
Figura 3.3. Modelo de Fluxo subterrâneo no aquífero poroso. Fonte: Adaptado de COREHIDRO (2024).	13
Figura 3.4. Intervalos de valores de condutividade hidráulica e permeabilidade – Fonte: Freeze & Cherry (1979).....	16
Figura 3.5. Intervalo de valores de porosidade – Fonte: Freeze & Cherry 1979.....	17
Figura 3.6. Seção transversal potenciométrica, direção do fluxo da água subterrânea (setas azuis) e mapa de contorno do lençol freático em um aquífero não confinado idealizado. Fonte: Cohen & Cherry (2020).....	19
Figura 3.7. Modelo Conceitual da contaminação das águas subterrâneas de unidades aquíferas não confinadas. Fonte: Corseuil <i>et al.</i> (2006).....	21
Figura 3.8. Processo de dispersão em escala microscópica. Fonte: Freeze & Cherry (1979).	22
Figura 3.9. Modelo Conceitual do Comportamento de contaminantes caracterizados como LNAPL em subsuperfície - Fonte: Davis <i>et al.</i> (2006).....	26
Figura 3.10. Modelo conceitual mostrando os processos de mobilização e transformação do LNAPL em um local contaminado durante as flutuações do lençol freático- Fonte: Cavelan <i>et al.</i> (2022).	28
Figura 3.11. Processos dominantes envolvidos na biodegradação do LNAPL e partição de compostos entre as fases potencialmente presentes na zona saturada e insaturada - Fonte: Cavelan <i>et al.</i> (2022).	29
Figura 3.12. Fluxograma das interações entre os estágios de análise da ACBR. Fonte: Maximiano (2001).	32
Figura 3.13. Fluxograma do processo ACBR. Adaptado de ASTM (2015).	33
Figura 3.14. Estágios de avaliação do ACBR. Adaptado de Maximiano (2001).	34
Figura 3.15. Fluxograma das etapas de avaliação de risco. Fonte: ABNT (2013).....	36
Figura 3.16. Fluxograma de interações entre as etapas de avaliação de risco. Fonte: Maximiano (2001).	37

Figura 3.17. Processo de desenvolvimento de um modelo. Fonte: Adaptado de Kumar (2002).	43
Figura 3.18 - Tecnologias de investigação: (a) e (b) Caixa-preta de luz- UV-A; (c) Equipamento de sondagem percussiva (<i>direct push</i>).	57
Figura 3.19. Linha do tempo normas de GAC aplicadas ao DF.....	66
Figura 4.1. Fluxograma metodológico para desenvolvimento das soluções customizadas.	70
Figura 4.2. Fluxograma das ações desenvolvidas a partir da metodologia de pesquisa.....	71
Figura 5.1. Fluxograma das etapas que compõem os roteiros.....	100
Figura 5.2. Fluxograma da interação órgão ambiental e responsável técnico no GAC. ...	110
Figura 5.3. Localização da área do estudo de caso. Fonte: <i>Google Earth Pro</i>	113

LISTA DE SIGLAS, ACRÔNIMOS E ABREVIACÕES

ABNT	<i>Associação Brasileira de Normas Técnicas;</i>
ACBR	<i>Ações Corretivas Baseadas no Risco;</i>
ANP	<i>Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis;</i>
ART	<i>Anotação de Responsabilidade Técnica;</i>
ASPC	<i>Amostragem de Solo de Perfil Completo;</i>
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials;</i>
ATSDR	<i>Agency for Toxic Substances and Disease Registry;</i>
BTEX	<i>Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos;</i>
Cercla	<i>Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act;</i>
Cetesb	<i>Companhia Ambiental do Estado de São Paulo;</i>
CMA	<i>Concentração Máxima Aceitável;</i>
Conama	<i>Conselho Nacional do Meio Ambiente;</i>
crcCARE	<i>Cooperative Research Centre for Contamination Assessment and Remediation of the Environment;</i>
CSM	<i>Conceptual Site Model - o mesmo que MCA;</i>
DF	<i>Distrito Federal;</i>
DNAPL	<i>Dense Nonaqueous Phase Liquids;</i>
FID	<i>Flamme Ionisator Detector;</i>
FIT	<i>Ficha de Informação Toxicológica;</i>
FS	<i>Feasibility Study;</i>
GAC	<i>Gerenciamento de Áreas Contaminadas;</i>
HPA	<i>Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos;</i>
HRSC	<i>High-Resolution Site Characterization;</i>
IARC	<i>International Agency for Research on Cancer;</i>
IAT	<i>Instituto Água e Terra;</i>
IN	<i>Instrução Normativa;</i>
IPT	<i>Instituto de Pesquisas Tecnológicas;</i>
IRIS	<i>Integrated Risk Information System;</i>
ITRC	<i>Interstate Technology and Regulatory Council;</i>
LNAPL	<i>Light Nonaqueous Phase Liquids;</i>
MCA	<i>Modelo Conceitual da Área - o mesmo que CSM;</i>

MTBE	<i>Éter metil-terciário-butílico;</i>
NA	<i>Nível d'água;</i>
NABR	<i>Níveis Aceitáveis Baseados no Risco;</i>
NAPL	<i>Nonaqueous Phase Liquids;</i>
NBR	<i>Norma Técnica Brasileira;</i>
OMS	<i>Organização Mundial da Saúde;</i>
Onda	<i>Observatório da Natureza e Desempenho Ambiental;</i>
PAH	<i>Polycyclic Aromatic Hydrocarbons – o mesmo que HPA;</i>
PID	<i>Photo Ionisator Detector;</i>
PM	<i>Poços de Monitoramento;</i>
PNMA	<i>Política Nacional do Meio Ambiente;</i>
PTV	<i>Poço Temporário de Vapor;</i>
PVI	<i>Petroleum Vapor Intrusion;</i>
RAGS	<i>Risk Assessment Guidance for Superfund;</i>
RBCA	<i>Risk-based Corrective Actions - o mesmo que ACBR;</i>
RBSL	<i>Risk-based Screening Level - o mesmo que NABR;</i>
RCRA	<i>Resource Conservation and Recovery Act;</i>
RI	<i>Remedial Investigation;</i>
Ripa	<i>Relatório de Investigação de Passivo Ambiental;</i>
RL	<i>Responsáveis Legais;</i>
RT	<i>Responsáveis Técnicos;</i>
SASC	<i>Sistema de Armazenamento Subterrâneo de Combustíveis</i>
SGS	<i>Soil Gas Survey;</i>
Sisnama	<i>Sistema Nacional do Meio Ambiente;</i>
SSTL	<i>Site Specific Target Level - o mesmo que CMA;</i>
SVOC	<i>Compostos Orgânicos Semivoláteis.</i>
TCA	<i>Termo de Compromisso Ambiental;</i>
TPH	<i>Total Petroleum Hydrocarbons;</i>
TR	<i>Termo de Referência;</i>
UHA	<i>Unidade Hidrográfica</i>
UNEP	<i>United Nations Environment Programme;</i>
Unesco	<i>Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura;</i>
USEPA	<i>United States Environmental Protection Agency;</i>

UV-A	<i>Ultra Violeta-A;</i>
VI	<i>Valor de Intervenção/Investigação;</i>
VOC	<i>Compostos Orgânicos Voláteis;</i>
VP	<i>Valor de Prevenção;</i>
VRQ	<i>Valores de Referência de Qualidade;</i>
VVVAC	<i>Varredura Vertical de VOC com Aquecimento em Campo;</i>
WHO	<i>World Health Organization – o mesmo que OMS.</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Área da secção transversal [L^2]
A_B	Área da superfície do ambiente fechado em contato com o solo [L^2]
AT	Tempo médio para ocorrência de efeitos adversos [T]
BW	Massa corpórea, expressa em quilogramas [M];
C	Concentração [M/L^3]
C_0	Concentração de solutos na fonte [M/L^3]
C_{indoor}	Concentração no ar nos ambientes internos [M/L^3]
CR	Taxa de ingestão diária de água [M/L^3 ou M/M]
C_s	Concentração retida no solo superficial [M/M]
C_{source}	Concentração na fonte [M/L^3]
$C_{v,\text{amb}}$	Concentração de vapor em ambiente aberto [M/L^3]
$C_{v,\text{sest}}$	Concentração de vapor em ambiente fechado [M/L^3]
C_w	Concentração dissolvida na água subterrânea [M/L^3]
$C(x, y, z, t)$	Concentração de solutos no ponto x, y, z para o tempo “ t ” [M/L^3]
d	Menor profundidade da zona superficial do solo [L]
d_m	Média geométrica dos tamanhos de grão retidos entre peneiras contíguas [L]
D^{air}	Coefficiente de difusão do composto puro no ar [L^2/T]
D_l	Coefficiente de dispersão hidrodinâmica na direção longitudinal [L^2/T]
$D_{\text{crack}}^{\text{eff}}$	Coefficiente de difusão efetiva da fase vapor através de rachaduras das paredes e da fundação [L^2/T]
D_T^{eff}	Coefficiente de difusão efetiva da fase vapor na coluna de solo presente entre a fundação e a fonte [L^2/T]
D^w	Coefficiente de difusão do composto puro na água [L^2/T];
EF	Frequência da exposição [T/T]
ED	Duração da exposição [T]
ER	Taxa de troca de ar em ambientes fechados [1/T]
foc	fração de carbono orgânico no solo [M/M]
g	Aceleração da gravidade [L/T^2]
h	Carga hidráulica [L]
h_{cap}	Espessura da franja capilar [L]
h_v	Espessura da zona não saturada (zona vadosa) [L]
H	Profundidade da fonte [L]

H	Constante da Lei de Henry $[(\text{g}/\text{cm}^3\text{-H}_2\text{O})/[(\text{g}/\text{cm}^3\text{-ar})][(\text{M}/\text{L}^3)/(\text{M}/\text{L}^3)]$
HQ	<i>Hazard Quotient</i> (igual a Quociente de Risco – QR) [adimensional]
i	Gradiente hidráulico (igual a dh/dl) [L/L]
I	Taxa de infiltração da água através do solo [L/T]
I_n	Dose de ingresso para a via de exposição n [M/M]
IR	Índice de Risco [adimensional]
K	Condutividade hidráulica [L/T]
k	Permeabilidade específica/intrínseca [L ²]
K_d	Coefficiente de distribuição [L ³ /M]
k_{oc}	Coefficiente de partição água-carbono [cm ³ -H ₂ O/g-C] [L ³ /M]
k_s	Coefficiente de partição solo-água [cm ³ -H ₂ O/g-solo] [L ³ /M]
k_v	Permeabilidade para o fluxo de vapor [L ²]
L_B	Razão entre o volume do espaço fechado e a área de infiltração – Pé Direito [L]
L_{crck}	Espessura das fundações/paredes da construção [L]
L_{GW}	Profundidade da água subterrânea (nível d'água) = $h_{cap} + h_v$ [L]
L_s	Profundidade do solo subsuperficial impactado [L]
L_T	Distância (profundidade) até a fonte de vapores ou outro ponto de interesse abaixo da laje [L]
M_w	Peso molecular [M/mol]
n	Porosidade (expressa em %) [L ³ /L ³]
Pe	Taxa de emissão de partículas [g/cm ² -s][M/L ² /T]
P_v^i	Pressão de vapor do composto i [M/LT ²]
Q	Vazão [L ³ /T]
Q_B	Vazão volumétrica de ar [L ³ /T]
q_i	Taxa de infiltração de água [L/T]
QR	Quociente de Risco (igual a HQ - <i>Hazard Quotient</i>) [adimensional]
Q_{soil}	Fluxo de gás no subsolo dirigido por pressão para o ambiente fechado [L ³ /T]
R	Fator de retardo [1/T]
RfD_i	Dose de referência para o composto de interesse i [M/M]
R_{spill}	Extensão radial do impacto do hidrocarboneto [L]
S	Massa do constituinte químico adsorvido na parte sólida do meio poroso por unidade de massa dos sólidos [M/M]

S_i	Solubilidade do componente puro na água [mg/L-H ₂ O] [M/L ³]
S_d	Largura da fonte (perpendicular ao fluxo no plano vertical) [L]
S_s	Armazenamento específico [1/L]
S_w	Largura da fonte (perpendicular ao fluxo no plano horizontal) [L]
SF_i	Fator de carcinogenicidade [adimensional]
T	Temperatura absoluta (K)
U_{air}	Velocidade do vento acima da superfície na zona de mistura do ambiente aberto [L/T]
U_{gw}	Velocidade da água subterrânea de Darcy [L/T]
u_w	Velocidade do vento [L/T]
v	Vazão específica através do cilindro [L/T]
ν	Viscosidade cinemática [L ² /T]
\bar{v}_l	Velocidade média de água subterrânea linear [L/T]
V_B	Volume do ambiente fechado [L ³]
V_{spill}	Volume de hidrocarboneto liberado [L ³]
W	Largura da fonte (perpendicular/paralela ao fluxo) [L]
x	Distância da fonte paralela ao fluxo [L]
x_i	Fração molar do componente i [mols/mols]
y	Distância da linha central da fonte perpendicular ao fluxo [L]
z	Distância vertical da superfície da água subterrânea até ponto de medição [L]
α	Compressibilidade do aquífero [M/LT ²]
$\alpha_x, \alpha_y, \alpha_z$	Dispersividade longitudinal, transversal e vertical, respectivamente [L]
β	Compressibilidade do fluido [M/LT ²]
δ_{air}	Altura (comprimento) da zona de mistura do ambiente aberto [L]
δ_{gw}	Espessura pluma dissolvida de água subterrânea [L]
η	Fração da área de rachaduras nas fundações/paredes (área de fendas/área total) [cm ² -fendas/cm ² -área total] [L ² /L ²]
θ	Conteúdo de umidade [L ³ /L ³]
θ'	Grau de saturação [adimensional]
θ_{acap}	Conteúdo volumétrico de ar na franja capilar [cm ³ -ar/cm ³ -solo] [L ³ /L ³]

θ_{acrk}	Conteúdo volumétrico de ar nas fundações/paredes [$\text{cm}^3\text{-ar}/\text{cm}^3\text{-volume total}$] [L^3/L^3]
θ_{as}	Conteúdo volumétrico de ar na zona não saturada (igual a θ_v) [$\text{cm}^3\text{-ar}/\text{cm}^3\text{-solo}$] [L^3/L^3]
θ_R	Conteúdo residual volumétrico de hidrocarbonetos sob condição de drenagem [$\text{cm}^3\text{-hidrocarboneto}/\text{cm}^3\text{-solo}$] [L^3/L^3]
θ_T	Porosidade total da matriz do solo [$\text{cm}^3/\text{cm}^3\text{-solo}$] [L^3/L^3]
θ_{wcap}	Conteúdo volumétrico de água na franja capilar [$\text{cm}^3\text{-H}_2\text{O}/\text{cm}^3\text{-solo}$] [L^3/L^3]
θ_{wcrk}	Conteúdo volumétrico de água nas fundações/paredes [$\text{cm}^3\text{-H}_2\text{O}/\text{cm}^3\text{-volume total}$] [L^3/L^3]
θ_{ws}	Conteúdo volumétrico de água na zona não saturada capilar [$\text{cm}^3\text{-H}_2\text{O}/\text{cm}^3\text{-solo}$] [L^3/L^3]
θ_v	Conteúdo volumétrico de ar na zona não saturada (igual a θ_{as}) [$\text{cm}^3\text{-ar}/\text{cm}^3\text{-solo}$] [L^3/L^3]
λ	Constante de decaimento de primeira ordem [$1/\text{T}$]
μ	Viscosidade dinâmica [M/LT^2]
μ_v	Viscosidade do vapor [M/LT]
ρ_s	Densidade do solo [$\text{g-solo}/\text{cm}^3\text{-solo}$] [M/L^3]
ρ_b	Densidade de massa volumétrica do meio poroso [M/L^3]
τ	Tempo médio do fluxo de vapor [T]
ψ	Carga de pressão [L]

1 INTRODUÇÃO

O Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos, intitulado “Águas Subterrâneas – Tornar visível o invisível” - UNESCO (2022) aponta que, em toda a região da América Latina, os problemas mais comuns de qualidade das águas subterrâneas, estão associados a elementos indesejáveis de origem natural (principalmente arsênio e fluoreto), poluentes antropogênicos (nitratos, poluentes fecais, pesticidas), vários compostos de origem industrial (subprodutos de mineração, solventes organoclorados, hidrocarbonetos, compostos fenólicos etc.) e poluentes emergentes, como cosméticos, antibióticos, hormônios e nanomateriais.

Nesse contexto, Ravenscroft e Lytton (2022) apontam que o gestor de qualidade das águas, no que se refere às águas subterrâneas, enfrenta três grandes tarefas: responder à contaminação conhecida, identificar perigos que possam contaminar as águas subterrâneas e desenvolver ações de proteção para prevenir a contaminação.

Tal cenário implica em desafios institucionais em aprimorar e atualizar constantemente os procedimentos de investigação de áreas suspeitas, regionalização dos valores de referência, acompanhamento e fiscalização das intervenções em áreas contaminadas.

É preciso destacar que o controle, a prevenção e a eliminação de áreas contaminadas é um objetivo de suma importância, que deve estar presente nas diretrizes de atuação de todos os entes federativos, uma vez que transcende os limites da proteção à natureza e relaciona-se, de modo direto, com a preservação e manutenção de condições dignas à existência humana, preservação da saúde e do bem-estar da população, da fauna e da flora, da qualidade do solo, das águas e do ar, os interesses de proteção à natureza e sua paisagem, buscando a ordenação territorial e o planejamento regional e urbano, bem como, a segurança e ordem públicas (IPT, 2016).

Sob o aspecto da relevância das áreas contaminadas por hidrocarbonetos de petróleo no cenário nacional, consulta ao Relatório de Áreas Contaminadas e Reabilitadas no estado de São Paulo de 2023, o mesmo possui 6.471 (Seis mil quatrocentas e setenta e uma) áreas, distribuídas nas diversas classes quanto ao processo de gerenciamento.

Entre os anos de 2002 a 2020 o cadastro de áreas contaminadas classificava a áreas contaminadas em função da atividade. Nesse período, das 6432 (seis mil quatrocentas e trinta e duas) áreas cadastradas, 4523 (quatro mil quinhentas e vinte e três) correspondiam a Postos

de Serviço. A partir de 2020 com a adoção do Relatório atualizado em tempo real, o cadastramento passou a ser feito com base nos grupos contaminantes. Dessa forma, as contaminações pertencentes ao grupo “Combustíveis Automotivos” somam 4791 (quatro mil setecentos e noventa e um) registros.

O Inventário de Áreas Contaminadas, disponibilizado pela Fundação Estadual de Meio Ambiente de Minas Gerais - FEAM, com dados atualizados até o ano de 2022, mostra que das 713 (setecentos e treze) áreas registradas cerca de setenta e cinco por cento correspondem a postos de combustíveis.

No Rio de Janeiro, o cadastro de áreas contaminadas 5ª edição mostrou um total de 464 (quatrocentos e sessenta e quatro) registros, dos quais 271 (duzentos e setenta e um) registros estavam associados à atividade de postos de combustíveis e viação.

Para o Distrito Federal (DF), o Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Distrito Federal – Instituto Brasília Ambiental possui dados sobre áreas contaminadas disponíveis no Observatório da Natureza e Desempenho Ambiental (ONDA).

Em consulta realizada em agosto de 2024, mostram a existência de 121 (cento e vinte e uma) áreas contaminadas ou em suspeita de contaminação, das quais 108 (cento e oito) tem relação com o armazenamento de combustíveis e, conseqüentemente, os hidrocarbonetos de petróleo como contaminantes de interesse.

Entretanto, os órgãos da administração do Distrito Federal não apresentam, em suas normas que tratam do licenciamento ambiental dessas atividades (em especial Instrução Normativa nº 28, de 11 de agosto de 2020 e a Instrução Normativa nº 15 de 23 de outubro de 2023), um procedimento padrão completo que aborde as etapas do processo de gerenciamento de áreas contaminadas.

Assim, um dos efeitos negativos é que muitas lacunas de informação ainda persistem no processo de investigação e gerenciamento, das quais se pode citar: investigações com resultados nos quais as incertezas não são discutidas ou sequer consideradas diminuindo a confiabilidade das conclusões; plumas não delimitadas; metodologias de sondagem e amostragem inadequadas ao propósito de localização e caracterização do contaminante em subsuperfície; plumas de fase dissolvida não vinculadas à fase retida (solo “livre” de contaminação); avaliação de risco realizada com parâmetros automatizados de softwares proprietários ou utilização de parâmetros não justificados tecnicamente; fixação de medidas

de remediação e monitoramento sem embasamentos técnicos; implementação da técnica de “atenuação natural monitorada” sem construção das linhas de evidência; utilização de medidas de remediação sem mensuração da massa de contaminantes a ser removida ou tratada; e a realização de quantidades fixas de campanhas de monitoramento (04 campanhas em 02 anos) e encerramento precoce do processo de reabilitação sem convalidação pelo órgão ambiental.

Já sob o aspecto administrativo, existem processos nos quais nem todos os estudos produzidos são anexados, gerando lacunas de informação que comprometem a avaliação do cenário de contaminação.

O que não se deve negligenciar é que as ações de Gerenciamento de Áreas Contaminadas e de mitigação de impactos ambientais dependem da utilização de técnicas e ferramentas que permitam o conhecimento aprofundado sobre a contaminação, como sua distribuição espacial em solo e água subterrânea no momento da investigação e, principalmente, ao longo do tempo.

Essas informações são preponderantes para a avaliação da existência de cenários de exposição a riscos à saúde das pessoas ou riscos ecológicos e aos demais bens a proteger (animais, recursos naturais, funções ecológicas de compartimentos ambientais, entre outros).

A partir desse conhecimento é que são definidas as ações de mitigação, seja a remediação, a utilização de medidas de engenharia, ou mesmo a adoção de ações institucionais. Esse conceito é denominado “Ações Corretivas Baseadas no Risco – ACBR” (*Risk-based Corrective Action - RBCA*) que é, fundamentalmente, o processo definido pela Resolução CONAMA 420/2009 como procedimento para o gerenciamento de áreas contaminadas.

Dessa forma, é necessário que se estabeleça protocolos para subsidiar a tomada de decisão que promova um alinhamento de expectativas entre Estado e empreendedor, que conduza a uma coleta sistematizada de dados e geração de informações com subsídios técnicos suficientes para o entendimento dos cenários de exposição ao risco, atrelados à contaminação, e que fundamentem às ações dos responsáveis para seu gerenciamento.

Esses protocolos devem conciliar o amplo conhecimento necessário sob os aspectos do processo de migração de contaminantes nos compartimentos ambientais que influenciam na caracterização da distribuição e comportamentos da contaminação no espaço e tempo e uma

infinitude de processos, metodologias e técnicas disponíveis (consolidadas e em desenvolvimento) de forma que os princípios norteadores do gerenciamento de áreas contaminadas estabelecidos pela Resolução CONAMA 420/2009 (artigo 21) sejam amplamente garantidos e respeitados, em especial, a gradualidade na fixação de metas ambientais, como subsídios à definição de ações a serem cumpridas e a racionalização e otimização de ações e custos.

Diante de tais questões, a presente pesquisa estabelece uma metodologia para diagnóstico, prospecção, construção e adaptação de soluções para o estabelecimento de um procedimento personalizado para o gerenciamento de áreas contaminadas por hidrocarbonetos de petróleo no território do Distrito Federal.

Para isso estabeleceu um fluxo de trabalho que analisa os procedimentos técnicos utilizados nas investigações de áreas contaminadas e traduzidos sob a forma de normas de outros países e estados brasileiros e propõe procedimentos padronizados de execução das etapas de investigação de passivos ambientais (etapas de avaliação preliminar, investigação confirmatória, investigação detalhada e avaliação de risco).

Nesse sentido a pesquisa foi organizada em capítulos e estruturada de forma a proporcionar a construção do conhecimento que subsidia a construção do conteúdo e da organização do protocolo de diagnóstico.

A revisão bibliográfica apresenta os principais conceitos associados aos processos que governam a dinâmica e transporte de contaminantes e os respectivos parâmetros de campo, características dos ambientes afetados e dos hidrocarbonetos de petróleo, e seus respectivos envolvimento na determinação e quantificação da ocorrência de tais fenômenos. Uma abordagem pormenorizada do processo de avaliação de risco à saúde associados aos cenários de contaminação, bem como, os conhecimentos acerca de modelos matemáticos preditivos utilizados no processo de determinação de risco associados à exposição indireta aos contaminantes, ou seja, quando o receptor está fora da fonte de contaminação.

Apresenta, também, as ferramentas e metodologias que são utilizadas para aprimorar a investigação e a caracterização da contaminação e uma contextualização do arcabouço legal e normativo (em nível federal) que subsidiam a atuação dos órgãos ambientais no gerenciamento de áreas contaminadas, incluindo, uma análise comparativa das orientações

técnicas contidas nas Normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT afetas ao tema e no Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas da CETESB.

A partir da revisão, a pesquisa apresenta a metodologia para construção dos roteiros de investigação para as etapas de avaliação preliminar, investigação confirmatória, investigação detalhada e avaliação de risco.

Por fim, são apresentadas as constatações feitas a partir da elaboração dos roteiros e sua aplicação no estudo de caso selecionado, avaliando e discutindo se as orientações construídas são suficientes para suprir as lacunas de dados e informações e reduzir as incertezas no processo decisório, que inviabilizam a continuidade do processo de gerenciamento de áreas contaminadas.

2 OBJETIVOS

O objetivo geral do trabalho é propor um procedimento padronizado de execução das etapas de investigação de passivos ambientais (etapas de avaliação preliminar, investigação confirmatória, investigação detalhada e avaliação de risco para o gerenciamento de áreas contaminadas por hidrocarbonetos de petróleo no território do Distrito Federal.

Como objetivos específicos, propõe-se:

- Indicar conteúdo mínimo adequado para os estudos a serem elaborados e os respectivos relatórios a serem apresentados ao órgão ambiental;
- Elencar e propor a utilização das melhores práticas e técnicas para as atividades relativas ao processo de aquisição de dados e produção de informações;
- Propor roteiros de investigação que garantam a adoção das práticas elencadas e a apresentação do conteúdo mínimo definido, que fundamentem a tomada de decisão sobre as ações para o gerenciamento de áreas contaminadas no Distrito Federal.
- Promover a aplicação do roteiro a estudo de caso para analisar a efetividade dos procedimentos propostos.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo traz os conceitos fundamentais sobre a migração de contaminantes nos compartimentos ambientais, nos estudos que subsidiam a avaliação de risco à saúde humana e ao meio ambiente, na legislação federal que estabelece as responsabilidades do Estado no gerenciamento de áreas contaminadas (GAC), bem como nas principais abordagens e ferramentas utilizadas no aprimoramento do processo de investigação de passivos ambientais.

O “*Risk Assessment Guide for Superfund*” da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (*United States Environmental Protection Agency* – USEPA) e o “*Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Release Sites*” da Sociedade Americana de Testes e Materiais (*American Society for Testing and Materials* - ASTM), elaborado em 1995 e revisado em 2015, são utilizados mundialmente, tendo as traduções de seus conceitos replicadas nas elaborações dos glossários de resoluções, normativas institucionais e pela Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, com poucas ou nenhuma adaptação às peculiaridades regionais, criando uma linguagem própria para o universo do gerenciamento de áreas contaminadas.

3.1 CARACTERÍSTICAS E PROBLEMAS ASSOCIADOS AOS HIDROCARBONETOS DE PETRÓLEO.

Segundo a ASTM (2015), os produtos petrolíferos provenientes do petróleo bruto são misturas complexas de centenas a milhares de produtos químicos; no entanto, as limitações práticas restringem a atuação a um subconjunto limitado de componentes-chaves ao avaliar o impacto das liberações de combustíveis petrolíferos para o ambiente.

A ASTM (2015) também aponta para o fato de que a maioria dos produtos petrolíferos é derivada do petróleo bruto por destilação, que é um processo que separa os compostos por volatilidade e que, assim como os petróleos brutos, são misturas variáveis de milhares de compostos químicos, principalmente hidrocarbonetos. Consequentemente, os próprios produtos petrolíferos são, também, misturas variáveis de um grande número de componentes, mas que, ainda assim, os hidrocarbonetos são dominantes na composição dos produtos petrolíferos.

De acordo com Conselho Interestadual de Tecnologia e Regulação dos EUA (*Interstate Technology and Regulatory Council*) - ITRC (2014), os produtos químicos que compõem os

hidrocarbonetos de petróleo podem ser divididos em dois grupos gerais: compostos alifáticos e aromáticos.

O ITRC (2014) aponta que os compostos alifáticos são compostos de cadeia linear, ramificada ou cíclica e podem ser saturados (alcanos) ou insaturados (alcenos, alcinos e outros), enquanto os compostos aromáticos possuem um ou mais anéis conjugados, benzênicos ou heterocíclicos em suas estruturas. O termo conjugado refere-se à presença de elétrons deslocalizados (compartilhados) dentro da estrutura química, como o benzeno. Alguns exemplos de compostos alifáticos e aromáticos são mostrados na Figura 3.1.

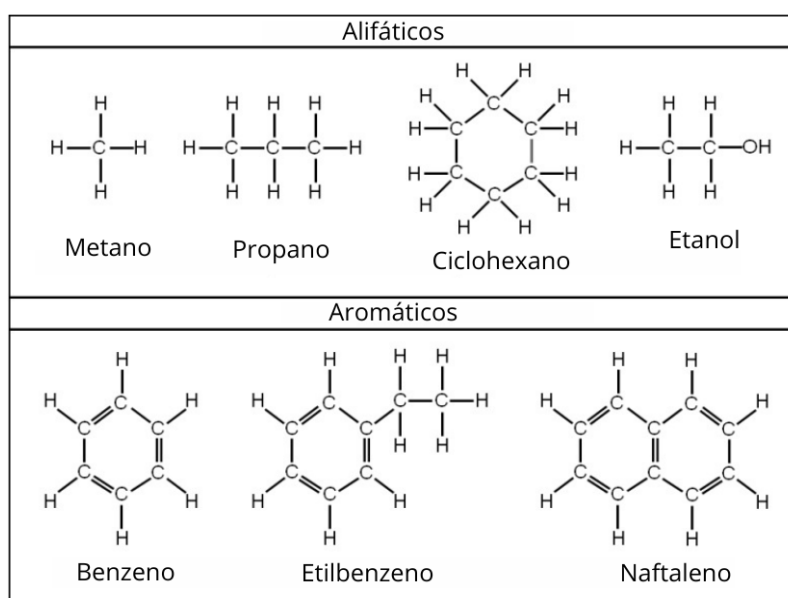


Figura 3.1. Exemplos de compostos alifáticos e aromáticos. Fonte: Adaptado de ITRC (2014).

Em geral, os compostos alifáticos e aromáticos com longas cadeias carbônicas (C9 e acima) possuem maior toxicidade do que os compostos alifáticos com cadeias carbônicas menores (abaixo de C9); entretanto, compostos alifáticos menores são mais voláteis e são, portanto, geralmente o principal componente dos vapores, se presentes na fonte de petróleo (ITRC, 2014).

Os compostos aromáticos são mais facilmente biodegradados do que os compostos alifáticos; no entanto, alguns compostos aromáticos voláteis, como o benzeno e o etilbenzeno, e alguns compostos aromáticos semivoláteis, como o naftaleno, representam um risco carcinogênico, enquanto os compostos alifáticos são geralmente considerados como representando um risco não carcinogênico (ITRC, 2014).

Os hidrocarbonetos aromáticos na gasolina são principalmente Benzeno (C₆H₆), Tolueno (C₇H₈), Etilbenzeno (C₈H₁₀) e Xilenos (C₈H₁₀); estes são chamados coletivamente de BTEX. Alguns aromáticos mais pesados também estão presentes, incluindo baixas quantidades de hidrocarbonetos poliaromáticos ou hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PAH). Os aromáticos compreendem tipicamente cerca de 10 a 40% da gasolina (ASTM, 2015).

Segundo a ATSDR (1995a) os hidrocarbonetos aromáticos de uma gasolina tradicional correspondem a cerca de 30,5% em peso, sendo o benzeno (3,2%), tolueno (4,8%), Xilenos (6,6%), Etilbenzeno (1,4%), C₃-benzeno (4,2%), C₄-benzeno (7,6%) e outros (2,7%). Para óleos combustíveis (incluindo óleo diesel) a ATSDR (1995b) determina um percentual médio de 23,6% de hidrocarbonetos aromáticos totais.

O ITRC (2014) resumiu as principais características de locais contaminados a partir do armazenamento de gasolina e diesel, as quais são apresentadas na compilação da Tabela 3.1.

Tabela 3.1. Características comuns de áreas de armazenamento de gasolina e diesel contaminadas. Adaptado de ITRC (2014).

CARACTERÍSTICAS	Armazenamento Subterrâneo de Gasolina e Diesel
Compostos Indicadores Comuns	Gasolina: BTEX, naftaleno, metano Diesel: Naftaleno, metano
Faixa(s) de cadeia de carbono	Alifáticos: C5–C12 Aromáticos: C6–C10
Potenciais fontes de liberação	Tanques de Armazenamento Subterrâneo, linhas de produtos, descargas, áreas de serviço
Tamanho relativo	Pequeno a médio
Potenciais Caminhos Preferenciais	Utilidades gerais, rocha cárstica/fraturada (depende da localização) Tubulações de serviços públicos entrando na fundação do edifício, reservatórios no porão
Principais Fatores de Avaliação	Documentar usos históricos e atuais do site (antigos locais dos tanques de armazenamento subterrâneo)

O papel de compostos alifáticos e aromáticos inespecíficos relacionados ao petróleo, sob a ótica dos efeitos deletérios à saúde a partir da migração de vapores para ambientes fechados (intrusão de vapores), só na última década passaram a ser compreendidos mais

minuciosamente. Esses compostos são medidos e avaliados coletivamente em termos de Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (*Total Petroleum Hydrocarbons – TPH*) ou mais detalhadamente como grupos específicos de faixas de carbono alifáticos e aromáticos (como alifáticos C5-C8, alifáticos C9-C12 ou aromáticos C9-C18), ASTM (2015).

Por essas características acima elencadas, para se avaliar os impactos negativos da gasolina (ou de toxicidade) à saúde humana e ao meio ambiente são utilizados comumente os resultados analíticos dos BTEX e TPH.

Sob o aspecto da carcinogenicidade das substâncias químicas, a Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (*International Agency for Research on Cancer - IARC*) possui um sistema de classificação, dividido em grupos, em função da comprovação da capacidade de determinada substância gerar câncer, com bases em evidências científicas.

Essa categorização é apresentada na Tabela 3.2, a qual tomou como base o risco decrescente.

Nessa ótica, o Benzeno é classificado como cancerígeno humano (Grupo 1); o Etilbenzeno como possivelmente cancerígeno humano (Grupo 2B) e o Tolueno e Xileno como grupo 3 - não classificável quanto à carcinogenicidade.

Tabela 3.2. Classificação de carcinogenicidade de substâncias. Fonte: Autor: Adaptado de IARC (2023).

GRUPO	NÍVEL DE CERTEZA SOBRE A CARCINOGENICIDADE
1	Carcinogênico para humano - Evidência suficiente de câncer em humanos
2A	Provavelmente carcinogênico para humanos - Evidência limitada de câncer em humanos. Evidência suficiente em animais experimentais.
2B	Possivelmente carcinogênico para humanos - Evidência limitada em humanos. Evidência menos que suficiente em animais experimentais.
3	Não classificável quanto à sua carcinogenicidade em humanos - Evidência inadequada em humanos. Evidência inadequada em animais experimentais.

A Organização Mundial da Saúde - OMS (*World Health Organization-WHO*) declara que não existe concentração segura de exposição ao benzeno, tanto no ar, como na água. E estabelece valores guia com base na estimativa de um caso adicional de câncer em uma dada população exposta a um dado cenário de concentração da substância (CETESB, 2022).

No Brasil, a Portaria nº 888 de 04 de maio de 2021 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2021), estabelece como parâmetro de potabilidade para o benzeno, uma concentração não superior a 5 µg/L.

Para os efeitos não-carcinogênicos, as Fichas de Informações Toxicológicas (FIT) disponibilizadas pela CETESB (2022) apontam que os sintomas relatados em cenários de exposição a esses compostos (BTEX) são: sonolência, fadiga, náusea, aceleração do ritmo cardíaco, dispneia (dificuldade de respirar caracterizada por respiração rápida e curta), cefaleia, tremor, confusão mental, tontura, debilidade, inconsciência, narcose (diminuição reversível e inespecífica da excitabilidade dos neurônios), irritação nos olhos, na pele e no trato respiratório, edema pulmonar, vômito, desconforto gástrico, convulsão, vermelhidão e bolhas na pele, ressecamento, dermatite e dor de garganta.

Nos casos mais graves pode ocorrer diminuição auditiva, surdez, diminuição da produção tanto de eritrócitos como de leucócitos na medula óssea, anemia aplástica. Animais expostos ao Tolueno apresentaram atraso no desenvolvimento do feto, anomalias no esqueleto, perda de peso e neurotoxicidade no desenvolvimento. Em situações extremas, a exposição a altas concentrações de benzeno pode levar à morte, CETESB (2022).

No meio ambiente, a entrada dessas substâncias no subsolo e nas águas subterrâneas implica em riscos ecológicos e à saúde, cujas metodologias de aferição são preocupações atuais dos órgãos ambientais competentes.

Logo, a relevância de que a dinâmica de armazenamento, distribuição, migração e degradação devem ser consideradas nas solicitações institucionais e aferidas, conhecidas a partir dos processos físico e químicos, pedológicos, hidrogeológicos, bioquímicos dos compartimentos ambientais atingidos, considerando suas especificidades e regionalidades.

Para dimensionar esse cenário de possibilidade de riscos e problemas associados aos hidrocarbonetos de petróleo no DF, em consulta realizada ao portal de dados abertos da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP, em março de 2023, constatou-se que nesse território existem 338 Postos Revendedores de Combustíveis.

Somam-se a eles, outros 872 tanques de armazenamento de combustíveis (gasolina e diesel), pertencentes a Pontos de Abastecimento, totalizando mais de 13.450 m³ armazenados; excetuando-se os volumes armazenados nas outras 06 Bases de Armazenamento e Terminais

Retalhistas Revendedores de combustíveis e os volumes transportados diariamente por meio das dutovias que cortam o DF.

Complementarmente, uma consulta ao Painel de Registro Monitoramento Área Contaminada DF, disponível no Observatório da Natureza e Desempenho Ambiental – ONDA – do Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Distrito Federal (Instituto Brasília Ambiental), realizada em agosto de 2024, apontou a existência de 121 (cento e vinte e um) registros de áreas contaminadas no Distrito Federal, dos quais, 108 (cento e oito) relacionados às atividades de postos revendedores de combustíveis, pontos de abastecimento e usinas de asfalto, ou seja, aos hidrocarbonetos de petróleo.

3.2 ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS E CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS PREPONDERANTES NO GERENCIAMENTO DE ÁREAS CONTAMINADAS POR HIDROCARBONETOS DE PETRÓLEO

Para se entender a complexidade do processo de avaliação de risco que fundamenta a tomada de decisão no processo de gerenciamento de áreas contaminadas, é importante destacar os parâmetros e fenômenos que influenciam a migração de contaminantes no solo superficial, solo subsuperficial e água subterrânea, já que esses são os que sofrem fortes influências dos procedimentos e tecnologias de aquisição de dados e, por sua vez, influenciam intensamente os resultados dos métodos de avaliação de risco e tomada de decisão.

Inicialmente, será dado foco aos parâmetros físicos que governam o fluxo subterrâneo e o transporte de solutos e, posteriormente, acerca dos parâmetros e características químicas que também influenciam na migração dessas substâncias no solo, água e ar (incluindo ar do solo).

Os conceitos classicamente adotados pelos pesquisadores e profissionais atuantes no gerenciamento de áreas contaminadas estão consolidados no livro “Águas Subterrâneas” de Freeze & Cherry (1979).

3.2.1 Conceitos e parâmetros do fluxo de água subterrânea

Segundo a UNEP (2022), a zona não saturada (vadosa) é a camada imediatamente abaixo da superfície, a qual pode ser dividida em três zonas distintas: solo, zona intermediária e franja capilar, Figura 3.2. Cada uma delas apresentando diferentes características do armazenamento

da água. A zona saturada (freática) é a camada imediatamente abaixo do lençol freático e é a zona de onde a água subterrânea é extraída.

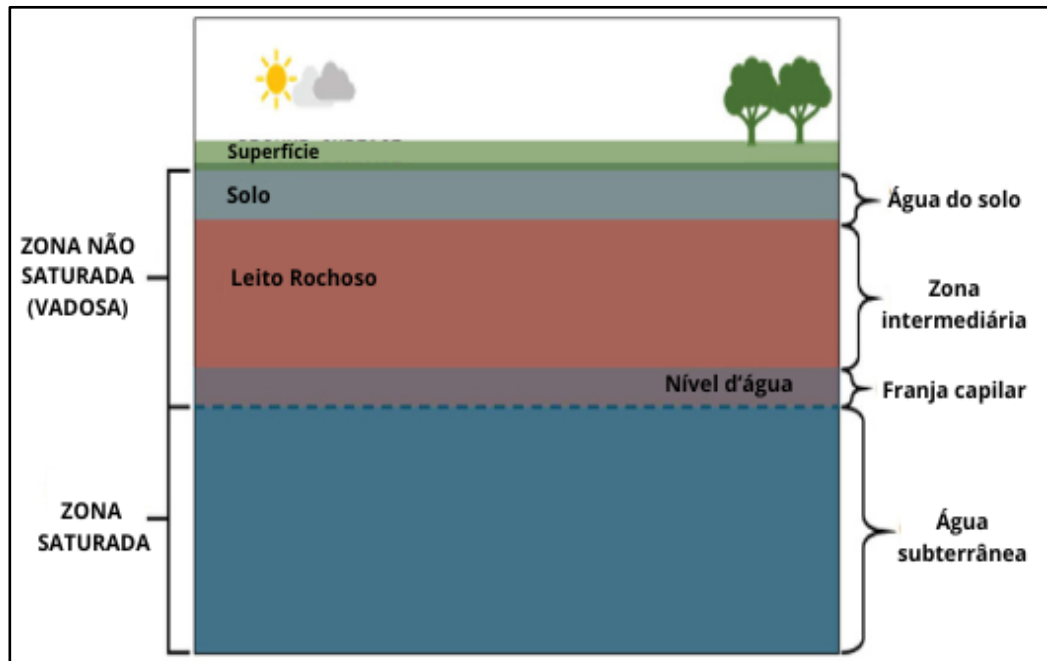


Figura 3.2. As diferentes zonas de armazenamento de água subterrânea localizadas nas zonas não saturadas e saturadas. Adaptado de UNEP (2022).

O fluxo de água na zona saturada do solo pode ser esquematizado conforme a Figura 3.3.

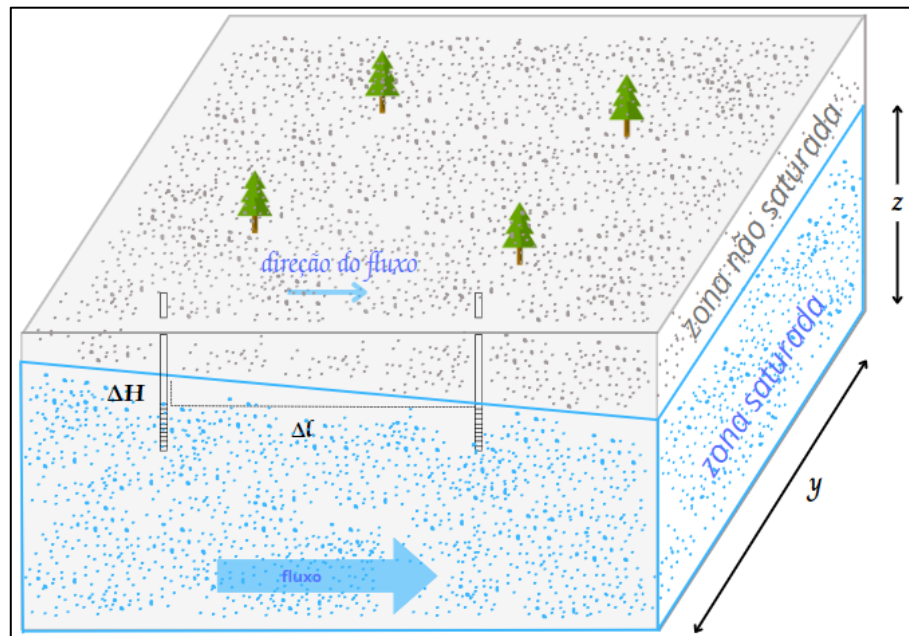


Figura 3.3. Modelo de Fluxo subterrâneo no aquífero poroso. Fonte: Adaptado de COREHIDRO (2024).

A partir dessa representação a equação que representa a Lei de Darcy pode ser derivada da expressão (3.1):

$$v = \frac{Q}{A} \quad (3.1)$$

onde,

v = vazão específica;

Q = vazão de saída;

$A = y \times z$ - área da secção transversal.

A vazão específica ainda pode ser escrita em função da carga hidráulica e do gradiente hidráulico (3.2):

$$v = -K \frac{\Delta H}{\Delta l} \quad (3.2)$$

onde:

h = carga hidráulica;

$\frac{\Delta H}{\Delta l}$ = gradiente hidráulico;

K = condutividade hidráulica.

Segundo os autores, substituindo-se a equação 1.2 na equação 1.1, essa equação ainda pode ser escrita como:

$$Q = -K \frac{\Delta H}{\Delta l} A \quad (3.3)$$

ou ainda, ser compactada como:

$$Q = -KiA \quad (3.4)$$

onde,

i = gradiente hidráulico.

Com a derivação das equações, obtém-se que a condutividade hidráulica (K) é como um fator de proporcionalidade da Lei de Darcy e é definida em função do meio e do fluido.

Segundo Maidment (1993 *apud* Távora 2010), a condutividade hidráulica é a medida da capacidade que o fluido possui de se mover através dos espaços interconectados da matriz do solo e rochas, sendo assim, uma função de ambos, fluido e material que compõe o aquífero. O

valor de K para diferentes fluidos pode ser obtido pela seguinte relação (3.5 e 3.6), em que k é a permeabilidade específica:

$$K = \frac{k\rho g}{\mu} \quad (3.5)$$

ou

$$K = \frac{kg}{\nu} \quad (3.6)$$

em que:

k – permeabilidade intrínseca;

ρ – densidade;

g – aceleração da gravidade;

μ – viscosidade dinâmica;

ν – viscosidade cinemática.

Segundo UOP (1978), o conceito de permeabilidade está relacionado à propriedade de uma formação aquífera relacionada com a sua função de conduto ou canal, e pode ser definida como a capacidade de um meio poroso transmitir água.

Freeze & Cherry (1979), versando sobre a condutividade hidráulica (K) e permeabilidade específica (k), apontam que, para solos reais, deve se incluir a influência de outras propriedades do meio que afetam o fluxo, além do diâmetro médio de grãos, tais como: a distribuição da granulometria, a esfericidade e arredondamento dos grãos e a natureza do seu empacotamento.

Os autores apontam ainda que a condutividade hidráulica está sempre sujeita a condições de heterogeneidade e anisotropia em função das características da formação geológica. A permeabilidade e condutividade hidráulica, por sua vez, estão vinculadas ao conceito de porosidade. E que a porosidade (n) pode ser um importante controlador na condutividade hidráulica (K).

A relação entre a condutividade hidráulica (K) e porosidade (n), pode ser expressa por meio da equação Kozeny-Carmen (BEAR (1972) e Freeze & Cherry (1979)) dada por:

$$K = \left(\frac{\rho g}{\mu}\right) \left[\frac{n^3}{(1-n)^2}\right] \left(\frac{d_m^2}{180}\right) \quad (3.7)$$

onde,

K = condutividade hidráulica;

ρ – densidade;

g – aceleração da gravidade

μ – viscosidade dinâmica;

n – porosidade;

d_m – é a média geométrica dos tamanhos de grão retidos entre peneiras contíguas.

Valores de grandeza associados à condutividade hidráulica (K) e permeabilidade específica (k) são apresentados por Freeze & Cherry (1979) e podem ser verificados na Figura 3.4, assim como os valores de porosidade, que podem ser visualizados na Figura 3.5.

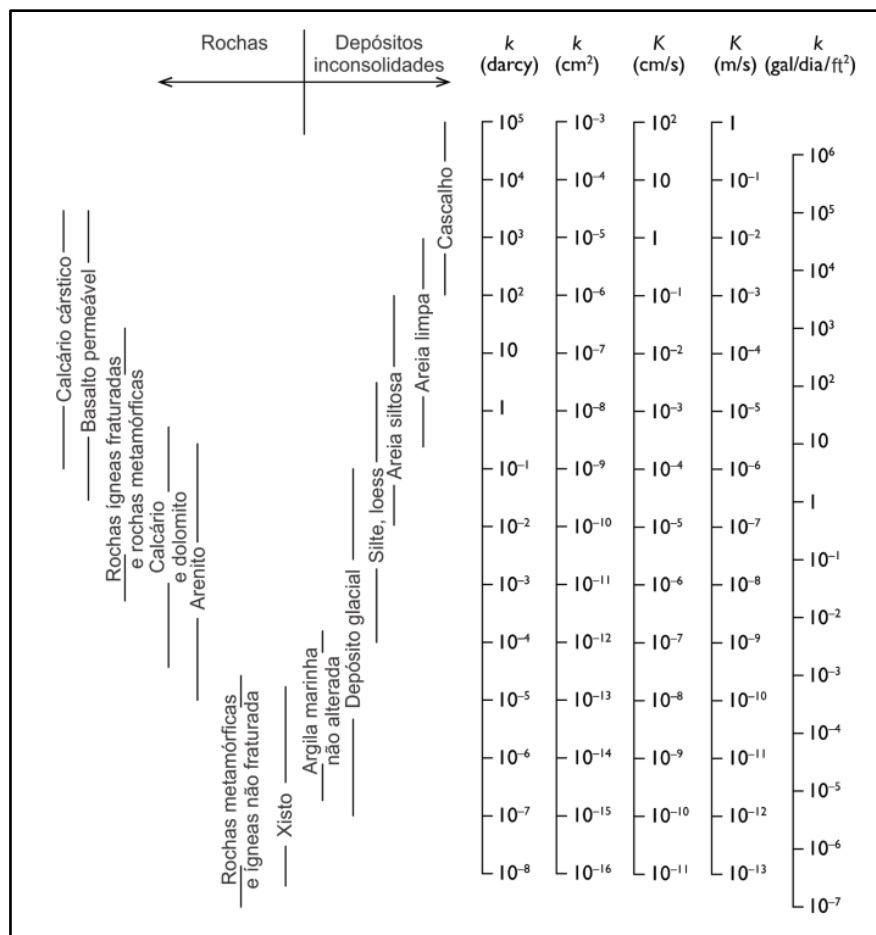


Figura 3.4. Intervalos de valores de condutividade hidráulica e permeabilidade – Fonte: Freeze & Cherry (1979).

<i>n</i> (%)	
Depósitos inconsolidados	
Cascalho	25 - 40
Areia	25 - 50
Silte	35 - 50
Argila	40 - 70
Rochas	
Basalto fraturado	5 - 50
Calcário carstificado	5 - 50
Arenito	5 - 30
Calcário, dolomito	0 - 20
Xisto	0 - 10
Rocha cristalina fraturada	0 - 10
Rocha cristalina densa	0 - 5

Figura 3.5. Intervalo de valores de porosidade – Fonte: Freeze & Cherry 1979.

Freeze & Cherry (1979) atentam que há muitos outros conceitos associados ao fluxo de águas subterrâneas. Entretanto, destacam que existem seis propriedades físicas básicas de meios porosos e de fluido que devem ser conhecidas a fim de descrever os aspectos hidráulicos de fluxo saturado de água subterrânea.

São elas a água a densidade ρ , a viscosidade μ e a compressibilidade β ; e para o meio, a porosidade n (ou relação de vazão e), a permeabilidade k e compressibilidade α .

Todos os outros parâmetros que são usados para descrever as propriedades hidrogeológicas das formações geológicas podem ser derivados desses seis. Como exemplo, demonstrou-se anteriormente (equação 3.5) que a condutividade hidráulica saturada K é uma combinação de k , ρ e μ .

A compressibilidade, relacionada com o conceito de armazenamento específico (S_s), pode ser escrito como:

$$S_s = \rho g(\alpha + n\beta) \quad (3.8)$$

onde,

S_s – armazenamento específico;

α – compressibilidade do aquífero;

β – compressibilidade do fluido.

O armazenamento específico (S_s), por sua vez, é utilizado para o cálculo da capacidade de armazenamento (S) de um aquífero de espessura (b):

$$S = S_s b \quad (3.9)$$

Outro parâmetro igualmente importante é o da transmissividade (ou transmissibilidade) (T) que é dada por:

$$T = Kb \quad (3.10)$$

Onde: K é a condutividade hidráulica; e

b - é a espessura do aquífero

Os conceitos desses parâmetros derivados também são fundamentais para o entendimento das equações de fluxo subterrâneo e são utilizadas para avaliar o comportamento de contaminantes na zona saturada.

O fluxo saturado em regime permanente em um meio homogêneo e isotrópico pode ser representado pela *Equação de Laplace*:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0 \quad (3.11)$$

em que $h(x, y, z)$ é a carga hidráulica em qualquer ponto de um fluxo tridimensional.

O fluxo transiente não saturado em meio poroso granular pode ser descrito pela equação de Richards é dada por:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[K(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[K(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[K(\psi) \left(\frac{\partial \psi}{\partial z} + 1 \right) \right] = C(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial t} \quad (3.12)$$

Essa é a equação em função de ψ para fluxo transiente através de um meio poroso não saturado. Ela pode ser facilmente convertida em uma solução para carga hidráulica $h(x, y, z, t)$ por meio da relação $h = \psi + z$. A solução requer conhecimento das curvas características $K(\psi)$ e $C(\psi)$, ou $\theta(\psi)$. Essa equação também é válida para solos saturados.

3.2.2 Linhas equipotenciais e direção de fluxo

Segundo Cohen & Cherry (2020), o fluxo de águas subterrâneas em aquíferos livres obedece aos mesmos princípios que o fluxo em aquíferos confinados, perante a adição de um elemento: a elevação do topo da zona saturada, ou seja, do lençol freático. Além disso, um contorno equipotencial conecta pontos de carga hidráulica igual, que é medida usando poços (piezômetros em escala de campo). O lençol freático não é uma linha equipotencial, tem uma queda variável porque varia em elevação, conforme ilustrado na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

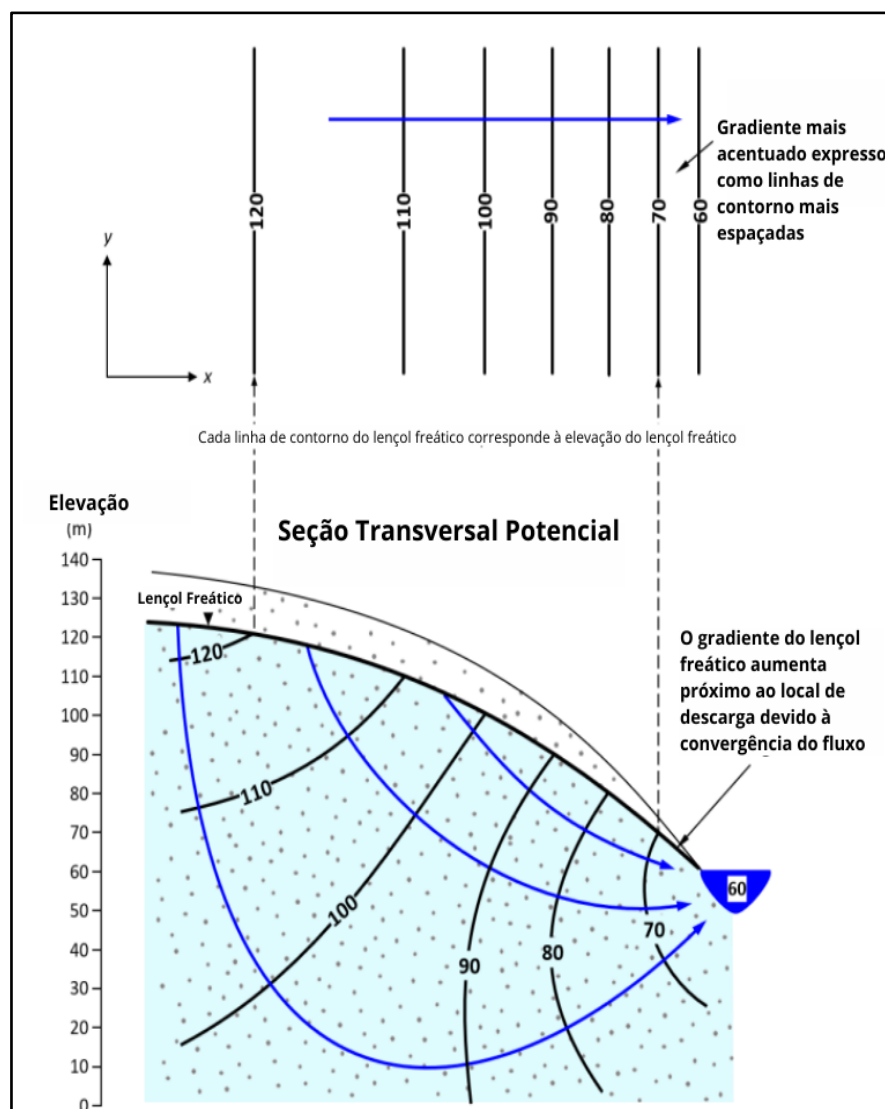


Figura 3.6. Seção transversal potenciométrica, direção do fluxo da água subterrânea (setas azuis) e mapa de contorno do lençol freático em um aquífero não confinado idealizado. Fonte: Cohen & Cherry (2020).

A Figura 3.6 mostra que o lençol freático também pode ser representado na visualização do mapa. Cada linha de contorno representa uma linha de igual elevação do lençol freático. Observa-se também, que o gradiente do lençol freático aumenta (lençol freático mais íngreme e curvas de nível mais próximas) na direção do fluxo devido ao fluxo convergente, o que diminui a área da seção transversal do fluxo.

Freeze & Cherry (1979) descrevem que se uma seção transversal bidimensional significativa pode ser selecionada dentro do sistema tridimensional. O conjunto de linhas equipotenciais e linhas de fluxo assim expostas constituem uma rede de fluxo e descrevem metodologias para construção de redes de fluxo, das quais podemos destacar as redes de fluxo por construção gráfica, demonstradas por meio da Figura 3.6 e as redes de fluxo por simulações numéricas.

A construção de redes de fluxo por métodos analíticos e numéricos são a base para o mapeamento preditivo da migração de contaminantes.

3.2.3 Conceitos e fenômenos da migração de hidrocarbonetos na zona saturada

Na elaboração dos produtos dentro das investigações de passivos ambientais, é de suma importância a construção, aprimoramento e atualização constante de um modelo conceitual que indique os caminhos da migração dos hidrocarbonetos na zona saturada.

A Figura 3.7 (Corseuil *et al.*, 2006) mostra um cenário com elementos comumente encontrados, para casos onde há contaminações das águas subterrâneas de unidades aquíferas não confinadas através de mecanismos primários de liberação tais como: vazamentos ou derramamentos decorrentes de falhas ou acidentes em sistemas de armazenamento e distribuição de produtos químicos (ex.: combustíveis, tintas, solventes, etc.); a disposição inadequada de resíduos tóxicos e sistemas de tratamento de esgotos individuais das atividades que utilizam hidrocarbonetos.

Corseuil *et al.* (2006) apontam que a advecção é o principal mecanismo responsável pelo deslocamento dos contaminantes em função do fluxo da água subterrânea.

Segundo Freeze & Cherry (1979), devido à advecção solutos não reativos são levados a uma velocidade média igual à velocidade linear média \bar{v} da água subterrânea. Há uma tendência, no entanto, para o soluto se espalhar para fora do caminho que seria esperado pelas leis da hidráulica advectiva do sistema de fluxo. Este fenômeno de espalhamento é chamado de *dispersão hidrodinâmica* e é a causa da diluição do soluto.

A dispersão hidrodinâmica é o mecanismo responsável pelo espalhamento horizontal e vertical dos contaminantes dissolvidos e ocorre por causa da mistura mecânica durante a advecção do fluido (dispersão mecânica ou hidráulica) e por causa da difusão molecular devido à energia termo-cinética das partículas do soluto (Freeze & Cherry, 1979).

Já a sorção representa o fenômeno de partição das moléculas dos poluentes dissolvidos na água subterrânea para a fase sólida, o que resulta no retardamento do deslocamento da pluma de contaminação.

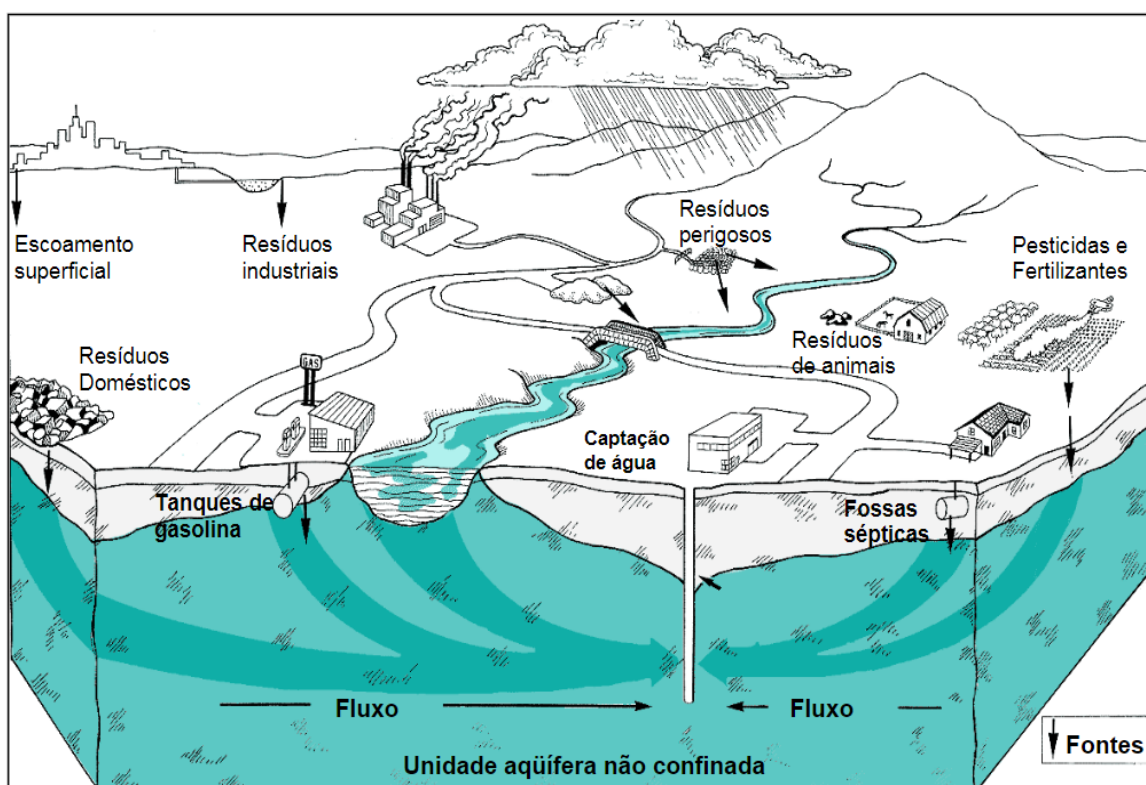


Figura 3.7. Modelo Conceitual da contaminação das águas subterrâneas de unidades aquíferas não confinadas. Fonte: Corseuil *et al.* (2006).

Ainda segundo Freeze & Cherry (1979), dentro dos processos de dispersão hidrodinâmica deve ser dada ênfase ao processo de dispersão mecânica, uma vez que o processo de difusão só é significativo para ambientes que apresentem velocidades muito baixas.

A dispersão mecânica é um processo microscópico, o qual se desmembra em três mecanismos (Figura 3.8): o primeiro ocorre nos canais de poros individuais, pois as moléculas viajam a velocidades diferentes em diferentes pontos através desses canais devido ao arrasto exercido sobre o fluido pela aspereza das superfícies dos poros; o segundo é causado pela diferença de tamanho dos poros ao longo das vias de fluxo seguidas pelas moléculas de água, devido às

diferenças na área da superfície e nas asperezas em relação ao volume de água em canais de poros individuais, diferentes canais de poros têm diferentes velocidades de fluido; o terceiro está relacionado à tortuosidade, à ramificação e à interdigitação dos canais dos poros.

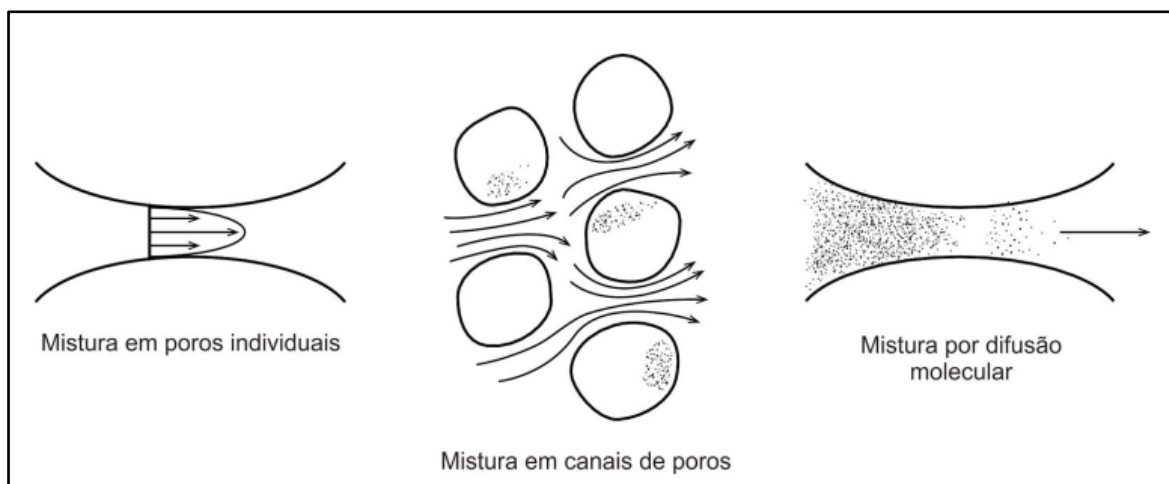


Figura 3.8. Processo de dispersão em escala microscópica. Fonte: Freeze & Cherry (1979).

A difusão do soluto na direção do fluxo é conhecida como *dispersão longitudinal*. O espalhamento em direções perpendiculares ao fluxo é chamado de *dispersão transversal*. A dispersão longitudinal é normalmente muito mais forte que a dispersão lateral, Freeze & Cherry (1979).

Nas observações das condições de preponderâncias de atuação de um mecanismo em relação a outro, durante o transporte de contaminantes, Rowe (1988), Pastore e Miotto (2000) e Farias (2003) pontuam que o processo químico se torna evidente quando a velocidade do fluido não é suficientemente alta (ou seja, inferior a 10^{-6} cm/s), gerando um gradiente devido ao fluxo do soluto (agente contaminante) do meio mais concentrado para o menos concentrado. Este processo é denominado difusão molecular.

Maximiano (2001) também aborda os processos que interferem na migração de contaminantes na água subterrânea e que foram resumidos no Quadro 3.1.

Em termos matemáticos, Freeze & Cherry (1979) descrevem que a principal equação diferencial que descreve o transporte de constituintes reativos em meios porosos isotrópicos saturados é conhecida como equação de advecção-dispersão.

Segundo os autores, essa equação pode ser escrita de várias formas e depende das condições consideradas para o meio (homogêneo/heterogêneo), para as condições de fluxo

(transiente/estacionário), das dimensões consideradas (unidimensional/tridimensional) e para a condição de reação do soluto (reagente/conservativo).

Quadro 3.1. Processos que influenciam na migração de contaminantes (Maximiano, 2001).

<u>Mecanismos de Transporte</u>	<ul style="list-style-type: none"> ● Advecção – função do potencial hidráulico; ● Dispersão Mecânica (dispersão hidrodinâmica); ● Difusão Molecular; ● Gradiente de Concentração (fase vapor)
<u>Mecanismos de Retardação</u>	<ul style="list-style-type: none"> ● Adsorção; <ul style="list-style-type: none"> ○ Adsorção eletrostática; ○ Adsorção química; ● Absorção. ● Filtração (aprisionamento nos poros não conectados, pode ser desfeito por difusão molecular).
<u>Atenuação</u>	<ul style="list-style-type: none"> ● Remoção irreversível – remoção de massa do composto; ● Reações de oxidação-redução química ou biológica (biodegradação); ● Hidrólise (insignificante para compostos orgânicos); ● Volatilização. ● Transformação.
<u>Aceleração – aumento da mobilidade</u>	<ul style="list-style-type: none"> ● Cossolvência (aumento da solubilidade e diminuição da capacidade de adsorção); ● Ionização; ● Dissolução.

No caso de hidrocarbonetos de petróleo, que podem ser consideradas substâncias reativas, Freeze & Cherry (1979) apontam que um grande número de reações químicas e bioquímicas que podem alterar a concentração de contaminantes em sistemas de fluxos de águas subterrâneas pode ser agrupada em seis categorias: reações de adsorção-dessorção, reações ácido-base, reações de solução-precipitação, reações de oxidação-redução, emparelhamento iônico ou complexação e síntese microbiológica. A categoria mais relevante é das reações de adsorção-dessorção.

Freeze & Cherry (1979) definem para uma condição de meio homogêneo saturado com fluxo em estado estacionário e considerando uma reação de adsorção que a equação de advecção-dispersão unidimensional pode ser descrita por:

$$D_l \frac{\partial^2 C}{\partial l^2} - \bar{v}_l \frac{\partial C}{\partial l} + \frac{\rho_b}{n} \frac{\partial S}{\partial t} = \frac{\partial C}{\partial t} \quad (3.13)$$

onde

l é uma direção de coordenada curvilínea tomada ao longo da linha de fluxo;

\bar{v}_l é a velocidade média de água subterrânea linear;

D_l é o coeficiente de dispersão hidrodinâmica na direção longitudinal (isto é, ao longo da linha de fluxo),

C é a concentração do soluto

ρ_b é a densidade de massa volumétrica do meio poroso;

n é a porosidade;

S é a massa do constituinte químico adsorvido na parte sólida do meio poroso por unidade de massa dos sólidos;

$\partial S/\partial t$ representa a taxa que o constituinte é adsorvido; e

$(\rho_b/n)(\partial S/\partial t)$ representa a variação na concentração do fluido causado por adsorção ou dessorção.

Reações de adsorção de contaminantes em águas subterrâneas são normalmente consideradas como sendo muito rápidas em relação à velocidade de fluxo. Foi definido S como sendo a quantidade de contaminação que é adsorvida pelos sólidos, isto é, o grau de adsorção, é geralmente uma função da concentração em solução $S=f(C)$. Logo, segue que:

$$-\frac{\partial S}{\partial t} = \frac{\partial S}{\partial C} \cdot \frac{\partial C}{\partial t} \quad (3.14)$$

e

$$-\frac{\rho_b}{n} \cdot \frac{\partial S}{\partial t} = \frac{\rho_b}{n} \cdot \frac{\partial S}{\partial C} \cdot \frac{\partial C}{\partial t} \quad (3.15)$$

onde o termo $\partial S/\partial C$ representa a partição do contaminante entre a solução e os sólidos.

A partição de solutos entre as fases líquida e sólida no meio poroso, determinada em experimentos de laboratórios, é comumente expressa na forma gráfica em duas coordenadas: a massa adsorvida por unidade de massa de sólido seco (S) é plotada versus a concentração do constituinte em solução (C). Essa relação gráfica de S versus C e suas expressões matemáticas equivalentes são conhecidas como isotermas. Este termo deriva-se do fato de que os experimentos de adsorção são normalmente conduzidos a temperaturas constantes.

Para os resultados experimentais de adsorção, os dados obtidos são geralmente plotados em gráficos *bi-log*. Solutos em baixa ou moderada concentrações, relações gráficas lineares são comumente obtidas para um amplo intervalo de concentrações. Essa condição pode ser expressa como:

$$\log S = b \log C + \log K_d \quad (3.16)$$

ou

$$S = K_d C^b \quad (3.17)$$

onde: S é a massa de soluto adsorvida ou precipitada nos sólidos por unidade de volume de massa seca do meio poroso, C é a concentração do soluto, e K_d e b são coeficientes que dependem da espécie de soluto, natureza do meio poroso e outras condições do sistema. Essa última equação é conhecida como isoterma de Freundlich.

Dessa equação com $b = 1$ obtém-se:

$$\frac{dS}{dC} = K_d \quad (3.18)$$

onde K_d é conhecido como *coeficiente* de distribuição.

O coeficiente de distribuição é o parâmetro técnico amplamente usado nas investigações de passivo ambiental e reflete a migração do contaminante. Assim, o K_d é uma representação válida da partição entre líquido e sólidos, porém, somente se as reações que causam partição são rápidas e reversíveis, e somente se a isoterma é linear. Tais requisitos são recorrentes nos contaminantes derivados de hidrocarbonetos, os quais constituem o escopo dessa pesquisa.

3.2.4 Características químicas que influenciam a migração de hidrocarbonetos

A partir das substâncias químicas de interesse consideradas indicadores mais comuns para contaminações em áreas de armazenamento subterrâneo de gasolina e diesel (Tabela 3.1), ou seja, BTEX, naftaleno e metano, o ITRC (2014) fornece uma tabela com os principais parâmetros químicos que interferem no comportamento dos hidrocarbonetos de petróleo, sendo eles: o Peso Molecular (*Molecular Weight* - MW), a Pressão de Vapor (*Vapor Pressure* - VP), a Solubilidade em água (S_i), a Constante da Lei de Henry (H), o Coeficiente de Partição (k_{oc}), e os Coeficientes de Difusão do Produto Puro no Ar (D^{air}) e na Água (D^w).

As Planilhas de Avaliação de Risco, CETESB (2024), ainda acrescentam parâmetros como a densidade, o ponto de fusão, a meia vida, o coeficiente de distribuição octanol-água (k_{ow}), entre outros. Tais parâmetros ditam o comportamento desse grupo de contaminantes em relação à água e ao ar em subsuperfície.

Para compreender melhor o comportamento químico em subsuperfície da migração de hidrocarbonetos, é necessário detectar as tendências mais expressivas das propriedades elencadas acima como, por exemplo, o aumento do número de átomos de carbono na estrutura. Essas tendências são seguidas mais de perto por compostos com estruturas moleculares semelhantes, como os hidrocarbonetos alifáticos de cadeia linear e ligação simples (ASTM, 2015).

Nesse contexto, as substâncias químicas de interesse imiscíveis em água (Nonaqueous Phase Liquids - NAPL) correspondem a hidrocarbonetos que possuem propriedades físico-químicas e toxicológicas distintas quando comparados àquelas solúveis em solvente universal (água). Em contato com a água e/ou ar, a diferença resulta na formação de uma interface entre ambos, ou seja, uma fase líquida imiscível, o que impede os dois fluidos de se misturarem.

Segundo Oliveira (2020), os NAPL são classificados em LNAPL (*light* NAPL), de densidade inferior à da água e DNAPL (*dense* NAPL), de densidade superior à da água. A Figura 3.9 apresenta um Modelo Conceitual que ilustra o comportamento de contaminantes caracterizados como LNAPL em subsuperfície.

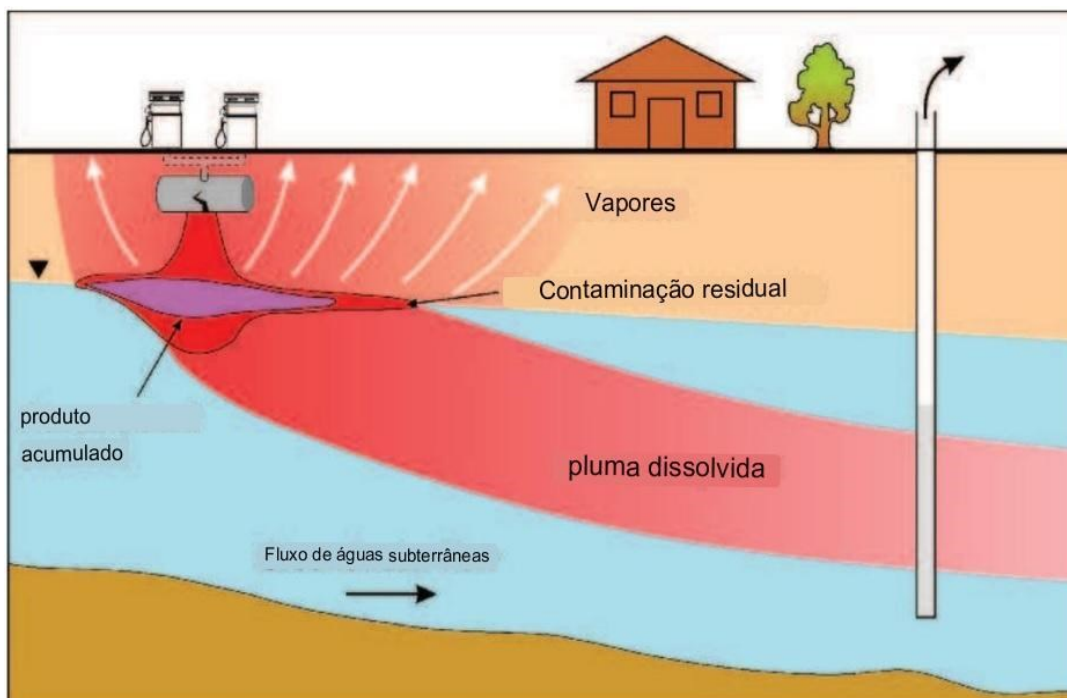


Figura 3.9. Modelo Conceitual do Comportamento de contaminantes caracterizados como LNAPL em subsuperfície - Fonte: Davis *et al.* (2006).

Oliveira (2020) observa também que a mobilidade dos vários fluidos, água, LNAPL e, por vezes, o ar, que estão presentes em um meio geológico poroso/fraturado é regida, em parte,

por suas saturações relativas de fluido no espaço poroso, pois sua saturação equivale à porcentagem do espaço poroso ocupado por um fluido.

O LNAPL precisa deslocar um volume equivalente de fluidos residentes (ar e/ou água), sendo então necessário atingir um limite de pressão capilar específica, ou pressão de entrada.

Observou-se também que a migração do LNAPL em um meio saturado causará a drenagem dos poros até que permaneçam lentes localizadas (umectantes), as quais não podendo ser deslocadas passam a compor o teor de água residual.

Uma das influências da composição química no processo de absorção reversa pode ocorrer, por exemplo, durante a flutuação do lençol freático, momento em que a água permeará novamente o meio, deslocando gradualmente o LNAPL. Mais uma vez, o volume total de LNAPL não é drenado e uma saturação residual permanece retida nos poros em função das forças capilares retentivas.

Newell *et al.* (1995) ressaltam que os parâmetros químicos que governam o transporte de LNAPL no meio ambiente podem ser divididos em parâmetros na escala dos poros e parâmetros de campo e apontam que na escala de campo, a migração do LNAPL é muito mais difícil de prever devido a fatores como o complexo histórico de liberação e, mais importante, a heterogeneidade da composição mineral do subsolo.

Para a escala dos poros, os autores apontam como parâmetros: a densidade, a viscosidade a tensão interfacial, a molhabilidade a pressão capilar e saturação e saturação residual e a permeabilidade relativa.

Távora (2010), ao citar Guiguer (1994), Spitz e Moreno (1996) comenta que a estabilidade química do componente contaminante também governa os processos de transferência e transformações no solo.

Cavelan A. *et al.* (2022) realizaram uma abordagem crítica a respeito da influência da variação do nível de água e da temperatura em contaminações por diferentes LNAPL e afirmam que numerosos estudos laboratoriais, de modelagem e de campo mostram as flutuações sazonais ou induzidas pelo nível das águas subterrâneas afetando a migração e redistribuição do LNAPL, as taxas de dissolução de componentes, a volatilização, e ou a biodegradação.

Dessa forma, pode-se afirmar as condições da flutuação do nível freático e/ou mudanças na umidade do solo afetam a dispersão vertical e a redistribuição dos compostos LNAPL na franja capilar, modificando sua liberação química no ambiente.

Esse contexto pode impactar fortemente a mobilização do LNAPL, o tempo de vida da contaminação e o risco para os receptores, a partir da dinâmica de migração exemplificada didaticamente na Figura 3.10, com base nos efeitos causados aos processos de sorção, dissolução, volatilização e biodegradação ilustrados na Figura 3.11.

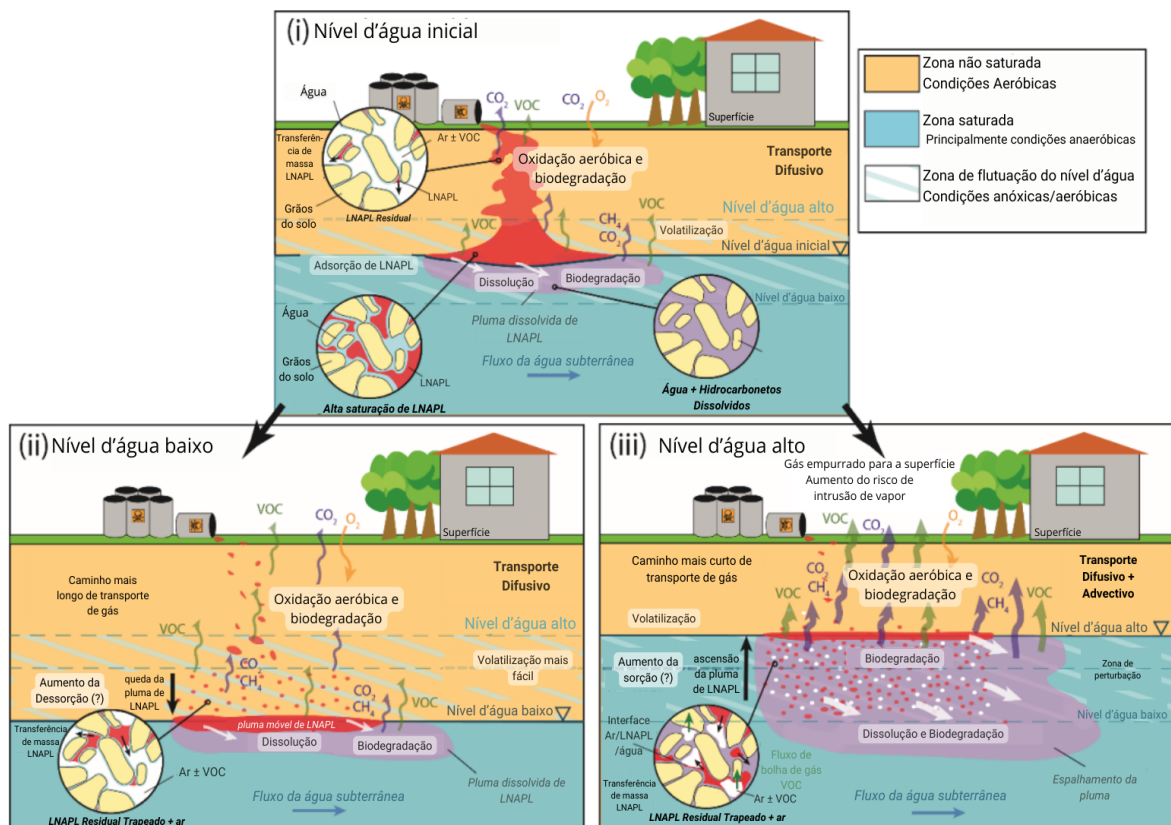


Figura 3.10. Modelo conceitual mostrando os processos de mobilização e transformação do LNAPL em um local contaminado durante as flutuações do lençol freático- Fonte: Cavelan *et al.* (2022).

No entanto, Freeze & Cherry (1979) chamam a atenção que, devido às heterogeneidades inerentes aos sistemas subterrâneos, as zonas do aquífero afetadas podem ser muito difíceis de serem detectadas e que, do ponto de vista da qualidade da água, a contaminação da água subterrânea muitas vezes requer longos períodos antes que a verdadeira extensão do problema seja detectável. Além disso, muitas vezes, longos períodos de fluxo de águas subterrâneas são necessários para que as substâncias sejam eliminadas de aquíferos contaminados. A contaminação das águas subterrâneas geralmente resulta em aquíferos ou partes de aquíferos inutilizáveis para além da reparação. Dessa forma, são necessários esforços para que ações de

gestão sejam corretamente conduzidas, considerando as interações químicas e observando suas heterogeneidades.

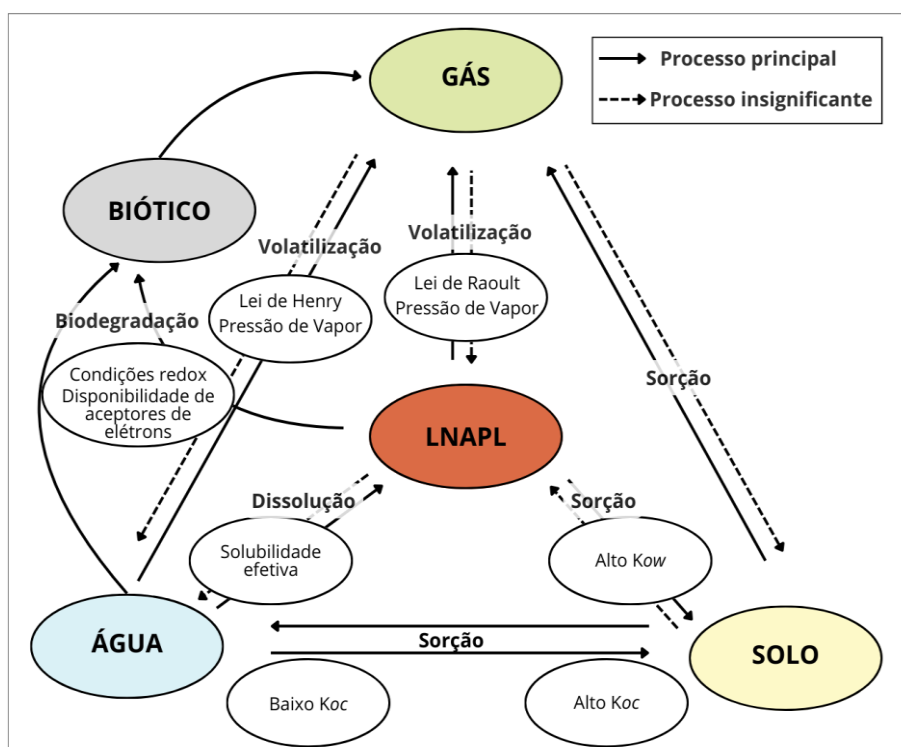


Figura 3.11. Processos dominantes envolvidos na biodegradação do LNAPL e partição de compostos entre as fases potencialmente presentes na zona saturada e insaturada - Fonte: Cavelan *et al.* (2022).

3.3 O GERENCIAMENTO DE ÁREAS CONTAMINADAS POR MEIO DE AÇÕES CORRETIVAS BASEADAS NO RISCO

Este item abordará os conhecimentos desenvolvidos mundialmente para estruturar as etapas e ações dentro do gerenciamento de áreas contaminadas com a posterior comparação sobre as práticas adotadas pelo Brasil, aprofundando-se nos métodos de tomada de decisão e na metodologia de avaliação de risco.

Nesse contexto, o marco regulatório mais expressivo no que se refere ao gerenciamento de áreas contaminadas se deu com a publicação, pelo congresso dos Estados Unidos, de três importantes instrumentos; a Lei de Água Potável (*'Clean Water Act'*, de 1972), a Lei de Conservação e Recuperação de Recursos (*'Resource Conservation and Recovery Act'* - RCRA), de 1976, e a Lei de Resposta, Compensação e Responsabilidade Ambiental Abrangente (*'Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act'* - CERCLA), de 1980, informalmente denominado *"Superfund"*.

Tendo como fundamento conteúdos técnicos científicos, foram criados por outros países, incluindo o Brasil, muitos procedimentos, legislações, manuais, listas de verificação, entre outros produtos, que dão suporte ao processo de tomada de decisão quando da ocorrência e recuperação de uma área contaminada.

Dentre as publicações devem ser referenciados: o Guia do Superfund para avaliação de risco – Volume 1 – Manual de Avaliação para Saúde Humana (*Risk Assessment Guidance for Superfund – RAGS - Volume I - Human Health Evaluation Manual*) da USEPA (1989), o Guia para a realização de estudos de tratabilidade no âmbito do CERCLA' (*Guidance for Conducting Treatability Studies under CERCLA*)' da USEPA (1992), o Guia Padrão para Ações Corretivas Baseadas em Risco Aplicadas em Locais de Liberação de Petróleo da ASTM (*Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Release Sites da ASTM*) (1995, revalidado em 2015)', a Resolução CONAMA nº 420 de 28 de dezembro de 2009 e as Normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, em especial a Norma ABNT NBR 16.209:2013 e suas normas correlatas.

Oliveira (2020) aponta ainda a elaboração do Quantificação da Fase Vapor Relacionada aos Processo de Atenuação Natural da Área Fonte (*Quantification of Vapor Phase Related NSZD Processes da API (2017)*); o Gerenciamento de Área com LNAPL: Evolução do Modelo Conceitual de Áreas com LNAPL (LCSM), Processo de Decisão e Tecnologias de Remediação (*LNAPL Site Management: LCSM Evolution, Decision Process, and Remedial Technologies; 'LNAPL 3 (Updating ITRC - 2009)*) do ITRC (2018) e o Guia Técnico de Medição para Atenuação Natural de Áreas Fonte de LNAPL (*Technical measurement guidance for LNAPL natural source zone depletion*) do CRC CARE (2018), como sendo alguns dos mais atualizados sobre a temática.

Já Davis *et al.* (2006), com a ótica no panorama global, discorreu sobre a regulamentação para sítios contaminados por petróleo na Austrália, Europa e Estados Unidos sob o ponto de vista da normatização, procedimentos e materiais de apoio publicados e adotados por governos e pela indústria do petróleo.

Tal trabalho revela que a Ação Corretiva Baseada no Risco – ACBR (*Risk-based Corrective Action – RBCA*) é a metodologia adotada amplamente no gerenciamento de áreas contaminadas, sendo aplicada em todos os lugares pesquisados.

No Brasil, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB – foi precursora do gerenciamento de áreas contaminadas no âmbito das instituições públicas brasileiras e teve como marco técnico o Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas, com a primeira edição em 1999.

Esse Manual estabelece o conceito de que o 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. Essas medidas devem proporcionar os instrumentos necessários à tomada de decisão quanto às formas de intervenção mais adequadas, (CETESB, 1999).

A partir do Manual CETESB, outros instrumentos em nível estadual foram elaborados, dos quais cabe citar: a Resolução de Diretoria nº 007/00/C/E/CETESB/2000, a Resolução de Diretoria nº 023/C/E/20021 – CETESB/2001 e a Decisão de Diretoria nº 103/2007/C/E-CETESB/2007.

Essas posteriormente culminaram na promulgação pelo Estado de São Paulo da Lei Estadual nº 13.577, de 08 de julho de 2009, a qual aderiu bases para a elaboração, em nível Federal, da Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA nº 420 de 28 de dezembro de 2009.

A Resolução CONAMA nº 420/2009, também adota a ACBR, como metodologia para orientação das tomadas de decisão quanto às ações de gerenciamento. E define, em seu artigo 23 e Anexo III, que o procedimento de gerenciamento seja composto minimamente das etapas de identificação, diagnóstico e intervenção.

Segundo ASTM (2015), ações corretivas são definidas como a sequência de ações que incluem: avaliação do local, ação corretiva provisória, ação corretiva, operação e manutenção do equipamento, monitoramento do progresso e término da ação corretiva. Define, oportunamente, a ACBR como um processo de tomada de decisão consistente para a avaliação e resposta a um vazamento de petróleo, com base na proteção da saúde humana e do meio ambiente.

Em seu ‘*Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Release Sites*’ (1995, revalidado em 2015) a ASTM publicou o fluxograma das etapas a serem seguidas no processo de gerenciamento, conforme exposto nas Figuras 3.12 e 3.13.

Essas etapas apresentam uma série de vantagens no que se refere à organização do processo de tomada de decisão, que impactam na dinâmica, em custos, no tempo e em diversos outros aspectos que se associam ao processo de gerenciamento de áreas contaminadas (ASTM, 2015).

Tal sequência foi descrita por Maximiano (2001) a partir do ‘*Risk Assessment Guidance for Superfund – RAGS - Volume I - Human Health Evaluation Manual*’ da USEPA (1989) e da primeira versão do ‘*Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Release Sites*’ da ASTM (1995).

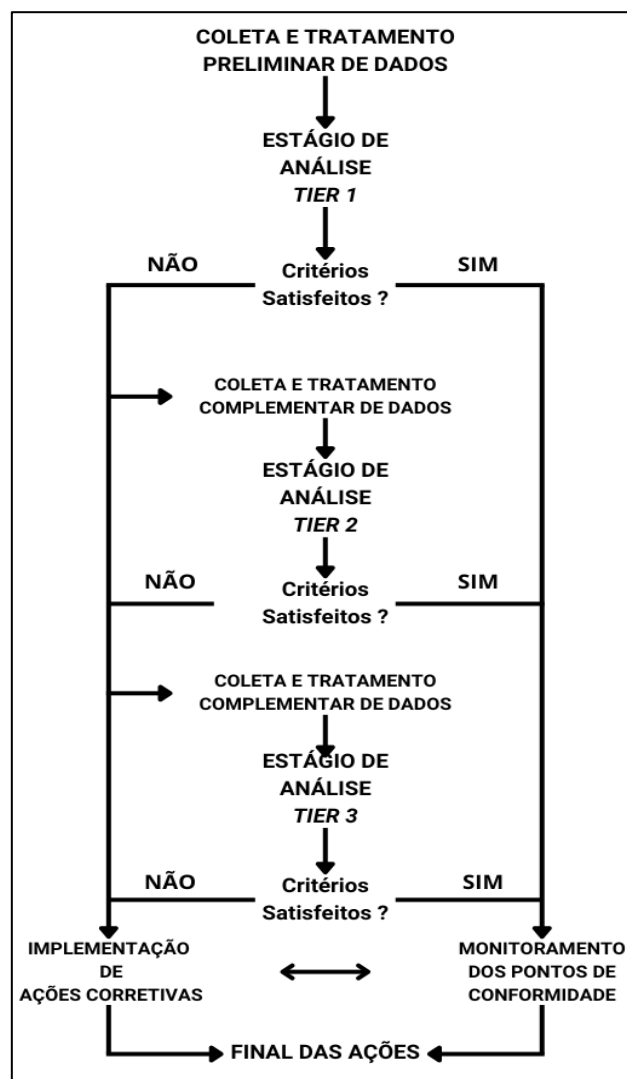


Figura 3.12. Fluxograma das interações entre os estágios de análise da ACBR. Fonte: Maximiano (2001).

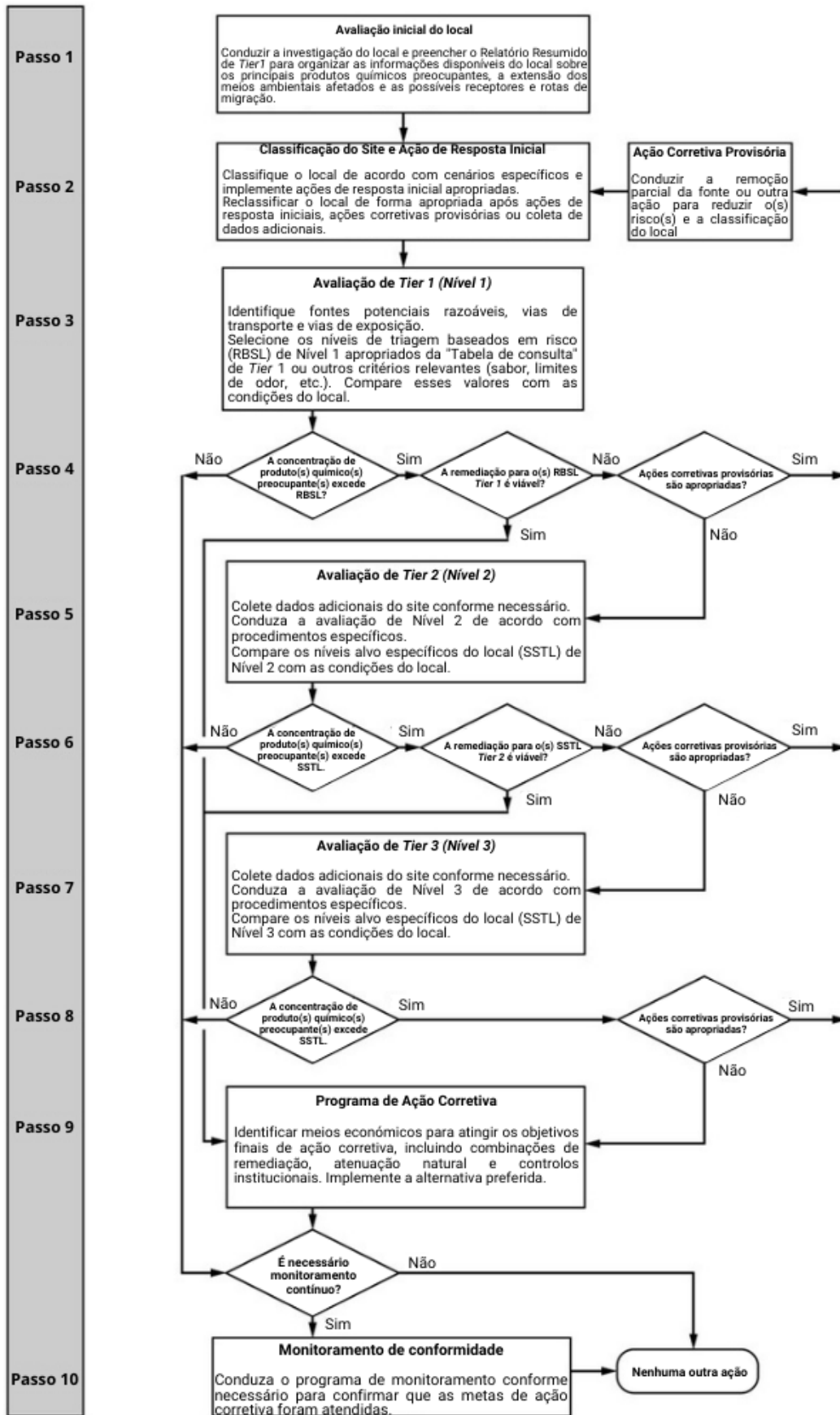


Figura 3.13. Fluxograma do processo ACBR. Adaptado de ASTM (2015).

O autor também descreve que a ACBR integra, na sua abordagem, as características do contaminante (mobilidade, solubilidade, volatilização, etc.); do meio impactado (porosidade, gradiente hidráulico e condutividade hidráulica, etc.); dos caminhos (água subterrânea, solo superficial, solo subsuperficial e ar); das vias de exposição (ingestão, inalação e contato dérmico), e; das populações receptoras potenciais, quando utilizam os modelos de avaliação de risco e avaliação de exposição e modelos de transporte de massa em meio saturado e não saturado.

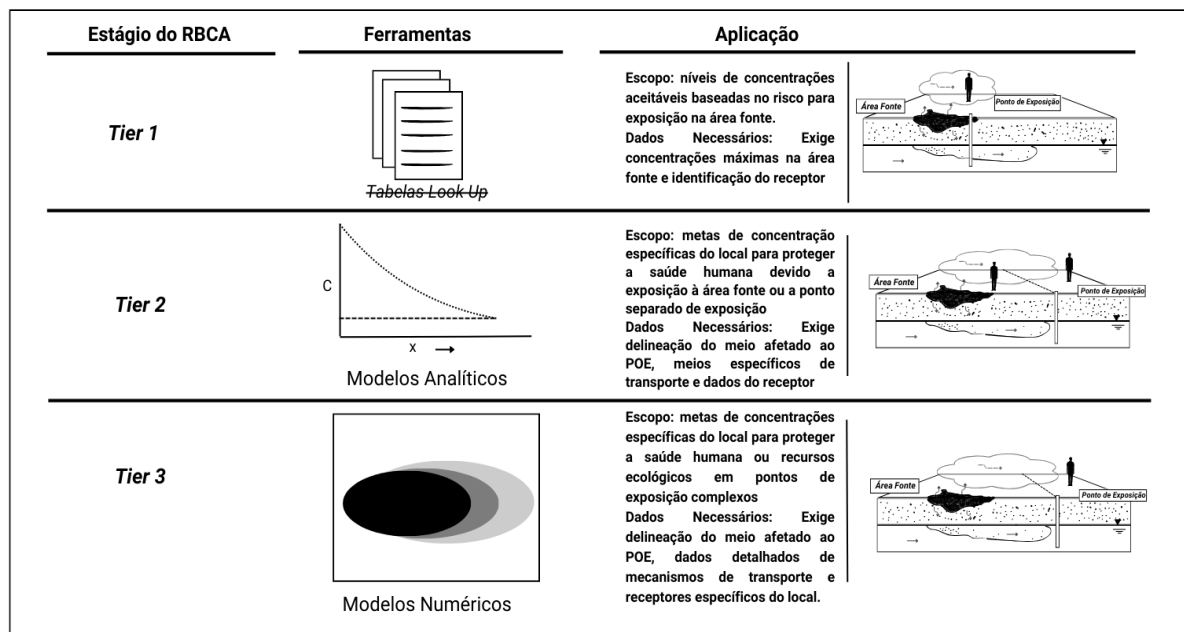


Figura 3.14. Estágios de avaliação do ACBR. Adaptado de Maximiano (2001).

Nas Figuras Figura 3.12, Figura 3.13 e Figura 3.14 é possível apontar que na ACBR o processo de avaliação de risco baseia-se em três estágios (níveis): de coleta, tratamento e interpretação de dados. São eles: *Tier 1*, *Tier 2*, e *Tier 3*. Esses se tornam progressivamente mais específicos e complexos à medida que os estudos sobre a área e o contaminante são desenvolvidos. As características e organização do método podem também ser observadas nas Figura 3.13 e Figura 3.14.

3.3.1 Avaliação de risco segundo a ACBR

A utilização da avaliação de risco visa estimar tanto o perigo à saúde humana e o meio ambiente que um determinado resíduo perigoso pode causar em determinadas situações, como também para tomar decisões, elaborar ações e metas de remediação e avaliar áreas contaminadas (LaGrega *et al.*, 1994 *apud* Maximiano, 2001).

Segundo o CRC (2006), uma abordagem baseada em risco deve ser tomada como ponto de partida para a caracterização do local, pois isso força a consideração do regime regulatório, vias de exposição e concentra esforços no estabelecimento de um modelo conceitual robusto, com investigações de campo que visam o aperfeiçoamento e modificação deste modelo.

O mesmo posicionamento foi adotado pela CETESB (1999) que reitera que a coleta e avaliação de dados se iniciam na avaliação preliminar e se estende na investigação confirmatória e na investigação detalhada, devendo propiciar a aquisição das informações relevantes sobre a área, para a execução da etapa de avaliação de risco. A identificação dos contaminantes presentes, sua distribuição espacial, concentrações e dinâmica no meio físico serão indicadores no processo de avaliação de risco.

Já para a USEPA (1989), as atividades de avaliação de saúde humana são realizadas durante as etapas de investigação corretiva/estudo de viabilidade (*remedial investigation - RI/feasibility study - FS*). Consideram que as três partes básicas da avaliação de saúde humana RI/FS são:

- avaliação de risco de linha de base;
- refinamento dos objetivos preliminares da remediação; e
- avaliação de risco de alternativas de remediação.

A avaliação de risco de linha base, por sua vez, é composta por 04 (quatro) etapas, sendo elas a coleta e análise de dados; avaliação da exposição; avaliação de toxicidade; e caracterização de risco. O fluxograma da Figura 3.15 ilustra esse procedimento.

No Brasil, os trabalhos desenvolvidos pela CETESB, traduzidos no Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas de 1999, atualmente em revisão pelos profissionais daquela companhia, também tiveram como base os princípios de toxicologia humana e o conhecimento das propriedades físico-químicas e comportamento ambiental dos contaminantes.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas, ao adotar a mesma metodologia por meio de sua Norma ABNT NBR 16.209:2013, atualiza o conceito de avaliação de risco como sendo uma etapa do processo de gerenciamento de áreas contaminadas utilizada para estimar o risco à saúde humana, causado pela exposição do ser humano a uma determinada substância ou grupo de substâncias presentes no meio físico (solo, sedimento, água subterrânea, água superficial e ar) e para estabelecer metas que orientem as medidas de intervenção.

Maximiano (2001) apresenta um fluxograma, também adaptado de USEPA (1989) que inclui um incremento de aspectos a cada etapa da avaliação de risco, conforme pode ser observado na Figura 3.16.

O foco desta pesquisa foi a etapa de coleta, avaliação e validação dos dados. Todavia, foram pontuadas as influências desse processo nas demais etapas da avaliação de risco.

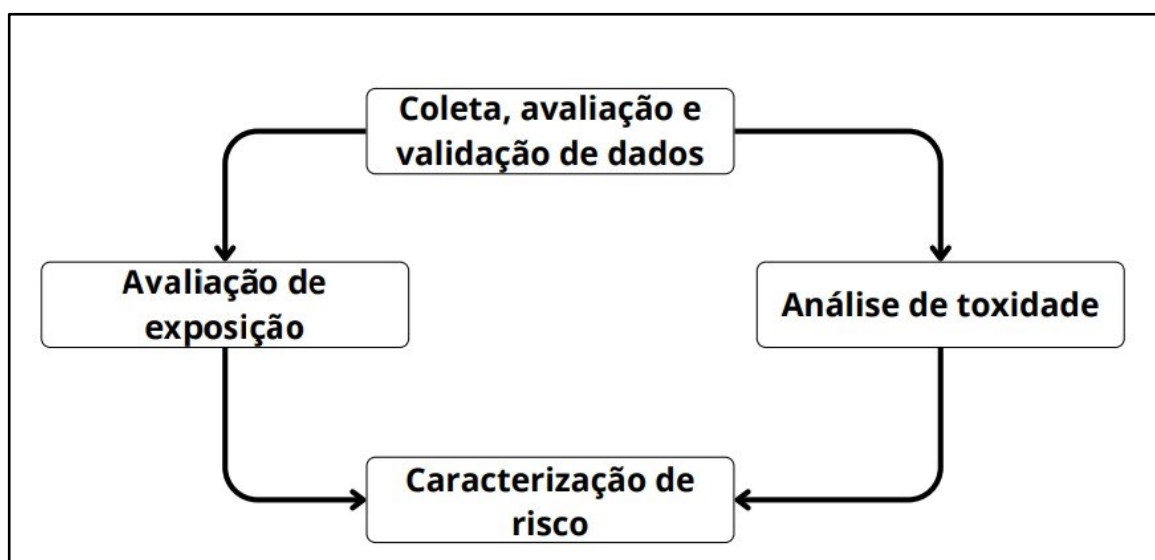


Figura 3.15. Fluxograma das etapas de avaliação de risco. Fonte: ABNT (2013).

Assim, é fundamental entender o funcionamento da avaliação de exposição e caracterização do risco, uma vez que a análise de toxicidade é em si uma ciência, cujos resultados publicados em fontes mundialmente reconhecidas, são apenas transportados para o processo de avaliação de risco. Para citar algumas das principais fontes adotadas nesse processo tem-se o *Integrated Risk Information System - IRIS* e o *Provisional Peer Reviewed Toxicity Values – PPRTV*, ambos da USEPA.

A ABNT NBR 16.209:2013, que propõe procedimentos específicos para a avaliação de risco à saúde humana para fins de gerenciamento de áreas contaminadas, divide a avaliação da exposição em duas etapas, sendo elas: a caracterização dos cenários de exposição e quantificação do ingresso.

Na caracterização dos cenários de exposição há a necessidade de determinação das seguintes informações: fontes primárias e secundárias de contaminação, caminho de exposição, ponto de exposição e via de ingresso e receptores. A obtenção dessas informações terá como resultado a elaboração do Modelo Conceitual da Área (MCA), a qual será abordada posteriormente.

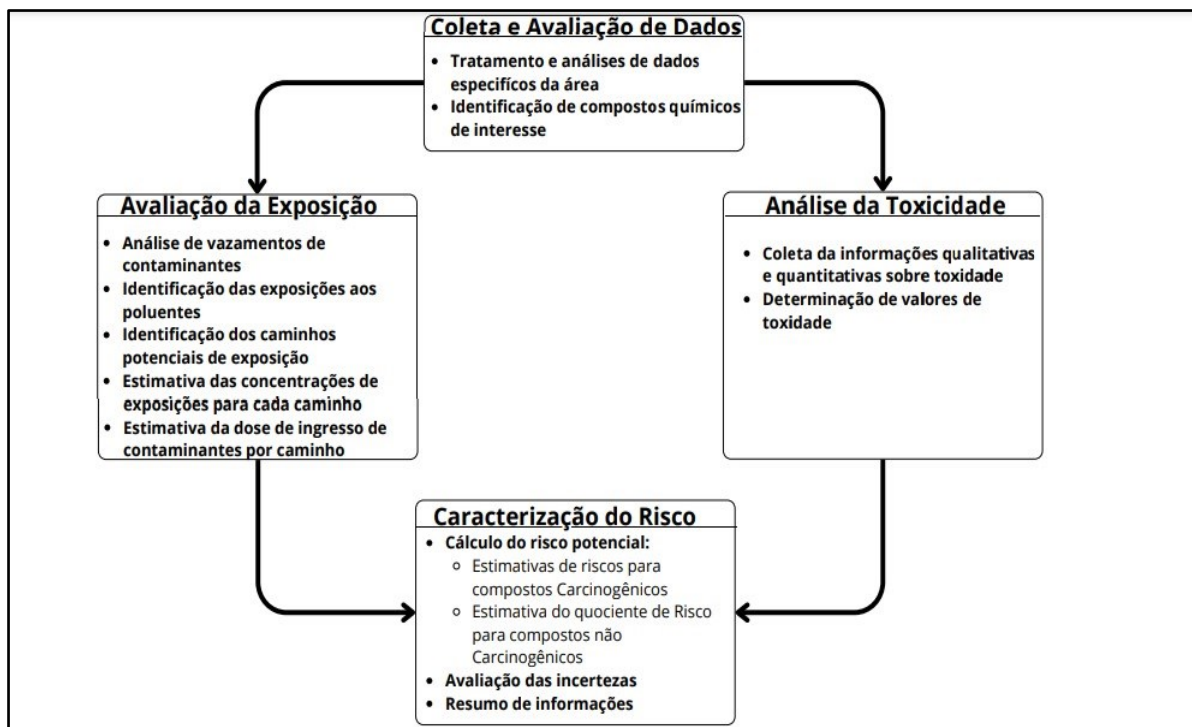


Figura 3.16. Fluxograma de interações entre as etapas de avaliação de risco. Fonte: Maximiano (2001).

No que se refere à Quantificação do Ingresso (I_n) a norma determina que a mesma deve ser avaliada por meio de formulações matemáticas. A equação geral pra o cálculo do I_n de uma Substância Química de Interesse - SQI pela via de ingestão é representada por:

$$I_n = C \times \frac{CR \times EF \times ED}{BW} \times \frac{1}{AT} \quad (3.19)$$

onde,

I_n - é o ingresso da substância química de interesse (SQI) “n” para uma determinada via de ingresso, expresso em miligramas por quilogramas dia (mg/kg.dia);

C - é a concentração da SQI no compartimento do meio físico considerado no ponto de exposição (PDE), expressa em miligramas por litro ou miligramas por quilograma (mg/L ou mg/kg);

CR - é a taxa de ingestão diária de água, expressa em miligramas por litro ou miligramas por quilogramas (mg/L ou mg/kg);

EF - é a frequência da exposição, expressa em dias por ano (d/a);

ED - é a duração da exposição, expressa em anos (a);

BW - é a massa corpórea, expressa em quilogramas (kg); e

AT - é o tempo médio para ocorrência de efeitos adversos (efeitos carcinogênicos ou não carcinogênicos), expresso em dias (d).

Essa fórmula apresentará variações que dependem da fonte (solo, água e ar) e da via de ingresso (ingestão, contato dérmico e inalação de partículas e/ou vapores) e também da ocasião do ingresso, por exemplo, ingestão voluntária ou acidental de água contaminada.

A variável concentração (*C*) sofre influência direta dos esforços de investigação, conforme afirma Maximiano (2001) quando aborda os diversos fatores que influenciam na estimativa das concentrações de exposição de cada caminho, em especial com relação aos fatores de atenuação natural, elencando os seguintes parâmetros de interesse:

- Coeficiente de Difusão Efetiva;
- Fator de Partição Fase Retida-Água Intersticial do Solo;
- Fator de Diluição pela Lixiviação para a Água Subterrânea;
- Fatores de Volatilização; e
- Fator de Emissão de Partículas do Solo.

Outros fatores relacionados às características do receptor influenciam no cálculo do ingresso, e podem ser abordados de várias formas dentro do processo de avaliação de risco (Maximiano, 2001).

Por exemplo, as Planilhas de Avaliação de Risco da CETESB (2023) que apresentam dados fixos que não podem ser alterados durante a avaliação de risco, referenciados em dados censitários do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, bem como em informações constantes em bancos de dados internacionais como *Integrated Risk Information System* (IRIS) da Agência de Proteção Ambiental Americana (U.S.EPA), entre outros.

Outro aspecto importante da avaliação de risco é a caracterização do risco. Maximiano (2001) define que a caracterização do risco integra todos os dados obtidos nas etapas anteriores e tem como objetivo quantificar o risco.

O autor explica que, neste momento, as concentrações do contaminante, medidas no ponto de exposição, e as concentrações teóricas, estimadas por meio de modelos de transporte de massa, são comparadas com os dados toxicológicos específicos do composto de interesse.

Assim, essa comparação serve para determinar se os níveis de contaminação atuais ou futuros da área podem gerar algum efeito adverso à saúde humana, segundo padrões toxicológicos utilizados.

Nessa etapa, as metodologias estabelecem a necessidade de quantificação de risco em riscos carcinogênicos e não carcinogênicos. Maximiano (2001) e ABNT (2013) abordam a quantificação do risco por meio das seguintes equações:

Índice de Periculosidade (*Hazard Quotient* – HQ ou Quociente de Risco – QR) – não carcinogênico:

$$QR = \frac{I_n}{RfD_i} \quad (3.20)$$

onde:

I_n – dose de ingresso para a via de exposição n (ingestão, inalação ou contato dérmico);

RfD_i – dose de referência para o composto de interesse i .

Risco Carcinogênico:

$$Risco = I_n \times SF_i \quad (3.21)$$

onde:

I_n – dose de ingresso para a via de exposição n (ingestão, inalação ou contato dérmico);

SF_i – é o fator de carcinogenicidade para o composto de interesse i .

Índice de Periculosidade Total - HQ_t ou Índice de Risco – IR (não carcinogênico) :

$$HQ_t = \sum_i^j HQ_{i,j,k} \quad (3.22)$$

ou

$$IR = \sum_i^j QR_{i,j,k} \quad (3.23)$$

onde:

$HQ_{i,j,k}$ - é o Índice de Periculosidade calculado para os compostos indicadores i, j, k .

$QR_{i,j,k}$ - é o Quociente de Risco calculado para os compostos indicadores i, j, k .

Risco Total - $Risco_t$ (carcinogênicos):

$$Risco_t = \sum_i^j Risco_{i,j,k} \quad (3.24)$$

onde $Risco_{i,j,k}$ - é o risco calculado para os compostos indicadores i, j, k .

Além dessas equações para quantificação do risco, a Norma ABNT traz a abordagem da quantificação total de risco associada aos cenários determinados.

Para múltiplos cenários de exposição a uma determinada SQI, o risco carcinogênico é dado por:

$$Risco_{Ts} = \sum_{i=1}^P SQI_i \quad (3.25)$$

onde:

P – Número de cenários possíveis;

$Risco_{Ts}$ – Risco carcinogênico total para a SQI;

SQI_i – Risco carcinogênico no cenário i para a SQI.

Para múltiplas SQI e um determinado cenário de exposição c , o risco é dado por:

$$Risco_{Tc} = \sum_{j=1}^Q SQI_j \quad (3.26)$$

onde:

Q - Número de SQI possíveis;

$Risco_{Tc}$ – Risco carcinogênico total para o cenário c ;

SQI_j - Risco carcinogênico para a SQI j no cenário c .

O risco total, decorrente da exposição a múltiplas substâncias carcinogênicas e múltiplos cenários, é quantificado a partir do somatório dos riscos das quantidades de SQI e número de cenários, sendo a equação:

$$Risco_{Total} = \sum_{i=1}^P \sum_{j=1}^Q Risco_{cenárioi,SQIj} \quad (3.27)$$

onde:

Q - Número de SQI possíveis;

P - Número de cenários possíveis;

$Risco_{cenárioi,SQIj}$ - Risco carcinogênico para o cenário i e a SQI j .

Com relação à quantificação de riscos não carcinogênicos a Norma ABNT traz que para múltiplos cenários de exposição a uma determinada SQI, o quociente de risco (QR) é dado por:

$$QR_{Ts} = \sum_{i=1}^P QR_{SQIi} \quad (3.28)$$

onde:

P - Número de cenários possíveis;

QR_{Ts} - QR total para a SQI;

QR_{SQIi} - QR no cenário i para a SQI.

Para múltiplas SQI e um determinado cenário de exposição c , o quociente de risco (QR) é dado por:

$$QR_{Tc} = \sum_{j=1}^Q QR_{SQIj} \quad (3.29)$$

onde:

Q - Número de SQI possíveis;

QR_{Tc} - QR total para o cenário c ;

QR_{SQIj} - QR para a SQI j no cenário c .

A partir destes quocientes é calculado o Índice de Risco (IR) decorrente da exposição total à múltiplas substâncias não carcinogênicas e múltiplos cenários. É quantificado a partir da

somatória dos quocientes de risco (QR), das quantidades substâncias químico de interesse (SQI) e número de cenários.

$$IR = \sum_{i=1}^P \sum_{j=1}^Q QR_{\text{cenário } i, \text{SQI } j} \quad (3.30)$$

onde:

Q - Número de SQI possíveis;

P - Número de cenários possíveis;

$QR_{\text{cenário } i, \text{SQI } j}$ – Quociente de Risco para o cenário i e a SQI j .

Verifica-se, portanto, que a quantificação do risco amplamente utilizada para tomada de decisões baseia-se na determinação de riscos individuais (para cenários e substâncias) aliada a somatória dos riscos avaliados.

3.3.2 Modelos preditivos nas ações corretivas baseadas no risco

Uma vez detectados e descritos no item anterior, os parâmetros determinantes do processo de avaliação de risco, é fundamental compilar tais informações de modo a produzir modelos preditivos que possam nortear ações corretivas baseadas nos riscos.

Kumar (2002) define que a aplicação de um modelo de águas subterrâneas pode ser considerada como dois processos distintos, Figura 3.17. O primeiro processo é o desenvolvimento de um modelo que resulta em um produto de software, e o segundo processo é a aplicação desse produto para um propósito específico. Os modelos de águas subterrâneas são desenvolvidos de forma mais eficiente numa sequência lógica.

O autor destaca que a caracterização adequada das condições hidrogeológicas em um local é necessária para compreender a importância dos processos relevantes de fluxo ou transporte de solutos. Caso haja falhas na caracterização do local, não é possível selecionar um modelo apropriado ou desenvolver um modelo calibrado de forma confiável.

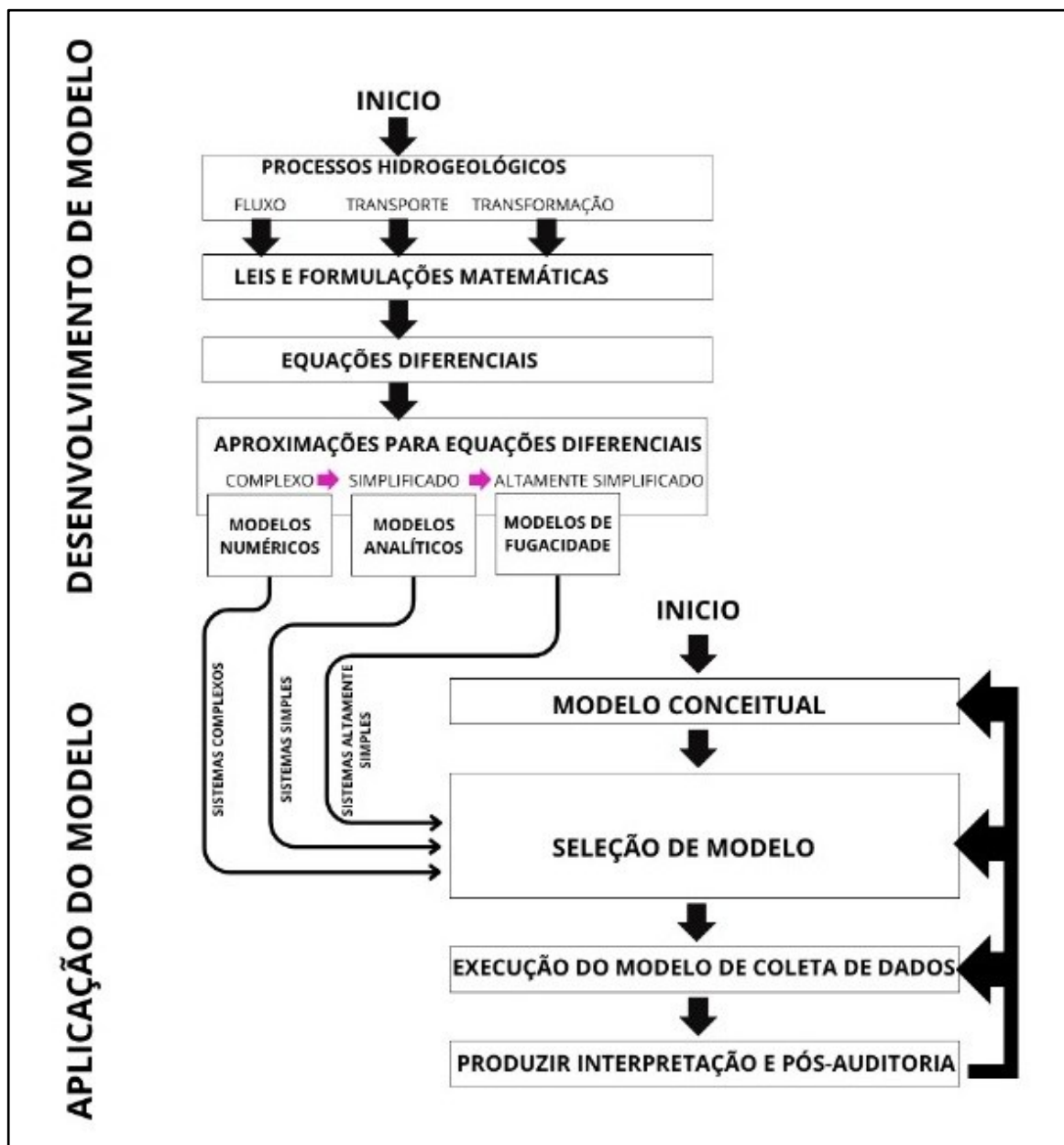


Figura 3.17. Processo de desenvolvimento de um modelo. Fonte: Adaptado de Kumar (2002).

Segundo Domenico (1987), a dificuldade em obter parâmetros físicos a partir de dados fornecidos por históricos de contaminação reside na preponderância de incógnitas e incertezas. E exemplifica que desde um caso mais simples, para inorgânicos comuns, ao menos oito parâmetros devem ser determinados para compreender e modelar o transporte.

Os parâmetros elencados por Domenico (1987) incluem: as dimensões da fonte para uma fonte finita, a concentração da fonte, a velocidade das águas subterrâneas, que requer mais informações sobre a porosidade efetiva, o tempo desde que o contaminante entrou pela

primeira vez nas águas subterrâneas e até três dispersividades para um problema tridimensional.

O autor define que este cenário simples pressupõe que não ocorram reações químicas. Na presença de reações, o problema é ampliado porque tanto a dispersão como a reação tendem a diminuir as concentrações predominantes, sendo difícil empiricamente separar a influência de cada uma. Como se trata de produtos orgânicos, surgirão processos adicionais: a atenuação química, a biodegradação e a dispersão, serão determinantes para diminuir as concentrações iniciais.

Em frente a tais contextos físico-químicos complexos, a modelagem preditiva é uma ferramenta valiosa que pode fornecer informações ao processo de gerenciamento de riscos.

Na ACBR, essa modelagem é usada para prever a localização e concentração de contaminantes e para interpretar ou extrapolar dados de caracterização do local, dados históricos de monitoramento e informações toxicológicas. Além disso, a modelagem preditiva pode ser usada na avaliação de alternativas corretivas e na avaliação de metas de conformidade em planos de monitoramento (ASTM, 2015).

A ASTM (1999) traz em seus apêndices modelos desenvolvidos ao longo dos anos que buscam dimensionar e representar a migração dos contaminantes entre os compartimentos ambientais. Entre os modelos destacam-se o modelo de transporte de contaminantes em meio saturado elaborado por Domenico (1987), conhecido como 'equações de Domenico', e o modelo de Johnson e Ettinger (1991), que trata de intrusão de vapores a partir do solo e água subterrânea.

Ambos são modelos utilizados nas Planilhas de Avaliação de Risco da CETESB que tem se consolidado como importante ferramenta de gestão não só para o órgão Ambiental do Estado de São Paulo como também para outros estados como o Instituto Água e Terra do Paraná (IAT) que adota as Planilhas como ferramenta de avaliação.

Também se embasam nesses modelos: softwares comerciais de avaliação de risco, como o *RBCA Tool Kit*; programas de modelagem de fluxo subterrâneo, como Modflow e Visual Modflow, e; softwares para o gerenciamento da atenuação natural de plumas, como o BIOSCREEN da USEPA, entre outros.

As características desses modelos podem ser verificadas na Tabela 3.3.

Tabela 3.3. Informações principais dos modelos. Fonte: Adaptado de ASTM (1999).

Destino e caminho de transporte	Transporte de águas subterrâneas	Solo para ar (ambientes internos)
Nome do Modelo/ Algoritmo	Domenico	Johnson e Ettinger
Descrição do Modelo/ Processo de Simulação	Dispersão em três dimensões ao longo do tempo	A migração de vapor do solo subterrâneo através de uma fundação rachada. Inclui processo de difusão e advecção, mas sem biodegradação.
Tipo de Código/ Algoritmo	Analítico 3D - Exponencial, Transformação de Função de Erro (fluxo 1D, transporte 3D)	Analítico 1D - Exponencial
Saída do Modelo	Concentração normalizada em local específico	Fluxo médio na superfície e concentração de ar interno
Recursos Características Condições de Uso Limitações	O transporte é 1D ao longo da linha central, entre a fonte e o receptor, o transporte é 3D devido à dispersão e é responsável pelo transporte lateral ao longo do tempo. Requer informações sobre velocidade de fluxo advectivo, dispersividade, concentração de fonte e geometria. Pode acomodar a biodegradação. Comumente usado para conduzir uma avaliação de Nível 2	Semelhante ao Modelo Farmer, mas adiciona um conjunto de termos para levar em conta a resistência ao fluxo devido a um piso ou fundação. Assume concentração constante do solo, sem biodegradação, sem lixiviação e que todos os vapores do solo entrarão no edifício, principalmente através de fissuras e aberturas na parede do porão ou fundação. Suponha um fluxo de ar advectivo do solo para o espaço fechado. Supõe que todos os vapores químicos abaixo do porão entrarão e terão uma dispersão bem misturada no ar uma vez no edifício.

Ainda sobre esse tema a ASTM (2015), aponta que a maioria dos modelos de migração ao nível da triagem tem uma forma matemática simples e baseia-se em múltiplos pressupostos limitantes e não em fenômenos reais. Por exemplo, um modelo simples é o uso da velocidade estimada do fluxo de água subterrânea para avaliar o tempo de viagem entre a borda principal de uma pluma de hidrocarbonetos dissolvidos e um poço de água subterrânea.

Os modelos e equações utilizados pela ASTM (2015) foram avaliados nesta pesquisa, cujas transcrições estão presentes no Apêndice 02.

A fim de ilustrar a dependência dos modelos dos parâmetros de campo, um detalhamento dos algoritmos dos modelos de Johnson e Ettinger (1991) e Domenico (1987), foi realizado.

De acordo com o Gouveia Junior (2011) o modelo de Johnson e Ettinger (1991) combina equações que determinam a partição dos contaminantes junto à fonte de vapores, transporte na zona vadosa, transporte através da laje de piso das edificações e a mistura com o ar presente no interior dos ambientes fechados.

Segundo o autor, os resultados dessas equações irão depender dos dados utilizados para entrada, que consideram os dados específicos do solo local, características das construções e parâmetros físicos e químicos dos compostos de interesse.

Como resultado o modelo fornecerá uma estimativa do fator de atenuação de vapores, que representa a razão entre a concentração medida diretamente no interior dos ambientes fechados e a concentração obtida imediatamente sobre a fonte abaixo da laje do piso, expresso por:

$$\alpha = \frac{\left[\frac{D_T^{eff} A_B}{Q_B L_T}\right] \exp\left(\frac{Q_{soil} L_{crack}}{D_{crack}^{eff} \eta A_B}\right)}{\exp\left(\frac{Q_{soil} L_{crack}}{D_{crack}^{eff} \eta A_B}\right) + \left[\frac{D_T^{eff} A_B}{Q_B L_T}\right] + \left[\frac{D_T^{eff} A_B}{Q_{soil} L_T}\right] \left(\exp\left(\frac{Q_{soil} L_{crack}}{D_{crack}^{eff} \eta A_B}\right) - 1\right)} \quad (3.31)$$

onde:

$$\alpha = (C_{indoor}/C_{source}) \quad (3.32)$$

e:

$$Q_{soil} = \frac{2 \times \pi \times dp \times K_v \times X_{crack}}{\mu_{ar} \times \ln((2 \times Z_{crack} \times X_{crack}) / (A_B \times \eta))} \quad (3.33)$$

onde,

A_B - Área da superfície do ambiente fechado em contato com o solo [m²];

D_{crack}^{eff} - Coeficiente de difusão efetiva da fase vapor através de rachaduras das paredes e da fundação [$m_{crack_{eff}}^2/d$];

D_T^{eff} - Coeficiente de difusão efetiva da fase vapor na coluna de solo presente entre a fundação e a fonte [m²/d];

L_{crack} - Espessura da laje de piso do ambiente fechado [m];

L_T - Distância (profundidade) até a fonte de vapores ou outro ponto de interesse abaixo da laje [m], medido a partir da laje do ambiente fechado em direção a fonte de vapores ou outro ponto de interesse;

Q_B - Vazão volumétrica de ar [m^3/d]. Geralmente estimado como o produto do volume do espaço fechado (VB [m^3]) multiplicado pela razão de trocas do ar interno pelo ar externo (EB[1/d]);

Q_{soil} - Fluxo de gás no subsolo dirigido por pressão para o ambiente fechado [m^3/d];

η - Fração da área superficial do espaço fechado aberta para intrusão de vapores [m^2/m^2]; comumente referida na literatura específica como “crack factor”, pode ser estimada como a área total de trincas, fraturas, descontinuidades e perfurações existentes na superfície em contato com o solo dividida pela área total em contato com o solo;

C_{indoor} - Concentração no ar nos ambientes internos; e

C_{source} - Concentração na fonte.

De outra forma, o Modelo de Domenico, por sua vez, é uma solução matemática da equação de advecção-dispersão usando muitas suposições simplificadoras ASTM (1999).

O modelo original assume uma fonte plana vertical totalmente penetrante, orientada perpendicularmente ao fluxo da água subterrânea, para simular a liberação de produtos orgânicos nas águas subterrâneas em movimento. Além disso, a solução Domenico leva em conta os efeitos do transporte advectivo, dispersão tridimensional, adsorção e decaimento de primeira ordem USEPA (1996).

USEPA (1996) e Yoshinari (2015) verificaram que a solução aproximada da equação de transporte advectiva-dispersiva de solutos proposta por Domenico (1987) é dada por:

$$C(x, y, z, t) = \frac{C_0}{8} \exp \left[\frac{vx}{2D_x} \left(1 - \sqrt{1 + \frac{4\lambda RD_x}{v^2}} \right) \right] \cdot \operatorname{erfc} \left[\frac{x - \frac{vt}{R} \sqrt{1 + \frac{4\lambda RD_x}{v^2}}}{2\sqrt{\frac{D_x t}{R}}} \right] \cdot \left(\operatorname{erf} \left[\frac{y + W/2}{2\sqrt{\frac{D_y x}{v}}} \right] - \operatorname{erf} \left[\frac{y - W/2}{2\sqrt{\frac{D_y x}{v}}} \right] \right) \cdot \left(\operatorname{erf} \left[\frac{z + H/2}{2\sqrt{\frac{D_z x}{v}}} \right] - \operatorname{erf} \left[\frac{z - H/2}{2\sqrt{\frac{D_z x}{v}}} \right] \right) \quad (3.34)$$

A solução em estado estacionário (*steady-state*) ao longo do eixo central da pluma é:

$$C(x, 0, 0, \infty) = C_0 \exp \left[\frac{vx}{2D_x} \left(1 - \sqrt{1 + \frac{4\lambda RD_x}{v^2}} \right) \right] \cdot \operatorname{erf} \left[\frac{W}{\sqrt{\frac{D_y x}{v}}} \right] \cdot \operatorname{erf} \left[\frac{H}{\sqrt{\frac{D_z x}{v}}} \right] \quad (3.35)$$

onde:

$C(x, y, z, t)$ - Concentração de solutos no ponto x, y, z para o tempo “t”;

C_0 - Concentração de solutos na fonte;

v - Velocidade linear média de fluxo de águas subterrâneas;

$\alpha_x, \alpha_y, \alpha_z$ - dispersividade longitudinal, transversal e vertical, respectivamente

R = Fator de retardo;

λ = constante de decaimento de primeira ordem;

W = largura da fonte (perpendicular ao fluxo);

H = Profundidade da fonte;

x - Distância da fonte paralela ao fluxo;

y - Distância da linha central da fonte perpendicular ao fluxo;

z - Distância vertical da superfície da água subterrânea até ponto de medição (assumido como 0; a concentração é sempre considerada no topo do lençol freático).

erf - é a função de erro (sistemas retangulares); e

erfc - é a função de erro complementar ($\text{erfc}(x)=1-\text{erf}(x)$).

$$D_x = \alpha_x v, D_y = \alpha_y v \text{ e } D_z = \alpha_z v$$

Então, considerando as relações matemáticas dos modelos, a ASTM (1999) elaborou uma classificação, definindo a sensibilidade dos parâmetros de entrada para os caminhos e destinos de transporte, conforme pode ser observado na Tabela An 1. 8, constante no Anexo 01.

Entre os parâmetros mais sensíveis para os diversos caminhos de transporte se destacam a Concentração na fonte (C_s/C_w), a Porosidade Total (θ_T), a Fração de carbono orgânico (foc), o Conteúdo volumétrico de ar/água na zona não saturada (vadosa) do solo (θ_{as}/θ_{ws}), entre outros, que serão avaliados nesta pesquisa.

Singh *et al.* (2016), considerando essa mesma abordagem, elencou diversas relações matemáticas para a modelagem da distribuição desses contaminantes a partir das equações de advecção e dispersão.

Segundo tais autores, a equação de dispersão de advecção tradicional é baseada na conservação da massa e na lei de difusão de Fick e constitui a base do transporte de soluto. Os modelos, então, podem e são usados para prever o movimento de contaminantes em sistemas de águas subterrâneas.

Entretanto, Singh *et al.* (2016) apontaram que muitos cientistas buscam abordagens originais para implementar soluções matemáticas que permitam melhor retratar o comportamento dos contaminantes em um aquífero específico.

Saatsaz & Eslamian (2020) concluem, incisivamente, que os modelos de fluxo hidrogeológico e modelos de águas subterrâneas devem considerar uma série de hipóteses, suposições, restrições e simplificações baseadas no: objetivo do modelo, técnicas de modelagem, confiabilidade do modelo, complexidade da solução, disponibilidade de dados e características da área modelada.

Reforçam que, embora os modelos numéricos forneçam uma visão mais abrangente dos sistemas de águas subterrâneas sob condições complexas, estes modelos não são adequados quando os dados de entrada não são atualizados, fiáveis, suficientes e precisos.

Por esses motivos, a presente pesquisa demandou especial atenção às formas de análises do processo de coleta de dados e produção de informações. O aprimoramento das abordagens metodológicas e técnicas para tal será tratado no item 3.4.

3.4 FERRAMENTAS E METODOLOGIAS QUE APRIMORAM A INVESTIGAÇÃO E A CARACTERIZAÇÃO DE ÁREAS CONTAMINADAS

A partir das análises realizadas com relação aos fenômenos que governam a migração de contaminantes em subsuperfície, bem como a respeito da modelagem preditiva e dos parâmetros de entrada dos modelos convencionalmente utilizados em ferramentas de avaliação de risco, este tópico abordará estratégias e ferramentas utilizadas para aprimorar coleta de dados e a produção de informações dentro do contexto de investigações de alta resolução.

3.4.1 Modelo conceitual da área (MCA)

O Modelo Conceitual da Área é uma ferramenta de apoio à tomada de decisão que vem tomando grandes proporções e significados no gerenciamento de áreas contaminadas.

Segundo a USEPA (2011), o Modelo Conceitual da Área - MCA (*Conceptual Site Model - CSM*) é um modelo iterativo, uma representação realística de uma área, que deve ser um resumo objetivo de tal forma a ajudar as equipes de projeto a visualizar e entender as informações disponíveis.

Consiste em uma ferramenta de planejamento e gerenciamento de projetos que auxilia as equipes e tomadores de decisão ao longo ciclo de vida das fases de investigação e remediação. O desenvolvimento e a evolução de um MCA podem atender às necessidades exclusivas de cada estágio do ciclo de vida do projeto, e fornecem uma ferramenta valiosa para o sucesso da recuperação ambiental, USEPA (2011).

A USEPA usa o MCA em uma combinação concisa de escrita e produtos de trabalhos gráficos para retratar tanto informações conhecidas quanto hipotéticas da área. Sintetiza vários conjuntos de dados independentes e maximiza o valor da informação histórica.

Uma variedade de ferramentas, desde renderizações simplificadas até ferramentas de visualização mais complexas são usadas para capturar e comunicar informações existentes e focar na futura coleta de dados para preencher lacunas e reduzir as incertezas. Serve, também, como a estrutura para incorporação de novos dados à medida que se tornam disponíveis durante a caracterização da contaminação e remediação.

Um MCA detalhado, atualizado e preciso pode ser muito benéfico em decisões de apoio relacionadas aos principais elementos do projeto, como risco cumulativo, seleção e implementação do método de remediação, conclusão e reutilização da área.

Logo, tanto para a CETESB (1999) quanto para a USEPA (2006), o MCA é exaltado de modo que se tornou uma ferramenta de entendimento completo do meio físico, das fontes primárias e secundárias, das vias de exposição e dos possíveis receptores.

Pode-se afirmar que é compêndio de todas as informações obtidas até um dado momento sobre a área de estudo, ou uma simplificação da realidade observada na área que tem como finalidade fornecer uma visão geral das condições da área e identificar os processos que regem e afetam o transporte dos contaminantes naquele meio. Dessa forma, o MCA é

fundamental para a realização de uma investigação que garanta informações fidedignas sobre as contaminações existentes e reforça o que deve ser priorizado na coleta de dados, (Riyis, 2012).

Riyis *et al.* (2013) e Riyis (2019) propuseram uma mudança de enfoque onde fosse dada total prioridade para a elaboração de uma investigação em escala adequada e detalhada, que permita a elaboração de um MCA sólido, com incertezas conhecidas e gerenciáveis. Devendo fornecer indicações claras sobre todas as Substâncias Químicas de Interesse que possam estar na área, bem como suas prováveis interações com determinado meio físico.

Como estratégia para o aprimoramento dos MCA, a Investigação de Alta Resolução se consolidou como ferramenta e será abordada na sequência.

3.4.2 Investigação de Alta Resolução (High-Resolution Site Characterization - HRSC) e melhores práticas na investigação de áreas contaminadas

Os trabalhos Riyis (2012), Riyis *et al.* (2013), Riyis *et al.* (2017), (Riyis *et al.*, 2019a) e (Riyis *et al.*, 2019b) abordam que as metodologias tradicionais de investigações de passivos ambientais, inclusive em postos de combustíveis, têm apresentado, ao longo dos anos, uma série de problemas conceituais e técnicos que enviesam os resultados e, conseqüentemente, impactam negativamente nas tomadas de decisão.

Os problemas relatados podem ser categorizados entre os associados ao uso de práticas de campo insuficientes para caracterização do meio físico (caracterização geológica e hidrogeológica); obsoletas e incompatíveis com a investigação de voláteis.

Pode-se citar: uso de metodologias de sondagem inadequadas, instalação de poços de monitoramento com seção filtrante plena para quantificação da concentração de SQI, coleta de amostras a partir do solo acumulado nas hélices de trados, medição de voláteis a partir da desagregação de amostras em sacos, definição de escopos de investigações sem informações prévias consolidadas, ausência de um Modelo Conceitual da Área, ausência de um modelo geológico e hidrogeológico robusto, ausência de modelos que considerem aspectos da dinâmica de migração/retenção de contaminantes, e orientação da investigação voltada para a redução de custos, com foco na remediação e não no completo mapeamento e dimensionamento da contaminação.

Além das incertezas aderidas pelas práticas mencionadas, Schneider *et al.* (2020) ainda apontam que a capacidade de prever o destino e o transporte de contaminantes em aquíferos são, frequentemente, limitados pela heterogeneidade intrínseca associada ao campo de fluxo, distribuição de contaminantes e reações bióticas e abióticas acopladas.

Schneider *et al.* (2020) afirmam que considerar esses processos não é apenas necessário para que as tecnologias de avaliação de locais forneçam conjuntos de dados que possam ser usados em modelos para prever o destino e o transporte de contaminantes, mas também essencial para que esses conjuntos de dados permitam uma previsão confiável do comportamento do contaminante em sistemas altamente heterogêneos e estratificados baseados em condições físicas, químicas e biológicas combinadas do local.

Riyis (2019) e Schneider *et al.* (2020) corroboram que, apesar de existirem uma infinidade de ferramentas disponíveis para caracterização da subsuperfície e dos contaminantes, uma abordagem equivocada quanto ao uso de uma única ferramenta ou quanto à distribuição dos locais a serem investigados pode gerar resultados pouco satisfatórios no que se refere à caracterização da contaminação.

Riyis (2019) enfatiza que a simples transposição de uma técnica ou equipamento disponível e rotineiramente empregado em outros países para a investigação de áreas contaminadas brasileiras, por melhores que sejam, nem sempre resolvem as questões locais. Sendo necessário, portanto, que os protocolos, metodologias e abordagens sejam estabelecidos, de modo que, as tecnologias modernas disponíveis no exterior sejam adaptadas ao contexto brasileiro, utilizadas e contextualizadas tomando como um dos objetivos principais da investigação o aprimoramento continuado do Modelo Conceitual da Área.

A Investigação de Alta Resolução (*High-Resolution Site Characterization - HRSC*) pode ser definida como uma estratégia que recorre a técnicas que prezam pela escala apropriada de medição e densidade de amostragem, para definir distribuições de contaminantes e o contexto físico em que são aplicadas. Aderindo mais assertividade aos resultados, além de proporcionar uma limpeza da área mais rápida e eficaz (USEPA, 2023).

Com base na adequação de escala dos dados coletados, a USEPA (2023) afirma que a Investigação de Alta Resolução identifica e aborda, com mais detalhes, as lacunas de dados, o que reduz a incerteza no Modelo Conceitual, aumentando assim a confiança entre as partes interessadas; fornecendo uma caracterização mais eficiente do local e permitindo a seleção do

método de intervenção, o desenvolvimento do projeto e a implementação de remediações mais apropriadas.

Processando tais resultados, por constituírem conjuntos de dados de alta densidade gerados pela Investigação de Alta Resolução, produtos como a visualização e análise 3D são gerados. Esses têm se tornado indispensáveis como uma ferramenta para gerenciar a evolução da coleta de dados, desenvolver e atualizar o Modelo Conceitual, identificar e avaliar as incertezas do modelo seguido, realizar análises avançadas do local, comunicar os resultados da caracterização, além de servir de base para as decisões do projeto às partes interessadas e comunidades afetadas.

A Investigação de Alta Resolução pode ser aplicada em locais de qualquer tamanho ou programa regulatório, pois a obtenção de dados colaborativos retroalimenta o desenvolvimento e atualização do MCA, contabilizando as heterogeneidades encontradas, USEPA (2023).

Considerando tais benefícios, constata-se que a adoção de um conjunto de técnicas de Investigação de Alta Resolução é mais o caminho mais assertivo para o mapeamento das contaminações.

Millani & Gonçalves (2021) elencam técnicas de Investigação de Alta Resolução, dando como exemplos: *AGI EarthImager 3D*; *Passive Soil Gas (PSG) Samplers*; *Membrane Interface Probe (MIP)*; *Hydraulic Profiling Tool (HPT)*, e; Poços de monitoramento (CMT). Algumas delas possuem altos custos, logo, torna-se importante entendê-las e utilizá-las em conjunto, visto que uma ferramenta pode otimizar o uso de outra.

A ABNT (2023) apresenta uma relação de técnicas que podem ser utilizadas para o desenvolvimento da Investigação de Alta Resolução, que estão demonstradas na Tabela 3.4.

Na busca de ampliar os conhecimentos sobre a Investigação de Alta Resolução, Riyis (2019) descreve outras técnicas e ferramentas, com base nos objetivos a serem alcançados para o mapeamento da geologia e hidrogeologia, mapeamento das contaminações e definição de parâmetros físicos específicos das unidades hidroestratigráficas afetadas. Dentre as alternativas técnicas fornecidas pelo autor, destacam-se a Amostragem de Solo de Perfil Completo – ASPC a partir do uso da técnica *Direct Push* com *liner* na modalidade *Dual Tube* e *Piston Sampler* ou *Single Tube* revestido por trados ocios helicoidais; a Varredura Vertical

de VOC com Aquecimento em Campo (VVVAC); e a Caixa Preta de Luz UV-A exemplificadas pela Figura 3.18.

Tabela 3.4. Métodos analíticos de resposta rápida (real time). Fonte: Adaptado de ABNT (2023) (continua).

IDENTIFICAÇÃO DE CONTAMINANTES					
Ferramenta	Parâmetros	Meios avaliados	Qualitativo/ quantitativo	Fatores limitantes	Método de referência
PID - portátil	VOC (mais sensível aos aromáticos)	Ar/gás, vapores do solo	Qualitativo a semiquantitativo (concentrações totais)	Interferências: vapor d'água, compostos orgânicos naturais (por exemplo, metano, terpenos), fortes campos elétricos. Falso negativo em altas concentrações de metano. Baixa sensibilidade de leituras em solos argilosos	EPA SW-846 – Test Method 3815
FID	VOC (mais sensível aos alifáticos), SVOCd não clorados	Ar/gás, vapores do solo Água/solo (com extração prévia em líquido ou gás)	Qualitativo a semiquantitativo (concentrações totais)	Fonte de hidrogênio necessária. Interferência: metano. Não utilizar se existir risco de explosão. Umidade ou vento pode apagar a chama. Altas concentrações de metano podem ser interpretadas como contaminação de hidrocarbonetos.	Não Possui
Oxidação catalítica (detector de gases combustíveis / explosímetro)	VOC não clorados e TPH até C8	Ar/gás, vapores do solo Água/solo (com extração prévia em líquido ou gás)	Qualitativo a semiquantitativo (concentrações totais)	Eliminação necessária de metano. Sensibilidade à temperatura. Interferências: vapores clorados e sulfeto de hidrogênio. Água, silicone, compostos de enxofre e chumbo podem danificar o sensor	Não possui
Kits de ensaios colorimétrico, químicos e turbidimétrico	VOC, PAH, TPH, metais, alguns inorgânicos	Água e solo (algumas aplicações)	Qualitativo a semiquantitativo (identifica compostos específicos)	Conhecimento prévio dos analitos. Reatividade cruzada. Interferências: coloração do analito, carga orgânica do solo e argila	EPA SW-846 Test Method 7196A

Tabela 3.4. Métodos analíticos de resposta rápida (real time). Fonte: Adaptado de ABNT (2023) (continuação).

IDENTIFICAÇÃO DE CONTAMINANTES					
Ferramenta	Parâmetros	Meios avaliados	Qualitativo/quantitativo	Fatores limitantes	Método de referência
Cromatografia gasosa portátil, com ou sem espectrometria de massa (GC/MS)	VOC, SVOC e PAHf	Ar/gás, vapores do solo Água/solo (com extração prévia de líquido ou gás)	Semiquantitativo a quantitativo (identifica compostos específicos com padrões externos ou duas colunas)	Operação especializada em laboratório de campo, interferência nos resultados por superposição de picos	ASTM D5790
Espectroscopia por infravermelho portátil	TPH não voláteis	Água, solo (com extração líquida prévia)	Semiquantitativo (concentrações totais)	Interferências: argila, matéria orgânica, vapor d'água. Não aplicável ao VOC	EPA SW-846 Test Method 8440
Fluorescência a raio X	Metais e semimetais	Solo e água	Quantitativo (concentrações totais)	Limite de detecção elevado para alguns analitos. Tempo de preparação longo para amostras líquidas. Interferência: propriedades da matriz, umidade do solo e altas temperaturas. Possibilidade de interferência nos resultados por superposição de picos de vários metais.	EPA SW-846 Test Method 6200
Membrane Interface Probe (MIP)	VOC, PAH (fração mais leve), TPH (fração volátil)	Solo	Semiquantitativo (concentrações totais)	Limitado a litologias não consolidadas em que são aplicáveis os métodos de <i>direct push</i> . Pode ocorrer saturação do cromatógrafo em altas concentrações ou bolsões de fase líquida imiscível, seja ela leve ou pesada	ASTM D7352

Tabela 3.4. Métodos analíticos de resposta rápida (real time). Fonte: Adaptado de ABNT (2023) (conclusão).

IDENTIFICAÇÃO DE CONTAMINANTES					
Ferramenta	Parâmetros	Meios avaliados	Qualitativo/ quantitativo	Fatores limitantes	Método de referência
Fluorescência induzida por laser (LIF) - (Uvost, OIP)	Mistura com presença de PAH (gasolina, óleos, diesel, solventes etc.)	Solo e água	Semi quantitativo	Necessita da presença de fase líquida imiscível, não aplicável a concentrações residuais ou dissolvidas. Em caso das ferramentas utilizadas via cravação de <i>direct push</i> , esta é limitada a formações inconsolidadas	Não possui
Cone Penetrometer Testing (CPT) e variações	Granulometria, estimativa de permeabilidade	Solo		A ferramenta é limitada a formações inconsolidadas	ASTM D5778 ASTM D7352
Electrical Conductivity	Indicativo de granulometria, condutividade e elétrica do meio	Solo, água		Pode sofrer interferência a partir de solos intemperizados (falsos negativos), bem como de compostos iônicos, como águas salinas e regiões onde foram realizadas oxidações químicas que tenham sal como subproduto	Isolado: Não possui ASTM D7352
Hydraulic Profiling Tool(HPT)	Indicativo de condutividade e hidráulica - Pode ser utilizado para coleta de amostras de água	Solo		A ferramenta é limitada a formações inconsolidadas, pressões máximas do sistema podem causar fraturamento local da litologia	ASTM D8037/D8037M

A ASPC foi considerada por Riyis (2019), como um método de Investigação de Alta Resolução, pois se trata de uma sequência de ações que tem como objetivo coletar amostras de solo no perfil completo, incluindo a zona saturada. Essas amostras devem ser representativas e em escala de detalhes, portanto, devem ser utilizadas técnicas e ferramentas adequadas.

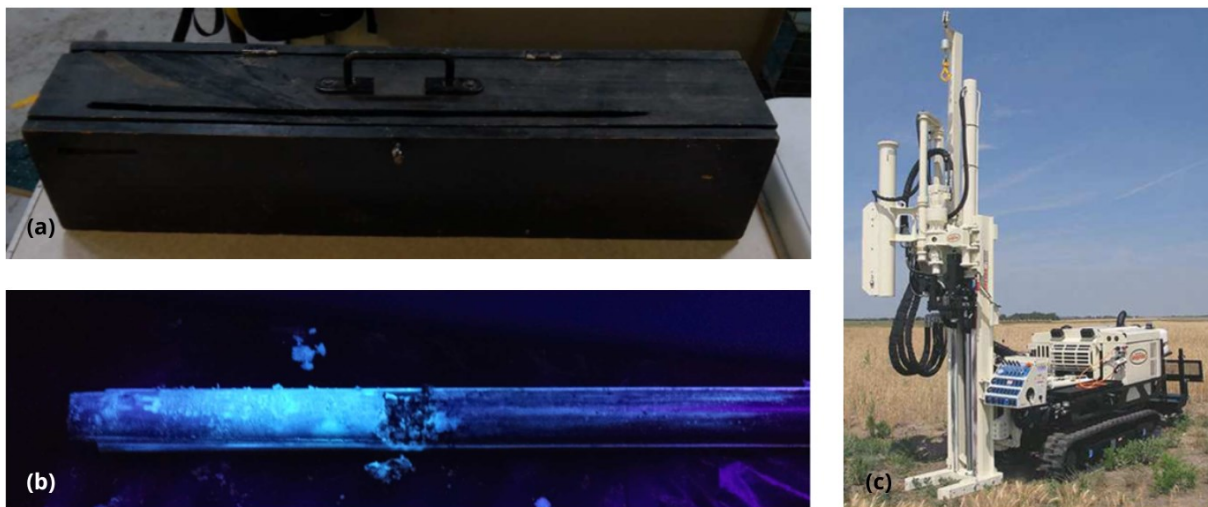


Figura 3.18 - Tecnologias de investigação: (a) e (b) Caixa-preta de luz- UV-A; (c) Equipamento de sondagem percussiva (*direct push*).

No referido trabalho, consta ainda que a abordagem ASPC permite, ao mesmo tempo, avaliar qualitativamente em alta resolução a variação vertical da concentração de compostos orgânicos voláteis (VOCs) e a variação vertical do meio físico. As amostras de solo a serem enviadas ao laboratório são coletadas no ponto onde ocorre a associação entre leitura qualitativa alta de VOC e meio físico, priorizando os pontos com indícios de serem zonas de armazenamento. Todas as amostras que forem relevantes dentro desses critérios serão preservadas.

A metodologia ASPC, aliada ao atendimento da norma ABNT NBR 16434:2015 para seleção, coleta e preservação de amostras de solo para VOC, fornecem excelentes informações sobre uma varredura vertical de VOC, e também de sua interação com o meio físico, já que as amostras de solo são coletadas de forma representativa por meio de amostradores tubulares (*liners*), seja pela modalidade *Dual Tube*, *Piston Sampler* ou *Single Tube* revestido por trados ocios helicoidais, Riyis (2019).

Com relação às demais técnicas destacadas pelo supracitado autor, o uso da VVVAC e da Caixa Preta de Luz UV-A são técnicas complementares às recomendadas na norma ABNT NBR 16.434:2015, a qual trata dos procedimentos de amostragem de resíduos sólidos, solos e sedimentos e análise de compostos orgânicos voláteis (VOC), proporcionando a triagem e seleção de amostras para análises químicas, com o objetivo de promover as escolhas mais representativas.

A Varredura Vertical de VOC com Aquecimento em Campo (VVVAC), desenvolvida por Riyis (2019), é uma técnica de campo, de baixo custo, que consiste em aquecer uma alíquota de amostra de solo em campo e medi-la após o aquecimento. Segundo o autor, a redução da incerteza dessa varredura é significativa, ao permitir que o aquecimento libere VOC que possam estar imobilizados nas amostras de solo durante as medições no *liner*, particularmente nas argilas.

Já a Caixa preta de luz UV-A, trata-se de um dispositivo composto de uma caixa de madeira de 80 cm de comprimento, 20 cm de altura e 20 cm de profundidade, com uma lâmpada fluorescente UV-A (luz negra) de 380-420 nm, com 25 W e 110 V em sua parte superior. Nas duas extremidades da caixa há um furo de aproximadamente 45 mm de diâmetro por onde o amostrador *liner* é inserido. Na tampa, localizada na parte superior da mesma, onde a lâmpada é acoplada, há uma pequena abertura, com cerca de 40 cm de comprimento e 01 cm de largura, por onde se pode observar as reações da luz no *liner* (Riyis *et al.*, 2019b).

A Caixa preta de luz UV-A é uma metodologia para avaliação qualitativa, e uma adaptação de métodos fluorescência induzida por laser (*Laser-Induced Fluorescence* - LIF), como mostra a Tabela 2.4.

O estado da arte, apresentado neste capítulo 3, norteou as análises documentais dos aspectos técnicos e de gestão de publicações e normativas que estipulam os procedimentos no gerenciamento de áreas contaminadas, possibilitando a pesquisa elaborar roteiros mais assertivos das ações a serem adotadas nas áreas contaminadas por hidrocarbonetos de petróleo no Distrito Federal, baseando-as no risco à saúde humana.

3.5 PARÂMETROS DE INTERESSE DA ACBR E ESTRATÉGIA ADOTADA PELA CETESB PARA AVALIAÇÃO DE RISCO

Como discutido anteriormente, as Ações Corretivas Baseadas no Risco - ACBR são fundamentadas na metodologia desenvolvida pela USEPA e disponibilizada no *Risk Assessment Guidance for Superfund – RAGS*, adaptada para áreas contaminadas por hidrocarbonetos de petróleo pela ASTM e utilizada pela CETESB no desenvolvimento de suas Avaliações de Risco.

A avaliação das equações que governam os modelos de transporte de contaminantes entre compartimentos ambientais apresentadas no *Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Release Sites*, estabelecidas pelo Apêndice 02 da *American Society for*

Testing and Materials - ASTM (1995 – reprovada em 2015), aponta quais parâmetros do meio físico, dos pontos de exposição, e inerentes às SQI são relevantes e influenciadores no cômputo dos cálculos de risco, na utilização da metodologia RBCA. Os parâmetros foram consolidados no Quadro 3.2.

Quadro 3.2. Parâmetros envolvidos no cálculo de risco - Metodologia RBCA (ASTM 1995) (continua).

RELAÇÃO DE PARÂMETROS A PARTIR DOS COEFICIENTES E EQUAÇÕES
<p><u>Parâmetros envolvidos no cálculo dos Coeficientes de Difusão Efetiva:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - coeficiente de difusão do composto puro na água (D^w); - coeficiente de difusão do composto puro no ar (D^{air}); - porosidade total da matriz do solo (θ_t); - constante da Lei de Henry (H); - conteúdo volumétrico de água na zona não saturada (θ_{ws}); - conteúdo volumétrico de ar na zona não saturada (θ_{as}); - conteúdo volumétrico de água na franja capilar (θ_{wcap}); - conteúdo volumétrico de ar na franja capilar (θ_{acap}); - conteúdo volumétrico de água em fendas das fundações (θ_{werk}); - conteúdo volumétrico de ar em fendas das fundações (θ_{ack}); - espessura da franja capilar (h_{cap}); - espessura da zona não saturada (h_v); <p><u>Parâmetros do Fator de Partição Fase Retida-Água Intersticial do Solo (K_{sw}):</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - densidade do solo (ρ_s); - coeficiente de partição solo-água (k_s); - conteúdo volumétrico de água na zona não-saturada (θ_{ws}); - constante da Lei de Henry (H); e - conteúdo volumétrico de ar na zona não saturada (θ_{as}). <p><u>Parâmetros Fator de Diluição pela Lixiviação para a Água Subterrânea LDF:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Taxa de infiltração de água no solo ou recarga - (I); - Largura da pluma de hidrocarbonetos no solo subsuperficial (longitudinal ao fluxo) – (W); - Velocidade de Darcy (U_{gw}); - Espessura da pluma dissolvida na água subterrânea (δ_{gw}). <p><u>Parâmetros envolvidos no cálculo dos Fatores de Volatilização.</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Concentração retida no solo superficial (C_s); - Coeficiente efetivo da Lei de Henry (H); - Densidade do Solo (ρ_s); - Conteúdo volumétrico de água na zona não saturada (θ_{ws}); - Coeficiente de partição solo-água (k_s); - Conteúdo volumétrico de ar na zona não saturada (θ_{as}/θ_v); - Concentração de vapor em ambiente fechado ($C_{v,semp}$); - Profundidade do nível d'água ($h_{cap} + h_v$); - Taxa de mudança de ar em espaços fechados (E_B/ER); - Razão entre o volume do espaço fechado e a área de infiltração (L_b); - Espessura da fundação da construção (L_{crek}); - Fração da área da fundação com fendas (área de fendas/área total) (η); - Concentração de vapor em ambiente aberto ($C_{v,amb}$); - Largura da pluma de hidrocarbonetos dissolvidos na água subterrânea que é longitudinal ao fluxo (W); - Comprimento da zona de mistura do ambiente aberto (δ_{air}); - Profundidade do solo subsuperficial impactado (L_s); - Velocidade do ar acima da superfície do solo na zona de mistura do ambiente aberto (U_{air}); - Concentração dissolvida na água subterrânea (C_w);

Quadro 3.2. Parâmetros envolvidos no cálculo de risco - Metodologia RBCA (ASTM 1995) (conclusão).

RELAÇÃO DE PARÂMETROS A PARTIR DOS COEFICIENTES E EQUAÇÕES
<ul style="list-style-type: none"> - Maior largura do solo superficial afetado (W); - Tempo médio do fluxo de vapor (τ); <p><u>Parâmetros do Fator de Emissão de Partículas do Solo - PEF:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Taxa de emissão de partículas (P_e) (adimensional); - Largura da pluma de hidrocarbonetos no solo superficial (longitudinal ao fluxo) (W); - Comprimento da zona de mistura do ambiente aberto (δ_{air}); - Velocidade do ar acima da superfície do solo na zona de mistura do ambiente aberto (U_{air}); <p><u>Outros parâmetros para os modelos de transporte (excluídos os de uso comum aos cálculos acima):</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Gradiente hidráulico (i); - Condutividade Hidráulica (K); - Distância (L); - Largura da fonte (perpendicular ao fluxo no plano horizontal) (S_w); - Largura da fonte (perpendicular ao fluxo no plano vertical) (S_d); - Distância ao longo da linha central da borda descendente da zona fonte da pluma dissolvida (x); - Profundidade abaixo do nível d'água do lençol freático (y); - Distância lateral fora da linha central da pluma dissolvida (z); - Constante de decaimento de primeira ordem (λ); - Peso molecular (M_w); - Pressão de vapor do composto i (P_v^i); - Constante dos gases (R); - Extensão radial do impacto do hidrocarboneto (R_{spill}); - Solubilidade do componente puro (S_i); - Temperatura absoluta (T); - Volume de hidrocarboneto liberado (V_{spill}) [cm^3]; - Fração molar do componente i (x_i); - Conteúdo residual volumétrico de hidrocarbonetos sob condição de drenagem (θ_R); - Permeabilidade para o fluxo de vapor (k_v); - Gradiente de pressão da fase vapor (∇P); - Viscosidade do vapor (μ_v); - Distância abaixo da superfície do solo até o topo da fonte de vapor de hidrocarbonetos (d); - Área total do ambiente fechado exposto à intrusão de vapores (área da fundação) (A_B); - Área de fundação através da qual os vapores são transportados (área de rachaduras, costuras abertas e assim por diante) (A_{crack}); - Distância entre a fundação/paredes e a fonte de vapor de hidrocarbonetos (d); - Taxa de fluxo volumétrico de ar dentro de ambientes fechados (Q_B); - Taxa de fluxo de infiltração volumétrica de gás do solo em espaço fechado (Q_{soil}); - Taxa de infiltração de água (q_i); - Velocidade do vento (u_w); - Volume do ambiente fechado (V_B);

O Quadro 3.2 elencou 64 (sessenta e quatro) parâmetros que são utilizados para os cálculos de risco e estão associados às características do meio (água, solo, ar), às características químicas intrínsecas do contaminante, bem como aquelas vinculadas ao contato com o meio, à distribuição dos contaminantes nos meios afetados, às características dos ambientes em que os

receptores estarão sujeitos e aos efeitos adversos dos contaminantes (características construtivas dos imóveis).

As análises da sensibilidade desses parâmetros, as quais consideram a relação dos modelos preditivos utilizados na modelagem de destinos e seus respectivos caminhos de transporte, foi realizada pela ASTM (1999) e está apresentada na Tabela An 1. 8 do Anexo 1.

As referidas análises apontam que esses parâmetros estão associados aos fatores de retardo ou aceleração (sorção, cossolvência, volatilização) e de atenuação natural (biodegradação). Ambos são utilizados na metodologia ASTM para a realização dos cálculos dos Coeficientes de Difusão Efetiva (D_s^{eff} ; D_{cap}^{eff} ; D_{crack}^{eff} e D_{ws}^{eff}), do Fator de Partição Fase Retida-Água Intersticial do Solo (K_{sw}), do Fator de Diluição pela Lixiviação para a Água Subterrânea (LDF), dos Fatores de Volatilização (VF_{wesp} ; VF_{seps} ; VF_{wamb} ; VF_{samb} ; VF_{ssamb}) e do Fator de Emissão de Partículas do Solo (PEF). Ou seja, são influenciadores decisivos nos produtos de risco.

Eles também são empregados no cálculo de outras variáveis relacionadas aos modelos matemáticos utilizados para avaliar a migração dos contaminantes entre os meios e para os ambientes de exposição, além de estarem presentes na base teórica dos demais modelos descritos no item 3.3.2.

Conforme Tabela An 1. 8 tais parâmetros apresentam maior ou menor grau de sensibilidade a depender do fenômeno avaliado e dos compartimentos ambientais envolvidos. Exemplificando: um parâmetro pouco sensível na modelagem de migração na água subterrânea (ex. fração de carbono orgânico - *foc*) pode apresentar sensibilidade moderada, ou mesmo não ser um parâmetro sensível, para a modelagem da migração do solo para o ar ambiente.

Quando foi analisado o histórico dos diferentes métodos de amostragem solicitados pelos órgãos competentes brasileiros, é possível concluir uma alta variabilidade nas condições e formas de aquisição destes parâmetros.

Muitos foram obtidos a partir de uma técnica de aquisição direta específica como, por exemplo, a condutividade hidráulica, porosidade total, profundidade do nível d'água, pé direito de construções. Outros foram estipulados através de relações matemáticas e físicas a partir de uma medida principal, como os conteúdos volumétricos de água e ar, carga hidráulica e gradiente hidráulico, coeficiente de partição solo-água, coeficientes de dispersão.

Perante as constatações acima, especial atenção deve ser dada para a forma de aquisição do dado e para os controles de origem e qualidade do processo de coleta, uma vez que o erro de medição em parâmetros adquiridos de forma direta se propaga para os parâmetros derivados por relação matemática.

Além disso, não se deve desconsiderar o impacto que possuem na determinação dos quocientes de risco. Sendo necessário um rigoroso controle a respeito dos valores efetivamente transferidos para o cálculo de risco.

Com este enfoque, a CETESB estabeleceu que as Avaliações de Risco devem ser elaboradas por meio da utilização de planilhas eletrônicas, disponibilizadas já com uma série de parâmetros previamente definidos, e os quais não se consegue alterar, ainda que o responsável técnico detecte a necessidade de adequação para situação da área.

3.6 ASPECTOS LEGAIS PARA AÇÕES CORRETIVAS BASEADAS NO RISCO

A Constituição Federal brasileira promulgada em 1988 estabelece, por meio de seu artigo 225, o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, impondo ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações. Determina ainda, em seu parágrafo terceiro, a obrigação de pessoas físicas e jurídicas na reparação de danos ambientais decorrentes de condutas lesivas ao meio ambiente.

A Política Nacional do Meio Ambiente – PNMA (Lei Federal nº 6.938 de 31 de agosto de 1981), complementarmente, apresenta os instrumentos por meio dos quais se busca alcançar os objetivos estipulados para garantir os deveres estabelecidos pela Constituição Federal.

A PNMA traz consigo os fundamentos da atuação governamental para gestão do meio ambiente, versando sobre os princípios, objetivos, instrumentos e organização dos entes federativos na forma de um Sistema Nacional do Meio Ambiente – SISNAMA, bem como sobre os instrumentos financeiros para manutenção do mesmo.

O SISNAMA é composto pelo Órgão superior, Órgão consultivo e deliberativo (CONAMA), Órgão central (MMA), Órgãos executores, Órgãos Seccionais e Órgãos Locais.

Nessa hierarquia os órgãos seccionais são os órgãos ou entidades estaduais responsáveis pela execução de programas, projetos e pelo controle e fiscalização de atividades capazes de provocar a degradação ambiental e os órgãos locais: os órgãos ou entidades

municipais, responsáveis pelo controle e fiscalização dessas atividades, nas suas respectivas jurisdições (Brasil, 1981).

Sob essa organização, e considerando que os impactos ambientais de áreas contaminadas possuem efeito local, cabe aos órgãos seccionais e locais o estabelecimento de procedimentos específicos para o gerenciamento de áreas contaminadas nas áreas sob sua jurisdição.

Do ponto de vista administrativo, se recorre a Lei Federal Complementar nº 140, de 08 de dezembro de 2011, que fixa normas nos termos dos seus incisos III, VI e VII do caput e do parágrafo único do art. 23 da Constituição Federal, para a cooperação entre a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios nas ações administrativas decorrentes do exercício da competência comum relativas à proteção das paisagens naturais notáveis, à proteção do meio ambiente, ao combate à poluição em qualquer de suas formas e à preservação das florestas, da fauna e da flora; e altera a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981 (Brasil, 2011).

Em outras instâncias legislativas, a atuação Estatal também possui amparo legal em nível federal, através de dois importantes instrumentos: o Licenciamento Ambiental, que é estipulado como instrumento da própria PNMA; e o gerenciamento de áreas contaminadas, estabelecido pela Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA nº 420/2009.

O primeiro citado é o instrumento pelo qual as atividades potencialmente poluidoras têm sua viabilidade ambiental, instalação, ampliação e operação reguladas sob o aspecto de degradação ao meio ambiente. Durante a operação das atividades que estão sob o escopo dessa regulação é que indícios de contaminação são geralmente identificados e, portanto, observou-se que muitas das normas e procedimentos para o GAC estão vinculados a este instrumento.

O IPT (2016) ainda destaca que, no Brasil, apesar da existência de leis que tratam “lateralmente” da questão das áreas contaminadas desde 1934, somente a partir da promulgação das Resoluções CONAMA nº 273 de 29 de novembro de 2000, que “estabelece diretrizes para o licenciamento ambiental de postos de combustíveis e serviços e dispõe sobre a prevenção e controle da poluição” e, especialmente, da Resolução CONAMA nº 420, de 28 de dezembro de 2009 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.” (CONAMA, 2009), é que o país passa a ter um marco regulatório em nível federal específico para o gerenciamento de áreas contaminadas.

Devido a complexidade da temática e a busca por uma evolução gradativa na assertividade normativa, diversos autores abordaram o tema ao longo da última década, dentre eles destacam Pereira *et al.* (2015) que traçaram um panorama do gerenciamento de áreas contaminadas com enfoque na classificação dos estados em quatro níveis, “avançado”, “moderado”, “fraco” e “muito fraco”; considerando o estabelecimento Valores de Referência de Qualidade, a execução efetiva do gerenciamento de áreas contaminadas e a publicação periódica das listas de áreas contaminadas.

O estudo conclui, entre outros pontos, que o processo de gerenciamento das áreas contaminadas no restante do país ainda é um processo difícil e demorado, por razões técnicas, econômicas, sociais, jurídicas e políticas; que a maioria dos estados não tem dado publicidade às áreas diagnosticadas como contaminadas em seus portais institucionais e que grande parte dos estados possui uma preocupação genérica a respeito do gerenciamento de áreas contaminadas (Pereira et al., 2015).

Araújo-Moura & Caffaro Filho (2015) objetivaram construir o panorama do gerenciamento de áreas contaminadas praticado no Brasil, após cerca de cinco anos da publicação da Resolução CONAMA 420/09 e avaliar o nível do gerenciamento em todos os estados da Federação, especialmente em relação à aplicação das diretrizes que foram estabelecidas na Resolução, bem como realizar uma análise qualitativa do risco causado pela contaminação de solo em cada unidade da federação, que levou em consideração o nível de gerenciamento praticado no estado, o potencial poluidor existente e sua densidade demográfica.

O trabalho conclui que dos 26 Estados e Distrito Federal, apenas os Estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais possuíam alto nível de gerenciamento de áreas contaminadas, os Estados do Paraná, Rio Grande do Sul e Santa Catarina possuíam nível médio de gerenciamento e os demais estados possuíam nível baixo.

Em outra iniciativa, o IPT (2016) além de mapear as áreas contaminadas existentes nas bases de dados e nos estudos já realizados no país, elaborou estudo que retratava as tecnologias que são aplicadas, as oportunidades de desenvolvimento, a forma de ação dos órgãos ambientais e

a estrutura técnica e o montante de negócios que são gerados pelas empresas que atuam no setor.

O estudo conclui que, sob o ponto de vista da legislação, os mecanismos jurídicos em vigor não têm sido suficientes para resolver problemas históricos de contaminação. É preciso que sejam definidas diretrizes para gestão de áreas consideradas críticas, seja pelo porte da contaminação envolvida, seja pela diversidade de atores correlatos (IPT 2016).

Além desses, Canario & Bettine (2020) promoveram uma análise crítica do gerenciamento de áreas contaminadas no Brasil, traçando um panorama sobre o atendimento a Resolução CONAMA nº 420/2009 por parte dos estados brasileiros, especificamente ao artigo 38 e seus incisos, que tratam da obrigatoriedade, por parte dos órgãos ambientais estaduais de “dar publicidade principalmente em seus portais institucionais na rede mundial de computadores, às informações sobre áreas contaminadas identificadas e suas principais características”, e contrastar com o nível de industrialização destas localidades.

Como resultado verificou-se que a maioria dos estados não atende à norma, ou parte dela, e é possível inferir que não há ações efetivas, por parte do poder público, para a gestão dessas áreas contaminadas (Canario & Bettine, 2020).

Uma linha do tempo com a evolução dessa legislação perante os principais marcos legais do país e do Distrito Federal, Figura 3.19.

Foram necessários sete anos para o acolhimento do Distrito Federal, de modo não integral, de algumas diretrizes técnicas cobradas pela Decisão de Diretoria nº 010/2006/C, no Estado de São Paulo, para o DF oficializar uma Instrução Normativa que atendesse a Resolução CONAMA nº 273/2000.

A Resolução CONAMA nº 273/2000 que estabeleceu em seu artigo quinto parágrafo primeiro, a necessidade de apresentação do resultado de investigação de passivos ambientais para o licenciamento dos empreendimentos em operação, à época que o Distrito Federal sinalizou suas primeiras preocupações em atender ao gerenciamento de áreas contaminadas, já tinha sido publicada treze anos antes e endossada, quatro anos antes, pela Resolução CONAMA nº 420/2009.

Tal lapso temporal na regulamentação distrital não apenas atingiu o órgão ambiental local ou distrital, que não conseguiu se aparelhar para recepcionar tal competência, como também

influenciou negativamente na qualidade dos processos de gerenciamento de áreas contaminadas, como está demonstrado por esta pesquisa no estudo de caso que será apresentado posteriormente.

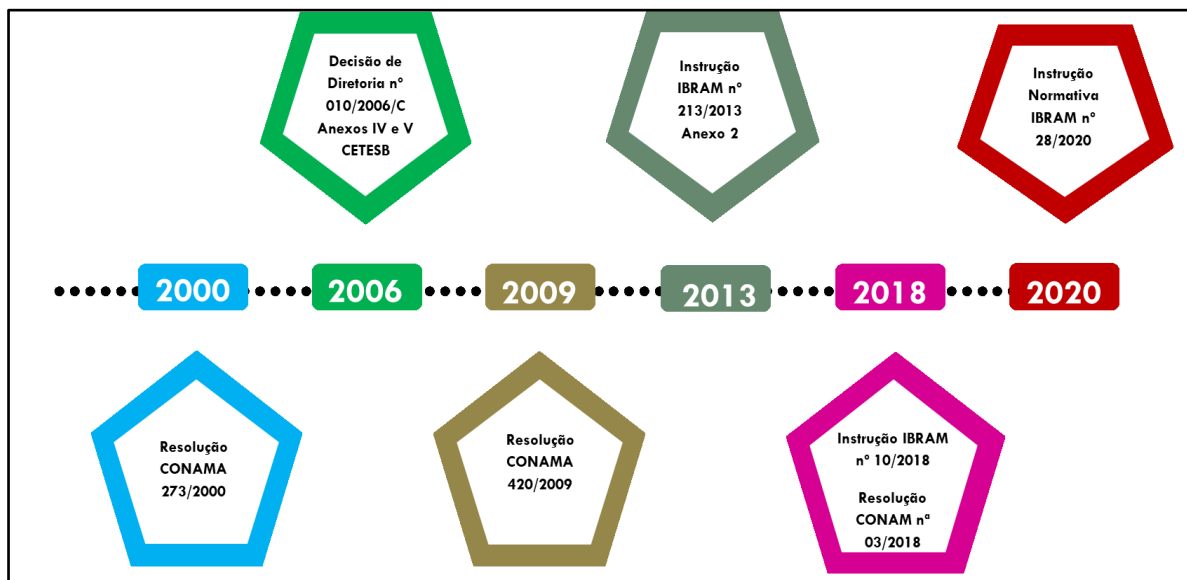


Figura 3.19. Linha do tempo normas de GAC aplicadas ao DF.

Outra questão importante constatada pela pesquisa, é que a Decisão de Diretoria nº 010/2006/C da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB, que trata do licenciamento de atividades armazenadoras de combustíveis e trazia em seus anexos IV e V os termos de referência para elaboração da Investigação de Passivos Ambientais, foi a principal balizadora para a construção da Instrução Normativa nº 213/2013 do Instituto Brasília Ambiental.

Nesse aspecto, estabeleciam escopos mínimos de investigação recomendando, por exemplo, quais áreas deveriam ser investigadas e o número mínimo de sondagens a partir da quantidade de tanques existentes nas áreas sob investigação.

Entretanto, ao contrário do que as legislações mundiais que adotam essa abordagem, conforme apontado por Davis *et al.* (2006), condições para ampliação do escopo de investigação a partir da quantidade de unidades de abastecimento, entre outros, não foram reproduzidos nem pela referida Decisão de Diretoria da CETESB, nem pela Instrução Normativa 213/2013, restringindo o escopo de investigações, especialmente a etapa de investigação confirmatória.

Essa Instrução foi a primeira, em nível distrital, a determinar condições e fornecer um Termo de Referência para a elaboração e apresentação dos estudos de passivo ambiental, porém desconsiderou o rigor técnico para determinar ações corretivas baseadas no risco, tal como as demais instruções que seguiram posteriormente no DF.

Como revela o escopo das normativas e resoluções publicadas, os esforços do órgão ambiental do Distrito Federal foram voltados para atividades que tem como potenciais contaminantes hidrocarbonetos de petróleo, dado que versam sobre o licenciamento ambiental de postos de combustíveis e outras atividades associadas ao armazenamento de combustíveis.

A partir da Instrução Normativa nº 28, de 11 de agosto de 2020, foi elaborado e disponibilizado no site do IBRAM um Termo de Referência - TR, com condições mínimas para o desenvolvimento dos estudos; as disposições deste documento foram consideradas na elaboração dos Roteiros de Investigação.

Apesar de ter sido promulgada recentemente, a Instrução Normativa nº 15 de 23 de outubro de 2023, foca unicamente no processo de licenciamento de novos empreendimentos, sem versar sobre o processo de gerenciamento de áreas contaminadas e, por isso, não foi elencada como norma de interesse.

Nesse contexto, conclui-se que o Distrito Federal possui normas que vinculam a existência de contaminação à concessão ou renovação de licenças. Apesar de vincular a realização das Investigações de Passivos Ambientais às Normas ABNT 15.515, não possui um fluxo administrativo específico para o GAC.

Outra importante ferramenta de suporte para instituição dos procedimentos administrativos solicitados no gerenciamento de áreas contaminadas são as Normas Técnicas Brasileiras (NBR) da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT.

As normas ABNT recomendam boas práticas técnicas para realização das etapas de investigação de passivos ambientais e das ações correlatas e complementares, como a avaliação de risco, Plano de intervenção, entre outros. Passam por periódicas atualizações, visto a necessidade de acompanhar os novos conhecimentos consolidados sobre a temática. As revisões são promovidas por meio de câmaras técnicas e grupos de trabalho formados por representantes de empresas especializadas no GAC, órgãos públicos e sociedade civil.

4 METODOLOGIA

A escolha metodológica para esta dissertação envolveu materiais e métodos que pudessem ter como resultados da pesquisa, soluções voltadas para adoção de boas práticas no gerenciamento de áreas contaminadas por postos de combustíveis.

Foi desenvolvida a metodologia ilustrada pela Figura 4.1, a partir das etapas de diagnóstico; prospecção de soluções; adaptação e regionalização das soluções; elaboração de procedimentos e implementação e avaliação de resultados.

Para tanto, verificou-se que era necessário avaliar os procedimentos técnicos elaborados em nível internacional e nacional, com ênfase para os produzidos pelos órgãos estaduais brasileiros e pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT e a abordagem utilizada nas legislações e normas, em relação aos parâmetros utilizados, para tomada de decisão, no âmbito das Ações Corretivas Baseadas no Risco - ACBR.

Assim foi desenvolvida a sequência de atividades do trabalho de pesquisa, cujo fluxograma é apresentado na Figura 4.2, para que pudesse ser elaborado um protocolo de diagnóstico, na forma de roteiros de investigação, conforme objetivos estabelecidos. As cores representativas de cada etapa do fluxo de metodologia apontado na figura 4.1 são utilizadas para descrever as respectivas ações no fluxograma de trabalho estabelecido na Figura 4.2.

A etapa de diagnóstico foi superada a partir da pesquisa de artigos e publicações que abordassem os principais problemas associados ao diagnóstico de contaminações, em especial no portal de periódicos da CAPES, complementada pela avaliação do processo administrativo fornecido pelo Brasília Ambiental e pela avaliação da legislação distrital abordados nos itens da fundamentação teórica e revisão bibliográfica.

A revisão bibliográfica, também foi a principal metodologia para prospecção de soluções, em que foram pesquisados guias, normas técnicas, protocolos e procedimentos aplicados por instituições internacionais de referência como a USEPA, CRC CARE, ITRC, entre outros; para o gerenciamento de áreas contaminadas por hidrocarbonetos. A pesquisa foi realizada através de busca por termos como “*petroleum hydrocarbons*”; “*management of contaminated areas*”; “*contamination by LNAPL*”; “*environmental management of contaminated areas*”; “*investigation of environmental liabilities*”; “*risk assessment*”; “*high-resolution investigation*” e seus termos correspondentes em português em ambientes de pesquisa como o Portal de Periódicos da CAPES (pesquisa geral e na base dados da Web of Science), Google

Acadêmico e Google, além da busca em sites especializados previamente conhecidos (ex. Contaminated site Clean-Up Information – CLU-IN).

A partir dessa definição, realizou-se um levantamento de toda a legislação federal e dos demais estados brasileiros a respeito do gerenciamento de áreas contaminadas, com o intuito de avaliar como essas abordam as metodologias e soluções técnicas mais comumente utilizadas pelos entes institucionais, bem como, citam ou não as normas referenciadas com maior recorrência.

Foram realizadas pesquisas a fim de encontrar legislações pertinentes ao gerenciamento de áreas contaminadas, quer fossem estabelecimento de procedimentos administrativos e de gerenciamento, licenciamento, valores de referência de qualidade e de sanções administrativas, na esfera estadual, a fim de verificar o atual estado da abordagem do tema “áreas contaminadas” no arcabouço legal e normativo dos estados brasileiros.

Para tanto, foram consultados os sites dos órgãos ambientais e nos Sistemas Integrados de Normas Jurídicas - SINJ (quando disponíveis) com uso de palavras chave como “contaminação”, “investigação de passivos ambientais”, “valores de referência”, “passivo ambiental” e “remediação”. As legislações também foram acessadas por meio do site da Associação Brasileira de Entidades Estaduais de Meio Ambiente – ABEMA e por meio do Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas da CETESB em sua seção 2.3 – Legislação Brasileira.

Para o levantamento das Normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, utilizou-se inicialmente o levantamento contido no “ANEXO A - Normas e legislações aplicáveis” do “INVENTÁRIO DE ÁREAS CONTAMINADAS NO ESTADO DE MINAS GERAIS: 2022”, com posterior verificação de atualização e complementação no catálogo da ABNT disponível no site da Associação.

Para o acesso às informações sobre os quantitativos de áreas contaminadas foram acessados os sites dos órgãos ambientais. Para os dados do INEA, as informações sobre áreas contaminadas 5ª edição foram exportadas do site da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais – INDE e tratadas no software Excel a fim de se construir a informação de interesse.

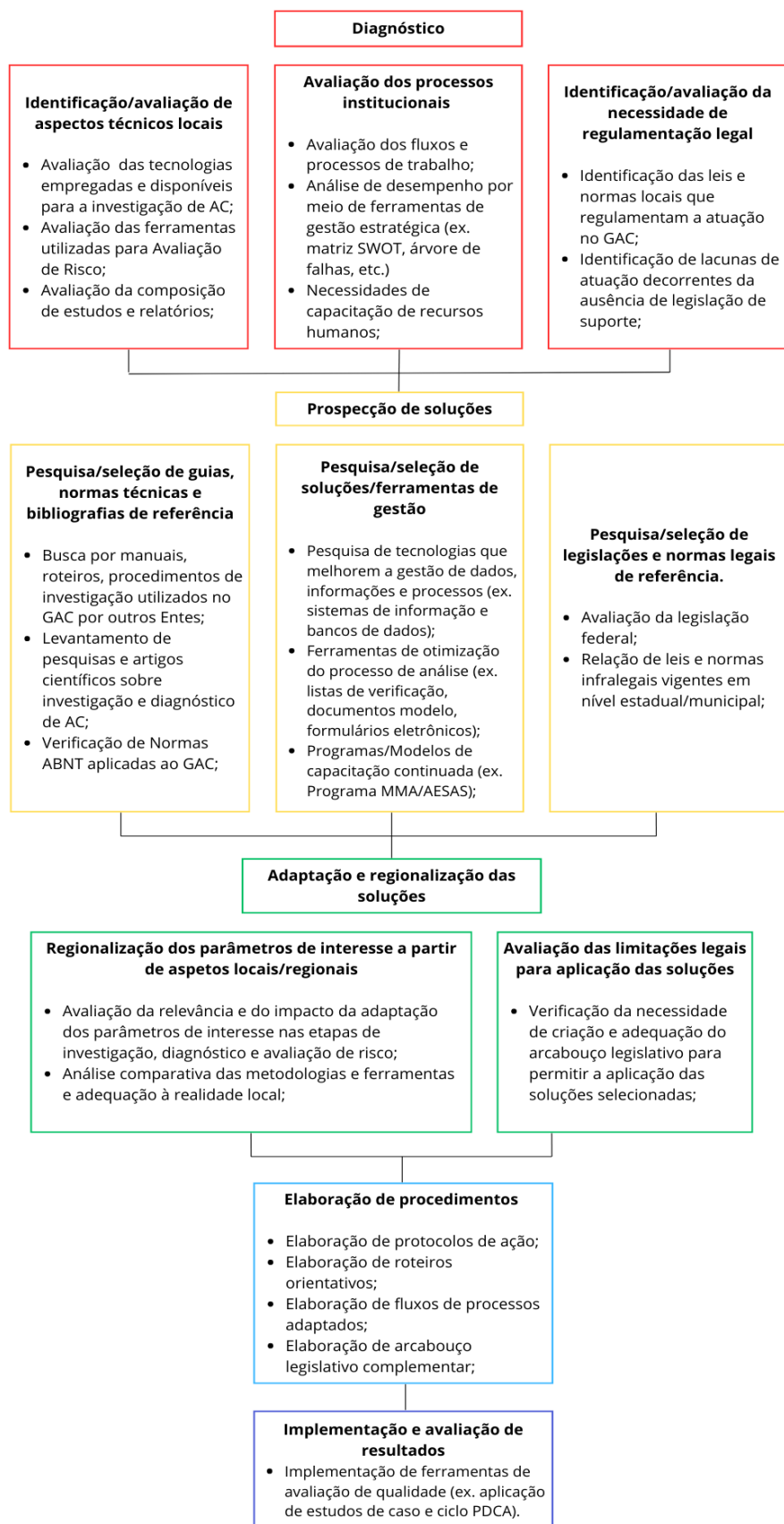


Figura 4.1. Fluxograma metodológico para desenvolvimento das soluções customizadas.

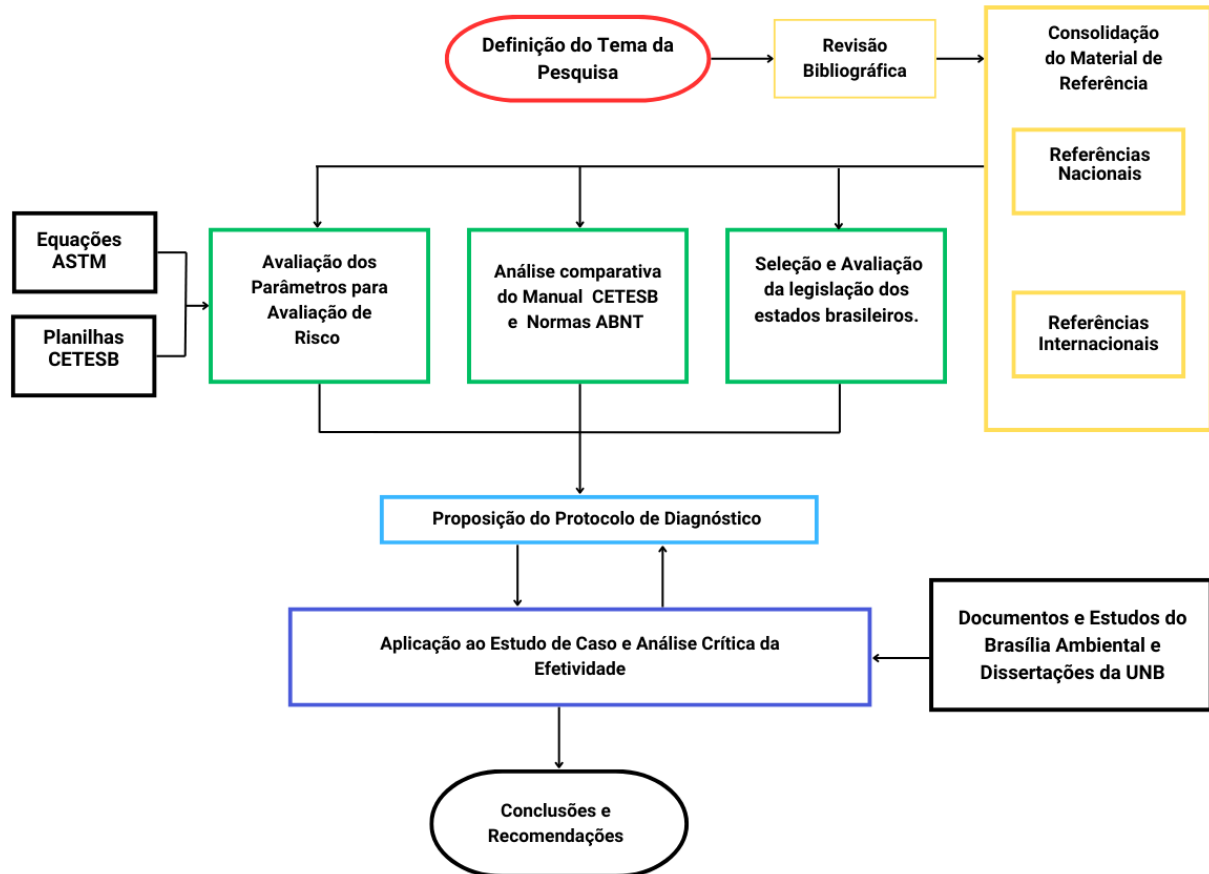


Figura 4.2. Fluxograma das ações desenvolvidas a partir da metodologia de pesquisa.

Aplicou-se os métodos de análise documental e análise comparativa, para selecionar as leis, normas, manuais institucionais, ou parte deles, que apresentavam maior detalhamento sobre requisitos técnicos explicitamente exigidos e que potencializam um processo de gerenciamento consolidado, como base para construção dos roteiros elaborados como produtos desta dissertação.

A seleção de documentos utilizou critérios como a data de publicação (dando prioridade às mais atuais e que foram publicadas após a Resolução CONAMA nº 420/2009), presença de texto que abordasse termos técnicos vinculados à investigação de alta resolução (por exemplo, unidades hidroestratigráficas, métodos de resposta rápida ou resposta em tempo real, Modelo Conceitual da Área, uso do *liner*, entre outros).

A partir dos resultados da etapa anterior tendo sido selecionados o Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas da CETESB, as Normas ABNT e a Resolução SEDEST nº 003/2020 do Instituto de Água e Terra do Estado do Paraná como principais referências, passou-se a próxima fase do desenvolvimento da pesquisa.

A comparação entre as Normas ABNT (aplicadas a cada etapa do processo de investigação e diagnóstico) e as seções do Manual CETESB correspondentes, foi realizada para cada etapa do processo de investigação (avaliação preliminar, investigação confirmatório, investigação detalhada e análise de risco) e avaliou aspectos como, a forma da apresentação das orientações, se os conteúdos exigidos eram específicos ou genéricos (avaliando a presença de modelos e exemplos de apresentação) e se os requisitos técnicos eram impostos ou recomendados.

Analisou-se, também, como foram construídas as orientações para a execução das ações de levantamento e produção de dados, informações e produtos a serem apresentados, incluindo relatórios, plantas, croquis, cadeias de custódia, laudos laboratoriais, modelos hidrogeológicos e modelos de exposição.

Essa análise foi realizada a partir da construção de planilhas contendo: os itens necessários para a elaboração dos relatórios de cada etapa no Manual CETESB e nas Normas ABNT correspondentes, promovendo-se uma análise pareada das orientações do manual e das normas para coleta, organização e apresentação de cada umas das informações necessárias para superação da etapa.

Foi realizada uma análise pormenorizada das disposições contidas na Resolução Sedest 003/2020 verificando: a vinculação dos anexos ao fluxo de processo de licenciamento, levantando-se as soluções técnicas adotadas para elaboração e apresentação de estudos, determinações para cumprimento do processo administrativos, entre outras.

Foi, então, elaborada a proposta do protocolo de diagnóstico constituído, também, pelos de roteiros de investigação para as etapas de avaliação preliminar, investigação confirmatória, investigação detalhada e avaliação de risco.

A construção do protocolo de diagnóstico foi feita a partir da composição de orientações contidas nos materiais de referência da CETESB, ABNT, SEDEST e IBRAM/DF.

Foram utilizados, também, bibliografias de referência, em especial o artigo de Riyis *et al* (2019a) e a tese de Riyis (2019), que apresentam abordagens metodológicas orientadas para a Investigação de Alta Resolução adaptadas ao cenário brasileiro.

As orientações constantes no protocolo de diagnóstico foram adotadas, adaptadas e construídas visando atender às seguintes premissas:

- Garantia da rastreabilidade dos dados e a conformidade na execução das atividades;
- Exigência da adoção de técnicas específicas e melhores práticas;
- Inibir e vetar o uso de técnicas não conformes;
- Permitir o estabelecimento de linhas de evidência para a obtenção e comprovação dos resultados;
- Promover o repasse de dados e informações em formatos adequados à composição de bancos de dados e que possam ser posteriormente usados pelo órgão ambiental para aprimorar o gerenciamento da contaminação e do território.

Com o protocolo construído, foi realizada sua aplicação ao estudo de caso e uma análise crítica sobre a competência desse material para suprir lacunas de informação, imprescindíveis para tomada de decisão.

O estudo de caso abordou o cenário de contaminação existente no empreendimento denominado “Auto Posto Morada dos Nobres LTDA” (antigo “Auto Posto Brazuca”), situado na Rodovia BR 020 – Km: 2,2 – Sobradinho/DF.

A escolha do estudo de caso foi baseada no amplo histórico de investigação e remediação existente para o empreendimento. Além disso, foi selecionado por já ter sido objeto de estudos científicos conduzidos por Santos (2009) e Távora (2010), que avaliaram o risco à saúde humana e a modelagem computacional da migração das plumas de contaminação, respectivamente, que são abordagens adotadas na ACBR para tomada de decisão.

Além de contar com dados de história oral e reportagens de imprensa a respeito do caso, o levantamento do histórico de investigações e ações adotadas para o estudo de caso em questão considerou a pesquisa nos documentos oficiais referentes ao processo de gerenciamento dessa área contaminada, os quais foram viabilizados pela Plataforma Participa DF, e proporcionou a oficialização do acesso e uso dos conteúdos constantes nos autos dos processos: 0190-001132/2001 (Licenciamento Ambiental), 00391-00017924/2017-17 (Licença de Operação) e 00391-00001014/2020-18 (gerenciamento de áreas contaminadas), junto ao Instituto de Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Distrito Federal – Brasília Ambiental – IBRAM/DF.

Assim, foi consolidado um compilado do histórico dos relatórios de investigações, relatórios de remediação, relatórios de monitoramento e manifestações técnicas, produzidos entre os

anos de 2002 e 2024, que serviu de ferramenta para a construção dos critérios de seleção de ações de gerenciamento no empreendimento, pontuando os entraves e falhas. Tal abordagem gerou as recomendações de melhorias e soluções para o gerenciamento de áreas contaminadas similares.

5 RESULTADOS

Ao utilizar a sistematização de análises documentais em publicações e normativas vigentes para gerenciamento de áreas contaminadas, especialmente no Brasil, obteve-se como produto, a verificação da abordagem das planilhas CETESB, enquanto ferramenta aplicável ao Distrito Federal; a seleção de legislações de referência para produção do protocolo de diagnóstico e a avaliação e adequação dos aspectos técnicos e de operacionalização dos procedimentos para áreas afetadas por hidrocarbonetos de petróleo, então estipulados, para aplicação no Distrito Federal.

Foram produzidos os roteiros de investigação para cada etapa do gerenciamento, os quais sintetizam os resultados obtidos nas análises documentais. Por fim, revela-se a aplicabilidade dos conhecimentos consolidados nos trabalhos com a apresentação do estudo de caso, que aborda o processo de GAC em uma área emblemática de contaminação por hidrocarboneto de petróleo do Distrito Federal, conhecida como Auto Posto Morada dos Nobres (antigo Brazuca).

5.1 PARÂMETROS DE INTERESSE DAS PLANILHAS DE AVALIAÇÃO DE RISCO DA CETESB

Ao avaliar essas planilhas, verificou-se que apenas um número limitado de informações sobre o meio físico de fato podem ser adaptado e então alterado. E valores de referências mundiais são ali largamente utilizados como o padrão. Esses apontamentos estão expostos na Tabela 5.1.

Outros parâmetros relacionados ao cálculo de risco são destacados e determinados pelo corpo técnico da CETESB e são referenciados em documentos amplamente utilizados pelos demais entes federativos brasileiros e alguns internacionais, mesmo sem a possibilidade de adaptação e alteração de seus valores. Esses parâmetros foram consolidados na

Tabela 5.2.

O embasamento técnico para adoção de alguns parâmetros, pela CETESB, é proveniente do trabalho de Maximiano (2001), que por sua vez utilizou valores referenciados por estudos geológicos e hidrogeológicos desenvolvidos especificamente para a cidade de São Paulo, bem como os referenciados no material da ASTM (1995).

Tabela 5.1. Parâmetros do meio físico com possibilidade de alteração nas Planilhas CETESB.

PARÂMETROS	DESCRIÇÃO
Cenários Associados à Intrusão de Vapores	
Ab	Área das Fundações
Lb	Pé Direito
L_{crk}	Espessura das fundações/paredes de construções
Cenários Associados à Inalação de Vapores a partir do Solo e Água Subterrânea	
L_{ss}	Profundidade da Fonte no Solo Subsuperficial
d_{ss}	Espessura do Solo Subsuperficial Impactado
W_{ss}	Largura do solo subsuperficial impactado
L_{gw}	Profundidade do Nível d'Água
T	Temperatura da Água Subterrânea
W_w	Largura da área fonte na direção paralela ao fluxo da água subterrânea
δ_{gw}	Espessura da pluma dissolvida na água subterrânea
θ_T	Porosidade Total
ρ_s	Densidade do Solo
foc	Fração de Carbono Orgânico no Solo
Cenários Associados à Lixiviação do Solo Subsuperficial para Água Subterrânea	
SIR	Taxa de infiltração no solo
Cenários Associados ao Contato Direto com Solo superficial	
L_s	Espessura do solo superficial impactado
A	Áreas de emissão de vapores
W_s	Largura do solo superficial impactado
Cenários Associados ao Transporte de Contaminante em Meio Saturado	
S_d	Espessura da Fonte na Água Subterrânea
S_w	Largura da Fonte
i	Gradiente Hidráulico
K	Condutividade Hidráulica

x	Distância entre a área fonte na água subterrânea e o Ponto de Exposição
θ_{ef}	Porosidade Efetiva

Tabela 5.2. Parâmetros do meio físico que não podem ser alterados nas Planilhas CETESB.

PARÂMETROS	DESCRIÇÃO
Parâmetros de Construção	
η	Fração da área de rachaduras/fendas nas fundações/paredes
Z_{erk}	Profundidade da base das fundações
α	Fator de atenuação
Parâmetros do Ar	
ER	Razão de troca de ar em espaços fechados
Pa	Taxa de emissão de partículas
t	Tempo médio do fluxo de vapor a partir da fonte
U_{ar}	Velocidade do ar na zona de respiração
δ_{ar}	Altura da Zona de Mistura do ar em Ambiente Aberto
K_{and}	Fator de volatilização de Andelman
Parâmetros dos Solos	
K_v	Permeabilidade do Solo ao Vapor
Parâmetros da Água Subterrânea	
h_{cap}	Espessura da Franja Capilar
Parâmetros de Transporte	
dp	Gradiente de Pressão
μ_{ar}	Viscosidade do Ar
R	Constante Universal dos Gases

Todavia, alguns dos parâmetros que não aparecem com possibilidade de alteração direta na Planilha são obtidos a partir de relações físicas e matemáticas pré-determinadas, ou seja, relações que são calculadas na planilha com dados obtidos nas investigações da área, conforme pode ser observado na **Erro! Autoreferência de indicador não válida..**

Quando foram considerados os parâmetros de exposição disponíveis na aba da planilha denominada “EXP” (descritos na Tabela An1. 3 do Anexo 01) verificou-se que esses também não podem ser alterados, ainda que expressem a correlação com características da população exposta, duração e tempo médio de exposição e taxas de exposição (inalação, contato dérmico etc.).

Tabela 5.3. Parâmetros do meio físico alterados a partir de relações matemáticas com parâmetros alteráveis nas Planilhas CETESB.

PARÂMETROS	DESCRIÇÃO
Parâmetro de Construção	
θ_{acrk}	Conteúdo volumétrico de ar nas fundações/paredes
θ_{wcrk}	Conteúdo volumétrico de água nas fundações/paredes
Parâmetros dos Solos	
h_v	Espessura da Zona Não Saturada
θ_{as}	Conteúdo Volumétrico de Ar na Zona Não Saturada
θ_{ws}	Conteúdo Volumétrico de Água na Zona Não Saturada
X_{crk}	Perímetro das Fundações
Parâmetros de Água Subterrânea	
U_{gw}	Velocidade de Darcy
v_s	Velocidade de Escoamento
α_x	Dispersividade Longitudinal
α_y	Dispersividade Transversal
α_z	Dispersividade Vertical
θ_{acap}	Conteúdo Volumétrico de Ar na Franja Capilar
θ_{wcap}	Conteúdo Volumétrico de Água na Franja Capilar
Parâmetro de Transporte	
Q_s	Fluxo Convectivo ao longo das Fundações

A partir destas tabelas, o impacto da fixação de valores pode ser observado a partir de sua implicação no cálculo do Ingresso (I_n) (Eq. 3.19) e, conseqüentemente, nos Índice de Periculosidade e Risco (eq. 3.22 e 3.23) e demais correlacionadas, uma vez que impactam, também, nas concentrações estimadas por meios dos modelos de transporte, dados pelas equações 3.31, 3.32, 3.33, 3.34 e 3.35.

Em especial o impacto causado no cálculo da concentração no ar (C_{air}) na (Eq 3.44) a partir adoção do valor do gradiente de pressão (dp) igual a 00 (zero) na Equação 3.45. A partir desse estabelecimento Johnson e Ettinger (1991) descrevem que para Q_{soil} tendendo a zero, o fator de atenuação (α) tende a 01 (um) e, dessa forma, a partir da Eq. 3.44, a concentração de vapor contaminante interno (C_{indoor}) se aproxima da concentração de vapor contaminante no gás do solo (C_{source}). Essa aplicação se reflete nos demais cálculos, conforme apontado anteriormente.

Conclui-se que o uso da planilha limita a capacidade de personalizar e regionalizar a avaliação de risco. Principalmente no que tange às características dos receptores, os valores fixos utilizados, ainda que provenientes de fontes de informação conceituadas e estudos com bases científicas consolidadas, não expressam as diversidades continentais existentes no Brasil.

Dessa forma, ao avaliar a abordagem CETESB, pode-se afirmar que ela é restritiva, pois limita a atuação dos responsáveis técnicos no fornecimento de dados e parâmetros de cálculo obtidos em campo. Todavia, há uma simplificação dos procedimentos, porque reduz a necessidade de se rastrear e avaliar uma gama de parâmetros que, se indevidamente utilizados, podem impactar negativamente os resultados das Avaliações de Risco.

Um olhar pormenorizado, comparando os parâmetros usuais de São Paulo e do Distrito Federal, que não podem ser alterados apresentados na

Tabela 5.2, revelou que apenas o de permeabilidade do solo ao vapor (K_v) é o que guarda intrínseca relação com a geologia e hidrogeologia local, e que de fato pode sofrer bruscas alterações em função das diferenças dos contextos geológico e hidrogeológicos dessas duas regiões.

O parâmetro permeabilidade do solo ao vapor (K_v) está relacionado à modelagem do transporte de vapores. É utilizado para o cálculo da taxa máxima de transporte convectivo de vapor ($u_{v,max}$), que por sua vez é utilizado para calcular o tempo mínimo para vapores percorrerem uma distância “L” da área fonte por convecção.

Tais dados são utilizados para a determinação do máximo fluxo convectivo e difusivo combinados (F_{max}) ao longo do solo no cálculo das emissões de vapor da fonte subterrânea de vapor para ambientes abertos, utilizados na aplicação da metodologia ASTM. Também é um parâmetro do Modelo de Johnson & Ettinger (1991), constantes nas Planilhas de Avaliação de Risco CETESB e outros.

A respeito da influência dos parâmetros nos cálculos de avaliação de risco a partir da inalação de vapores em ambientes fechados, Johnson & Ettinger (1991), ASTM (1999) e Gouveia Júnior (2011) apontam os conteúdos volumétricos de ar e água na zona não saturada, a profundidade e espessura da pluma de contaminação como os influenciadores críticos nos resultados das Avaliações de Risco.

Considerando as características pedológicas e hidrogeológicas do Distrito Federal, a pesquisa desenvolvida constatou que os parâmetros elencados pelos autores citados são de fato relevantes e impactam nas Avaliações de Risco locais. Isto se deve comumente pela ocorrência de textura argilosa, ricos em oxi-hidróxidos de Fe e Al, porosidade média, bastante permeáveis e de acentuados a fortemente drenados, com espessuras sempre maiores que 2,5 metros (EMBRAPA, 1978).

Sob o aspecto das características das substâncias químicas de interesse, as Planilhas CETESB utilizam o *Integrated Risk Information System* - IRIS e o *Provisional Peer Reviewed Toxicity Values* – PPRTV, ambos da USEPA, reconhecidos pela comunidade científica como padrões, com pouca ou quase nenhuma necessidade de adaptações para uso local.

No caso de adoção de outros *softwares*, que eventualmente têm como base metodologias diferentes das avaliadas por essa pesquisa, é essencial que os órgãos responsáveis pela solicitação, avaliação e aprovação das investigações de áreas contaminadas promovam a

conferência e validação dos parâmetros físico-químicos considerando as peculiaridades de cada SQI.

5.2 PANORAMA DO ARCABOUÇO LEGISLATIVO DOS ESTADOS BRASILEIROS

Assim, com os resultados da avaliação dos parâmetros físico-químicos relevantes para os cálculos de risco, (apresentados no item 3.5) e, tendo como horizonte, os principais marcos legais da execução da PNMA, descritos anteriormente, seguem a apresentação dos resultados e os apontamentos do diagnóstico alcançado.

Primeiramente, foi compilado na Tabela A3. 1 do Apêndice 03, a relação de todas as Normas levantadas e consultadas. A partir dessa relação, adotando-se uma abordagem regional, são extraídas várias conclusões sobre o panorama do gerenciamento de áreas contaminadas nos estados brasileiros.

O compêndio das principais normas estaduais pertinentes ao tema são, então, apresentadas na Tabela 5.4 e as direcionadas para a atividade de Postos de Combustíveis e afins, foram compilados na Tabela 5.5.

Ao avaliar os levantamentos realizados, verificou-se que o arcabouço legislativo e normativo no Brasil é bastante heterogêneo, especialmente, no que tange aos procedimentos.

De fato, todos os estados da Região Sudeste e Sul possuem legislação para o gerenciamento de áreas contaminadas para postos de combustíveis. Alguns estados de outras regiões do país também possuem suas normas, ainda que adotem como referência, as normas do Estado de São Paulo e Rio de Janeiro, com pouco ou nenhuma adaptação para as características locais.

Tabela 5.4. Principais leis e normas sobre GAC nos estados brasileiros.

UF	Lei/Norma
SP	Lei nº 13.577/2009
	Decreto nº 59.263/2013
	Resolução SMA nº 10/2017
	Resolução SMA nº 11/2017
	Decisão de Diretoria nº 38/2017/C
	Instrução Técnica nº 039
	Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas
MG	Deliberação Normativa COPAM Nº 108/2007

	Deliberação Normativa COPAM nº 116/2008
	Deliberação Normativa Conjunta nº 02/2010 (COPAM/CERH)
RJ	Resolução CONEMA 44/2012
	Resolução INEA nº 122/2015 e NOP-INEA nº 06
RS	Diretriz Técnica nº 003/2021 (FEPAM)
	Lei 15.434/2020
	Procedimento Operacional Padrão 2018 (Prefeitura de Porto Alegre)
	Instrução Técnica 01/2018 (Prefeitura de Porto Alegre)
PR	Resolução SEDEST nº 03/2020
	Resolução CEMA Nº 129 DE 23/11/2023
SC	Resolução CONSEMA nº 98/2017
	Instrução Normativa nº 74/2018 (IMA)
ES	Instrução Normativa nº 02/2007
	Decreto 4039-R/2016
MS	Resolução nº 09/2015 (SEMADE)
	Resolução nº 679/2019 (SEMAGRO)
DF	Lei Distrital nº 5.418, de 24 de novembro de 2014
	Resolução nº 03/2018 (CONAM)
	Instrução nº 10/2018 (IBRAM)
	Instrução Normativa nº 28/2020 (IBRAM)

Estados como São Paulo e Bahia possuem procedimentos consolidados, mas que abordam atividades potencialmente poluidoras em amplo aspecto, não se vinculando às tipologias específicas. O Amazonas possui procedimento específico somente para a atividade de cemitério.

Tabela 5.5. Panorama do GAC para postos de combustíveis.

Região	UF	Procedimento para GAC	Procedimento para Postos	Tipo do Ato
Norte	AC	Não	Não	-
	AP	Não	Não	-
	AM	Sim	Não	Portaria
	RO	Não	Não	-
	RR	Não	Não	-
	PA	Sim	Sim	Instrução Normativa
	TO	Não	Não	-
Nordeste	AL	Não	Não	-

	BA	Sim	Não	Instrução Normativa
	CE	Não	Não	-
	MA	Sim	Sim	Portaria
	PB	Não	Não	-
	PE	Sim	Sim	Instrução Normativa
	PI	Não	Não	-
	RN	Sim	Sim	Resolução
	SE	Não	Não	-
Centro-Oeste	DF	Sim	Sim	Termo de Referência
	GO	Sim	Sim	Resolução
	MT	Sim	Sim	Instrução Normativa
	MS	Sim	Sim	Termo de Referência
Sudeste	ES	Sim	Sim	Instrução Normativa
	MG	Sim	Sim	Deliberação Normativa
	SP	Sim	Não	Instrução Técnica
	RJ	Sim	Sim	Norma Operacional
Sul	PR	Sim	Sim	Resolução
	RS	Sim	Sim	Portaria
	SC	Sim	Sim	Instrução Normativa

A maioria dos estados para os quais as legislações ou normas foram publicadas, é fato que elas estão intrinsecamente associadas aos processos de licenciamento ambiental, configurando apenas como exigência para concessão ou renovação de licenças, ou para desativação de empreendimentos.

Importante destacar que, mesmo estados que possuem arcabouço técnico-legislativo consolidado, como são os casos de Minas Gerais, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, Paraná e Santa Catarina, quando não usam o referencial da CETESB, fundamentam as solicitações técnicas, ainda que parcialmente, nas recomendações das boas práticas presentes nas normas da ABNT.

A avaliação dessa legislação permitiu diagnosticar que algumas soluções que são replicadas pelos entes da federação, com pouca ou nenhuma adaptação, trazem algum tipo de garantia de qualidade dos trabalhos de Investigação solicitados pelos corpos técnicos dos órgãos ambientais.

A determinação de procedimentos específicos de medição de gases voláteis no solo como instrumento de investigação qualitativa da existência de contaminantes é um exemplo dessas soluções.

Entretanto, com o amadurecimento do entendimento das necessidades de adaptação dessas soluções às diferentes realidades regionais, constatou-se que um evento que carece de mudanças nas abordagens institucionais é a adoção do procedimento para Investigações por meio da técnica de *Soil Gas Survey* (SGS). Essa técnica, que revelou ter pouca confiabilidade e qualidade inadequada dos dados coletados (pela produção de valores com características de falsos positivos e negativos), ainda demanda aos órgãos ambientais a revisão e atenção, para esse, e demais procedimentos que foram acolhidos sem que fosse avaliada sua aplicabilidade às especificidades ambientais de cada estado.

Cabe ainda pontuar, que uma solução praticada pelos órgãos brasileiros é a apresentação de um relatório conjunto para as etapas de avaliação preliminar e confirmatória, apesar de se constituir em prática habitual, pode trazer alguns problemas ao processo de gestão, uma vez que, pode ocorrer discordância do órgão ambiental sobre o conteúdo do Modelo Conceitual Inicial e do Plano de Amostragem após a execução de etapa de Investigação Confirmatória.

Tal prática pode aumentar substancialmente os valores inerentes à elaboração de etapas de investigação complementares, pois aumenta o custo de mobilização, e os associados ao manejo e análise de amostras, dentre outros.

Outro ponto de atenção trata-se que pesquisadores, como Riyis *et al.* (2019a), têm verificado que poços com seção filtrante longa (poços de seção plena) não são a ferramenta adequada para se promover a delimitação de fase livre em função das implicações que as heterogeneidades da hidrogeologia trazem, influenciando ou não na migração do produto para dentro do poço.

Outra solução replicada é a exigência de acreditação de laboratórios e profissionais que realizam a amostragem de matrizes ambientais para fins de Investigação de Passivo Ambiental pelo INMETRO com base na Norma ABNT ISO/IEC 17025, o que para determinadas regiões inviabilizaria alguns tipos de análises, dado que, os laboratórios acreditados são poucos e concentrados na região Sul-Sudeste do Brasil.

Entretanto, esse requisito é importante, uma vez que a Norma ABNT e o processo de acreditação agregam elementos que visam garantir qualidade ao processo de amostragem e

análise. Essa prática pode, inclusive, fomentar a expansão da acreditação para as demais regiões do país, equalizando os requisitos de qualidade.

Exemplo disso é que estados como Paraná e Rio Grande do Sul estabeleceram cadastros de laboratórios e profissionais próprios com exigências complementares às da ABNT, ou que garantam o cadastramento de laboratórios acreditados.

O Estado do Paraná, complementarmente, estabeleceu um modelo próprio de Cadeia de Custódia (Anexo 10 da Res. SEDEST 003/2020), cujas informações devem ser integralmente preenchidas desde a coleta de amostras até a finalização das análises químicas com a consequente elaboração dos Laudos de Análise.

Com essas adaptações, assim como os textos regulatórios da CETESB, a Legislação Paranaense demandou, nesta pesquisa, uma avaliação aprofundada da Resolução SEDEST nº 003/2020 a fim de buscar contribuições técnicas e procedimentais que pudessem auxiliar no desenvolvimento dos Roteiros de Investigação para o Distrito Federal. A avaliação completa consta do Apêndice 01 desta pesquisa, e a seguir pontua-se alguns dos resultados:

1. Um produto interessante solicitado pela Resolução SEDEST é a antecipação da apresentação de um Estudo Hidrogeológico já na etapa de Licença Prévia, com foco na construção dos modelos hidrogeológicos das áreas que abrigarão os empreendimentos. As construções desses modelos possibilita, em etapa prévia à instalação e em posterior casos de indícios de contaminação, a construção do Modelo Conceitual Inicial e do Plano de Amostragem para Investigação Confirmatória, já com características geológicas e hidrogeológicas do local em escala adequada, com a identificação das unidades hidrogeológicas.
2. As orientações para definição das profundidades das sondagens paramétricas e sobre a instalação de poços de monitoramento poderiam ser melhor abordadas com inclusão, como exemplos: de utilização de técnicas de sondagens conservativas como por meio de tecnologias de sondagem percussiva (*direct push*) ou associadas; com a determinação de profundidade de sondagem até atingimento do topo rochoso, ou pelo menos, com profundidade de suplementar o Nível do Aquífero, determinando 3 ou 5 metros abaixo do nível d' água, ou menor se for atingido o topo rochoso.
3. Apesar de parametrizar muitas condições para a realização da amostragem de compostos orgânicos voláteis, vem aceitando a metodologia de *Soil Gas Survey* (SGS). Como já abordado acima, o SGS, a partir de medições diretas no furo, não é mais recomendável em

função dos falsos positivos e negativos resultantes da heterogeneidade do ambiente amostrado. Outras metodologias como uso de Poços Temporários de Vapor (PTV) e Amostradores Passivos têm sido recentemente empregados com resultados mais representativos;

4. A definição de escalas específicas e formas de apresentação de produtos de mapeamento ou “*as-built*” é muito interessante, pois permite que o órgão gestor do Paraná receba dados que diagnosticam os cenários de maneira satisfatória, bem como produza e mantenha “bancos de dados” mais homogêneos;
5. Outra observação importante deve ser feita quanto à estratégia de construção dos anexos referentes à etapa de investigação confirmatória, investigação detalhada e avaliação de risco. Os anexos da SEDEST foram construídos de maneira itemizada, seguindo a sequência lógica pretendida na elaboração dos respectivos relatórios. Assim, quando da orientação do conteúdo mínimo a ser observado, a abordagem fica mais simples, pois as exigências e orientações mais aprofundadas estão distribuídas em cada item específico;
6. Sobre o roteiro de investigação detalhada e avaliação de risco a norma traz muitas abordagens interessantes, entretanto, peca ao determinar tecnologias muito específicas para a delimitação de fase livre, por exemplo;
7. Uma última questão técnica relevante é a determinação da espessura real de produto no meio a partir da espessura no poço, ainda que existam críticas contra o uso do Método de Pastrovich para essa mensuração. Dentre as normas Estaduais avaliadas, é a única que uniformiza um método para tanto.

No Distrito Federal existem quatro legislações que abordam o GAC (Tabela 4.4). Assim, os órgãos competentes e pesquisadores propositores, quando da elaboração e regulamentação de procedimentos, esquematização de roteiros e ferramentas de Investigação de áreas afetadas por substâncias químicas potencialmente contaminantes, devem se nortear a partir da seguinte legislação ou normativas:

1. Pelo preconizado na Lei Distrital nº 5.418, de 24 de novembro de 2014, que institui a Política Distrital de Resíduos Sólidos, aborda a Investigação de Passivos Ambientais no âmbito da elaboração do Plano Distrital de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos, com foco na identificação de passivos provenientes da disposição de resíduos sólidos. Seu texto legislativo aborda o tema de forma geral, não estabelecendo procedimentos;

2. Na Resolução do Conselho do Meio Ambiente do Distrito Federal – CONAM nº 03/2018, a qual estabelece os procedimentos para o licenciamento ambiental de postos revendedores, pontos de abastecimento, instalações de sistemas retalhistas, postos flutuantes de combustíveis e posto revendedor lacustre e dá outras providências, e preconiza em seu artigo 14 a realização das etapas iniciais do GAC (avaliação preliminar e investigação confirmatória) perante indícios de contaminação, porém, não indica a necessidade de instrução normativa para determinar como essas etapas devem ser realizadas, sendo colocado como coadjuvante o atendimento às boas práticas técnicas e o alcance dos objetivos das ações corretivas baseada no risco;
3. Na Instrução Normativa do Instituto Brasília Ambiental nº 10/2018, a qual estabelece os procedimentos para a regularização ambiental da atividade de Posto de Venda de Combustíveis e dá outras providências, e elenca procedimentos para o licenciamento para áreas que desenvolvem atividades com hidrocarboneto de petróleo e não possuem indícios de contaminação, em caráter excepcional. Nesse texto legislativo também não são determinados procedimentos de GAC para os casos de indícios e contaminação. Aborda apenas a necessidade de apresentação do denominado Relatório de Investigação de Passivo Ambiental (RIPA), para os casos de empreendimentos nos quais nunca tenha sido realizado nenhum tipo de investigação no solo ou na água subterrânea ou a critério do IBRAM, desde que de forma justificada (Brasília Ambiental, 2018).
4. Na Instrução Normativa do Instituto Brasília Ambiental nº 28/2020, a qual estabelece os procedimentos para o licenciamento ambiental de postos revendedores, pontos de abastecimento, instalações de sistemas retalhistas, postos flutuantes de combustíveis e posto revendedor lacustre e dá outras providências, que pontua os casos onde a operação deve ser interdita perante cenários de contaminação, e então, torna oficial a adoção da série de normativas ABNT NBR 15.515 (partes 1, 2 e 3) para a realização das investigações de áreas contaminadas, como o que deve ser realizado a fim de atender às boas práticas e qualidade técnica. Porém, não traz adaptações das ferramentas para atender as especificações regionais.

O próximo item abordará os resultados da análise dos principais expoentes técnicos procedimentais para execução das ações corretivas baseados no risco.

5.3 ANÁLISE COMPARATIVA DAS NORMAS ABNT FRENTE AO MANUAL DE GERENCIAMENTO DE ÁREAS CONTAMINADAS DA CETESB

Ao verificar que as legislações estaduais guardam grande correlação com as Normas ABNT, foi realizada uma avaliação comparativa com outra referência técnica largamente usada, em âmbito nacional, para o gerenciamento de áreas contaminadas: o Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas da CETESB.

O Quadro 5.1 apresenta as principais Normas da ABNT aplicadas ao GAC e a determinação de parâmetros utilizados em sua aplicação.

A comparação entre essas referências técnicas se baseou nos itens relacionados às etapas de Avaliação preliminar, Investigação confirmatória e Investigação detalhada, que se interceptam ao longo do gerenciamento e consolidam como as etapas de Investigações e diagnóstico, constituindo as bases para o processo de avaliação de risco e de estabelecimento das ações corretivas baseadas no risco.

Quadro 5.1. Normas ABNT atreladas ao GAC (continua).

RELAÇÃO DE NORMAS ABNT
1. ABNT NBR 15515-1:2021: Passivo ambiental em solo e água subterrânea – Parte 1: Avaliação preliminar;
2. ABNT NBR 15515-2:2023: Passivo ambiental em solo e água subterrânea – Parte 2: Investigação confirmatória;
3. ABNT NBR 15515-3:2013: Avaliação de passivo ambiental em solo e água subterrânea – Parte 3: Investigação detalhada;
4. ABNT NBR 16209:2013: Avaliação de risco a saúde humana para fins de gerenciamento de áreas contaminadas;
5. ABNT NBR 16210:2022: Modelo conceitual no gerenciamento de áreas contaminadas – Procedimento;
6. ABNT NBR 16434:2015: Amostragem de resíduos sólidos, solos e sedimentos - Análise de compostos orgânicos voláteis (COV) – Procedimento;
7. ABNT NBR 16435:2015: Controle da qualidade na amostragem para fins de investigação de áreas contaminadas – Procedimento;
8. ABNT NBR 16901:2020: Gerenciamento de Áreas Contaminadas – Plano de desativação de empreendimentos com potencial de contaminação — Procedimento;
9. ABNT NBR 16784-1:2020 – Versão Corrigida: 2020: Reabilitação de áreas contaminadas – Plano de

<p>intervenção Parte 1: Procedimento de elaboração;</p> <p>10. ABNT NBR 6457: 2016 - Amostras de solo - Preparação para ensaio de compactação e ensaios de caracterização;</p> <p>11. ABNT NBR 6458: 2016, Grãos de pedregulho retidos na peneira de 4,8 mm - Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água;</p> <p>12. ABNT NBR 6484:2020: Solo – Sondagens de simples reconhecimentos com SPT – Método de ensaio;</p> <p>13. ABNT NBR 7181:2016 – Versão Corrigida 2: 2018: Solo – Análise granulométrica;</p> <p>14. ABNT NBR 7182: 2016: Solo - Análise de Compactação;</p> <p>15. ABNT NBR 9604:2016: Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas – Procedimento;</p> <p>16. ABNT NBR 9820:1997: Coleta de amostras indeformadas de solos de baixa consistência em furos de sondagem – Procedimento;</p> <p>17. ABNT NBR 13292:2021 - Versão Corrigida 2021: Solo – Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares à carga constante;</p> <p>18. ABNT NBR 13602:2020 - Avaliação da dispersibilidade de solos argilosos pelo ensaio sedimentométrico comparativo - Ensaio de Dispersão SCS;</p> <p>19. ABNT NBR 15492 – Sondagem de reconhecimento para fins de qualidade ambiental – Procedimento;</p>
--

Quadro 5.3. Normas ABNT atreladas ao GAC (conclusão).

RELAÇÃO DE NORMAS ABNT
<p>20. ABNT NBR 15495-1:2007 - Versão Corrigida 2:2009: Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulados – Parte 1: Projeto e construção;</p> <p>21. ABNT NBR 15847:2010: Amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento – Métodos de purga;</p> <p>22. ABNT NBR 15935:2011: Investigações ambientais - Aplicação de métodos geofísicos;</p> <p>23. ABNT NBR 16840: 2020, Solo - Determinação do índice de vazios máximo de solos não coesivos;</p> <p>24. ABNT NBR 16843: 2020, Solo - Determinação do índice de vazios mínimo de solos não coesivos;</p> <p>25. ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017: Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração; e</p> <p>26. ABNT NBR ISO 22476-12:2023: Investigação Geotécnica e Ensaio – Ensaio de Campo – Parte 12: Ensaio de penetração de cone mecânico (CPTM).</p>

5.3.1 Avaliação preliminar

De acordo com a CETESB (2023), a realização da etapa de avaliação preliminar, tem como objetivo geral identificar fatos, evidências, indícios ou incertezas que levem a suspeitar da

existência de contaminação nos compartimentos do meio ambiente, gerada a partir de fonte de contaminação primária localizada dentro dos limites da área em avaliação.

A ABNT (2021) define a avaliação preliminar como a, avaliação inicial, realizada com base nas informações históricas disponíveis e inspeção do local, com o objetivo principal de encontrar evidências, indícios ou fatos que permitam suspeitar da existência de contaminação na área.

Ambas as orientações de procedimentos técnicos, para avaliação preliminar, buscam como objetivos constatar evidências, indícios ou fatos que permitam suspeitar da existência de contaminação. Caso nas conclusões dessa etapa forem observados indícios da presença de contaminação ou identificadas condições que possam representar perigo, o órgão ambiental deve considerar a área, conforme classificação estabelecida na Resolução CONAMA nº 420/2009, como Área Suspeita de Contaminação.

A metodologia empregada pela CETESB e pela ABNT, para elaboração desses materiais, dividiu em quatro etapas as atividades que devem ser executadas na avaliação preliminar, sendo estas: o Levantamento de Informações Existentes, o Levantamento de Informações em Campo, a confecção do Modelo Conceitual e a elaboração do Relatório de Avaliação Preliminar.

Tanto a CETESB como a ABNT elencam as possibilidades de investigação (tipos de documentos, locais para vistoriar possíveis fontes de contaminação etc.) que devem ser checadas em cada uma das quatro atividades desenvolvidas. Indicam as informações a serem levantadas e o foco para o qual devem ser produzidas.

Constatou-se que as ações técnicas publicadas por esses entes visam abranger toda complexidade do desenvolvimento de uma atividade potencialmente geradora de área contaminada; fontes de contaminação potenciais, primárias e secundárias; indícios de contaminação nos compartimentos do meio ambiente; substâncias químicas de interesse (SQI); vias de transporte de contaminantes; bens a proteger e vias de exposição.

A diferença entre elas consiste na abordagem para a composição do Relatório de Avaliação Preliminar.

A ABNT apresenta um modelo de relatório com recomendação de itens a serem cumpridos, no qual o Modelo Conceitual é parte integrante, e é focado na apresentação dos dados da

avaliação preliminar, apontando de forma genérica que o conteúdo das informações deve ser apresentado de forma escrita e em representação gráfica.

Já a CETESB especifica os produtos gráficos que devem ser produzidos (Mapas e a Tabela Resumo), abordando a cronologia das informações e prevê a implementação do Plano Preliminar de Investigação Confirmatória. Este Plano tem como principal função fornecer elementos para a avaliação da suficiência do escopo de atividades da próxima etapa, com objetivo de garantir a realização de uma investigação confirmatória que apresente menor grau de incerteza.

5.3.2 **Investigação confirmatória**

A abordagem sobre a Investigação Confirmatória na ABNT está amparada por uma série de normas nacionais e internacionais, listadas no Quadro 5.1, mas em especial na NBR 15.515-2 (ABNT, 2023).

Averiguou-se que a maior ênfase durante o processo dessa etapa do GAC é a confecção do Plano de Amostragem e a posterior apresentação da realização desse Plano no Relatório com a descrição das atividades realizadas, sondagens, poços, amostragem, ensaios e análises e metodologias aplicadas).

Ao traçar comparativo entre a ABNT NBR 15.515-2:2023 e o item 6 do Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas da CETESB, que também aborda a execução da Investigação Confirmatória, obteve-se os seguintes resultados:

1. O Manual CETESB, ao contrário da ABNT, estabelece etapas preparatórias caracterizadas pela elaboração dos Planos Preliminares de Amostragem. Para a etapa de Investigação Confirmatória, traz a necessidade do refinamento do Plano Preliminar de Investigação Confirmatória com a construção e execução do Plano Definitivo de Investigação Confirmatória e posterior elaboração do Plano Preliminar de Investigação Detalhada e do segundo Modelo Conceitual da Área (MCA-2).
2. A ABNT preza pela execução de uma fase única, cujo objetivo principal é o estabelecimento e execução do Plano de Amostragem para Investigação Confirmatória a partir do Modelo Conceitual da Investigação Preliminar (equivalente ao Modelo Conceitual Inicial da Área - MCA-1, no Manual CETESB), tendo como resultado o

Modelo Conceitual da Investigação Confirmatória (equivalente ao MCA-2, no Manual da CETESB);

3. A Norma ABNT indica a utilização de técnicas denominadas *Real Time*, pois fornece uma tabela que elenca as ferramentas, parâmetros e meios avaliados, o tipo de resposta (qualitativo/quantitativo), fatores limitantes do uso e métodos de referência, quando existentes;
4. A ABNT mostrou a preocupação de estimular uso de *screening* ao tabelar métodos geofísicos e em quais aplicações poderiam ser utilizados. Essa tabela é complementar a aplicação da norma ABNT NBR 15935/2011 - Investigações Ambientais - Aplicação de Métodos Geofísicos, e no contexto da Investigação Confirmatória poderá promover o refinamento e aprimoramento do Modelo Conceitual da Avaliação Preliminar, apresentado na etapa anterior;
5. A CETESB orienta, para determinação das melhores técnicas a serem usadas nesta etapa, a consulta ao Capítulo 14 de seu Manual, intitulado: ‘Técnicas de investigação de Áreas Contaminadas’, atualmente, em revisão;
6. A ABNT, com o objetivo de embasar a produção do Plano de Amostragem, aponta duas de suas normativas para aprimoramento, apresentação e avaliação de consistência do Modelo Conceitual, nesta etapa da Investigação Confirmatória, a própria ABNT NBR 15.515-2 e a ABNT NBR 16.210, tornando por vezes repetitiva e extensiva as orientações;
7. Um ponto positivo detectado na normativa ABNT é a existência de tópicos, recomendações e estratégias para minimizar as incertezas do processo de Investigação como, por exemplo, as estabelecidas na Tabela 3 da ABNT NBR 15.515-2:2021 para determinação das profundidades de coleta, bem como o conteúdo mínimo das Cadeias de Custódia e dos Laudos Laboratoriais;
8. De maneira análoga, para minimizar as incertezas do processo, o Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas da CETESB prevê as mesmas etapas da ABNT, entretanto, propõe como produto inicial o Plano definitivo de amostragem da etapa de Investigação Confirmatória, derivado do Plano preliminar de amostragem da etapa de Investigação Confirmatória (produzido na avaliação preliminar);
9. Em comparação do conteúdo do Relatório Técnico (ABNT) e do Relatório de Investigação Confirmatória (CETESB), verificou-se a mesma tendência dos produtos vistos na etapa de avaliação preliminar, ou seja, enquanto a Norma ABNT procura abordar de maneira dinâmica o conteúdo do Relatório (recomendando o conteúdo mínimo específico para cada

tópico a ser abordado) o Manual CETESB apresenta uma abordagem mais conceitual para cada um dos itens elencados como componentes obrigatórios do Relatório.

5.3.3 Investigação detalhada

A Investigação detalhada é a etapa consecutiva à Investigação Confirmatória, para os casos em que houve a efetiva comprovação da existência de contaminação. É abordada pela ABNT NBR 15.515-3 que se encontra em fase final de revisão pela ABNT, então, a versão adotada para o presente trabalho foi a de 2013.

Atualmente, o texto da aplicação da ABNT NBR 15.515-3 requer que se observe as normas: ABNT NBR 15.492, Sondagem de reconhecimento para fins de qualidade ambiental – Procedimento; ABNT NBR 15.495-1, Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulados – Parte 1: Projeto e construção; ABNT NBR 15.495-2, Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares – Parte 2: Desenvolvimento; ABNT NBR 15.515-1, Passivo ambiental em solo e água subterrânea – Parte 1: Avaliação preliminar; ABNT NBR 15515-2, Passivo ambiental em solo e água subterrânea – Parte 2: Investigação confirmatória. Também cita a utilização da cancelada ABNT NBR 12.069, Solo – Ensaio de penetração de cone in situ (CPT) – Método de ensaio¹;

Nessa etapa da Investigação Detalhada, a comparação entre ABNT e CETESB encontra aspecto positivo no fato de que o Manual reúne todas as orientações. Já as normas ABNT requerem a interceptação das temáticas e de suas versões. Abaixo são citadas as demais normas ABNT que se aplicam, não só na etapa de Investigação Detalhada, mas também às etapas anteriores:

- ABNT NBR 6484:2020: Solo – Sondagens de simples reconhecimentos com SPT – Método de ensaio;
- ABNT NBR 7181:2016 – Versão Corrigida 2: 2018: Solo – Análise granulométrica;
- ABNT NBR 9604:2016: Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas – Procedimento;
- ABNT NBR 9820:1997: Coleta de amostras indeformadas de solos de baixa consistência em furos de sondagem – Procedimento;

¹ Norma cancelada. Foi lançada a Norma ABNT NBR ISO 22476-12:2023: Investigação Geotécnica e Ensaio – Ensaio de Campo – Parte 12: Ensaio de penetração de cone mecânico (CPTM);

- ABNT NBR 13292:2021 - Versão Corrigida 2021: Solo – Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares à carga constante;
- ABNT NBR 15847:2010: Amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento – Métodos de purga;
- ABNT NBR 15935:2011: Investigações ambientais - Aplicação de métodos geofísicos;
- ABNT NBR 16210:2022: Modelo conceitual no gerenciamento de áreas contaminadas – Procedimento;
- ABNT NBR 16434:2015: Amostragem de resíduos sólidos, solos e sedimentos - Análise de compostos orgânicos voláteis (COV) – Procedimento;
- ABNT NBR 16435:2015: Controle da qualidade na amostragem para fins de investigação de áreas contaminadas – Procedimento; e
- ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017: Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração.

Notou-se que a ABNT manteve a abordagem das etapas anteriores, em especial ao que se refere à confecção dos relatórios, buscando uma construção orientada e encadeada das informações no documento final. Comparativamente, o Manual CETESB mantém a abordagem generalista e conceitual sobre a produção do documento final.

Porém, há de se considerar que a elaboração dos relatórios com base na orientação de conteúdo mínimos, na opção de se aplicar as normas ABNT, parte da premissa de um conhecimento aprofundado das demais normas de referência listadas no corpo das respectivas normas (ABNT 15.515 partes 1 a 3) e outras que ainda se apliquem às etapas e atividades específicas desenvolvidas.

A exemplo, um conhecimento aprofundado sobre os procedimentos para a instalação e desenvolvimento dos poços de monitoramento, é essencial para o desenvolvimento do plano de amostragem e do item respectivo no Relatório Técnico da etapa de Investigação Confirmatória.

Sobre os conteúdos técnicos, as orientações contidas nas Normas ABNT são compatíveis com as determinadas no Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas da CETESB. Pode-se afirmar que as Normas revisadas após a promulgação da DD 038/2017 trazem conteúdo derivado do Manual.

Um aspecto relevante obtido da comparação é de que o Manual CETESB apresenta uma abordagem mais didática e conceitual para consolidação das informações necessárias e para a conclusão de cada uma das etapas, consolidando as interpretações do órgão.

Esse didatismo é exemplificado pela inclusão de materiais de referência como, o verificado no item 5.5 (Relatório de Avaliação Preliminar):

“Como referência para a identificação dos principais problemas de contaminação das atividades potencialmente geradoras de áreas contaminadas, devem ser utilizados os Manuais como a coleção The Sector Notebook Series da USEPA, ou Environmental, Health, and Safety Guidelines.”

Com um enfoque menos didático e mais prático, as normas ABNT comportam-se de maneira mais dinâmica trazendo aspectos objetivos de informações a serem prestadas. Como, por exemplo a itemização recomendada para composição do documento final, observada no item 7 da ABNT NBR 15.515-1:2021 (Relatório de Avaliação Preliminar), no item 4 (Modelo Conceitual) da ABNT NBR 16.210:2022, no item 6.6 (Relatório Técnico) da ABNT NBR 15.515-2:2023 e no item 7 (Relatório) da ABNT NBR 15.515-3:2013.

No Manual, encontram-se as etapas da investigação conectadas ao sistema de classificação das áreas, bem como ao fluxograma de execução dos trabalhos. Estabelece também etapas posteriores, que devem ser realizadas a partir dos resultados obtidos, sem que seja necessária a demanda do órgão ambiental, por exemplo, o item 6.1 do Manual estabelece que:

“A execução espontânea da Investigação Confirmatória também pode ser feita pelo responsável legal, quando houver interesse em iniciar um processo de reutilização da AP, de desativação da atividade licenciada ou quando pertinente em seu sistema de gestão ambiental

...

Os responsáveis legais pelas ACI identificadas deverão executar as etapas de Investigação Detalhada (ver Capítulo 7) e Avaliação de Risco (ver Capítulo 8) independentemente de serem demandados pelo órgão ambiental gerenciador.” (CETESB, 2023).

No procedimento CETESB se destaca a necessidade de elaboração dos Planos Preliminares de Investigação para a etapa subsequente.

5.4 ELABORAÇÃO DO PROTOCOLO DE DIAGNÓSTICO

A elaboração de um protocolo de diagnóstico, a partir de roteiros de investigação permite que se forneça aos responsáveis legais e técnicos uma ferramenta que oriente a coleta de dados e informações preponderantes ao alcance dos objetivos pretendidos em cada etapa do processo de gerenciamento.

Com essa proposta, a presente pesquisa elaborou os Roteiros de Investigação para áreas atingidas por hidrocarbonetos de petróleo, adotando como pontos de partida a organização e conteúdo utilizados na composição dos Anexos VI, VII e VIII da Resolução SEDEST nº 003/2020 do Estado do Paraná, do conteúdo inicial do “Termo de referência para elaboração das etapas de relatório de passivo ambiental das etapas de avaliação preliminar e investigação confirmatória (atualização 2023)”, disponibilizado pelo Instituto Brasília Ambiental; algumas das estratégias presentes no Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas da CETESB; e o conteúdo das Normas da Associação Brasileira de Norma Técnica – ABNT, julgadas pertinentes a respectiva etapa.

O conteúdo completo dos Roteiros de Investigação é apresentado no Apêndice 1. Foram construídos visando atender ao fluxograma de gestão estabelecido no Anexo 3 da Resolução CONAMA 420/2009 que, por sua vez, se baseou nos fluxogramas abordados nas Figura 3.12 e Figura 3.13. Em sua composição foram incluídos os seguintes itens:

- **Objetivo**

Foi definido como objetivo geral dos roteiros investigar a presença de compostos de hidrocarbonetos constituintes de combustíveis líquidos em solo e em água subterrânea, promover o diagnóstico completo das contaminações e a avaliação de risco à saúde humana e ao meio ambiente, como subsídio ao processo de gerenciamento de áreas contaminadas.

- **Conceitos e Definições**

Para composição deste item foi elaborado o Anexo 01 do roteiro, que consolidou termos técnicos e definições, compilando as consideradas mais completas, a partir da revisão de legislação e normalização.

Os conceitos foram extraídos da Resolução CONAMA nº 420 de 28 de dezembro de 2009; das Normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT; da Lei nº 13.577, de 08 de julho de 2009 (do Estado de São Paulo); do Decreto nº 59.263, de 05 de junho de 2013 (do

Estado de São Paulo), da Decisão de Diretoria nº 038/2017/C, de 07 fevereiro de 2017 da CETESB.

Os conceitos foram incorporados em seu inteiro teor, quando ausentes da Resolução CONAMA 420/2009; conceitos complementares foram somados aos conceitos existentes de modo a ampliar seu escopo ou facilitar seu entendimento e conceitos de outras normas jurídicas, existentes na Resolução CONAMA 420/2009 foram adotados de forma suplementar, quando possuíam maior abrangência técnica ou menor quantidade de termos limitantes.

- **Normas e Materiais de Referência**

Nesta seção foram incluídas as Normas de Referência, em especial as Normas ABNT afetas às etapas de investigação e as ações e atividades inerentes a cada uma das etapas. Foram elencadas 27 normas ABNT, além do Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB; da Decisão de Diretoria nº 256/2016 - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB/SP; do *Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Release Sites* – American Society for Testing and Materials – ASTM - Designation: E1739 – 95 (Reapproved 2015) e referências consideradas necessárias às boas práticas no processo de investigação, conforme apontado anteriormente.

- **Âmbito da Aplicação**

Neste item foram inseridos tipos de empreendimento aos quais pode ser aplicado o protocolo, bem como as descrições de situações que configuram a necessidade de realização de investigações de passivos ambientais em áreas que armazenam, distribuem e comercializam combustíveis.

Dentre as situações destacam-se acidentes com derramamento de produtos líquidos de combustíveis; implantação de novos empreendimentos em local onde antes era desenvolvida atividade potencialmente poluidora; em situações onde o monitoramento eletrônico instalado estiver desativado/inoperante no momento da vistoria técnica realizada pelo corpo técnico do órgão ambiental; em situações onde o monitoramento eletrônico instalado detectar a ocorrência de vazamentos durante o respectivo monitoramento; em situações nas quais o monitoramento da qualidade da água de poços tubulares presentes no empreendimento, ultrapassarem os Valores de Prevenção (VP); em situações onde estiverem ausentes

equipamentos de proteção e componentes do SASC para postos Classe III (ABNT NBR 13.786, ou outra que venha sucedê-la); em situações que caracterizem área como Área Potencialmente Contaminada (AP) nos termos do item XXVI do Anexo 1 dos Roteiros; e em outras situações que produzam indícios de contaminação, nos termos do item XXIX do Anexo 1 dos Roteiros.

- **Condições Disciplinares**

Somaram-se ao conteúdo produzido, condições para elaboração e apresentação dos estudos que se traduzem em requisitos fundamentais à redução de incertezas na tomada de decisão, cujo descumprimento implica a reprovação sumária dos mesmos.

Nesse sentido destacam-se:

- o encaminhamento de relatório técnico consistente e objetivo, acompanhado da respectiva Anotação de Responsabilidade Técnica - ART de profissional legalmente habilitado, conforme disposições contidas no Roteiro de Investigação.
- a necessidade de observação dos tópicos balizadores constantes do corpo do roteiro;
- A possibilidade de reformulação dos critérios pelo órgão ambiental de acordo com o desenvolvimento científico e tecnológico e a necessidade de preservação ambiental.
- A definição de que as etapas do processo de gerenciamento de áreas contaminadas serão conduzidas pelo órgão ambiental de acordo com o Anexo 3 da Resolução CONAMA 420/2009.
- A possibilidade de comunicação, pelo órgão ambiental, aos Conselhos de Classe, toda constatação de omissão e/ou não cumprimento das diretrizes mínimas estabelecidas, que resultem em estudos desprovidos de consistência técnica, para aplicação das medidas pertinentes.
- Que a validação da qualidade e suficiência das informações prestadas deve ser realizada mediante análise, por corpo técnico habilitado do órgão ambiental, com base no cumprimento das solicitações contidas nos Roteiro de Investigação e nas Normas de Referência, aplicados na elaboração dos estudos apresentados pelos Responsáveis Legais e seus respectivos Responsáveis Técnicos; e
- Apontando situações nas quais será considerado descumprimentos do Roteiro de Investigação, sujeitos à desaprovação sumária do Estudo, entre outros, destacando:
 - a ausência de informações mínimas requeridas no Roteiro de Investigação, sem a devida justificativa técnica; ausência de Anotação de Responsabilidade

Técnica – ART, assinada por Responsável Técnico habilitado com visto profissional para atuação no Distrito Federal e cadastrado no Cadastro de Profissionais do órgão ambiental;

- a apresentação de estudos no formato de cópia reprográfica; a apresentação de estudos que contenham tabelas, gráficos, mapas e outras informações visuais ilegíveis;
- a apresentação de informações geoespaciais em desacordo com as especificações técnicas aplicáveis ou incompletos (sem todas as extensões de arquivo necessárias ao manuseio dos dados e informações, por exemplo);
- a apresentação de relatórios referentes à amostragem de água subterrânea a partir de poços de monitoramento que não sejam acompanhados do relatório do projeto e construção dos poços, relatório do desenvolvimento dos poços e do relatório de purga e amostragem;
- apresentação de resultados analíticos que não sejam acompanhados das respectivas cadeias de custódia, ficha de recebimento e dos laudos analíticos emitidos por laboratório certificado pelo INMETRO com base na Norma ABNT NBR ISO/IEC 17025; e
- a ausência de Anexos listados nos Roteiros sem a devida justificativa técnica.

- **Roteiros de Execução**

A organização das etapas de investigação que compõem os roteiros pode ser observada na Figura 5.1.

Em função de sua extensão e densidade de informações, os conceitos e definições foram incluídos como Anexo 01 do Apêndice 03.

Para cada uma das etapas de investigação (avaliação preliminar, investigação confirmatória e investigação detalhada) foram elaboradas orientações específicas procurando-se alinhar o objetivo de cada etapa e o conteúdo das Normas citadas.

O conteúdo foi padronizado e aborda orientações para realização de cada etapa, bem como o conteúdo que deve ser produzido para composição dos respectivos relatórios.



Figura 5.1. Fluxograma das etapas que compõem os roteiros.

O Roteiro traz, como orientação, o fornecimento de informações detalhadas e exaustivas sobre as etapas de investigação, como forma de que sejam fornecidos elementos suficientes que validem a qualidade dos resultados, como registros fotográficos de cada atividade realizada; informações sobre as etapas de projeto, instalação e desenvolvimento dos poços de monitoramento; relatório do processo de purga e amostragem, entre outros.

Esses documentos são solicitados, em parte, como conteúdo do relatório e em parte como anexos.

Roteiro para avaliação preliminar

A construção dos roteiros foi focada no alcance do objetivo principal de cada etapa, determinados e consolidados nas normativas pesquisadas.

O objetivo principal da etapa de avaliação preliminar é verificar a existência de evidências que comprovem ou descartem a suspeita de existência de contaminação, bem como identificar

quais a fontes potenciais e reais de contaminação, os meios que foram potencialmente afetados, os bens a proteger que estão sujeitos ao contato direto ou indireto com os contaminantes através das vias de migração e ingresso (SEDEST, 2020).

Visto tal objetivo, uma abordagem que permita o acesso dos responsáveis legais e técnicos a um maior número de informações, que reflitam o mais fidedignamente possível as condições de operação (presentes e pretéritas) do empreendimento potencialmente poluidor e o conhecimento das características geológicas e hidrogeológicas que podem influenciar na distribuição dos contaminantes em subsuperfície é essencial para o sucesso da aplicação desse Roteiro.

Foram então acrescentados links de acesso a bases de dados e informações disponibilizados por órgãos públicos, bem como definida a obrigatoriedade de acesso aos processos de regularização ambiental junto ao órgão de meio ambiente.

Logo, o conteúdo foi propositalmente construído para atender a elaboração do Modelo Conceitual da Área, estipulando o cumprimento dos itens descritos na ABNT 15.515-1:2021, acrescidos dos itens referente à etapa de Investigação Preliminar e do conteúdo da ABNT 16.210:2022, incluindo o formato de apresentação em tabela, utilizando como exemplo o modelo contido na Resolução SEDEST 003/2020.

O conteúdo do Relatório para a etapa de avaliação preliminar pode ser observado no Quadro 5.2.

Para a aplicação no Distrito Federal, houve a necessidade da verificação de existência de processo de regularização da atividade junto às Administrações Regionais (por meio de pedido de acesso à informação - Participa DF), cujo teor só pode ser acessado pelo responsável legal ou técnico. Todavia, existindo o processo, foi recomendada a consulta.

Com base na análise do estudo de caso (que será abordada adiante), quando se verificou os motivos das lacunas de informação, foram acrescentadas à etapa de Investigação Preliminar a adoção obrigatória de métodos de varredura, bem como a utilização de furo guia para a caracterização hidrogeológica local, entre outros procedimentos.

Para esta etapa também se vetou a utilização do método de determinação de VOC a partir da metodologia de *Soil Gas Survey*, uma vez que, tal metodologia apresenta muitos erros nos

resultados, seja pela ocorrência de falsos positivos, mas principalmente pela ocorrência de falsos negativos Riyis (2018).

Quadro 5.2. Conteúdo do Relatório de Avaliação Preliminar.

<p><u>RELATÓRIO DE AVALIAÇÃO PRELIMINAR</u></p> <p>a) <u>Resumo executivo</u>;</p> <p>b) <u>Introdução</u>;</p> <p>c) <u>Localização da área, identificação do empreendimento e dos responsáveis legal e técnico</u>;</p> <p>d) <u>Histórico do uso da propriedade/entorno</u></p> <p>e) <u>Contexto físico</u>;</p> <p>f) <u>Inspeção da Área e Caracterização do Empreendimento</u>;</p> <p>g) <u>Modelo conceitual</u></p> <p>h) <u>Conclusões e recomendações</u></p> <p>i) <u>Referências</u>;</p> <p>j) <u>Qualificação e assinatura do(s) profissional(is) responsável(is)</u>.</p> <p><u>Anexos</u></p> <p>i) Mapas da área e entorno;</p> <p>ii) Planta ou croqui da área;</p> <p>iii) Relatório de Vistoria e Ficha de Inspeção nos termos do Anexo 02;</p> <p>iv) Registro documental (imagens e fotos aéreas, plantas baixas e de utilidades da área etc.);</p> <p>v) Licenças, permissões, autorizações e outorgas pertinentes;</p> <p>vi) Estudos ambientais anteriores e/ou complementares, incluindo os relativos à aplicação de métodos de varredura;</p> <p>vii) Outros documentos relevantes;</p> <p>viii) Declaração de responsabilidade nos termos do Anexo 03; e</p> <p>ix) Anotação de responsabilidade técnica (ART).</p>

Ambas as determinações expressas nos Roteiros também acompanham a determinação do Termo de Referência disponibilizado na página do órgão ambiental distrital.

Planos Preliminares de Investigação Confirmatória e Detalhada

Adicionais aos Roteiros referentes à elaboração dos respectivos relatórios de etapas, foram confeccionados roteiros voltados à elaboração de produtos preliminares, denominados Planos Preliminares de Amostragem, conforme procedimentos adotados pelo Estados de São Paulo e Paraná.

Tais orientações têm como objetivo implementar etapas intermediárias entre as investigações com foco na validação prévia do trabalho a ser realizado, evitando-se ou diminuindo a necessidade de exigência de complementação de escopo pelo órgão ambiental após a finalização da etapa de investigação.

Assim, previamente à realização da etapa de Investigação Confirmatória e Detalhada, a aplicação dos Roteiros promove a inclusão dos respectivos, Planos Preliminares de Amostragem que, além dos objetivos já descritos, buscam acrescentar ao processo aspectos da investigação de alta resolução, bem como promover a descontinuidade de práticas não conformes, que atualmente agrega incertezas aos resultados dessa etapa.

Os itens que compõem os planos podem ser observados no Quadro 5.3.

Dentre as soluções técnicas escolhidas para os Roteiros, especial destaque se dá ao abandono da coleta de amostras a partir de sondagens rotativas e determinação do uso de métodos de sondagem de cravação contínua, uma vez que esses últimos são os que permitem a coleta de amostra conservativa, com mais certeza da profundidade de interesse, sem a mistura de solos de camadas diferentes, e ainda são realizadas através de *liners*, que reduzem a perda de voláteis durante o processo de sondagem.

Quadro 5.3. Itens que compõem os Planos Preliminares de Amostragem.

<u>PLANO PRELIMINAR DE AMOSTRAGEM PARA INVESTIGAÇÃO CONFIRMATÓRIA</u>
a) <u>Meios a serem amostrados</u>
b) <u>Distribuição dos pontos de amostragem e design amostral</u>
c) <u>Determinação das substâncias químicas de interesse a serem analisadas</u>
d) <u>Determinação do número de campanhas de amostragem</u>
e) <u>Técnicas de amostragem e realização de análises químicas</u>

As implicações das sondagens conservativas aparecem como condição implícita à aplicação da norma ABNT NBR 16.434:2015, uma vez que, todo o processo de pré-seleção de amostras descrito, é feito diretamente no *liner* ou em amostra dele proveniente. Além disso, acrescenta a necessidade da descrição de métodos de seleção de amostras baseados nas respectivas normas ABNT, incluindo a adoção de técnicas complementares de investigação (Tabela 3 da ABNT NBR 15.515-2:2023).

A adoção de práticas inerentes à investigação de alta resolução abordadas nos trabalhos de Riyis, M. T. (2019) e Riyis, M. T. *et al.* (2019a) e também nas orientações do Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas da CETESB, como o uso da Amostragem de Solo Perfil Completo - ASPC e dos processos de varredura e triagem neles descritos e abordados na revisão bibliográfica desta pesquisa, também são contemplados e significam uma

modernização para maior assertividade dos resultados e, conseqüentemente, das ações corretivas baseadas no risco.

Como por exemplo, o aprofundamento da coleta de amostras na zona saturada permitirá avaliar a ocorrência do processo de trapeamento do LNAPL, em razão da forte sazonalidade do Distrito Federal, conforme processo ilustrado na Figura 3.10. Modelo conceitual mostrando os processos de mobilização e transformação do LNAPL em um local contaminado durante as flutuações do lençol freático- Fonte: Cavelan *et al.* (2022).Figura 3.10.

Alia-se, oportunamente, o uso na caixa de luz UV-A e Varredura Vertical de VOC com Aquecimento em Campo (VAVAC) e aos critérios de seleção de amostras de solo da ABNT 16.434:2015, os quais promovem a seleção de amostras mais representativas e maiores possibilidades de confirmação adequada da contaminação. A descrição detalhada a partir de sondagens revestidas permitirá a melhor identificação das unidades hidroestratigráficas.

Os Roteiros para os Planos Preliminares de Amostragem determinam, ainda, a apresentação de informações prévias sobre as atividades a serem realizadas, seguindo abordagem metodológica da CETESB e da Resolução SEDEST 003/2020, que visam reduzir as solicitações de complementação de campanhas de investigação, conjuntamente com a convalidação do plano de amostragem pelo órgão ambiental.

Roteiro para Investigação Confirmatória

O Roteiro aborda a realização da etapa confirmatória a partir da conformação do Relatório de Investigação Confirmatória, baseando-se na organização de conteúdo determinado na Norma ABNT NBR 15.515-2:2023, acrescido das disposições obrigatórias e necessárias ao cumprimento desta etapa, considerando os demais materiais de referência utilizados.

O objetivo principal desta etapa é promover um escopo de amostragem dos compartimentos ambientais orientado pela disposição das fontes primárias (ativas ou não) que permitam a identificação da existência dos contaminantes de interesse ou que seja executado de tal forma que haja evidências suficientes para a eliminação das suspeitas de contaminação.

Os itens que compõem o relatório desta etapa de investigação estão exemplificados no Quadro 5.4.

Quadro 5.4. Itens que compõem o Relatório de Investigação Confirmatória.

<p><u>RELATÓRIO DE INVESTIGAÇÃO CONFIRMATÓRIA</u></p> <ul style="list-style-type: none">a) <u>Resumo executivo</u>b) <u>Introdução</u>c) <u>Histórico</u>d) <u>Objetivo e escopo</u>e) <u>Limitações da metodologia adotada;</u>f) <u>Localização da área, identificação do empreendimento e dos responsáveis legal e técnico</u>g) <u>Contexto geográfico</u>h) <u>Uso e ocupação do solo</u>i) <u>Contexto geológico e hidrogeológico</u>j) <u>Plano Definitivo de Amostragem para Investigação Confirmatória</u>k) <u>Descrição das atividades realizadas (sondagens, poços, amostragem, ensaios e análises) e metodologias aplicadas</u>l) <u>Apresentação e discussão de informações obtidas e resultados de análises e ensaios (mapa potenciométrico, tabelas e figuras de resultados)</u>m) <u>Modelo conceitual atualizado</u>n) <u>Discussão de incertezas</u>o) <u>Conclusões e recomendações</u>p) <u>Ações necessárias para gerenciamento de risco ou monitoramento</u>q) <u>Referências técnicas e bibliográficas</u>r) <u>Qualificação e assinatura do profissional responsável</u> <p><u>Anexos</u></p> <ul style="list-style-type: none">i) Planta da área, indicando no mínimo a localização das atividades realizadas, as fontes investigadas, as edificações existentes e os bens a serem protegidos;ii) Relatório de Vistoria e Ficha de Inspeção nos termos do Anexo 02;iii) Registro fotográfico da investigação;iv) Boletins de sondagens de solo e perfis litológicos-constructivos de poços de monitoramento;v) Levantamento topográfico de pontos de amostragem, sondagens e poços de monitoramento;vi) Boletins de amostragem de solo, águas subterrâneas ou demais meios amostrados;vii) Laudos analíticos com cadeia de custódia;viii) Certificados de calibração dos instrumentos de medição em campo;ix) Anotação de responsabilidade técnica (ART);x) Declaração de responsabilidade nos termos do Anexo 03; exi) Plano Preliminar de Amostragem para Investigação Detalhada.
--

Para o Roteiro foi utilizada uma abordagem que permita a construção de um Modelo Conceitual que garanta o desenvolvimento do escopo de amostragem e design amostral orientado para contemplar as áreas fontes e fontes potenciais.

Adicionando a caracterização geológica e hidrogeológica robusta e em escala adequada, que permita a criação de modelos orientados à definição de unidades hidroestratigráficas a partir de aspectos associados à migração e armazenamento de contaminantes.

Além disso, foca em conectar o conteúdo desta etapa ao apresentado no Plano Preliminar de Amostragem para Investigação Confirmatória ao conteúdo do Relatório de Investigação

exigindo, por vezes, que informações prestadas naquele, sejam atualizadas ou complementadas.

Como, por exemplo, a atualização e validação do Modelo Conceitual e da elaboração do Plano Definitivo de Amostragem para Investigação Confirmatória, exigidos como item do Relatório. A mesma lógica se aplica ao Plano Preliminar de Amostragem para a Investigação Detalhada e ao Relatório de Investigação Detalhada.

Roteiro para Investigação Detalhada

Para a etapa de Investigação Detalhada, as orientações buscam garantir o mapeamento das plumas nos planos vertical e horizontal com base nos modelos geológico e hidrogeológico. Os itens que compõem o Relatório de Investigação Detalhada podem ser observados no Quadro 5.5.

Nesse sentido, a metodologia de Avaliação de Solo de Perfil Completo - ASPC orienta a coleta de amostras indeformadas em profundidade, e de coleta de amostras para análises químicas e físicas após a aplicação dos métodos de triagem.

Essa abordagem permite que os resultados dos parâmetros físicos sejam mais condizentes com os da Unidade Hidroestratigráfica - UH, bem como valores de concentrações das SQI mais fidedignos, proporcionando a delimitação mais exata da contaminação e melhorando a resposta da modelagem preditiva a partir dos parâmetros sensíveis. Garantindo que o processo de modelagem possua menos incertezas e uma avaliação de risco mais assertiva.

Quadro 5.5. Itens do Relatório de Investigação Detalhada.

RELATÓRIO DE INVESTIGAÇÃO DETALHADA

- a) Resumo executivo
- b) Introdução
- c) Histórico da área e das atividades realizadas
- d) Objetivo e escopo
- e) Localização da área
- f) Caracterização do entorno
- g) Caracterização geológica/hidrogeológica
- h) Plano Definitivo de Amostragem para Investigação Detalhada
- i) Metodologias e descrições detalhadas das atividades realizadas
- j) Limitações da metodologia adotada, garantia e controle da qualidade e avaliação de incertezas
- k) Apresentação e discussão de informações obtidas e resultados
- l) Representação gráfica das informações e dos resultados

- m) Modelo conceitual atualizado
- n) Conclusões e recomendações
- p) Referências técnicas e bibliográficas
- q) Equipe técnica, qualificação e assinatura do(s) profissional(is) responsável(is)

Anexos

- i) Relatório de Vistoria e Ficha de Inspeção nos termos do Anexo 02;
- ii) Registro fotográfico da investigação;
- iii) Boletins de sondagens de solo e perfis litológico-constructivos de poços de monitoramento;
- iv) Boletins de amostragem de solo, águas subterrâneas ou demais meios amostrados;
- v) Boletins de ensaios hidrogeológicos e interpretações;
- vi) Levantamento topográfico georreferenciado de pontos de amostragem, sondagens e poços de monitoramento;
- vii) Resultados de testes e medições em campo;
- viii) Protocolo de recebimento, cadeia de custódia de amostras, boletins, laudos ou relatórios de ensaios analíticos;
- ix) Certificados de calibração dos instrumentos de medição em campo;
- x) Representação (*prints*) das telas do software utilizado na modelagem de progressão das plumas;
- xi) Anotação de responsabilidade técnica (ART); e
- xii) Declaração de responsabilidade nos termos do Anexo 03.

De forma complementar, para todas as etapas que envolvem amostragem e análises químicas, foram exigidas informações sobre práticas que garantem a qualidade do processo de seleção, coleta, e preservação de amostras, como o conteúdo mínimo para cadeias de custódia e laudos analíticos, bem como a exigência de acreditação de laboratórios junto ao INMETRO com base nas Normas ABNT NBR 16.435:2015 e ABNT ISO/IEC 17025. Essa exigência garante que as amostras cheguem aos laboratórios com maior capacidade de promover análises de qualidade.

Roteiro para avaliação de risco

Nos Roteiros, foram listadas condições para realização da avaliação de risco com base nas etapas de desenvolvimento previstas na ABNT 16.209:2013.

A composição dos itens do relatório da etapa de avaliação de risco pode ser observada no Quadro 5.6.

Quadro 5.6. Itens do Relatório da avaliação de risco.

RELATÓRIO DE AVALIAÇÃO DE RISCO

- a) Coleta, avaliação e validação de dados
- b) Avaliação de exposição
- c) Análise de toxicidade
- d) Caracterização do risco
- e) Análise de incertezas

Contemplou-se no Roteiro, a possibilidade de utilização das Planilhas de Avaliação de Risco da CETESB, reiterando os Níveis Toleráveis de Risco à Saúde Humana, determinados pela Resolução CONAMA 420/2009, incluindo o risco cumulativo.

Definiu-se como procedimento para a avaliação de risco ecológico o estipulado pela Norma Técnica P4.001/2022 da CETESB, uma vez que esta norma é a única elaborada em âmbito nacional que estabelece procedimentos para avaliação de risco associado a outros bens a proteger que não a saúde humana, no país.

Acrescentou, também, as regras para a apresentação e validação (justificativa) das informações utilizadas na etapa de avaliação de risco e dela resultantes, incluindo a reprodução de todas as telas e abas de planilhas e softwares utilizados no processo.

Esses procedimentos visam impedir a utilização de parâmetros e cenários não alinhados com o MCA e com os resultados de análises realizadas, dificultando manobras que visam reduzir os níveis de risco calculados.

Adicionalmente foram inseridas condições de apresentação de informações espaciais como mapas, croquis e dados geoespaciais, incluindo exigências quanto ao conteúdo, escala, formato de arquivos digitais, assim como regras para apresentação do Relatório de Vistoria e da ficha de inspeção da área investigada.

Esses requisitos aderem fidedignidade ao Modelo Conceitual da área, permite também, que o órgão ambiental possa reunir dados e produzir informações adicionais pertinentes à tomada de decisão sobre o gerenciamento da contaminação, podendo aplicá-las a outros estudos, como mapeamentos de vulnerabilidade à contaminação e sensibilidade ambiental.

As orientações inseridas no “Roteiro para a Avaliação de Risco” foram elaboradas com a finalidade de permitir a rastreabilidade e a confiabilidade dos parâmetros utilizados para a determinação dos riscos. Tal feito é alcançado como consequência das exigências e recomendações elaboradas para as etapas de investigação e diagnóstico da contaminação e da

construção e atualização incremental do Modelo Conceitual da Área, que dará origem ao Modelo Conceitual de Exposição.

No atendimento das ações presentes no Roteiro, expressa-se a necessidade da apresentação integral e tecnicamente justificada dos parâmetros de interesse e dos memoriais de cálculo da avaliação de risco, assim o mesmo contribuirá para o aprimoramento das avaliações apresentadas.

Documentos Complementares (Anexos)

Conforme se observa nos Quadro 5.2, Quadro 5.4 e Quadro 5.5 foram elaborados documentos complementares (incluídos como anexos dos relatórios), que tem como função especificar a forma de coleta e apresentação de informações (roteiro para inspeção da área e relatório fotográfico – Anexo 02 dos roteiros).

Foi acrescentada ao procedimento de gerenciamento uma orientação a respeito do preenchimento e assinatura da declaração de responsabilidade sobre as informações prestadas. Essa ferramenta é comum aos procedimentos da CETESB e do Instituto Água e Terra - IAT, e tem o enfoque de garantir que todos os envolvidos se apoderem das informações prestadas ao órgão ambiental, facilitando a condução do processo e eventual responsabilização por conduta lesiva ao meio ambiente.

Fluxograma de processo para aplicação do Roteiro

Para a oficialização na administração pública, é necessário que os roteiros sejam integrados a um fluxo de processos que contemple a avaliação e convalidação dos estudos, considerando: os aspectos apontados na revisão bibliográfica como, por exemplo, o fluxograma das ACBR apresentado na Figura 3.13; o fluxograma apresentado no Anexo 3 da Resolução CONAMA 420/2009; os resultados das análises frente aos níveis de triagem e concentrações máximas aceitáveis CMA (SSTL) e os processos de checagem e validação dos documentos acessórios como cadeias de custódia, laudos laboratoriais, entre outros.

A Figura 5.2 apresenta uma proposta de fluxograma que define a sequência de ações entre responsável técnico e órgão ambiental.

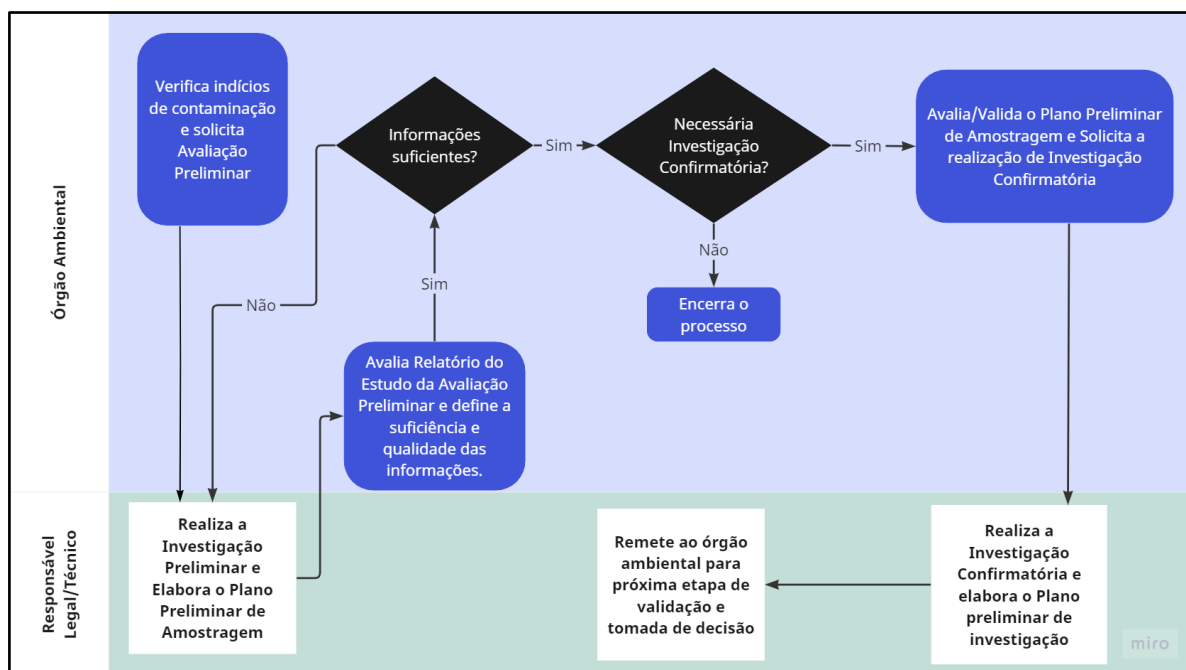


Figura 5.2. Fluxograma da interação órgão ambiental e responsável técnico no GAC.

O fluxograma ilustra as etapas de avaliação preliminar e investigação confirmatória, e mostra como o processo é cíclico e o avanço é progressivo nas próximas etapas do processo de gerenciamento.

Verifica-se, no fluxo, que o órgão ambiental decide, em cada etapa, sobre dois aspectos; a qualidade e suficiência de informações. E, a partir destas, sobre a necessidade da continuidade do processo.

Esse fluxograma pressupõe a capacidade do ente público em gerir a demanda de processos, previamente ao desenvolvimento das etapas de investigação.

O estudo da legislação de outros estados demonstrou que, como alternativa, o ente público pode estender aos responsáveis legal e técnico a obrigação da continuidade do processo, independentemente de sua avaliação contemporânea.

A Resolução SEDEST nº 003/2020 do Estado do Paraná, por exemplo, determina intervalos fixos de tempo para realização e conclusão das etapas de investigação e diagnóstico das contaminações, bem como para o início e término de ações emergenciais para remoção de fase livre de produto.

Diferente do procedimento SEDEST, o fluxograma de processo apresentado como complemento aos roteiros e o Protocolo de Diagnóstico, não definem prazos para a realização

das etapas e entrega dos relatórios, uma vez que essa opção deve avaliar especificidades do órgão ambiental.

Além disso, as etapas de validação e suficiência de informações poderão ser implementadas a partir do desenvolvimento de ferramentas de análise como listas de verificação, documentos modelos, entre outros, que podem ser desenvolvidos a partir dos roteiros propostos.

Uma análise comparativa entre os procedimentos CETESB e SEDEST mostra que o segundo baseou-se no primeiro, incorporando as especificidades regionais e do processo de licenciamento ambiental à metodologia de gerenciamento de áreas contaminadas.

Além disso, ao contrário do procedimento CETESB que é mais abrangente, o procedimento SEDEST pode ser considerado mais restritivo e impositivo quanto ao conteúdo mínimo a ser apresentado, muito em razão de ter sido construído para uma atividade específica, no caso, postos de combustíveis e afins.

Ambos os procedimentos são bastante completos e avançados quanto à estratégia de garantia da aquisição de informações confiáveis para o processo de gerenciamento de áreas contaminadas, configurando-se como bases para a elaboração do Protocolo de Diagnóstico.

Conforme se pôde observar durante a construção dos roteiros, o Protocolo de Diagnóstico proposto extrai dos procedimentos CETESB, SEDEST, das Normas ABNT e das bibliografias de referência, as melhores práticas existentes para a realização de investigação de alta resolução aplicadas no Brasil.

Além disso, avança no que foi proposto pelo procedimento SEDEST, ao vedar a utilização de técnicas que apresentam resultados com alto nível de incerteza, além de incorporar condições de realização a apresentação de estudos que podem gerar a nulidade dos estudos o que acarreta em economia de tempo e esforços ao órgão ambiental, na análise processual.

O Protocolo de Diagnóstico proposto apresenta um conteúdo mais completo que o procedimento SEDEST, pois incorpora a apresentação obrigatória de informações sobre as atividades que compõem a investigação (projeto e execução de poços de monitoramento, coleta, conservação e envio de amostras, conteúdo de cadeias de custódia e laudos analíticos) que foram trazidos em detalhes para a composição dos relatórios das etapas.

Essa abordagem permite que a verificação do cumprimento das condições de execução sejam avaliadas em maior nível de detalhe garantindo a qualidade do trabalho realizado; reduzindo a

incerteza sobre os resultados alcançados e fornecendo maiores subsídios para a tomada de decisão. Complementarmente, inclui a utilização de metodologias de triagem de amostras para a investigação de solo propostas nos trabalhos de Riyis (2019), Riyis *et al.* (2019a) e Riyis *et al.* (2019b) que se traduzem em técnicas acessíveis aplicáveis ao cenário do Distrito Federal.

A partir da elaboração dos Roteiros, eles foram aplicados ao estudo de caso já especificado, a fim de se avaliar sua efetividade no aprimoramento da coleta de dados e produção de informação, conforme metodologia apresentada.

5.5 ESTUDO DE CASO

A área escolhida para estudo de caso está contaminada por hidrocarbonetos de petróleo, onde funciona um posto revendedor de combustível denominado Autoposto Morada dos Nobres (antigo Auto Posto Brazuca). O empreendimento está localizado na Rodovia BR 020, km 2.2, na Região Administrativa de Sobradinho - RA-V, Distrito Federal (Figura 4.3).

As características da área apontam uma ocupação mista entre áreas urbanas residenciais e comerciais, mas ainda com a presença de áreas rurais adjacentes. Os dados de classificação quanto ao zoneamento urbano, hidrografia e hidrogeologia estão consolidados no Apêndice 02.

A partir da análise dos autos dos processos administrativos verifica-se que foram produzidos 138 (cento trinta e oito) documentos, distribuídos em 34 (trinta e quatro) volumes de processo, entre estudos de diagnóstico da contaminação, projetos de remediação, relatórios de operação de sistemas de remediação, relatórios de monitoramento, manifestações técnicas, relatórios de vistoria, licenças ambientais, entre outros. Essa listagem está disponível no Apêndice 02, bem como a cronologia e características importantes de seus conteúdos.



Figura 5.3. Localização da área do estudo de caso. Fonte: *Google Earth Pro*.

Do ponto de vista administrativo, todos os estudos apresentados pelo empreendedor demonstram que, a partir de 2013, há uma lacuna de conhecimentos do órgão ambiental e dos responsáveis técnicos com relação aos estudos realizados, que são citados a partir dessa data, porém não constam nos autos do processo. É o caso das considerações replicadas do Estudo da empresa BfU do Brasil, realizado em 2017, com seu Relatório emitido em 2019.

Cabe destaque à ausência de informações sobre a realização das investigações a partir de 2014, uma vez que as mesmas foram demandadas após o piloto de remediação por meio da técnica *Electrical Resistance Heating* - ERH², em 2013, o qual recomendava o detalhamento da contaminação, incluindo a realização das ações propostas no Plano de Intervenção.

Através das referências pode-se identificar que não houve anexação aos autos dos processos de pelo menos 05 (cinco) dos estudos imprescindíveis para o entendimento dos trabalhos desenvolvidos no local, em especial os listados no Relatório emitido pela empresa BfU datado de abril de 2019, sendo eles:

- Relatório de Diagnóstico Ambiental Complementar - emitido em agosto de 2012, pela empresa FullGeo;

² *Electrical Resistance Heating* – ERH: consiste no aquecimento de condutores (barras metálicas) em contato com a contaminação favorecendo a degradação do contaminante a partir de seu aquecimento.

- Relatório de Investigação Detalhada e Elaboração de Plano de Intervenção - emitido em outubro de 2014, pela empresa FullGeo;
- Relatório de Monitoramento Hidroquímico - emitido em outubro de 2014, pela empresa FullGeo;
- Relatório de Investigação Ambiental - emitido em junho de 2015, pela empresa BfU; e
- Relatório de Investigação Ambiental - emitido em dezembro de 2015 pela empresa BfU.

Além destes, outros estudos utilizados como base para o desenvolvimento dos trabalhos de Távora (2010), também não foram encontrados nos processos fornecidos, quais sejam:

- Petrobrás (2003a). Caracterização hidrogeológica ambiental do aquífero subterrâneo profundo, na região do posto Brazuca, localizado na Rodovia BR-020, km 2,2, cidade de Sobradinho, Brasília, Distrito Federal; e
- Petrobrás (2003b). Relatório de diagnóstico ambiental - Técnicas GPR (2D e 3D) - Tomografia elétrica - Perfilagem de poços - sondagens - Análises geoquímicas e Hidrogeológicas.

Segundo Távora (2010) o estudo da Petrobrás (2003a) apresentava, inclusive, uma modelagem computacional da contaminação naquela área. Além de uma caracterização hidrogeológica contendo 11 (onze) camadas distintas com suas respectivas condutividades hidráulicas.

Nesse sentido, foram estabelecidas nos roteiros, as condições para o desencadeamento das etapas consecutivas de investigação e a necessidade e dos Planos Preliminares de Amostragem que somadas a proposição de um fluxo de processos (Figura 5.2) que determine a avaliação destes produtos preliminares; aprimoram a interlocução entre as partes envolvidas no processo de gerenciamento, resultando num acompanhamento contemporâneo das ações, permitindo que lacunas, como as citadas, sejam dirimidas ou evitadas.

Passando às investigações realizadas e constantes nos processos administrativos, observou-se que os trabalhos de investigação e intervenção no empreendimento foram iniciados após denúncias de moradores de algumas chácaras, localizadas nas áreas limítrofes ao Auto Posto Brazuca, abordado por esse estudo de caso, que notaram odores e manifestarem sintomas de exposição à ingestão e contato dérmico de águas com combustível, que estavam chegando à propriedade através dos sistemas de captação e distribuição de água local - poços, caixas d'água e torneiras- de suas residências.

Com a popularização e vinculação desse caso na mídia, uma investigação foi iniciada no dia 19/05/2002, com a instalação de poços de monitoramento, mediante solicitação da Polícia Civil em função das denúncias. Porém, já havia sido constatado pelo IBAMA o lançamento irregular dos efluentes do posto sem pré-tratamento por SAO, e registros de cheiro e gosto de combustível na água de uma das chácaras.

Além disso, com o início das investigações, foram detectados em quatro avaliações de integridade seguidas realizadas nas estruturas de armazenamento (entre 22/03/2002 e 30/05/2002), vazamentos em linhas de distribuição e linhas de respiro do Sistema de Armazenamento Subterrâneo de Combustíveis - SASC.

Assim, a ausência de equipamentos de proteção (câmaras de contenção nas descargas e bombas etc.), não-estanqueidade nas linhas de distribuição do sistema de armazenamento de combustíveis, ausência de estruturas para recebimento, coleta e separação do óleo proveniente das falhas operacionais pela ausência do Sistema de Drenagem Oleosa e dos Sistemas Separadores de Água e Óleo – SSAO se configuravam como fontes ativas de contaminação e resultaram no incremento da fase livre, bem como no processo retroalimentado da contaminação.

Essa situação fez com que as ações para enfrentamento da situação tivessem o caráter de medidas emergenciais, típicas de situações de perigo. Dessa forma, durante os primeiros meses de intervenção foram realizados bombeamentos para remoção da fase livre nos poços de monitoramento instalados, mas ainda persistiam fontes primárias e ativas de contaminação.

Nesse sentido, a aplicação de medidas emergenciais deve ser conduzida em conjunto com as ações de investigação, que serão responsáveis pela determinação do tipo e extensão das intervenções, que incluem a necessidade de eliminação das fontes ativas primárias e secundárias.

A avaliação dos autos do processo revelou que a substituição do Sistema de Armazenamento foi realizada tempos depois do início do processo de intervenção em conjunto com a remoção de solo contaminado, entretanto, sem que houvesse o mapeamento da extensão da pluma em fase retida de solo contaminado e o risco associado à sua existência. Esse tipo de intervenção gera incerteza sobre a extensão e volume da fonte secundária removida e seu impacto na persistência da contaminação em fase dissolvida.

Em contextos semelhantes, a utilização dos Roteiros permitirá que a aplicação de medidas emergenciais, quando necessárias, seja acompanhada ou precedida pelo processo de investigação, uma vez que foram estabelecidas as condições para seu o início, no item “ÂMBITO DA APLICAÇÃO”.

Além disso, os roteiros estabelecem as condições para o avanço de etapas até a realização da avaliação de risco, que deve fundamentar a escolha das intervenções, conforme metodologia ACBR.

Constatou-se, também, que a continuidade das estratégias e procedimentos adotados se deu de forma contínua até 2008. Nesse período, as avaliações do órgão ambiental, corroboravam a atuação dos responsáveis técnicos e legais, todavia se baseavam somente nos resultados dos estudos apresentados, sem avaliar pormenores técnicos sobre os procedimentos adotados para realização dos mesmos.

As falhas da não determinação explícita de procedimentos técnicos pelos relatórios levantam questões como: se houve as substituições de poços, quais as metodologias de sondagem, amostragem, instalação de poços de monitoramento, entre outros aspectos, que deveriam ter sido utilizados para avaliar, e se estavam de acordo com as normas vigentes à época.

Nesse sentido a determinação, pelos roteiros, de um conteúdo a ser apresentado nos relatórios, associado às condições disciplinares estabelecidas; impactam na condução do processo de elaboração dos estudos e de avaliação pelo órgão ambiental, evitando que tais cenários se desenvolvam.

Em todos os levantamentos protocolados verificou-se a ausência de discussões acerca da construção e aprimoramento do Modelo Conceitual da Área, bem como não foram localizadas informações sobre a utilização de técnicas mais avançadas para delimitação das plumas de contaminação.

Nesse sentido a exigência, nos roteiros, da construção do Modelo Conceitual na etapa de avaliação preliminar e seu aprimoramento durante as etapas de investigação confirmatória e investigação detalhada, com a exigência da coleta de dados existentes sobre o histórico operacional e histórico do processo de licenciamento (exigidos, por exemplo, no item “d” do Relatório de Avaliação Preliminar), auxiliariam para que essas informações não fossem negligenciadas.

Além disso, acerca do mapeamento do ambiente e do diagnóstico da contaminação; os procedimentos não contavam com informações sobre a extensão das plumas e as características hidrogeológicas, pois houve um lapso temporal para se obter as primeiras delimitações.

Não se observaram esforços na determinação dos perfis hidroestratigráficos e delimitação das unidades hidroestratigráficas, resultando em relatórios sem discussões pertinentes e apropriadas sobre o modelo das unidades de fluxo e de retenção de contaminantes.

Problemas técnicos críticos foram encontrados:

- A inexistência de informações sobre o perfil construtivo da maioria dos poços;
- Ausência da descrição das técnicas de sondagens utilizadas;
- Falta de fonte e descrição de procedimento de obtenção da estratigrafia encontrada;
- Falta de informações a respeito das características e da posição da seção filtrante em relação comportamento do nível do aquífero (“afogamento”);
- Não correlação dos resultados com as unidades hidroestratigráficas, agregando incertezas aos dados analíticos apresentados sendo, inclusive, passíveis de invalidação;
- A ausência de informações básicas deixando sem validação o modelo hidrogeológico, mapa potenciométrico, entre outros produtos que são preponderantes ao processo de tomada de decisão.

O impacto mais negativo dessa situação é que os estudos mais recentes continuaram a utilizar dados dos estudos anteriores, sem fazer uma análise crítica da representatividade e qualidade das informações usadas.

O último documento da investigação da contaminação do Posto Brazuca trata-se de um atendimento à complementação de informações, e é denominado Relatório de Investigação Ambiental Complementar, datado de abril de 2019, elaborado pela empresa BfU do Brasil (contidos nos autos do processo 00391-00001014/2020-18).

Este Estudo é o mais recente nos autos do processo e prestou-se a desenvolver uma investigação complementar a partir da realização das seguintes atividades:

1. A caracterização do posto e das cercanias, com avaliação dos potenciais poluidores e possíveis receptores sensíveis, em um raio de 100 m, a partir do perímetro do posto;
2. A execução de 06 (seis) sondagens, com medições de VOC ao longo da perfuração, para caracterização do solo local e coleta de amostras para análises químicas de Benzeno,

Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos (BTEX) e Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (PAH);

3. A instalação de 06 (seis) poços de monitoramento, para Monitoramento do nível d'água e de fase livre, medições de Compostos Orgânicos Voláteis (VOC) e profundidade dos poços de monitoramento existentes, dado que não tinham acesso aos perfis construtivos;
4. Coleta de 40 (quarenta) amostras de água subterrânea para análises químicas de BTEX e PAH.

Porém, o que se observou foi que na caracterização do entorno do empreendimento o Relatório limitou-se a um raio de apenas 100 (cem) metros. Essa distância não é suficiente para cobrir a extensão das chácaras vizinhas, nem tão pouco atende a determinação do raio de 250 (duzentos e cinquenta) metros contidos nas normativas ABNT e também adotada nos Roteiros. Fato que implicou no pouco entendimento do uso e ocupação do entorno e dos possíveis receptores atingidos.

No que se refere à caracterização do entorno, as informações apresentadas sobre os poços de abastecimento das áreas vizinhas foram genéricas. O Relatório não resgatou o histórico georreferenciado dessas áreas de entorno, somente do poço contido no empreendimento. Com a utilização dos Roteiros tal apresentação seria garantida com a informação essencial na construção do Modelo Conceitual da Área - MCA.

Sob o mesmo tópico, tem-se que no Relatório Fotográfico e na descrição da inspeção não foram apresentados detalhes de infraestruturas importantes, tais como: canaletas do Sistema de Drenagem Oleosa da área de troca de óleo, placas de identificação dos tanques, estado de conservação das câmaras de calçada e câmaras de contenção de tanques, descargas e bombas.

Também não houve o relato de situações de perigo ilustradas no Relatório Fotográfico apresentado, por exemplo, não há texto comentando a foto das manchas de combustível em piso semipermeável (constituído de paralelepípedos) ao lado da descarga de combustíveis, clara evidência de indícios de contaminação.

A exploração ampla das informações da ferramenta de relatório fotográfico foi um ponto importante para elaboração dos Roteiros, com a inclusão da necessidade de apresentação detalhada de itens fotografados e da discussão sobre a existência de condições e situações que caracterizem indícios de contaminação.

Passando à análise das atividades realizadas nas etapas consequentes (etapas 02, 03 e 04), verificou-se que as sondagens foram feitas com utilização de trado mecanizado de 4 polegadas o que já agrega incerteza, pois a metodologia de sondagem não é a adequada.

Observou-se que esta etapa da investigação não seguiu a série de Normas ABNT 15.515 nem a ABNT 16.434 já disponíveis na época da realização do estudo.

Pelo Relatório verifica-se que não foram adotadas as normas ABNT 15.515, nem a ABNT 16.434, já disponíveis na época de sua realização. O Relatório considera procedimentos operacionais próprios para sondagem e coleta de amostras, que teoricamente se derivariam das normas ABNT, como segue:

- Alegou-se que o procedimento de sondagem executado considerou as ABNT NBR 9603:1986, mesmo tal normas sendo obsoletas e inadequadas, ou seja, a ABNT NBR 9603:1986 já possuía uma edição revisada em 2015, e atualmente vigora a edição 2023, além de não ser compatível com a fase da investigação, pois o objetivo dessa norma é a coleta de amostras deformadas, para determinação do nível d'água e identificação preliminar das camadas de solo por meio de trado;
- Afirmaram que a instalação do poço de monitoramento foi realizada de acordo com a Instrução Técnica da BfU IT-01 Rev. 03 – Construção de Poços de Monitoramento (2010), que supostamente teria sido elaborada com base na ABNT NBR 15495- 1:2007 – Poços de Monitoramento de Águas Subterrâneas em Aquíferos Granulares – Parte 1 – Projeto e Construção e ABNT NBR 15495-1:2007 – Poços de Monitoramento de Águas Subterrâneas em Aquíferos Granulares – Parte 2 – Desenvolvimento, porém os pormenores dessa instalação não constam no Relatório;
- Relatam que o procedimento de amostragem por baixa vazão foi realizado de acordo com a Instrução Técnica da BfU IT-26 Rev.0 – Amostragem de Água Subterrânea por Método de Baixa Vazão (2013), que supostamente foi elaborada com base na ABNT NBR 15847:2010 – Amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento: métodos de purga, porém não houve comprovação da adoção dessa prática;
- A mesma falta de comprovação de atendimento às normativas ocorre quando, no Relatório, é apenas citado que a operação do equipamento de purga de baixa vazão seguiu as orientações descritas na Instrução Técnica da BfU IT-25 Rev.0 – Operação, Manutenção e Calibração do Medidor Multiparâmetro HI 9828 (2012) mas não houve descrição do passo a passo. Semelhante ao caso do procedimento de acondicionamento e preservação de

amostras, que teria sido realizado de acordo com Manual de Coleta e Preservação (VA-39) do Laboratório Görtler, mas também não anexado na apresentação.

Os esforços empenhados na complementação do Relatório de Investigação do Posto Brazuca não foram utilizados para elaboração de perfis hidroestratigráficos/litológicos. Outra debilidade encontrada é que as coletas de amostras foram feitas em profundidade imediatamente anterior à detecção da franja capilar e todos os poços de monitoramento desta campanha foram instalados com 04 (quatro) metros de seção filtrante não afogada.

Além disso, outros aspectos como o critério para a locação das sondagens e informações dos perfis construtivos dos PM-127 e PMN-02 (que apresentam fase livre de produto) não existem no processo, uma vez que os estudos não estão anexados e que o atual Relatório não apresentou uma abordagem que caracterize a construção e atualização de um MCA.

Logo, as práticas alegadas como adotadas e executadas são não-conformes com o objetivo e etapa de investigação em andamento, ou seja, com a Investigação Detalhada, o que promoveu a obtenção de resultados não válidos para o aprimoramento do MCA e continuidade das ações de gerenciamento.

Nesse âmbito, o estabelecimento das normas e bibliografias de referência e das orientações técnicas do conteúdo dos relatórios e os anexos; tem a função de evitar que os estudos realizados apresentem as lacunas descritas.

Os Roteiros direcionam a adoção e execução das metodologias corretas e afins à etapa de investigação em andamento, bem como proporciona a apresentação de informações suficientes sobre os aspectos acima abordados, para validação dos resultados.

Além disso, a determinação, pelos roteiros, de situações nas quais os estudos podem ser previamente recusados no item “CONDIÇÕES DISCIPLINARES”, colabora para que o órgão ambiental possa identificar, avaliar e invalidar de forma célere; estudos que apresentem inconformidades.

Para o estudo de caso não foi possível aplicar os Roteiro de Avaliação de Risco elaborado no estudo de avaliação de risco mais recente produzida para o empreendimento, pois tal documento, apesar de citado, não consta nos autos dos processos conforme abordado anteriormente.

Entretanto, a área contaminada do Posto Brazuca foi academicamente abordada pelos trabalhos de Santos (2009) e Távora (2010), que tiveram a oportunidade de acessar as fontes de investigação contemporaneamente e se relacionam à etapa de investigação detalhada e avaliação de risco.

O trabalho de Santos (2009) pretendeu contribuir com o processo de avaliação de risco à saúde humana, no cenário por exposição ao BTEX ocorrido no Posto Brazuca. Assim, devido à contaminação por vazamento de combustível e com uma proeminente análise de risco à saúde da população vizinha, foi aplicada a metodologia da *Agency for Toxic Substances and Disease Registry* - ATSDR, baseada em uma análise comparativa com as Avaliações de Risco apresentadas pelo empreendedor.

Segundo a autora, a diferença principal entre as metodologias ATSDR e RBCA, se dá no objetivo final de cada uma delas. Enquanto a primeira foca no desenvolvimento de ações de proteção à saúde, a segunda utiliza o método de avaliação de risco para determinar a extensão da intervenção necessária na contaminação.

A metodologia ATSDR apoia-se em dez critérios que visam promover uma classificação de priorização de áreas a partir de levantamentos de dados e de informações específicas da população afetada, sendo eles:

- Caracterização da área:
 - Distância da população em relação à área;
 - Informação sobre a exposição;
 - Informação sobre os contaminantes ambientais;
- Caracterização da População:
 - Quantitativo de pessoas sob risco;
 - Existência, no entorno, de instalações que aumentem a circulação de pessoas;
 - Nível socioeconômico (alto, médio, baixo);
- Avaliação Toxicológica:
 - Toxicidade dos contaminantes;
 - Persistência ambiental dos contaminantes;
- Execução das Medidas de Contenção e Controle:
 - Existência de medidas de contenção e controle;
- Acessibilidade ao local:
 - Acessibilidade da população ao local;

Do ponto de vista do Modelo Conceitual de Exposição esta metodologia permite a exploração de cenários de exposição indireta relacionados ao consumo de alimentos contaminados, como vegetais, outros cultivares, ovos e carne de animais criados para essa finalidade.

Esses cenários não são comuns na metodologia RBCA, onde a avaliação é realizada apenas para os cenários que se completam. Em Santos (2009), somente o cenário de contato dérmico com a água subterrânea contaminada foi considerado como a via de exposição importante para a exposição total.

Nesse aspecto, o maior detalhamento da contaminação proporcionado pelo roteiro, permitiria que outros cenários fossem avaliados e, eventualmente, considerados para a aplicação de outras metodologias de avaliação de risco, como a explorada por Santos.

A avaliação ATSDR se aprofunda em temas como a influência das características de renda e escolaridade na capacidade de prever e evitar comportamentos que aumentam o potencial de exposição aos riscos, mas também aborda uma análise de alterações neurocomportamentais e neuropsicológicas associadas à presença de cenários de contaminação.

Santos (2009) reuniu as informações ambientais a partir de nove relatórios de estudos apresentados entre o período de junho de 2002 a janeiro de 2003. Todos os estudos listados no Anexo 01 do trabalho de Santos estão inseridos nos processos do empreendimento disponibilizados pelo Instituto Brasília Ambiental.

Assim subtraiu-se desses estudos os seguintes dados relevantes: informações geográficas e hidrogeológicas, usos e ocupação do solo, concentrações de BTEX em amostras de solo, de água subterrânea e vegetais, e resultados das Avaliações de Risco das metodologias RBCA e USEPA.

Nesse sentido as exigências contidas no roteiro como, por exemplo, a utilização de dados oficiais, a expansão do raio de interesse (de 100 para 250 metros) para caracterização do entorno do empreendimento, a realização e visitas técnicas, entrevistas e produção dos respectivos relatórios de vistoria e ficha de inspeção (conforme Anexo 2 do roteiro), forneceria maiores informações para a caracterização da área e da população na referida metodologia.

A calibração do modelo no trabalho de Santos (2009) foi realizada a partir das concentrações de benzeno descritas nos estudos apresentados, e são referentes aos meses de maio a novembro de 2002, assim como os dados de nível d'água dos poços instalados na região.

Cabe destacar que as estimativas de Santos (2009) se basearam no modelo desenvolvido por Távora (2010), apenas se diferenciando pela adoção de valores da concentração de benzeno de um dos poços de abastecimento da área limítrofe, o que foi descartado por Távora (2010), por esse autor considerar que havia discrepâncias nos valores de repetição de uma mesma amostra.

Dessa forma, avalia-se que as inconformidades e incertezas existentes na aquisição dos dados referentes à concentração pelos estudos produzidos para o empreendimento, abordadas anteriormente, podem ter sido transportadas para a avaliação realizada por Santos (2009).

Santos (2009) apontou uma série de lacunas no processo de análise de risco elaborado pelos responsáveis legais e técnicos do empreendimento. Dentre as conclusões questionadas pela autora, destaca a ausência de cenários no Modelo Conceitual de Exposição, os quais deveriam estar associados à inalação, e a não inclusão de alguns hábitos alimentares, como o consumo de ovos, aves e pitanga; que no estudo tinham sido avaliados como risco associado ao consumo de alimentos. Essas lacunas seriam minimizadas, a partir de um maior detalhamento das plumas de contaminação e da elaboração e aprimoramento do MCA determinada nos roteiros.

No atual estudo de caso, reafirma-se que os parâmetros ambientais relacionados ao diagnóstico da contaminação para aplicação da metodologia RBCA são importantes para a metodologia ATSDR. Principalmente, para o entendimento da extensão da contaminação e das substâncias químicas de interesse.

O trabalho de Távora 2010 teve como objetivo geral estudar a propagação da contaminação das águas subterrâneas provocadas pelo vazamento de gasolina ocorrida no empreendimento em questão. Como objetivos específicos buscou determinar a distribuição espacial da pluma de contaminação, as concentrações de exposição de benzeno e o quanto a população local esteve exposta durante o período anterior ao da detecção do vazamento para avaliar a sensibilidade dos parâmetros que regem o transporte de poluentes.

A dissertação de Távora (2010) é baseada em um modelo computacional que buscava simular o fluxo subterrâneo de um aquífero livre e, posteriormente, o comportamento de uma contaminação provocada pelo derramamento de gasolina nesse tipo aquífero. Sendo escolhido o benzeno como a substância química de interesse em função das características comparadas de seu comportamento no meio em relação aos demais constituintes da gasolina.

Dentre os dados que o referido autor utilizou, destacam-se os extraídos de estudos contidos nos autos do processo, dentre eles:

- Série histórica dos níveis de água em 44 (quarenta e quatro) poços para o período de junho de 2002 a junho de 2003;
- Levantamento planialtimétricos dos poços;
- Concentração de benzeno a partir dos resultados dos relatórios de remediação;

Dentre as informações obtidas a partir de estudos não anexados aos processos, são listadas:

- Camadas hidrogeológicas e suas características, extraídas do estudo da Petrobrás (2003a);
- Delimitação do sistema de falhas, extraídos do estudo da Petrobrás (2003b);
- Conformação das plumas de contaminação de fase livre (extensão longitudinal), extraídos do estudo da Petrobrás (2003b);
- Lineamentos estruturais a partir dos estudos geológicos contidos no estudo da Petrobrás (2003b);

Foram utilizados também, arquivos digitais provenientes de fontes oficiais de informação do Governo do Distrito Federal e Federal, por exemplo:

- Curvas de Nível disponibilizadas pela Companhia de Planejamento do Distrito Federal - CODEPLAN;
- Dados de série pluviométrica do Sistema de Informações Hidrológicas - Hidroweb do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) da Agência Nacional de Águas - ANA;

Um dos fatores que agregou incertezas às conclusões de Távora (2010) é o uso extensivo de dados secundários, provenientes da bibliografia disponível na época, os quais trazem os valores padrões médios conhecidos e não os obtidos *in loco*, podendo ser citados:

- Coeficiente de decaimento de primeira ordem (λ), extraído de Corseuil *et al* (2002);
- Coeficiente de distribuição (Kd) extraído de Baek *et al.* (2003);
- Relações clássicas para os valores de dispersividade longitudinal, transversal e vertical ($\alpha_1 = 10m$, $\alpha_1/\alpha_1 = 0,1$ e $\alpha_v/\alpha_1 = 0,01$) a partir de Fetter (1992);
- Parâmetro de Potabilidade segundo à Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde (vigente à época); e

- Coeficiente de permeabilidade (permeabilidade relativa), extraído de Kim. & Corapcioglu (2001).

Távora (2010) tomou como informação confiável os parâmetros que foram gerados a partir do processamento do modelo computacional, tais como: o gradiente de migração (dh/dL) do LNAPL, a velocidade de migração do LNAPL, o gradiente médio do nível freático, o tempo de caminamento do LNAPL, e a data provável de ultrapassagem dos padrões de potabilidade no poço de abastecimento da área vizinha ao estabelecimento.

O autor apontou que o parâmetro mais sensível na determinação do tempo de simulação é o coeficiente de decaimento (λ), cuja majoração de 0,5; 0,75; 1,25 e 1,5 vezes do valor original apresentou um desvio padrão de 135 dias, seguido pelo coeficiente de distribuição (K_d), demonstrando que os parâmetros de cinética química são condições importantes para uma boa representatividade do fenômeno de migração.

Távora (2010) pontua que a obtenção de dados de campo confiáveis é primordial para a redução dos esforços computacionais e do tempo demandado na etapa de calibração do modelo. E que os valores representativos para os parâmetros que regem o transporte da substância química de interesse, o benzeno, foram comprometidos, pois foram encontrados em laudos contemporâneos discordância dos dados de concentração de benzeno.

Uma recomendação de Távora (2010) no que tange a obtenção de dados melhores dos parâmetros utilizados no modelo de fluxo é uma melhor distribuição dos poços de monitoramento, bem como o adensamento de rede de monitoramento da pluma de contaminação. Por fim, aponta a importância da garantia de um correto levantamento planialtimétrico preciso dos poços, evitando que erros de cota sejam transferidos para a série de dados do nível freático.

Essas solicitações seriam atendidas pelos roteiros. A partir da realização de uma Investigação Detalhada com base nas orientações neles contidas, dados primários seriam coletados a partir de estruturas e métodos de amostragem com menor nível de incerteza.

Os roteiros proporcionariam maior detalhamento, por exemplo, da hidrogeologia e dos parâmetros de projeto, instalação e desenvolvimento dos poços de monitoramento, cujos níveis d'água foram transportados para o modelo. A mesma lógica se aplica às concentrações de benzeno, que apresentaram problemas e impediram a calibração do modelo.

A utilização de métodos que permitem maior detalhamento do meio físico, as determinações para a execução da ASCP com a aplicação dos métodos de seleção de amostras, a exigência de informações nos Laudos Analíticos e Cadeias de Custódia, e a realização de análises por laboratórios acreditados; melhoram a rastreabilidade e a confiabilidade dos dados e informações, que podem ser transportados para os modelos.

A apresentação de dados geoespaciais contendo as informações básicas essenciais requeridas pelo roteiro, agregam confiança aos levantamentos planialtimétricos.

Sob o aspecto da adoção de ações para remediação da área, a análise documental revela, que apesar de oficialmente não haver consistência e encadeamento das informações; durante vinte anos (2002 a 2020) houve exaustivos esforços para remediar a área.

O relatório da empresa TELSAN de 2013, por exemplo, mostra que até àquela data já haviam sido implementadas na área sete técnicas de intervenção, quais sejam:

1. *Pump and Treat* - (Bombeamento e Tratamento da Água subterrânea) com a finalidade de eliminar o produto em fase livre.
2. SVE - *Soil Vapour Extraction* (Extração de vapor no solo) na área fonte, com a finalidade de volatilizar a fase retida.
3. IAS - *In situ Air Sparging* (Injeção de ar na água subterrânea) nas proximidades da área fonte, com a finalidade de reduzir as concentrações em fase dissolvida.
4. Cortina de Oxigênio - Injeção de oxigênio na água subterrânea em baixa vazão com a finalidade de potencializar a degradação da fase dissolvida.
5. Barreiras Hidráulicas, com a finalidade de conter o avanço da pluma de fase dissolvida.
6. *Air Stripping* para tratamento da água extraída nas barreiras hidráulicas.
7. *Electrical Resistance Heating* (ERH).

Após esse período, ainda foi aplicado método denominado “remediação passiva” que consistia na aplicação e remoção de mantas oleofílicas nos poços para extração da fase livre sobrenadante dos mesmos.

As intervenções se estenderam até o ano de 2020, todavia, o Relatório de Investigação Ambiental Complementar, datado de abril de 2019, elaborado pela empresa BfU do Brasil; demonstrou ainda existir iridescência nos poços de monitoramento, provavelmente resultantes do processo de dessorção de contaminantes em fase retida para a fase dissolvida captada nos poços.

A avaliação sobre a efetividade dessas ações foi prejudicada, não só pela ausência dos estudos, mas também pela ausência de manifestação do órgão ambiental acerca das ações executadas e sobre metas as serem atingidas para a reabilitação da área.

Dessa forma, as determinações contidas no protocolo de investigação são necessárias para que sejam adotadas medidas de remediação que possuam amparo num diagnóstico detalhado da contaminação e de uma Avaliação de Risco e determinação de metas de remediação confiáveis que subsidiem a adoção de técnicas adequadas de intervenção.

Como exposto, a evolução dos conhecimentos nesse estudo de caso, até o momento, não considerou a qualidade na obtenção e tratamento dos parâmetros de interesse destacados como fundamentais ao processo de avaliação de riscos. Assim, destaca-se que:

- Os Roteiros elaborados para a realização da etapa de Avaliação Preliminar, Investigação Confirmatória e Investigação Detalhada, com as respectivas exigências da elaboração e atualização do Modelo Conceitual da Área, apresentam em seus itens orientações suficientes para suprir as necessidades das ações de delimitação das áreas de interesse e definição dos grupos focais para a posterior aplicação da metodologia ATSDR descrita no Trabalho de Santos (2009), sendo um avanço importante nos procedimentos;
- A abordagem do Roteiro proporciona a obtenção de qualidade das informações básicas necessárias, principalmente, com base nos levantamentos realizados sobre o uso e ocupação do solo, inspeções da área e entrevistas, dos modelos geológicos e hidrogeológicos, nas determinações das SQI e na delimitação da distribuição da contaminação no plano horizontal e vertical. Todos esses resultados são construídos ao longo do processo de investigação, mas realmente consolidados na etapa de Investigação Detalhada;
- Com a determinação da utilização de melhores práticas nas etapas de investigação, bem como pela elaboração, atualização e aprimoramento do MCA, a aplicação dos Roteiros permitirá a coleta de dados específicos da área, diminuindo os níveis de incerteza. O aprimoramento esperado será oriundo da seleção, coleta, acondicionamento, preservação e análise de amostras a partir dos meios e unidades hidroestratigráficas afetadas para a determinação de parâmetros físicos e químicos;
- A expectativa de qualidade das informações atingirá parâmetros como: fração de carbono orgânico (*foc*), que conjuntamente com o coeficiente de partição octanol-água (*Koc*) são

utilizado na determinação do coeficiente de partição solo-água (k_s) ou coeficiente de distribuição (k_d), bem como na determinação da porosidade total, densidade do solo e dos conteúdos volumétricos de ar e água no solo; que são os parâmetros utilizados no cálculo do fator de retardo (R), das concentrações de contaminantes nos meios afetados (C), da condutividade hidráulica (K), das cargas hidráulicas (h), do gradiente hidráulico (i) das dimensões da pluma (longitudinal e transversal), entre outros; utilizados nas equações de transporte de solutos dos modelos computacionais.

A obtenção destes dados, em escala adequada para área, reduz significativamente o tempo e esforço computacional na calibração dos modelos, esta observação já era corroborada por Domenico (1987), Kumar (2002), Gouveia Junior (2011) e Saatsaz & Eslamian (2020).

Sob o aspecto dos problemas associados à etapa de investigação da contaminação, a aplicação do Protocolo de Diagnóstico evitaria a necessidade da realização das muitas etapas de complementação realizadas para determinação da distribuição da contaminação, gerando economia para o empreendedor e reduzindo o retrabalho do órgão ambiental.

Além disso, permitiria que os riscos fossem avaliados de forma correta e as concentrações máximas aceitáveis de contaminantes na área, assim como as metas de remediação, fossem determinadas de maneira mais assertiva. Esse processo teria evitado ou aprimorado a aplicação das várias técnicas de remediação, uma vez que as áreas fontes seriam, de fato, delimitadas.

A correta delimitação das plumas de contaminação permitiria que o enfoque da atuação das empresas fosse avançar na remediação das áreas fonte no solo e não focados somente na remoção de fase livre aparente nos poços de monitoramento.

A aplicação do Protocolo, aliada ao fluxo de processo, reduziria as incertezas sobre a qualidade dos trabalhos realizados e impediria que os estudos elaborados não fossem apresentados. Ademais proporcionaria a apresentação com mais detalhes das investigações e ações complementares realizadas e não documentadas (reforma do empreendimento e remoção de solo), reduzindo a lacuna de conhecimento existente.

Nesse contexto, atualmente, a população do entorno do agora Auto Posto Morada dos Nobres não pode contar com um cenário preditivo confiável que garantam ações baseadas no risco para remediação daquela área.

As falhas na condução do processo de investigação e gerenciamento, comprovadamente, ocasionaram danos à saúde da população do entorno, conforme se observará no trabalho de Santos (2009). Além dos incontáveis transtornos aos atingidos, ocasionado pela falta de acesso à água de qualidade para usos consuntivos, problemas com cultivos, incerteza quanto à contaminação dos animais de criação, entre outros.

Esses aspectos prejudicaram, por mais de uma década, a qualidade de vida da população exposta e ainda apresentam alto grau de incerteza sobre a melhora do cenário na área atingida.

6 CONCLUSÕES

O objetivo geral desta pesquisa foi propor um procedimento padronizado de execução das etapas de investigação de passivos ambientais para o gerenciamento de áreas contaminadas por hidrocarbonetos de petróleo no território do Distrito Federal.

Assim, neste trabalho foi proposto um protocolo de diagnóstico que aborda as etapas de investigação de passivos ambientais e avaliação de risco, incluindo um fluxograma de processo para o gerenciamento de áreas contaminadas por hidrocarbonetos de petróleo, com destaque par postos revendedores de combustíveis.

Os objetivos específicos, em especial a proposição de conteúdo mínimo adequado para os estudos e a proposição de melhores técnicas e práticas, foram alcançados a partir da prospecção de soluções que se fundamentou em extensa revisão bibliográfica, pesquisa e seleção de normas de referência e as análises comparativas quanto à forma e conteúdo das solicitações dos órgãos ambientais.

Este trabalho permitiu que fossem construídas orientações claras para a execução de cada umas das etapas do processo de investigação e diagnóstico e que foram estabelecidos a partir de avaliações de métodos e práticas consolidados e convalidados em normas de referência nacional e internacionais e que permitem que a tomada de decisão sobre as ações para o gerenciamento de áreas contaminadas sejam adotadas com reduzido grau de incerteza.

Essa conclusão é possível a partir da certeza de que, as orientações garantem que sejam produzidos e apresentados os documentos preparatórios e comprobatórios das etapas e ações do gerenciamento, a partir da observância das premissas estipuladas para a metodologia aplicada.

Ainda que pese o impacto negativo da ausência de estudos importantes para a validação pelo caso de estudo; sua aplicação mostrou que as lacunas de informação que dificultam a tomada de decisão sobre a reabilitação da área podem ser supridas a partir da utilização do protocolo de diagnóstico desenvolvido, com todos os roteiros elaborados. A avaliação junto ao estudo de caso também possibilitou o aprimoramento final do protocolo proposto.

Com os resultados, espera-se que áreas com potencial de ocorrência de contaminação por hidrocarbonetos de petróleo sejam devidamente investigadas e que haja otimização no processo de análise com o descarte de relatórios que possuam inadequações ou alto nível de

incerteza, os quais comprometem, sobremaneira, o entendimento do cenário de contaminação e a correta condução do processo de gerenciamento.

A escolha e utilização adequadas dos parâmetros presentes nas Normas Nacionais (ABNT) e internacionais de entidades conceituadas como USEPA, ASTM, etc., podem trazer maior confiabilidade aos resultados analíticos que devem nortear as ações corretivas baseadas no risco.

No entanto, a elaboração e disseminação de materiais de referência nas normativas estaduais brasileiras deverão não apenas replicar, mas sim buscar fundamentação nas normas e em listas de checagem a serem implementadas nas rotinas de avaliação.

Os resultados da pesquisa, incluindo a elaboração do Protocolo e seus roteiros, fornecem diretrizes para que tais ferramentas não só alcancem os objetivos das distintas etapas de Investigação, como, também, subsidiem os responsáveis técnicos com fontes oficiais de informação e desencorajem a adoção de técnicas comprovadamente não conformes para a coleta de dados.

Verifica-se, assim, que a aplicação do Protocolo de Diagnóstico contribuirá para o aprimoramento do processo de gerenciamento de áreas contaminadas no Distrito Federal, bem como para outros estados que não possuam seus procedimentos instituídos; em especial para o fornecimento de informações confiáveis para os modelos de transporte de contaminantes utilizados no processo de avaliação de risco.

As informações produzidas por meio da aplicação dos Roteiros também são voltadas a fornecer subsídios para a aplicação de outras metodologias de Avaliação de Risco como, a metodologia ATSDR.

Além disso, a metodologia de trabalho desenvolvida e apresentada por meio do fluxograma metodológico (Figura 4.1. Fluxograma metodológico para desenvolvimento das soluções customizadas.) e do fluxograma de ações desenvolvidas (Figura 4.2) pode servir de base para que outros estados possam, a partir do diagnóstico, prospecção de soluções e adaptação e regionalização de soluções; promover a elaboração de procedimentos próprios, cuja efetividade pode ser avaliada pela aplicação de estudos de caso de relevante interesse, ou mesmo pela aplicação de metodologias de avaliação aplicadas à administração pública (ex. ciclo *Plan-Do-Check-Act* - PDCA).

7 RECOMENDAÇÕES

Além das conclusões descritas algumas recomendações se destacam em decorrência dos resultados da pesquisa.

A utilização do protocolo deve ser aliada a avanços também em relação ao fluxo de processo que estabeleçam a relação entre o órgão ambiental e os responsáveis legais e técnicos, que foi proposto nesta pesquisa, mas que implicam na avaliação de outras carências institucionais que demandam atenção.

Além disso, outras iniciativas institucionais adicionais são necessárias à melhora do processo de gerenciamento de áreas contaminadas. Em conjunto com os Roteiros, é premente que sejam estabelecidas regras claras para o cadastro e habilitação de profissionais e empresas para a realização dos trabalhos, além do desenvolvimento de um rito de comunicação com os conselhos de classe para acompanhamento da atuação de profissionais e empresas.

É necessário também o desenvolvimento de ferramentas que auxiliem a checagem do cumprimento dos itens do protocolo como listas de verificação, formulários eletrônicos, acompanhados das orientações sobre a suficiência e qualidade das informações para sua validação conforme etapas de verificação do fluxo de processo proposto.

Assim como o estabelecimento de áreas contaminadas críticas pelo Estado de São Paulo, com base em processos de mudança de uso do solo (industrial para residencial), recomenda-se para o Distrito Federal a adoção de uma dinâmica semelhante, baseada em mapeamentos de vulnerabilidade à contaminação, a exemplo do produzido pelo Sistema Geológico Brasileiro – SGB.

O processo de classificação de áreas, de atualização e disponibilização do cadastro de áreas contaminadas, conforme exigido no artigo 38 da Resolução CONAMA 420/2009, bem como o estabelecimento do processo de registro dessas classificações nas matrículas dos imóveis e exigir o seu cumprimento, são imprescindíveis para o sucesso da consolidação da base de dados a respeito das áreas contaminadas.

Sugere-se também, que o procedimento de licenciamento ambiental de atividades que envolvem hidrocarbonetos de petróleo, adote como requisito técnico a elaboração do Estudo Hidrogeológico, tal como já aplicado na Resolução SEDEST 003/2020 do Estado do Paraná, visto que, essa caracterização facilita a identificação das feições hidrogeológicas (unidades

hidroestratigráficas) e permite estabelecer, previamente, um Modelo Conceitual que poderá fornecer significativa celeridade ao processo de investigação de passivos ambientais e de aplicação de programas de monitoramento de qualidade da água subterrânea, entre outros aspectos facilitadores da gestão dessas áreas.

A recomendação que atinge o âmbito administrativo e institucional do processo de gerenciamento das áreas contaminadas é de que todos os estudos realizados para uma área devem constar no processo de gestão, de modo que, a informação disponível seja completa e tenha suas limitações e incertezas expostas, garantido uma visão de evolução do conhecimento cronológico e procedência dos dados.

Além disso, essa pesquisa aponta para um amplo campo de pesquisa a ser explorado, no que se refere ao aprimoramento do conhecimento sobre a influência dos solos do Distrito Federal na dinâmica de migração de contaminantes. Esse tema pode ser explorado a partir de estudos que busquem mapear em escala local as unidades hidroestratigráficas existentes e os parâmetros de campo a elas associados como a fração de carbono orgânico, permeabilidade e condutividade hidráulica de camadas mais profundas do subsolo, permeabilidade ao vapor, relação entre o conteúdo volumétrico de água e ar no solo, entre outros, preponderantes ao processo de avaliação de risco.

Estas pesquisas permitirão o desenvolvimento e aprimoramento de modelos matemáticos para o transporte de solutos que poderão melhor representar esses fenômenos em escala local e que poderão incorporar métodos de avaliação de risco desenvolvidos especificamente para o Distrito Federal.

Complementarmente, ainda que tenha sido adotada a Norma Técnica CETESB P4.001/2022, são necessários estudos para avaliar se a proposta é suficiente para abordar aspectos relacionados ao meio biótico e outros bens a proteger com características endêmicas e/ou locais.

Por fim, recomenda-se que os produtos finais dessa pesquisa, ou seja, os Roteiros de Investigação sejam encaminhados/protocolados no órgão ambiental do Distrito Federal, a fim de subsidiar normativas que se apropriem dos conhecimentos técnicos compilados e aplicados às características locais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Norma ABNT NBR 15515-1:2021: Passivo ambiental em solo e água subterrânea – Parte 1: Avaliação preliminar, 33p.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Norma ABNT NBR 15515-2:2023: Passivo ambiental em solo e água subterrânea – Parte 2: Investigação confirmatória, 28p.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Norma ABNT NBR 15515-3:2013: Avaliação de passivo ambiental em solo e água subterrânea – Parte 3: Investigação detalhada 22p.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Norma ABNT NBR 16209:2013: Avaliação de risco à saúde humana para fins de Gerenciamento de Áreas Contaminadas 46p.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Norma ABNT NBR 16210:2022: Modelo conceitual no Gerenciamento de Áreas Contaminadas – Procedimento, 9p.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Norma ABNT NBR 16434:2015: Amostragem de resíduos sólidos, solos e sedimentos - Análise de compostos orgânicos voláteis (COV) – Procedimento, 27p.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Norma. ABNT NBR 16435:2015: Controle da qualidade na amostragem para fins de investigação de áreas contaminadas – Procedimento, 16p.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Norma ABNT NBR 15495-1:2007 - Versão Corrigida 2:2009: Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulados – Parte 1: Projeto e construção, 31p.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Norma ABNT NBR 15495-2:2008 - Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares – Parte 2: Desenvolvimento, 30p.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Norma ABNT NBR 15847:2010: Amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento – Métodos de purga, 21p.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Norma ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017: Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração, 38p.

- ASTM. American Society for Testing and Materials. Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Release Sites. Designation: E1739 - 95 (Reapproved 2015), 53p.
- ASTM. American Society for Testing and Materials. RBCA Fate and Transport Models: Compendium and Selection Guidance, 1999, 138p. Disponível em: <<https://www.epa.gov/ust/risk-based-decision-making-and-underground-storage-tanks-usts>>. [Acessado em 12/03/2024].
- ATSDR. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. TOXICOLOGICAL PROFILE FOR GASOLINE, 1995a, Disponível em: <<https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp72.pdf>>. Acessado em: [19/06/2024]
- ATSDR. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. TOXICOLOGICAL PROFILE FOR FUEL OILS, 1995b, Disponível em: <<https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp75.pdf>>. Acessado em: [19/06/2024].
- Brasil, Lei nº 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. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938.htm>. [Acessado em 03/09/2022].
- Brasil. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA Nº 273 de 29 de novembro de 2000. Dispõe sobre prevenção e controle da poluição em postos de combustíveis e serviços. Disponível em: < <http://conama.mma.gov.br/atos-normativos-sistema>>, [Acessado em: 16/05/2023].
- Brasil. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA nº 420 de 28 de dezembro de 2009. 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. Disponível em: http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=601. [Acessado em 03/09/2022].
- Brasil, Ministério da Saúde, Portaria nº 888 de 04 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Disponível em:<

https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html>.

[Acessado em 29/04/2024].

Brasília Ambiental. Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Distrito Federal - Brasília Ambiental. Instrução nº 10, de 22 de janeiro de 2018. Estabelece os procedimentos para a regularização ambiental da atividade de Posto de Revenda de Combustíveis e dá outras providências. Disponível em:<https://www.sinj.df.gov.br/sinj/Norma/f8e70090fe80467ea153c0e5cd76f442/Instru_o_10_22_01_2018.html>. [Acessado em 19/03/2024].

Brasília Ambiental. Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Distrito Federal - Brasília Ambiental. Instrução Normativa nº 28, de 11 de agosto de 2020. Estabelece os procedimentos para o licenciamento ambiental de postos revendedores, pontos de abastecimento, instalações de sistema retalhistas, postos flutuantes de combustíveis e posto revendedor lacustre e dá outras providências. Disponível em:<https://sinj.df.gov.br/sinj/Norma/c2c9879df8fd4647ba34b331c377eee5/Instru_o_N_ormativa_28_11_08_2020.html>. [Acessado em 19/03/2024].

CANARIO P.G.G., BETTINE S.C., - Gerenciamento de Áreas Contaminadas NO BRASIL: UMA ANÁLISE CRÍTICA, São Paulo, UNESP, Geociências, v. 39, n. 3, p. 751 - 764, 2020. Disponível em: < <https://doi.org/10.5016/geociencias.v39i03.13180>>. [Acessado em 16/05/2023].

Cavelan A., Golfier F., Colombano S., Davarzani H., Deparis J., et al.. A critical review of the influence of groundwater level fluctuations and temperature on LNAPL contaminations in the context of climate change. *Science of the Total Environment*, 2022, 806, pp.150412. [ff10.1016/j.scitotenv.2021.150412](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150412)ff. [ffhal-03352335](https://hal.science/hal-03352335). Disponível em:<<https://hal.science/hal-03352335/>>.[Acessado em 06/03/2024].

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Áreas Contaminadas. DECISÃO DE DIRETORIA Nº 038/2017/C, DE 07 FEVEREIRO DE 2017. Disponível em:<<https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2014/12/DD-038-2017-C.pdf>>. [Acessado em 19/03/2024].

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Áreas Contaminadas

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Áreas Contaminadas - Planilhas para Avaliação de Risco. 2023. Disponível em:<<https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/documentacao/planilhas-para-avaliacao/>>. [Acessado em 19/03/2024].

- CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Áreas Contaminadas. Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas. Disponível em:<<https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/documentacao/manual-de-gerenciamento-de-areas-contaminadas/informacoes-gerais/apresentacao-2/>>. [Acessado em 19/03/2024].
- CL:AIRE, 2014. An illustrated handbook of LNAPL transport and fate in the subsurface. CL:AIRE, London. ISBN 978-1-905046-24-9. Download at: <www.claire.co.uk/LNAPL>. [Acessado em 03/01/2024].
- Cohen, A.J.B. e Cherry, J.A. Conceptual and Visual Understanding of Hydraulic Head and Groundwater Flow - Guelph, Ontario, Canada, 2020. 68 pag.
- CONAM, Conselho de Política Ambiental do Distrito Federal. Resolução do CONAM nº 03 de 18 de dezembro de 2018. Estabelece os procedimentos para o licenciamento ambiental de postos revendedores, pontos de abastecimento, instalações de sistemas retalhistas, postos flutuantes de combustíveis e posto revendedor lacustre, revoga e substitui a Instrução IBRAM 213/2013. Disponível em:<https://www.sinj.df.gov.br/sinj/Norma/ea51d628bcb14abb8e6de80cfd3259fa/Resolu_o_3_18_12_2018.html>. [Acessado em 19/03/2024].
- Corseuil, H.X., R. Schneider, M., do Rosário, M., & M. Júnior, C. (2006). Solução Corretiva baseada no Risco (SCBR): Modelo Matemático de Tomada de Decisão para o Gerenciamento Ambiental de Águas Subterrâneas Contaminadas. *Águas Subterrâneas*. Disponível em:<<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23142>>. [Acessado em 07/03/2024].
- Davis, GB.; Merrick, N. e McLaughlan, R. (2006). *Protocols and techniques for characterising sites with subsurface Petroleum hydrocarbons – a review*, CRC CARE Technical Report nº 2, CRC for Contamination Assessment and Remediation of the Environment, Adelaide, Austrália. Disponível em: <https://crccare.com/wp-content/uploads/2022/12/CRCCARETechReport2-Protocolsandtechniquesforcharacterisingsiteswithsubsurfacepetroleumhydrocarbons2-1.pdf>. [Acessado em 14/07/2024].
- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Mapa Pedológico do Distrito Federal Escala 1:100.000 e uma Síntese do Texto Explicativo. ISSN 1517-5111, Junho 2004. Disponível em:<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAC-2009/26344/1/doc_120.pdf>. [Acessado em 24/03/2024].

- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Evolução Geomorfológica do Distrito Federal. ISSN 1517-5111, Julho 2004. Disponível em:<http://www.realp.unb.br/jspui/bitstream/10482/16150/1/ARTIGO_EvolucaoGeomorfologicaDistritoFederal.pdf>.[Acessado em 24/03/2024].
- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Levantamento de reconhecimento dos solos do Distrito Federal. Rio de Janeiro, EMBRAPA SNLCS. 1978. 455P. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/335824>>.[Acessado em 24/03/2024].
- FARIAS, W.M. Condutividade Hidráulica de Solos Tropicais Compactados a Hidrocarbonetos da Gasolina. Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM-108A/03, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, DF, 2003,152p.
- FEAM. Fundação Estadual do Meio Ambiente. Inventário de áreas contaminadas Estado de Minas Gerais 2022 / Fundação Estadual do Meio Ambiente. Belo Horizonte: Feam, 2022. 34 p.; il.:< <http://www.feam.br/-qualidade-do-solo-e-areas-contaminadas/inventario-e-lista-de-areas-contaminadas>>, [Acessado em: 15/05/2023].
- Ferreira, R.M.; Lofrano, F.C.; Morita, D.M. Remediação de áreas contaminadas: uma avaliação crítica da legislação brasileira. Engenharia Sanitária e Ambiental | v.25 n.1 | jan/fev 2020 | 115-125. DOI: 10.1590/S1413-41522020168968. [Acessado em: 16/05/2023].
- Freeze, A. R.; Cherry J.A. Águas Subterrâneas; tradução de Everton de Oliveira *et al.* Everton de Oliveira (Coord.). – São Paulo (SP); Everton de Oliveira, 2017. Ed. Instituto Água Sustentável, 698 p.
- GDF. Governo do Distrito Federal. Lei Complementar nº 803 de 25 de abril de 2009. Aprova a revisão do Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal — PDOT e dá outras providências. Disponível em:<https://www.sinj.df.gov.br/sinj/Norma/60298/Lei_Complementar_803_25_04_2009.html>. [Acessado em 26/03/2024].
- GDF. Governo do Distrito Federal. Zoneamento Ecológico-Econômico do Distrito Federal – ZEE/DF, 2019. Disponível em:< https://www.zee.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/05/ZEEDF_CT03_Pre-Zoneamento_03A-Disponibilidade-Hidrica.pdf>. [Acessado em 26/03/2024].

- GDF. Governo do Distrito Federal. Mapa Hidrográfico do Distrito Federal, 2024. Disponível em:< <https://www.sema.df.gov.br/wp-conteudo/uploads/2017/09/Mapa-Hidrografico-do-DF.pdf>>. [Acessado em 26/03/2024].
- Gouvêa Júnior, J.C.R. Influência do meio físico sobre as concentrações de referência para intrusão de vapores de BTEX em ambientes fechados. São Paulo, 2011, 135p.
- IARC. International Agency for Research on Cancer. IARC MONOGRAPHS HAZARD CLASSIFICATION. Disponível em: <https://www.iarc.who.int/wp-content/uploads/2023/06/IARC_MONO_classification_2023_updated.png>. [Acessado em 06/03/2024].
- IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Panorama GAC: mapeamento da cadeia de Gerenciamento de Áreas Contaminadas / organização Cláudia Echevengúá Teixeira , Flávia Gutierrez Motta , Sandra Lúcia de Moraes. -- 1. ed. -- São Paulo : IPT, 2016. PDF. Disponível em:< http://www.ipt.br/centros_tecnologicos/CTGeo/livros/60-panorama_do_setor_de_gerenciamento_de_areas_contaminadas_no_brasil.htm>. [Acessado em: 17/05/2023].
- Johnson P.C. e Ettinger R.A. Heuristic model for predicting the intrusion rate of contaminant vapors into buildings. *Environmental Science & Technology* 1991 25 (8), 1445-1452 DOI: 10.1021/es00020a013.
- Kumar, C. P. “Groundwater Flow Models.” Technical Note (2002): 27 pag. Disponível em:<https://www.academia.edu/96391720/Groundwater_Flow_Models>.[Acessado em 12/03/2024].
- Lousada M., Valentim, M.L.P. Modelos de tomada de decisão e sua relação com a informação orgânica. *Perspect. ciênc. inf.* 16 (1), Mar 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1413-99362011000100009>>.[Acessado em 16/03/2024].
- Maximiano, A. M. S. (2001). Determinação de níveis aceitáveis no ambiente para hidrocarbonetos utilizando o procedimento de ações corretivas baseadas no risco (RBCA). Aplicação para a cidade de São Paulo. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. doi:10.11606/D.44.2001.tde-03072015-092842. Recuperado em 2024-06-19, de www.teses.usp.br.
- Milani, M. G. e C., Gonçalves A. C. M. Estudo de tecnologias de investigação ambiental em alta resolução para refinamento do modelo conceitual — estudo de caso: Duque de Caxias (RJ), Brasil. *Engenharia Sanitária e Ambiental* [online]. 2021, v. 26, n. 2, pp. 327-337. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1413-415220190043>>. Epub

- 10 Maio 2021. ISSN 1809-4457. <https://doi.org/10.1590/S1413-415220190043>. [Acessado 03/09/2022].
- MMA – Ministério do Meio Ambiente. Agenda Ambiental Urbana, 2019. Disponível em: <<https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/agendaambientalurbana>>. [Acessado em 30/07/2022].
- Neitsch S.L. *et al.* Ferramentas de Avaliação de Solo & Água – Documentação Teórica - Versão 2009 – Versão em Português. Disponível em: <<https://swat.tamu.edu/media/99192/swat2009-theory.pdf>>. [Acessado em 05/07/2022].
- Newell C.J., *et al.* Ground Water Issue - Light Nonaqueous Phase Liquids. United States Environmental Protection Agency – EPA (EPA/540/S-95/500), 1995, 28p.
- Oliveira, K. A. B. A. Remoção de solo e sistema de bombeamento emergencial: um estudo de caso em terminal de combustíveis líquidos ativo impactado por biodiesel- Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020. 100 p.
- Pereira H. E.; Bezerra J.S., Bárbara V.F., Barros R.G. - PANORAMA DO Gerenciamento de Áreas Contaminadas NO BRASIL, Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <http://abes-dn.org.br/anaiseletronicos/download.php?idtema=6&idevento=29>. [Acessado em: 17/05/2023].
- Pereira, A. R. (2018). Estudo da Contribuição de Águas Subterrâneas e Retirada de Água por Poços sobre o Escoamento dos Córregos Adjacentes na Região do Núcleo Rural Lago Oeste - DF. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH. DM-216/2018, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 158p.
- Ravenscroft, P.; Lytton L. Seeing the Invisible: A strategic report on Groundwater Quality. World Bank Group, 2022, 94p. Disponível em:< https://gw-project.org/books/seeing-the-invisible/?utm_campaign=1801__two_world_bank_books__email__download_the_books_groundwater_quality_monitoring_and_seeing_the_invisible&utm_medium=email&utm_source=RD+Station>. [Acessado em: 22/01/2024].
- Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2022: águas subterrâneas: tornar visível o invisível. Disponível em: <<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000380721>>. [Acessado em 30/07/2022].
- Riyis, M.T., Giacheti, H. L., Derrite, R. M. Investigação geoambiental de áreas contaminadas com elaboração do modelo conceitual em campo utilizando ferramentas de alta

resolução (HRCS). Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, v. 3, n. 1, p. 125-137, 2013. Disponível em: https://www.abge.org.br/downloads/revistas/Artigo_InvestigacaoGeoambiental.pdf. [Acessado em 03/09/2022].

Riyis, M.T., Derrite, R. e Jesus, L. (2017). Avaliação das falhas no modelo conceitual de uma área contaminada utilizando investigação com métodos convencionais. 12p. Disponível em:

<https://www.researchgate.net/publication/322937363_Avaliacao_das_falhas_no_modelo_conceitual_de_uma_area_contaminada_utilizando_investigacao_com_metodos_convencionais>. [Acessado em: 13/03/2024].

Riyis, M.T. Varredura de Compostos Orgânicos Voláteis - VOCs, 2018. Disponível em: <<http://www.ecdambiental.com.br/2018/04/varredura-de-compostos-organicos.html>>. [Acessado em 25/03/2024].

Riyis, M.T. Contribuição para investigação de áreas contaminadas com abordagem de alta resolução, 2019, 162f.

Riyis, M.T., Arakaki, E., Riyis, M. T., & Giacheti, H. L. (2019a). A importância da amostragem de solo de perfil completo (ASPC) para a investigação de alta resolução em áreas contaminadas. *Águas Subterrâneas*, 33(4). <https://doi.org/10.14295/ras.v33i4.29735>. [Acessado em 13/03/2024].

Riyis, M. T., de Jesus, L. S., Arakaki, E., & Giacheti, H. L. (2019b). Varredura vertical de amostras de solo com LNAPL utilizando dispositivo de baixo custo com luz ultravioleta. *Águas Subterrâneas*, 33(3), 247–257. <https://doi.org/10.14295/ras.v33i3.29362>. [Acessado em 15/03/2024].

Saatsaz, M., & Eslamian, S. (2020). Groundwater Modeling and Its Concepts, Classifications, and Applications for Solute Transport Simulation in Saturated Porous Media. In Eslamian & Eslamian, *Advances in Hydrogeochemistry Research (2020)*, Nova Science Publishers, Inc. 35p. Disponível em: <https://www.academia.edu/44219846/Groundwater_Modeling_and_Its_Concepts_Classifications_and_Applications_for_Solute_Transport_Simulation_in_Saturated_Porous_Media>. [Acessado em: 12/03/2024].

Santos, M.A. – Avaliação de risco à saúde humana por exposição ambiental a hidrocarbonetos aromáticos monocíclicos – estudo de caso, 2009, 124f.

- Schneider, H.A., Jackson, W.A., Hatzinger, P.B. and Schaefer, C.E. (2020), High-Resolution Characterization of a Chlorinated Solvent Impacted Aquifer Using a Passive Profiler. *Groundwater Monit R*, 40: 27-43. <https://doi.org/10.1111/gwmmr.12409>.
- SEDEST. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Sustentável e do Turismo. Resolução SEDEST nº 003/2020. Dispõe sobre o Licenciamento Ambiental, estabelece condições e critérios para Posto Revendedor, Posto de Abastecimento, Instalação de Sistema Retalhista de Combustível – TRR, Posto Flutuante, Base de Distribuição de Combustíveis e dá outras providências. DOE/PR, Edição nº 10612 de 24 de janeiro de 2020, pág 92-140. Disponível em: <[https://www.documentos.dioe.pr.gov.br/dioe/consultaPublicaPDF.do?action=pgLocalizar&enviado=true&numero=&search=&dataInicialEntrada=24%2F01%2F2020&dataFinalEntrada=25%2F01%2F2020&diarioCodigo=3&submit=%A0+Consultar+%9B%9B++%A0+](https://www.documentos.dioe.pr.gov.br/dioe/consultaPublicaPDF.do?action=pgLocalizar&enviado=true&numero=&search=&dataInicialEntrada=24%2F01%2F2020&dataFinalEntrada=25%2F01%2F2020&diarioCodigo=3&submit=%A0+Consultar+%9B%9B++%A0+>)>. [Acessado em 25/03/2024].
- SGB. Serviço Geológico Brasileiro. Mapa Hidrogeológico do Distrito Federal, 2019. Disponível em: <<https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/21595>>. [Acessado em 26/03/2024].
- Shultz, M.R., Cramer R.S., Plank C., Levin H., Ehman K.D. . Best Practices for Environmental Site Management: A Practical Guide for Applying Environmental Sequence Stratigraphy to Improve Conceptual Site Models. EPA/600/R-17/293 September 2017. Disponível em: <<https://semspub.epa.gov/work/HQ/100001009.pdf>>. [Acessado em 23/01/2023].
- Singh, M.K., Singh V.P., Das P. – Mathematical modeling for solute transport in aquifer. *Journal of Hydroinformatics*. IWA Publishing, 2016. Disponível em: <<http://iwaponline.com/jh/article-pdf/18/3/481/478993/jh0180481.pdf>>. [Acessado em 13/02/2024].
- Sousa Pinto, N.L. de, *et al.* Hidrologia Básica. 1ª edição, Ed. Blucher, 1976, 304p.
- Távora B.E. Estudo da contaminação do lençol freático por hidrocarbonetos utilizando modelagem computacional, 2010, 78f.
- UNEP - United Nations Environment Programme, GEMS Water, & University College Cork, Ireland (2022). Water Quality Monitoring and Assessment of Groundwater - Technical Guidance Document. Disponível em: <<https://wedocs.unep.org/20.500.11822/40414>>. Acessado em: [09/01/2024].

- UNESCO. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos -“Águas Subterrâneas – Tornar visível o invisível”, 2022, 246p. Disponível em: < <https://www.unwater.org/publications/un-world-water-development-report-2022>>. Acessado em:[19/06/2024].
- UOP - Johnson Division Inc e CETESB. Água Subterrânea e Poços Tubulares. 3ªed traduzida pela Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental, São Paulo, 1978.
- USEPA – United States Environmental Protect Agency. Environmental Cleanup Best Management Practices: Effective Use of the Project Life Cycle Conceptual Site Model. EPA 542-F-11-011, July 2011. Disponível em: <https://clu-in.org/download/remed/csm-life-cycle-fact-sheet-final.pdf> [Acessado em 23/01/2023].
- USEPA - United States Environmental Protect Agency. Ground Water Issue: Light Nonaqueous Phase Liquids. EPA/540/S-95/500. Disponível em: < <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-06/documents/lnapl.pdf>>. [Acessado em 16/03/2023].
- USEPA - United States Environmental Protect Agency. Superfund Remedial Investigation/Feasibility Study (Site Characterization). Disponível em: < <https://www.epa.gov/superfund/superfund-remedial-investigationfeasibility-study-site-characterization>>. [Acessado em 16/03/2023].
- USEPA - United States Environmental Protect Agency. Characterization and Monitoring. Disponível em:<<https://clu-in.org/characterization/technologies/hrsc/hrscintro.cfm>>. [Acessado em 16/03/2023].
- USEPA. United States Environmental Protect Agency. BIOSCREEN Natural Attenuation Decision Support System - User’s Manual. Version 1.3. EPA/600/R-96/087 August 1996. Disponível em: < <https://www.epa.gov/water-research/bioscreen-natural-attenuation-decision-support-system>>. [Acessado em 14/03/2024].
- Yoshinari, A. Estudo comparativo entre o modelo analíticos de Domenico (1987) e Wexler (1992) e suas implicações no gerenciamento de passivos ambientais / Andreia Yoshinari. - Rio Claro, 2015, 68 f.
- Zoby, J. L. G., & Duarte, U. (2001). Caracterização hidrogeológica da Bacia do Ribeirão Sobradinho-Brasília (DF). Geologia USP. Série Científica, 1, 79-99. doi:10.5327/s1519-874x2001000100006.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS CITADAS EM APUD

LaGrega *et al.*, M.D.; Buckingham, P.L.; Evans, J.C. (1994) – Hazardous waste management. McGraw-Hill, Inc. USA. 1.146p.

Maidment, D.R. (1993). Handbook of hydrology, MacGraw Hill, Inc. USA. 1.143p.

SITES CONSULTADOS

Contaminated site Clean-Up Information – CLU-IN – Disponível em: <https://clu-in.org/>. [Acessado em: 01/09/2024].

COREHIDRO - Disponível em: https://www.linkedin.com/posts/corehidro_agua-conocimiento-activity-7201915295647629312-mZin?utm_source=share&utm_medium=member_android. [Acessado em: 01/09/2024].

APÊNDICES

APÊNDICE 01 - ROTEIROS DE INVESTIGAÇÃO E SEUS ANEXOS

ROTEIROS PARA ELABORAÇÃO DE ESTUDOS DE INVESTIGAÇÃO DE PASSIVOS AMBIENTAIS (AVALIAÇÃO PRELIMINAR E INVESTIGAÇÃO CONFIRMATÓRIA), DIAGNÓSTICO DE ÁREAS CONTAMINADAS (INVESTIGAÇÃO DETALHADA) E AVALIAÇÃO DE RISCO EM EMPREENDIMENTOS ARMAZENADORES DE COMBUSTÍVEIS LÍQUIDOS.

- OBJETIVO

Investigar a presença de compostos de hidrocarbonetos constituintes de combustíveis líquidos em solo e em água subterrânea, promover o diagnóstico completo das contaminações e a avaliação de risco à saúde humana e ao meio ambiente, como subsídio ao processo de Gerenciamento de Áreas Contaminadas.

- DEFINIÇÕES

As definições para a realização de estudos de investigação de passivo ambiental estão dispostas no Anexo 01 – CONCEITOS E DEFINIÇÕES.

- NORMAS E MATERIAIS DE REFERÊNCIA

Aplicam-se ao processo de investigação de passivos ambientais as disposições contidas neste Roteiro de Execução, bem como o estabelecido nas Normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, em suas versões mais recentes, quais sejam:

- ABNT NBR 15515-1:2021: Passivo ambiental em solo e água subterrânea – Parte 1: Avaliação preliminar;
- ABNT NBR 15515-2:2023: Passivo ambiental em solo e água subterrânea – Parte 2: Investigação confirmatória;
- ABNT NBR 15515-3:2013: Avaliação de passivo ambiental em solo e água subterrânea – Parte 3: Investigação detalhada;

- ABNT NBR 16209:2013: Avaliação de risco a saúde humana para fins de Gerenciamento de Áreas Contaminadas;
- ABNT NBR 16210:2022: Modelo conceitual no Gerenciamento de Áreas Contaminadas – Procedimento;
- ABNT NBR 16434:2015: Amostragem de resíduos sólidos, solos e sedimentos - Análise de compostos orgânicos voláteis (COV) – Procedimento;
- ABNT NBR 16435:2015: Controle da qualidade na amostragem para fins de investigação de áreas contaminadas – Procedimento;
- ABNT NBR 16901:2020: Gerenciamento de Áreas Contaminadas – Plano de desativação de empreendimentos com potencial de contaminação — Procedimento;
- ABNT NBR 16784-1:2020 – Versão Corrigida: 2020: Reabilitação de áreas contaminadas – Plano de intervenção Parte 1: Procedimento de elaboração;
- ABNT NBR 6457: 2016 - Amostras de solo - Preparação para ensaio de compactação e ensaios de caracterização;
- ABNT NBR 6458: 2016, Grãos de pedregulho retidos na peneira de 4,8 mm - Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água;
- ABNT NBR 6484:2020: Solo – Sondagens de simples reconhecimentos com SPT – Método de ensaio;
- ABNT NBR 7181:2016 – Versão Corrigida 2: 2018: Solo – Análise granulométrica;
- ABNT NBR 7182: 2016: Solo - Análise de Compactação;
- ABNT NBR 9604:2016: Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas – Procedimento;
- ABNT NBR 9820:1997: Coleta de amostras indeformadas de solos de baixa consistência em furos de sondagem – Procedimento;
- ABNT NBR 13292:2021 - Versão Corrigida 2021: Solo – Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares à carga constante;

- ABNT NBR 13602:2020 - Avaliação da dispersibilidade de solos argilosos pelo ensaio sedimentométrico comparativo - Ensaio de Dispersão SCS;
- ABNT NBR 15492 – Sondagem de reconhecimento para fins de qualidade ambiental – Procedimento;
- ABNT NBR 15495-1:2007 - Versão Corrigida 2:2009: Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulados – Parte 1: Projeto e construção;
- ABNT NBR 15495-2:2008 - Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares – Parte 2: Desenvolvimento;
- ABNT NBR 15847:2010: Amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento – Métodos de purga;
- ABNT NBR 15935:2011: Investigações ambientais - Aplicação de métodos geofísicos;
- ABNT NBR 16840: 2020, Solo - Determinação do índice de vazios máximo de solos não coesivos;
- ABNT NBR 16843: 2020, Solo - Determinação do índice de vazios mínimo de solos não coesivos;
- ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017: Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração;
- ABNT NBR ISO 22476-12:2023: Investigação Geotécnica e Ensaio – Ensaio de Campo – Parte 12: Ensaio de penetração de cone mecânico (CPTM);
- Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB;
- Decisão de Diretoria nº 256/2016 - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB/SP;
- Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Release Sites – American Society for Testing and Materials – ASTM - Designation: E1739 – 95 (Reapproved 2015);

- [Riyis, M. T., Arakaki, E., Riyis, M. T., & Giacheti, H. L.. A importância da amostragem de solo de perfil completo \(ASPC\) para a investigação de alta resolução em áreas contaminadas". *Águas Subterrâneas*, 33\(4\). \(2019\). Site: \[Revista Águas Subterrâneas\]\(#\).](#)
- [Riyis, M. T., de Jesus, L. S., Arakaki, E., & Giacheti, H. L. \(2019\). Varredura vertical de amostras de solo com LNAPL utilizando dispositivo de baixo custo com luz ultravioleta. *Águas Subterrâneas*, 33\(3\), 247–257. <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/29362>.](#)
- [Riyis, M. T.. Contribuição para Investigação de Áreas Contaminadas com Abordagem de Alta Resolução /Marcos Tanaka Riyis, 2019,162 f.](#)

- ÂMBITO DA APLICAÇÃO

Os procedimentos de identificação da presença de hidrocarbonetos em solo e água subterrânea aplicam-se a postos revendedores, postos de abastecimento e instalações de sistemas retalhistas, e outras atividades armazenadoras de combustíveis, passíveis ou não de licenciamento ambiental, em qualquer etapa de sua regularização, quando observadas as seguintes condições:

- acidentes com derramamento de produtos líquidos de combustíveis;
- implantação de novos empreendimentos em local onde antes era desenvolvida atividade potencialmente poluidora;
- em situações onde o monitoramento eletrônico instalado estiver desativado/inoperante no momento da vistoria técnica realizada pelo corpo técnico do órgão ambiental;
- em situações onde o monitoramento eletrônico instalado detectar a ocorrência de vazamentos durante o respectivo monitoramento;
- em situações nas quais o monitoramento da qualidade da água de poços tubulares presentes no empreendimento, ultrapassarem os Valores de Prevenção (VP);
- em situações onde estiverem ausentes equipamentos de proteção e componentes do SASC para postos Classe III (ABNT NBR 13.786, ou outra que venha sucedê-la);

- em situações que caracterizem área como Área Potencialmente Contaminada (AP) nos termos do item XXVI do Anexo 1 – CONCEITOS E DEFINIÇÕES.
- em outras situações que produzam indícios de contaminação, nos termos do item XXIX do Anexo 1 – CONCEITOS E DEFINIÇÕES.

O diagnóstico de áreas contaminadas, por meio da Investigação Detalhada deverá ser desenvolvido nas áreas onde foram confirmadas, nas etapas de Avaliação Preliminar e Investigação Confirmatória, a presença de contaminação por hidrocarbonetos derivados de petróleo em solo e/ou na água subterrânea, cuja geometria, extensão e teores devidamente determinados, possibilitem a avaliação de riscos à saúde humana.

A etapa de investigação detalhada prevê a apresentação de Relatório de Investigação Detalhada pelo responsável legal e deverá ser desenvolvida:

1. Quando as etapas anteriores (Avaliação Preliminar e Investigação Confirmatória) indicarem a necessidade de realização de detalhamento, devendo a área de interesse ser classificada como Área Contaminada sob Investigação (ACI).
2. Na convocação, por parte do órgão ambiental, para apresentação desta etapa no processo de gerenciamento de áreas contaminadas.

- CONDIÇÕES DISCIPLINARES

- Ao órgão ambiental deverá ser encaminhado relatório técnico consistente e objetivo, acompanhado da respectiva Anotação de Responsabilidade Técnica - ART de profissional legalmente habilitado, conforme disposições contidas no Roteiro de Investigação.
- Os tópicos balizadores a serem rigorosamente observados, constam do corpo deste Roteiro. Os critérios técnicos adotados poderão ser reformulados e/ou complementados pelo Instituto Brasília Ambiental, de acordo com o desenvolvimento científico e tecnológico e a necessidade de preservação ambiental.
- As etapas do processo de gerenciamento de áreas contaminadas serão conduzidas pelo órgão ambiental de acordo com o Anexo 3 da Resolução CONAMA 420/2009.

- O órgão ambiental comunicará, através de ofício ao Conselho de Classe, toda constatação de omissão e/ou não cumprimento das diretrizes mínimas estabelecidas, que resultem em estudos desprovidos de consistência técnica, para aplicação das medidas pertinentes.
- A validação da qualidade e suficiência das informações prestadas será realizada mediante análise, por corpo técnico habilitado, órgão ambiental, com base no cumprimento das solicitações contidas neste Roteiro de Investigação e nas Normas de Referência, aplicados na elaboração dos estudos apresentados pelos Responsáveis Legais e seus respectivos Responsáveis Técnicos;
- Serão considerados descumprimentos do Roteiro de Investigação, sujeitos à desaprovação sumária do Estudo, entre outros:
 - ausência de informações mínimas requeridas no Roteiro de Investigação, sem a devida justificativa técnica;
 - ausência de Anotação de Responsabilidade Técnica – ART, assinada por Responsável Técnico habilitado com visto profissional para atuação no Distrito Federal e cadastrado no Cadastro de Profissionais do Instituto Brasília Ambiental;
 - apresentação de estudos no formato de cópia reprográfica;
 - apresentação de estudos que contenham tabelas, gráficos, mapas e outras informações visuais ilegíveis;
 - apresentação de informações geoespaciais em desacordo com as especificações técnicas aplicáveis ou incompletos (sem todas as extensões de arquivo necessárias ao manuseio dos dados e informações, por exemplo);
 - apresentação de relatórios referentes à amostragem de água subterrânea a partir de poços de monitoramento que não sejam acompanhados do relatório do projeto e construção dos poços, relatório do desenvolvimento dos poços e do relatório de purga e amostragem;
 - apresentação de resultados analíticos que não sejam acompanhados das respectivas cadeias de custódia, ficha de recebimento e dos laudos analíticos emitidos por

laboratório certificado pelo INMETRO com base na Norma ABNT NBR ISO/IEC 17025;

- ausência de Anexos listados nos Roteiros sem a devida justificativa técnica;

- Os relatórios dos Estudos de Identificação de Passivos Ambientais e de Diagnóstico da Contaminação devem ser compostos das etapas de Avaliação Preliminar, Investigação Confirmatória e Investigação Detalhada, cujos respectivos Roteiros Executivos são apresentados em sequência.

- O relatório da etapa de Investigação Detalhada deverá ser acompanhado do relatório referente ao desenvolvimento dos Estudos de Avaliação de Riscos à Saúde Humana e, quando aplicável, Estudos de Avaliação de Riscos Ecológicos.

- As etapas de Investigação Confirmatória e Investigação Detalhada deverão ser precedidas da apresentação dos Planos Preliminares de Amostragem a ser submetido ao Instituto Brasília Ambiental para convalidação, elaborados com base nos respectivos roteiros.

- ROTEIROS DE EXECUÇÃO

- AVALIAÇÃO PRELIMINAR DE PASSIVOS AMBIENTAIS

A etapa inicial do gerenciamento de áreas contaminadas (avaliação preliminar) tem como objetivo caracterizar as atividades desenvolvidas e em desenvolvimento na área sob avaliação, identificar as áreas-fonte e as fontes potenciais de contaminação (ou mesmo fontes primárias de contaminação) e constatar evidências, indícios ou fatos que permitam suspeitar da existência de contaminação, embasando a sua classificação como área suspeita de contaminação (AS) e orientando a execução das demais etapas do processo.

Havendo suspeita da existência de contaminação na avaliação preliminar, realiza-se a investigação confirmatória. Sendo confirmada a existência de alteração na qualidade do solo e/ou da água subterrânea, realiza-se a investigação detalhada com avaliação de risco à saúde humana.

Durante a etapa de avaliação preliminar podem ser obtidas evidências da ocorrência de situações de perigo que indiquem a necessidade de adoção de medidas emergenciais visando à proteção da saúde humana e de outros bens a proteger.

O Relatório de Passivo Ambiental – Etapa Avaliação Preliminar deverá ser elaborado conforme os aspectos técnicos contidos na “ABNT NBR 15.515-1:2021 – Passivo ambiental em solo e água subterrânea Parte 1: Avaliação preliminar” e correlatas, e seu respectivo Modelo Conceitual da Área (MCA), o qual deverá ser elaborado conforme a “ABNT NBR 16.210 – Modelo conceitual no Gerenciamento de Áreas Contaminadas — Procedimento”.

Todos os aspectos dessas normativas deverão ser atendidos e, quando não possível de realização e/ou não se aplicarem, excepcionalmente, deverão ser tecnicamente justificados.

Complementarmente, deverão ser utilizadas as orientações contidas na respectiva seção do Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas da CETESB, ainda que não citados explicitamente neste Roteiro.

Para diminuir as incertezas da conclusão da etapa da Avaliação Preliminar e proporcionar maior qualidade na determinação da malha amostral, e para justificar com maior assertividade a necessidade da realização da etapa de Investigação Confirmatória, não serão mais aceitos por esse Instituto, nas Avaliações Preliminares protocoladas a partir de novembro de 2023, a técnica de varredura do mapeamento das concentrações de compostos orgânicos voláteis (volatile organic compounds - VOC) por meio da técnica de *Soil Gas Survey* (SGS) na Avaliação Preliminar, visto que a mesma proporciona falsos negativos e positivos dependendo do tipo de solo amostrado. Logo, deverá ser realizada em toda Avaliação Preliminar o levantamento dos VOC, utilizando outras técnicas, tais como, poços temporários de vapor, amostradores passivos, entre outras; com espaçamento regular (5x5m) em toda a área do empreendimento; considerando a distribuição dos equipamentos e dutos em operação ou desativados.

Alternativamente, poderão ser utilizadas outras ferramentas de resposta rápida, conforme orientações contidas na “*Tabela 1 – Métodos analíticos de resposta rápida (real time)*” da Norma ABNT NBR 15.515-2:2023 - Passivo ambiental em solo e água subterrânea – Parte 2: Investigação confirmatória. Poderão ainda ser utilizadas tecnologias como a caixa preta

de luz UV-A/B, com amostragem de solo de perfil completo e malha amostral abrangente da área analisada.

Durante a realização desse levantamento, sempre que observados indícios de contaminação no solo, deverá ocorrer o adensamento da malha para melhor caracterização, ainda nesta fase de Avaliação Preliminar.

Quando da aplicação de métodos geofísicos, os mesmos deverão ser realizados com base na “ABNT NBR 15.935:2011 – Investigações Ambientais – Aplicação de Métodos Geofísicos”, bem como as orientações contidas na “Tabela 2 – Métodos Geofísicos” da ABNT NBR 15.515-2:2023.

Adicionalmente, se a Avaliação Preliminar (com base no Modelo Conceitual elaborado) constatar a necessidade de continuidade do processo de gerenciamento; deve-se protocolar o Plano Preliminar de Amostragem para Investigação Confirmatória junto com o Relatório de Investigação de Passivo Ambiental - Avaliação Preliminar, que contemple as premissas técnicas e conteúdo estipulados no respectivo Roteiro e cronograma de execução.

RELATÓRIO DE AVALIAÇÃO PRELIMINAR

O relatório de etapa de avaliação preliminar deverá conter, minimamente, as seguintes informações:

a) Resumo executivo;

O resumo executivo deve conter, minimamente, a descrição sucinta das atividades realizadas durante a avaliação preliminar (levantamento de dados, entrevistas, inspeção de reconhecimento da área, elaboração do modelo conceitual e relatório, entre outras), contendo as datas de início e fim de cada atividade e o resumo dos principais resultados alcançados.

b) Introdução:

A introdução deverá conter, minimamente, informações sobre a motivação para a realização do estudo, contexto histórico resumido do uso e ocupação da área investigada, escopo resumido do trabalho, objetivos pretendidos, principais fatores limitantes e

observações adicionais julgadas pertinentes para avaliação de cada etapa ou que influenciaram os resultados obtidos.

c) Localização da área, identificação do empreendimento e dos responsáveis legal e técnico;

A identificação do empreendimento deverá ser dada por meio do fornecimento da Razão Social, Nome Fantasia e CNPJ (da respectiva unidade em caso de redes).

A localização da área deverá ser dada pela descrição do endereço completo do lote/área, incluindo o código de endereçamento postal, croqui ou mapa de localização e coordenadas do ponto central em SIRGAS 2000/UTM 23S.

Deverá ser apresentada também a identificação do responsável legal e responsável técnico contendo, minimamente, Nome completo, CPF/RG, cargo/função, telefone de contato, e-mail, registro profissional (resp. técnico) e visto de trabalho (quando couber).

d) Histórico do uso da propriedade/entorno

Deverá ser realizado o levantamento histórico do uso da área e entorno, com auxílio de imagens multitemporais, entrevistas com moradores locais e, obrigatoriamente, pesquisa junto a instituições (Administrações Regionais, Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Habitação, ADASA, CAESB e outros), bem como consulta a fontes oficiais de informação como o [Geoportal/DF](#), o [Sistema Distrital de Informações Ambientais - SISDIA](#), [ATLAS CAESB](#) e o [Observatório da Natureza e Desempenho Ambiental do Distrito Federal – ONDA-DF](#).

Coleta de dados existentes sobre o histórico operacional do empreendimento (eventos de vazamentos, reformas, troca de bandeiras, mudança de layouts, autuações, alteração da volumetria da tancagem, levantamento de antigos ensaios de estanqueidade, dentre outros).

O histórico do processo de licenciamento ambiental (quando existente) deverá ser consultado para fins de elaboração do MCA, cuja cópia digitalizada ou vistas ao processo físico deverão ser solicitadas ao Instituto Brasília Ambiental.

A caracterização do entorno deverá ser realizada em um raio de 250 (duzentos e cinquenta) metros a partir do perímetro do empreendimento, com a identificação, mínima, de:

- O uso e ocupação do solo, com a identificação de receptores potenciais ou bens a proteger, como por exemplo, áreas residenciais, áreas comerciais, áreas industriais, áreas de lazer, áreas de produção agropecuária, piscicultura, hortas, escolas, hospitais, creches, etc.
- A localização e a classificação dos corpos d'água superficiais e subterrâneos.
- A localização de poços de abastecimento cadastrados junto à Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal – ADASA num raio de 500 m do entorno do empreendimento.
- A localização de poços rebaixamento, drenos, fontes, nascentes e todos os tipos de poços de abastecimento não cadastrados.
- A localização de Área com Potencial de Contaminação (AP), Área com Suspeita de Contaminação (AS), Área Contaminada (AC), Área em Processo de Monitoramento (AM) e Área Reabilitada para Uso Declarado (AR), eventualmente, existentes na região considerada.
- A indicação da existência de rede de esgoto, de água tratada, de águas pluviais e de outras utilidades subterrâneas.

As informações representadas em mapas/croquis, bem como as imagens multitemporais poderão ser incluídas como Anexo do Relatório e referenciadas no texto, com a finalidade de se manter resoluções compatíveis e informações legíveis.

O histórico poderá ser obtido também por meio de entrevistas, devendo ser citado no relatório: a data ou os períodos da(s) entrevista(s) realizada(s) e a relação das pessoas entrevistadas, contendo a identificação de cargo, função e tempo de empresa.

e) Contexto físico:

Devem ser coletados dados geológicos, hidrogeológicos, hidrológicos, geomorfológicos e meteorológicos, que podem ser obtidos junto aos órgãos de controle e planejamento ambiental, universidades, institutos de pesquisa (geológico e agrônômico, entre outros), empresas de abastecimento de água, empresas perfuradoras de poços e etc.

Os conteúdos básicos a serem apresentados são os indicados no item 6.4.7.5 – Aspectos do meio físico da ABNT 15.515-1:2021, quais sejam:

- Registrar aspectos topográficos que possam ser associados à maior relevância de potencial de contaminação, como voçorocas, corte e aterro, cava ou outro tipo de modificação do relevo original.
- Condições naturais, como presença de manguezais, várzeas, áreas de solos permeáveis, áreas de recargas, feições cársticas e outras, devem ser consideradas de relevância potencial na inspeção realizada.
- Informar o tipo de solo ou litologia na(s) área(s) potencial(is), com base em observações realizadas durante a avaliação preliminar ou por meio de registros existentes contendo resultados de sondagens, perfuração de poços ou análises granulométricas.
- Caso existam boletins de sondagens ou perfis de poços de monitoramento ou tubulares profundos, deve ser informada a profundidade do nível da água subterrânea no interior da área, medida ou estimada, para os pontos de maior e menor elevações topográficas na área avaliada.
- Indicar o contexto hidrogeológico regional presente na área em questão e adjacências, sua vulnerabilidade relativa e uma descrição sucinta da geologia da área, com base em mapas geológicos e hidrogeológicos regionais e observações de campo.
- Com fundamento nas informações obtidas, devem ser indicados os tipos de aquíferos que ocorrem no local, como granular, fissurado ou cárstico, quando em relação à forma de armazenamento e como livre, confinado ou semiconfinado, quando em relação ao diferencial de pressão.
- Com fundamento no gradiente topográfico regional, deve ser indicado o sentido esperado de fluxo subterrâneo na área avaliada. Áreas de recarga e descarga podem ser registradas quando houver informação suficiente.
- Avaliar a possibilidade, frequência e intensidade de ocorrência de enchente na área avaliada e entorno.

- Registrar a existência de processos erosivos na área avaliada, como laminar, sulcos e voçorocas.
- Quando houver histórico de avaliações ambientais anteriores que contemplem coleta e análise de amostra de solo e água subterrânea, cujos resultados de concentrações de substâncias químicas de interesse sejam superiores a um valor de referência vigente na região, no país ou, na ausência desse, seja um valor internacionalmente aceito, indicando a existência de um risco potencial à segurança, à saúde humana ou ao meio ambiente, esses resultados devem ser reportados na avaliação da área, justificando a necessidade ou não da tomada de ações complementares, visando a investigação ou remediação de áreas contaminadas.
- A identificação da presença de produtos ou substâncias perigosas em fase livre na água subterrânea caracteriza a área avaliada como contaminada.
- Na hipótese de a água subterrânea na área avaliada ou no entorno ser utilizada e estar potencialmente ou de fato contaminada, deve ser indicado qual é o seu uso previsto.
- Caso haja uso de água subterrânea de aquíferos distintos, deve ser informado o uso predominante de cada aquífero.
- Deve ser verificada a existência de contaminação potencial das águas superficiais provenientes da área avaliada e identificado o uso dado a estas. Essa constatação pode ser realizada pela consulta de histórico de avaliações ambientais anteriores que contemplem coleta e análise de amostras de água superficial.

Dados de relevo ou topografia, uso atual do solo e contexto geológico e/ou hidrogeológico secundários, devem ser extraídos de fontes oficiais de informação (ex: [Geoportal do Serviço Geológico Brasileiro](#), [Estudos Geológicos e Hidrogeológicos do SGB](#), [Instituto Nacional de Meteorologia - INMET](#), [SISDIA](#), entre outros).

Deverá ser realizado, pelo menos, um furo guia para caracterizações pedológicas/geológicas no qual deverão ser utilizados métodos de sondagens conservativos das amostras, e visto o fato das normativas ABNT 15.492:2007 e correlatas, que versam sobre o assunto, atualmente estarem em processos de revisões, deve-se considerar a

utilização das boas práticas e técnicas de amostragem de solos presente em: “Riyis, M. T., Arakaki, E., Riyis, M. T., & Giacheti, H. L. (2019). A importância da amostragem de solo de perfil completo (ASPC) para a investigação de alta resolução em áreas contaminadas”. *Águas Subterrâneas*, 33(4). Site: Revista *Águas Subterrâneas*.

As informações geoespaciais de referência deverão ser apresentadas em anexo próprio (em formato PDF) e acompanhadas do respectivo arquivo em formato *shapefile*.

Informações provenientes de inspeções de campo deverão ser incluídas com as informações adicionais de período de realização, responsável técnico pela coleta de dados e produção da informação e do respectivo relatório fotográfico cujas características deverão obedecer ao estabelecido no Anexo 01.

f) Inspeção da Área e Caracterização do Empreendimento:

A inspeção da área deverá ser acompanhada do Relatório Fotográfico e do preenchimento da ficha de vistoria do empreendimento, conforme Anexo 02.

A inspeção da área e caracterização do empreendimento também deverá ser acompanhada de:

- Apresentação de planta baixa em escala compatível ($\geq 1:500$), contendo *layout* atual do Sistema de Abastecimento Subterrâneo de Combustíveis – SASC e/ou Sistema de Armazenamento Aéreo de Combustíveis - SAAC.
- Informações sobre eventual *layout* antigo, com descrição e localização de equipamentos desativados ainda presentes na área de interesse.
- Descrição e imagens fotográficas de acessórios periféricos de segurança presentes no empreendimento.
- Descrição acompanhada de imagens fotográficas da situação das instalações e infraestrutura atuais (canaletas, área de lavagem, pisos, local de lubrificação e de troca de óleo, locais de disposição ou infiltração de resíduos, bombas, filtros, caixas separadoras, base de respiro).

- Memorial descritivo (*as built*) referente aos equipamentos instalados que armazenam e conduzem combustíveis, com estimativa de vida útil, incluindo data de fabricação, modelo, fabricante e material constituinte.
- Localização de Poços de Monitoramento já existentes em UTM/Datum, bem como suas características construtivas e estado de conservação.
- Localização de poço(s) de extração de água subterrânea na área do empreendimento, com informações sobre suas características construtivas, idade, perfil descritivo, localização em UTM/Datum.
- *Layout* atualizado do sistema de captação de águas pluviais e esgotos, em escala de detalhe ($\geq 1:500$).
- Comentários das observações da inspeção de campo ou documentos consultados, que devem conter, entre outras, as seguintes informações: uso da área (atual e passado); substâncias químicas de interesse em conexão com usos; odores químicos; derrames; manchas ou outros impactos superficiais na área; equipamentos e utilidades aéreas e subterrâneas; indicações de transformadores e capacitores; áreas com alteração ou ausência de vegetação; corpos de água; caixas de utilidades (como coletoras, de passagem, de recalque, etc.); escoamento de drenagem superficial; evidência de lançamentos inadequados de água pluvial e efluentes; utilidades, drenos, poços e fossas sépticas; evidência de derrames ou infiltrações; aterros, sumidouros ou solo movimentado; evidência de solo impactado; emissões e descartes de efluentes; evidência de contaminação em água superficial ou subterrânea; evidência de poços de monitoramento ou atividades de remediação de áreas contaminadas; histórico de uso agrícola; uso de defensivos agrícolas; informações obtidas em entrevistas com pessoas que detenham conhecimento do histórico e que sejam responsáveis pela área; e outros aspectos relevantes.

Deverão ser discutidos os aspectos da integridade das construções, de seu estado de conservação, de problemas operacionais, entre outros, que possam ser causa/origem de situações que caracterizem indícios de contaminação.

Neste item deverão ser incluídos os resultados da aplicação de métodos geofísicos ou outros métodos de varredura que tenham sido utilizados.

g) Modelo conceitual

Deverá representar a situação da área quanto à possível contaminação existente e sua relação com o entorno, incluindo bens a proteger. Será utilizado como base para o planejamento das etapas posteriores de investigação, com atualizações a cada fase de avanço do conhecimento e consolidação, previstas nas etapas de detalhamento e de reabilitação da área, quando necessárias.

Deverá seguir as recomendações contidas na ABNT NBR 15515-1:2021: Passivo ambiental em solo e água subterrânea – Parte 1: Avaliação preliminar e na ABNT NBR 16210:2022: Modelo conceitual no Gerenciamento de Áreas Contaminadas – Procedimento.

Deverá conter, minimamente:

- a determinação dos limites da área avaliada e resumo das informações históricas de uso e ocupação;
- a caracterização do meio físico;
- a determinação das fontes de contaminação;
- a descrição dos mecanismos de liberação;
- a descrição das vias de transporte dos contaminantes no meio;
- as substâncias químicas de interesse (SQI) associadas a cada uma dessas fontes;
- a identificação e caracterização dos receptores e bens a proteger;
- as vias de exposição nos receptores;
- o uso e ocupação do solo na região onde a área se insere;
- a indicação do uso pretendido da área avaliada, mesmo que seja igual ao atual;

- outros aspectos relevantes registrados;
- as incertezas;
- mapa em escala regional, mostrando a localização da área de estudo e o entorno, e seus acessos, bem como a indicação dos principais bens a proteger; e
- mapa em escala local, demonstrando a localização das fontes suspeitas na área avaliada, sua denominação e receptores locais.

O modelo conceitual deverá ser apresentado, também, em como planilha eletrônica conforme Tabela A1. 1.

Tabela A1. 1. Exemplo de planilha para modelo conceitual inicial. Fonte: IAT (2020).

Identificação da Área	Categoria	Fontes Primárias	Mecanismos de Liberação	Fontes secundárias	Mecanismos Secundários de Liberação	Vias de Propagação e Exposição	Receptores potenciais
AF-01 (Pista de Abastecimento)	AS	Linhas de sucção, filtro de diesel, bombas de abastecimento vazando, canaletes de drenagem com trinca.	Infiltração no solo e escoamento superficial de substâncias químicas provenientes das atividades pretéritas realizadas na área, por meio de comprovados vazamentos (S).	Suspeita de Solo Contaminado	Dispersão no meio	Águas Subterrâneas e gases ascendentes no solo	Trabalhadores, clientes e moradores do entorno.
AF-02 (Área de Tancagem)	AP	Tanques, respiro dos tanques, descarga direta, canaletes de drenagem.	Infiltração no solo e escoamento superficial de substâncias químicas provenientes das atividades pretéritas realizadas na área, por meio de comprovados vazamentos e/ou derramamentos (P).	Suspeita de Solo Contaminado	Dispersão no meio	Águas Subterrâneas e gases ascendentes no solo	Trabalhadores, clientes e moradores do entorno.

Legenda: AF- Área Fonte; AS – Área Suspeita; AP – Área Potencial, S - suspeito, P – potencial.

h) conclusões e recomendações

As conclusões deverão abordar todos os aspectos mais importantes que determinaram a adoção do posicionamento técnico exarado, incluindo a discussão de incertezas. Deverá ser clara e objetiva quanto à necessidade da condução da etapa de investigação confirmatória, vinculando-se o Plano Preliminar de Amostragem para a Investigação Confirmatória (quando couber).

i) referências;

Deverão ser incluídas, conforme ABNT 6023:2020 – Informação e Documentação – Referências – Elaboração.

j) qualificação e assinatura do(s) profissional(is) responsável(is).

Anexos

Deverão ser apresentados juntamente com os estudos, minimamente, os seguintes anexos (observadas as condições disciplinares e os anexos de referência):

- i. mapas da área e entorno;
- ii. planta ou croqui da área;
- iii. Relatório de Vistoria e Ficha de Inspeção nos termos do Anexo 02;
- iv. registro documental (imagens e fotos aéreas, plantas baixas e de utilidades da área etc.);
- v. licenças, permissões, autorizações e outorgas pertinentes;
- vi. estudos ambientais anteriores e/ou complementares, incluindo os relativos à aplicação de métodos de varredura;
- vii. outros documentos relevantes;
- viii. declaração de responsabilidade nos termos do Anexo 03; e
- ix. anotação de responsabilidade técnica (ART).

o PLANO PRELIMINAR DE AMOSTRAGEM PARA INVESTIGAÇÃO CONFIRMATÓRIA

O Plano Preliminar de Amostragem para a investigação confirmatória deverá ser apresentado quando a investigação preliminar indicar a necessidade de continuidade do processo de investigação e deverá ser elaborado seguindo as orientações contidas no item “6.3 – Plano de Amostragem”, da “ABNT NBR 15515-2:2023: Passivo ambiental em solo e água subterrânea – Parte 2: Investigação confirmatória”, e no “item 2.3 - Plano preliminar de amostragem da etapa de Investigação Confirmatória contido na seção [5.5 – Relatório de Avaliação Preliminar](#) do Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas da CETESB; a partir da validação do Modelo Conceitual.

Contribuições técnicas para a composição do Plano Preliminar podem ser observadas em [Riyis, M. T.. Contribuição para Investigação de Áreas Contaminadas com Abordagem de Alta Resolução /Marcos Tanaka Riyis, 2019,162 f;](#) e outras bibliografias de referência elencadas.

O Plano apresentado deverá conter, minimamente:

a) Meios a serem amostrados

Deverão ser descritos os meios a serem amostrados (solo, água, ar) e suas características quanto aos aspectos geológicos e hidrogeológicos, com base no Modelo Conceitual validado (incluindo as informações do furo guia e os resultados da aplicação de métodos de varredura).

b) Distribuição dos pontos de amostragem e design amostral

O design deverá basear-se no Modelo Conceitual, nos resultados da caracterização das propriedades físicas, da caracterização geológica e hidrogeológica, bem como nos resultados das aplicações dos métodos de varredura e métodos de resposta rápida.

Deverá ser apresentada a distribuição espacial dos pontos de amostragem, bem como os designs amostrais e as soluções adotadas em relação às dificuldades encontradas para a localização dos pontos de amostragem, incluindo a caracterização de propriedades físicas e as profundidades de amostragem.

Deverão se apresentadas as fontes de contaminação ou áreas vizinhas que possam influenciar na área em avaliação.

As fontes deverão ser indicadas com base no modelo conceitual elaborado. Deverão ser listadas todas as fontes suspeitas e potenciais, incluindo a lista de prioridades para investigação (quando couber). O eventual descarte ou eliminação de fonte deverá ser tecnicamente justificado não sendo cabível a justificativa financeira para redução do escopo de investigação.

A profundidade de amostragem deverá ser justificada a partir do modelo conceitual, dos resultados da aplicação dos métodos de varredura, do modelo geológico e hidrogeológico e das características das fontes de contaminação (observadas as orientações da Tabela 3 da ABNT NBR 15.515-2:2023). Atenção especial deverá ser dada às profundidades a serem atingidas e intervalos a serem amostrados nas áreas: de tancagem, descarga, abastecimento, das caixas separadoras, de disposição de óleo usado, dentre outras.

c) Determinação das substâncias químicas de interesse a serem analisadas

Deverão ser elencadas as SQI com base na avaliação do Modelo Conceitual e utilizados os valores de referência listados no Anexo II da [Resolução CONAMA 420 de 28 de dezembro de 2009](#), complementarmente, os [Valores Orientadores para Solo e Água Subterrânea](#) da CETESB, os [Regional Screening Levels \(RSLs\)](#) da United States Environmental Protection Agency (USEPA), ou outras normas internacionais de referência.

Deverão ser analisados, minimamente, os hidrocarbonetos aromáticos voláteis (Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos), os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos- PAH, Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (Total Petroleum Hydrocarbons - TPH). Resultados positivos de TPH deverão ser detalhados pela realização do TPH Fracionado (pela metodologia *fingerprint*).

d) Determinação do número de campanhas de amostragem

Deverão ser apresentadas informações sobre o número de campanhas necessárias para o cumprimento do escopo da investigação confirmatória, acompanhado do cronograma para sua execução.

e) Técnicas de amostragem e realização de análises químicas

Deverão ser elencadas as técnicas de sondagem, de coleta, manuseio, preservação, triagem e subamostragem das amostras de solo, água subterrânea, vapores do solo e outros materiais de interesse; a serem utilizadas na execução do *design* amostral seguindo, minimamente, as orientações contidas nas seguintes Normas:

- ABNT NBR 15.492:2007 – Sondagem de reconhecimento para fins de qualidade ambiental – Procedimento;
- ABNT NBR 15.495-1:2007 - Versão Corrigida 2:2009: Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulados – Parte 1: Projeto e construção;
- ABNT NBR 15.495-2:2008 - Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares – Parte 2: Desenvolvimento;
- ABNT NBR 15.847:2010: Amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento – Métodos de purga; e
- ABNT NBR 16.434:2015: Amostragem de resíduos sólidos, solos e sedimentos - Análise de compostos orgânicos voláteis (COV) – Procedimento.

Deve ser implementada a Amostragem de Solo de Perfil Completo (ASPC) com amostragem da zona saturada, seguidas as boas práticas e técnicas de seleção e amostragem de solos apresentadas em: [“Riyis, M. T., Arakaki, E., Riyis, M. T., & Giacheti, H. L. \(2019\). A importância da amostragem de solo de perfil completo \(ASPC\) para a investigação de alta resolução em áreas contaminadas”. *Águas Subterrâneas*, 33\(4\). Site: *Revista Águas Subterrâneas*; e outras bibliografias de referência elencadas.](#)

Não deve ser utilizado fluido de perfuração, bem como emprego de graxas ou outro material.

Deve-se usar, preferencialmente, sondagem revestida e não deve ser usado método rotativo para coleta de amostras, limitando-se sua utilização como método consorciado para revestimento da sondagem e coleta de amostra pelos métodos de cravação contínua.

Métodos não revestidos somente poderão ser utilizados quando permitirem a abertura do amostrador na profundidade selecionada para coleta da amostra (ex. método *piston sampler*).

Deve-se obter amostras a partir do *liner*.

Deverá ser apresentado texto explicativo das práticas para controle de qualidade da amostra de acordo com estabelecido nos itens “c” até “i” do item “4 Qualidade na amostragem de solo e água subterrânea” da ABNT 16435:2015, quais sejam:

- seleção prévia de equipamentos e materiais adequados considerando o modelo conceitual de investigação da área e as melhores práticas aplicáveis;
- procedimento de calibração dos equipamentos (apresentação dos certificados em anexo);
- procedimento verificação e de ajuste intermediário de equipamentos (indicados no certificado de calibração);
- avaliação da acessibilidade aos pontos de amostragem;
- avaliação e implantação de logística adequada de armazenamento e transporte dos equipamentos;
- avaliação prévia da infraestrutura disponível;
- condições estabelecidas para limpeza, descontaminação, uso e manutenção dos equipamentos e recipientes;

Deverá ser apresentada a descrição dos equipamentos que serão utilizados para a execução das sondagens e amostragem.

Deverão ser listadas as informações do(s) laboratório(s) contratado(s) para a realização das análises, incluindo o certificado emitido pelo INMETRO com acreditação na ABNT NBR ISSO/IEC 17025 e as informações sobre os métodos que serão utilizados para as análises, como:

- métodos analíticos adotados;
- pré-tratamento de amostras;
- prazos aceitáveis de estocagem e análise das amostras;
- amostras de controle de qualidade;
 - branco de equipamento de amostragem;
 - branco de campo;
 - branco de temperatura;
 - branco de viagem; e
 - replicatas.

Poderão ser encaminhados os modelos de cadeia de custódia e laudos, que deverão estar de acordo com as disposições contidas na “ABNT NBR ISSO/IEC 17025:2017; Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração”; “ABNT NBR 15515-2:2023: Passivo ambiental em solo e água subterrânea – Parte 2: Investigação confirmatória” e “ABNT NBR 16435:2015: Controle da qualidade na amostragem para fins de investigação de áreas contaminadas – Procedimento”.

Este Plano será a base para a elaboração do Plano Definitivo de Amostragem para Investigação Confirmatória durante a execução da etapa de Investigação Confirmatória, que deverá ser elaborado conforme orientações contidas neste roteiro e no item “j” do “Relatório de Investigação Confirmatória”.

Dessa forma, informações complementares indispensáveis ao Plano Definitivo de Amostragem para Investigação Confirmatória, quando disponíveis, poderão ser incluídas no Plano Preliminar, a critério do responsável técnico por sua elaboração.

o INVESTIGAÇÃO CONFIRMATÓRIA

A etapa de investigação confirmatória deverá ser realizada com base nos resultados da avaliação preliminar, seguindo o disposto na Norma ABNT NBR 15515-2:2023: Passivo ambiental em solo e água subterrânea – Parte 2: Investigação confirmatória e outras normas de referência.

Complementarmente, deverão ser utilizadas as orientações contidas na respectiva seção do Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas da CETESB, ainda que não citados explicitamente neste Roteiro.

RELATÓRIO DE INVESTIGAÇÃO CONFIRMATÓRIA

a) Resumo executivo;

O resumo executivo deve conter, minimamente, a descrição sucinta das atividades realizadas durante a investigação confirmatória (levantamento complementar de dados, entrevistas, inspeção de reconhecimento da área, atualização do modelo conceitual e relatório, campanhas de amostragem, entre outras), contendo as datas de início e fim de cada atividade e o resumo dos principais resultados alcançados. Deverão ser apontadas eventuais alterações de escopo do Plano Preliminar de Amostragem para Investigação Confirmatória.

b) Introdução:

A introdução deverá conter, minimamente, informações sobre a motivação para a realização do estudo, contexto histórico resumido dos estudos anteriores, escopo resumido do trabalho, objetivos pretendidos, principais fatores limitantes e observações adicionais julgadas pertinentes para avaliação de cada etapa ou que influenciaram os resultados obtidos.

c) Histórico

O histórico deverá ser composto pela relação de estudos anteriormente realizados, pelas manifestações técnicas emitidas pelo órgão ambiental; bem como por outros estudos e relatórios que fundamentaram a realização da investigação confirmatória

d) Objetivo e escopo

Deverão ser listados de maneira objetiva os objetivos específicos da etapa de investigação confirmatória, preferencialmente, vinculados às fontes identificadas e ao escopo estabelecido, com base no modelo conceitual estabelecido na avaliação preliminar e suas atualizações.

e) Limitações da metodologia adotada

Deverão ser apresentadas as limitações das metodologias adotadas e as consequências para a obtenção dos resultados, bem como seu impacto no processo de tomada de decisão.

Somente será justificável a apresentação de limitações vinculadas aos métodos de sondagem, quando comprovadamente não for possível a aplicação de método complementar, observadas as disposições deste Roteiro.

f) Localização da área, identificação do empreendimento e dos responsáveis legal e técnico;

A identificação do empreendimento deverá ser dada por meio do fornecimento da Razão Social, Nome Fantasia e CNPJ (da respectiva unidade em caso de redes).

A localização da área deverá ser dada pela descrição do endereço completo do lote/área, incluindo o código de endereçamento postal, croqui ou mapa de localização e coordenadas do ponto central em SIRGAS 2000/UTM 23S.

Deverá ser apresentada também a identificação do responsável legal e responsável técnico contendo, minimamente, Nome completo, CPF/RG, cargo/função, telefone de contato, e-mail, registro profissional (resp. técnico) e visto de trabalho (quando couber).

g) Contexto geográfico

Deverão ser apresentadas as principais informações para a contextualização geográfica que influencie na determinação dos bens a proteger, tais como o zoneamento territorial a partir do [Plano Diretor Ordenamento Territorial do Distrito Federal – PDOT](#) e [Lei de Uso e Ocupação do Solo – LUOS](#), informações censitárias atualizadas ([IBGE](#)), contexto no [Plano de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos do DF - PGIRH](#); contexto conforme o [Zoneamento Ecológico-Econômico do Distrito Federal](#); contexto de vulnerabilidade natural à contaminação do aquífero, conforme o [Serviço Geológico Brasileiro – SGB](#); bem como outras informações julgadas pertinentes, resultantes

h) Uso e ocupação do solo

Deverão ser apresentadas informações complementares às fornecidas (quando existentes) na etapa de avaliação preliminar.

i) Contexto geológico e hidrogeológico

Deverão ser fornecidas informações complementares às apresentadas na avaliação preliminar, com base na atualização do modelo geológico e hidrogeológico a partir dos resultados obtidos nas sondagens e amostragens realizadas na área investigada apontando (em caso de alteração) as características iniciais e a respectiva atualização no modelo.

j) Plano Definitivo de Amostragem para Investigação Confirmatória

O Plano Definitivo de Amostragem para Investigação Confirmatória deverá ser elaborado, a partir do Plano Preliminar de Amostragem para Investigação Confirmatória e com base no que for estipulado neste Roteiro, que foi confeccionado tendo como base nas Normas ABNT NBR 15.515-2, ABNT 15.492; ABNT NBR 15.495-1, ABNT NBR 15.495-2; ABNT NBR 16.434; ABNT NBR ISO/IEC 17025; 15847 (em suas versões mais recentes), bem como no item 6.2 – Elaboração do Plano de Investigação Confirmatória do Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas da CETESB.

Deverão ser observadas as disposições contidas no item “6.3 – Plano de Amostragem”, da ABNT NBR 15515-2:2023: Passivo ambiental em solo e água subterrânea – Parte 2: Investigação confirmatória.

Devem ser observadas as Normas ABNT de referência para a indicação das metodologias de sondagem, instalação e desenvolvimento de poços, amostragem de solo e água subterrânea; bem como da composição mínima da cadeia de custódia e de laudos analíticos que serão apresentados ao Instituto Brasília Ambiental.

Podem ser utilizadas as orientações contidas no Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas da CETESB como fonte suplementar de informação quanto ao teor de cada tópico.

Deverá ser dada atenção especial às alterações de escopo na Investigação Confirmatória indicando, sempre, o conteúdo inicial do Plano Preliminar, sua convalidação ou alteração no Plano Definitivo, acompanhada da respectiva justificativa técnica e a incerteza associada (quando identificada).

O Plano Definitivo de Amostragem deverá conter os seguintes elementos:

- Validação do Modelo Conceitual;

Deverão ser observados os critérios de validação, nos termos do item 6.3.1 da ABNT 15515-2:2023.

- Meios a serem amostrados;

Deverá ser apresentada a convalidação dos meios amostrados, sua atualização, complementação ou alteração, tecnicamente justificadas, seja pela aplicação de ferramentas de resposta rápida ou de varredura (conforme Tabelas 1 e 2 da ABNT NBR 15.515-2:2023), seja pelas observações de campo, durante o processo de sondagem e/ou amostragem.

- Distribuição dos pontos de amostragem e design amostral;

Deverá ser apresentada a convalidação da distribuição dos pontos de amostragem e do design amostral, sua atualização, complementação ou alteração, tecnicamente justificadas, seja pela aplicação de métodos de coleta de informações adicionais, seja pelas observações de campo durante o processo de sondagem e/ou amostragem, ou ainda pela alteração de metodologia (amostragem direcionada ou sistemática) em função do impacto das limitações encontradas durante a realização do trabalho.

Deverão ser apresentadas as características específicas do ambiente investigado, com base nas avaliações de campo, bem como resultados de análises realizadas em laboratório.

A profundidade de amostragem deverá ser convalidada ou atualizada a partir do Plano Preliminar; justificada a partir da atualização do modelo conceitual, dos resultados da aplicação dos métodos de varredura e de resposta rápida, da atualização do modelo geológico e hidrogeológico; das características das fontes de contaminação (observadas as

orientações da Tabela 3 da ABNT NBR 15.515-2:2023); bem como pelas características do meio, observadas durante as atividades de campo.

- Determinação das substâncias químicas de interesse a serem analisadas;

Deverá conter a convalidação ou atualização das SQI determinadas no Plano Preliminar, incluindo SQI adicionais determinadas com base na atualização do modelo conceitual.

- Determinação do número de campanhas de amostragem;

Deverá conter a convalidação ou atualização das campanhas em razão das dificuldades observadas em campo, contendo as datas de início e fim de cada campanha e a relação das amostras realizadas em cada uma delas;

- Técnicas de Amostragem e realização de análises químicas

Deverão ser convalidadas ou atualizadas as informações sobre as técnicas de sondagem, amostragem e análise apresentadas no Plano Preliminar, incluindo as informações específicas sobre os equipamentos, ferramentas e insumos utilizados.

k) Descrição das atividades realizadas (sondagens, poços, amostragem, ensaios e análises) e metodologias aplicadas.

Deverão ser listadas as atividades efetivamente realizadas durante a etapa de investigação confirmatória.

As informações necessárias aos relatórios listados que, porventura, se repetirem ou que tenham sido reproduzidas em outras partes do Estudo ou anexos (ex.: localização da área, mapas e fotos aéreas, entre outros) poderão ser apenas referenciadas, não sendo necessária sua repetição para fins de atendimento às exigências dos conteúdos mínimos.

Apresentar para as sondagens, o relatório do registro das perfurações (item 7 - ABNT 15.492:2007), contendo minimamente:

- data;

- equipe;
- profissional responsável;
- descrição da metodologia e dos equipamentos utilizados;
- unidades geológicas perfuradas;
- condições climáticas;
- distribuição litológica;
- profundidades da perfuração;
- características litológicas do perfil da sondagem (textura, estrutura, cor, cimentação, coesão, etc. - ver Anexo A);
- profundidade do(s) nível(eis) da água;
- recuperação da amostra;
- indícios de contaminação;
- medições realizadas no campo (concentração de vapores no solo, etc.);
- dificuldades encontradas; e
- dados sobre a locação dos furos, a descrição da área investigada e um mapa georreferenciado em UTM (referência do *datum* utilizado) com localização de cada sondagem/perfuração.

As caracterizações litológicas deverão ser acompanhadas dos respectivos relatórios fotográficos, contendo a imagem e identificação de cada *liner*.

Deverão acompanhar, também, os cálculos realizados e as constatações a respeito da recuperação de amostras (no caso de compressão/expansão da amostra no *liner* ou recuperação incompleta) e a definição da espessura apresentada no perfil litológico.

Os perfis deverão ser caracterizados em unidades hidroestratigráficas, em camadas com maior capacidade de transmissão ou armazenamento.

Para a amostragem de águas subterrâneas, a partir da instalação de poços de monitoramento, deve-se apresentar o relatório do projeto, locação e construção de poços de monitoramento (ABNT 15.495-1:2007 – Versão Corrigida 2009), contendo, minimamente:

- a localização da área investigada em termos pertinentes ao projeto, mapas ou fotos aéreas, nas quais estejam locados furos exploratórios, piezômetros e poços de monitoramento, bem como informações hidrogeológicas, geomorfológicas e geológicas dos tipos de solo e rocha.

- a descrição das informações obtidas no estágio de investigação de campo e reconhecimento inicial (seção 4.2), os procedimentos de projeto e construção adotados (seção 6.2 e seção 7) e as locações levantadas (ver seção 9);
- um procedimento recomendado para o descomissionamento (tamponamento) dos poços, consistente com a construção dos poços e com a legislação aplicável;
- registro da sondagem:
 - Descrição da metodologia e dos equipamentos utilizados, data de realização, equipe responsável, condições climáticas, litologia e distribuição litológica, profundidades de interesse e total, textura, estrutura, cor, odor, indícios de contaminação, profundidade do(s) nível(eis) da água, recuperação da amostra, medições realizadas no campo (concentração de vapores, resistência à penetração etc.), dificuldades encontradas.
- registro da perfuração:
 - Data, equipe responsável, descrição da metodologia e dos equipamentos utilizados, unidades geológicas perfuradas, progresso da perfuração, profundidade, nível d'água, recuperação da amostra, e outros fatos significativos da perfuração.
- registro da construção do poço de monitoramento:
 - Data da instalação, equipe responsável, condições climáticas, identificação do poço, cota georreferenciada, material do tubo-filtro, tubo de revestimento e tubo de revestimento do furo, descrição dos tampões e tipos de juntas, diâmetro do furo, diâmetro dos tubos, características do tubo-filtro (abertura das ranhuras, aspectos construtivos), posição e extensão do tubo-filtro, características dos pré-filtros (material, granulometria e uniformidade), extensão e posicionamento do pré-filtro, volume do pré-filtro, metodologia de posicionamento do pré-filtro, características, extensão, posicionamento, metodologia de instalação e volume do selo anular (selo anular de bentonita e calda de preenchimento), profundidade do nível da água, posicionamento dos centralizadores, descrição do revestimento de proteção, método de desenvolvimento, data do desenvolvimento.

Deverá ser apresentado, também, o relatório sobre o desenvolvimento dos poços conforme a - ABNT 15.495-2:2008 Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares Parte 2: Desenvolvimento - (Item 9 - modelo no Anexo A) contendo:

- turbidez avaliada durante as diversas fases do desenvolvimento e ao seu final (para ser comparada com os níveis de turbidez obtidas posteriormente durante as operações de monitoramento do poço);
- características físicas (cor, odor, etc.) volume e quantidade de sedimento contido na água adicionado ao poço ou removida do poço;
- quantidades e tamanho das partículas do sedimento que acumulam/precipitam no poço ou tanque de decantação durante as várias fases do desenvolvimento;
- tipos de equipamento usados durante o desenvolvimento;
- detalhes da construção do poço;
- nível estático do poço, antes, durante e após o desenvolvimento;
- data de início e fim dos trabalhos de desenvolvimento e tempo real de duração de cada etapa do desenvolvimento;
- outros detalhes pertinentes ao procedimento e objetivos do desenvolvimento.

Deverá ser apresentado também o relatório de purga e amostragem (ABNT 15.847:2010) contendo:

- dados relativos ao perfil construtivo do poço de monitoramento (profundidade, comprimento e posicionamento do tubo-filtro, diâmetro da perfuração e do tubo-filtro e de revestimento, material do tubo-filtro e tubo de revestimento);
- identificação do local (nome e endereço);
- identificação do poço de monitoramento;
- nome dos membros da equipe de amostragem;
- registro dos dados das condições climáticas;
- registro do uso de produtos que possam interferir nos resultados analíticos (protetor solar e repelente, por exemplo);
- dados de calibração de equipamentos utilizados em campo (identificação do instrumento e data da última calibração);
- anotação das condições de preservação e manutenção do poço de monitoramento (integridade da proteção superficial, obstruções no interior, integridade do tubo-filtro e de revestimento, presença de materiais estranhos etc.);
- anotação das observações efetuadas em campo (odores, medidas de vapores orgânicos);
- registro da aparência da água antes e após a purga (aspecto, turbidez), cor, odor);
- registro da data e o tempo de início e finalização da purga;
- descrição dos procedimentos de descontaminação de equipamentos não descartáveis;

- medição e anotação do nível da água estabilizado antes da purga, utilizando ponto de referência demarcado de elevação conhecida (descrever o ponto de referência), e a data em que esta medição foi efetuada;
- registro da presença ou não de fase livre e sua espessura;
- medição e registro da profundidade do poço de monitoramento e comparar com os dados construtivos (dependendo do método de purga, efetuar esta medição após a sua finalização);
- citação do método e dos equipamentos utilizados para purga;
- registro da variação do nível d'água durante a purga (anotar o nível da água em relação ao tempo de execução);
- vazão de purga na estabilização (se aplicável);
- volume de água purgada (se aplicável);
- registro dos resultados da medição efetuada durante a purga (nível da água, parâmetros indicadores, monitoramento de compostos orgânicos voláteis (VOC));
- registro das medições dos parâmetros indicadores na estabilização e tempo necessário para atingir a estabilização;
- descrição do manuseio e destinação da água purgada (se aplicável); e
- métodos de coleta, manuseio e preservação das amostras coletadas.

Deverão ser apresentadas as metodologias utilizadas (*slug test*, *bail test*, etc.) e memoriais de cálculo referente à determinação de parâmetros hidráulicos do aquífero.

A respeito da coleta de amostras, deverão ser apresentadas as informações, acompanhadas dos respectivos relatórios fotográficos do conteúdo mínimo dos rótulos dos frascos de cada uma das amostras coletadas, conforme a ABNT 16435:2015 - Controle da qualidade na amostragem para fins de investigação de áreas contaminadas — Procedimento:

Conteúdo Mínimo Rótulos dos Frascos

- identificação do projeto;
- identificação da amostra;
- identificação da matriz a ser analisada;
- grupos de analitos de interesse a serem analisados, quando couber;
- especificação dos preservantes eventualmente utilizados;
- data e horário de amostragem

Deverão ser apresentadas as cadeias de custódia e laudos com conteúdo mínimo estabelecido no item referente aos anexos do Relatório de Investigação Confirmatória.

l) Apresentação e discussão de informações obtidas e resultados de análises e ensaios (mapa potenciométrico, tabelas e figuras de resultados)

Nesse item deverão ser consolidadas as interpretações sobre os resultados de cada etapa e atividade realizada durante a investigação confirmatória.

Deverão ser observadas as orientações contidas no item “6.4 Interpretações dos resultados” da Norma ABNT NBR 15.515-2:2023, bem como do item 2.7. Apresentação do texto conclusivo (conclusões e recomendações) da seção “Seção 6.5: Relatório de Investigação Confirmatória” do Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas da CETESB.

m) Modelo conceitual atualizado

Deverá ser realizada a atualização do modelo conceitual da área, abordando-se os seguintes aspectos:

- determinação dos limites da área avaliada e resumo das informações históricas de uso e ocupação caracterização do meio físico determinação das fontes de contaminação mecanismos de liberação identificados
- vias de transporte dos contaminantes no meio
- substâncias químicas de interesse (SQI) associadas a cada uma dessas fontes
- identificação e caracterização dos receptores e bens a proteger vias de exposição nos receptores
- uso e ocupação do solo na região onde a área se insere
- indicação do uso pretendido da área avaliada, mesmo que seja igual ao atual outros aspectos relevantes registrados
- incertezas mapa em escala regional, mostrando a localização da área de estudo e o entorno, e seus acessos, bem como a indicação dos principais bens a proteger
- mapa em escala local, demonstrando a localização das fontes suspeitas na área avaliada, sua denominação e receptores locais
- nível de água dos poços de monitoramento;
- sentido e velocidade de fluxo;
- distribuição das litologias;
- concentração e distribuição da contaminação nos meios afetados;

- meios de transporte;
- vias de exposição existentes;
- receptores potenciais e reais identificados.

n) Discussão de incertezas

A discussão de incertezas deve conter uma avaliação criteriosa dos impactos das escolhas e prioridades feitas durante o processo de investigação confirmatória, que estejam vinculados aos níveis de confiabilidade das informações a respeito do meio físico (heterogeneidade da estratigrafia, variações do N.A, entre outros) e das infraestruturas; das substâncias químicas de interesse e do comportamento do contaminante no solo; das limitações das metodologias de sondagem, amostragem, conservação e transporte de amostras; acesso restrito às áreas limítrofes; incertezas próprias dos métodos analíticos, das ações e materiais utilizados para limpeza e desinfecção de equipamentos; dos métodos de ajuste intermediário de equipamentos, ou outros critérios utilizadas para determinação de aspectos técnicos da investigação como, por exemplo: definição de áreas e fontes potenciais a partir de condições de usos passados, sem acesso a informações confiáveis do uso pretérito; a determinação de distâncias para o posicionamento de pontos de sondagem das fontes de contaminação em razão da presença de tubulações; definição de profundidades de sondagem a partir do posicionamento das fontes subterrâneas, sem o respaldo de plantas atualizadas (*as built*) ou sem a utilização de métodos de varredura; a determinação de profundidades de amostragem sem o uso de ferramentas de apoio para identificação da profundidade de interesse (ex. caixa preta de luz UV); entre outros, que influenciam nos resultados alcançados.

o) Conclusões e recomendações

Deverá ser apresentada de maneira explícita a conclusão do(s) responsável(is) técnico(s) sobre a confirmação ou exclusão da existência de contaminação na área investigada.

Havendo confirmação da existência de contaminação, deverá ser indicada a apresentação do Plano Preliminar de Amostragem para Investigação Detalhada que deverá ser elaborado conforme orientações contidas no respectivo roteiro e apresentado como anexo do Relatório de Investigação de Passivo Ambiental - Investigação Confirmatória.

p) Ações necessárias para gerenciamento de risco ou monitoramento

Deverão ser indicadas as ações necessárias ao gerenciamento de risco e monitoramento (quando cabível), que poderão ser orientadas com base nos critérios de classificação contidos na “*TABLE 1 - Example Site Classification and Initial Response Actions*” contida no “*Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Release Sites*” da American Society for Testing and Materials – ASTM.

q) Referências técnicas e bibliográficas

Deverão ser incluídas, conforme ABNT 6023:2020 – Informação e Documentação – Referências – Elaboração.

r) Qualificação e assinatura do profissional responsável.

Anexos

- I. planta da área, indicando no mínimo a localização das atividades realizadas, as fontes investigadas, as edificações existentes e os bens a serem protegidos;
- II. Relatório de Vistoria e Ficha de Inspeção nos termos do Anexo 02;
- III. registro fotográfico da investigação;
- IV. boletins de sondagens de solo e perfis litológicos-constructivos de poços de monitoramento;
- V. levantamento topográfico de pontos de amostragem, sondagens e poços de monitoramento;
- VI. boletins de amostragem de solo, águas subterrâneas ou demais meios amostrados;
- VII. laudos analíticos com cadeia de custódia:

A respeito das análises químicas deverão ser apresentadas as Cadeias de Custódia e Laudo de acordo com o estabelecido nas ABNT 16435:2015 - Controle da qualidade na amostragem para fins de investigação de áreas contaminadas — Procedimento e ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017: Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração, contendo:

- Cadeia de Custódia:
 - nome e endereço da área;
 - organização responsável pela coleta;
 - nome, função e assinatura do técnico responsável pela coleta e custódia da amostra até a entrega ao laboratório;

- nome, função e assinatura do técnico responsável pelo recebimento das amostras no laboratório;
- identificação da amostra, profundidade de amostragem e tipo (simples, composta ou multi-incremento);
- identificação da matriz a ser analisada;
- identificação das análises químicas a serem realizadas;
- quantidade e tipo de frascos utilizados por amostra;
- especificação dos conservantes eventualmente utilizados;
- data e horário de amostragem;
- data e horário de entrega ao laboratório;
- prazo de processamento (normal ou expresso);
- integridade dos frascos e temperatura de chegada ao laboratório;
- pré-tratamento de amostras;
- prazos aceitáveis de estocagem e análise das amostras;
- Amostras de controle de qualidade:
 - branco de equipamento de amostragem;
 - branco de campo;
 - branco de temperatura;
 - branco de viagem;
 - replicatas;
- Laudos:
 - nome (da organização ou do responsável) e endereço da área;
 - data e horário da coleta;
 - data da entrada no laboratório;
 - data de preparação e extração, quando aplicável;
 - data de análise;
 - identificação e assinatura do responsável técnico pela análise;
 - limites de quantificação – o laboratório deve reportar o limite de quantificação da amostra para cada uma das substâncias químicas de interesse analisadas;
 - resultados de brancos do método, ensaio de adição, traçadores e os respectivos intervalos de controle de qualidade;
 - método de preparação e analítico;
 - diluição e fator utilizado, se houver;

- no caso de amostra de solo, informação se a análise foi conduzida na base úmida ou seca e, neste último caso, o teor de umidade da amostra;
 - incertezas de medição para cada parâmetro, cujo resultado esteja próximo ($\pm 20\%$) ao valor de intervenção do CONAMA ou outro valor de referência (quando aplicável);
 - cromatogramas;
 - outros documentos, como cartas-controle, resultados obtidos em ensaios de proficiência e de validação;
- VIII. certificados de calibração dos instrumentos de medição em campo;
- IX. anotação de responsabilidade técnica (ART);
- X. declaração de responsabilidade nos termos do Anexo 03; e
- XI. Plano Preliminar de Amostragem para Investigação Detalhada.

○ PLANO PRELIMINAR DE AMOSTRAGEM PARA INVESTIGAÇÃO DETALHADA

O Plano Preliminar de Amostragem para a investigação DETALHADA deverá ser apresentado quando a investigação confirmatória indicar a necessidade de continuidade do processo de investigação e deverá ser elaborado seguindo as orientações contidas no item “6.2 Plano de investigação detalhada”, da “ABNT NBR 15515-3:2013: Passivo ambiental em solo e água subterrânea – Parte 3: Investigação detalhada”, e no “item 2.6. Descrição do Plano Preliminar de Amostragem da Investigação Detalhada” contido na [Seção 6.5: Relatório de Investigação Confirmatória](#) do Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas da CETESB; a partir da validação do Modelo Conceitual.

Contribuições técnicas para a composição do Plano Preliminar podem ser observadas em [Riyis, M. T.. Contribuição para Investigação de Áreas Contaminadas com Abordagem de Alta Resolução /Marcos Tanaka Riyis, 2019,162 f;](#) e outras bibliografias de referência elencadas.

O Plano apresentado deverá conter, minimamente:

a) Meios a serem amostrados

Deverão ser descritos os meios a serem amostrados (solo, água, ar) e suas características quanto aos aspectos geológicos e hidrogeológicos, com base no Modelo Conceitual atualizado e validado.

b) Distribuição dos pontos de amostragem e design amostral

O design deverá basear-se no Modelo Conceitual atualizado, nos resultados da caracterização das propriedades físicas, da caracterização geológica e hidrogeológica.

Deverá ser apresentada a distribuição espacial dos pontos de amostragem, bem como os designs amostrais e as soluções adotadas em relação às dificuldades encontradas para a localização dos pontos de amostragem, incluindo o detalhamento de propriedades físicas e as profundidades de amostragem.

Deverão se apresentadas as fontes de contaminação ou áreas vizinhas que possam influenciar na área em avaliação.

As fontes deverão ser indicadas com base no modelo conceitual atualizado. Deverão ser listadas todas as fontes primárias e secundárias, incluindo a lista de prioridades para investigação (quando couber). O eventual descarte ou eliminação de fonte deverá ser tecnicamente justificado.

As profundidades de amostragem deverão ser justificadas a partir do modelo conceitual atualizado, dos modelos geológico e hidrogeológico e das características das fontes de contaminação, com a finalidade de delimitação das plumas de contaminação nos planos horizontal e vertical.

O design amostral deverá prever a instalação de conjunto de poços com seções filtrantes localizadas estrategicamente em função da distribuição litológica, das características físico-químicas e do comportamento nos meios da SQI, com o objetivo de determinar a existência de fluxo e distribuição verticais das SQI;

O Mapeamento da contaminação não deve ser orientado para a busca da ocorrência de fase livre, mas sim para a determinação da distribuição do LNAPL nos meios e nas unidades hidroestratigráficas, evitando-se o uso de poços de seção filtrante plena e que ultrapasse os limites da unidade hidroestratigráfica de interesse.

O design amostral deverá considerar a coleta de amostras indeformadas na profundidade e U.H. de interesse para determinação dos parâmetros físicos essenciais aos cálculos pretéritos (quantificação de massa de contaminante) e posterior avaliação de risco.

A instalação de poços de monitoramento deve ser realizada a partir de sondagem realizada especificamente para este fim, evitando-se a instalação de poços concomitantes ou aproveitando a sondagem para coleta de amostras de solo (exceto quando precedida da elaboração do projeto do poço).

A nomenclatura dos poços de monitoramento, adotadas em estudos anteriores, deve ser mantida a fim de facilitar a rastreabilidade dos poços e das análises realizadas ao longo do tempo.

c) Determinação das substâncias químicas de interesse a serem analisadas

Deverão ser elencadas as SQI com base na atualização do Modelo Conceitual e a justificativa técnica para sua escolha.

d) Determinação do número de campanhas de amostragem

Deverão ser apresentadas informações sobre o número de campanhas necessárias para o cumprimento do escopo da investigação detalhada, acompanhado do cronograma para sua execução.

e) Técnicas de amostragem e realização de análises químicas

Deverão ser elencadas as técnicas de sondagem, de coleta, manuseio, preservação, triagem e subamostragem das amostras de solo, água subterrânea, vapores do solo e outros materiais de interesse; a serem utilizadas na execução do *design* amostral seguindo, minimamente, as orientações contidas nas seguintes Normas:

- ABNT NBR 15.492:2007 – Sondagem de reconhecimento para fins de qualidade ambiental – Procedimento;
- ABNT NBR 15.495-1:2007 - Versão Corrigida 2:2009: Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulados – Parte 1: Projeto e construção;
- ABNT NBR 15.495-2:2008 - Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares – Parte 2: Desenvolvimento;
- ABNT NBR 15.847:2010: Amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento – Métodos de purga; e
- ABNT NBR 16.434:2015: Amostragem de resíduos sólidos, solos e sedimentos - Análise de compostos orgânicos voláteis (COV) – Procedimento.

Deve ser implementada a avaliação de solo de perfil completo (ASPC) com amostragem da zona saturada, seguidas as boas práticas e técnicas de seleção e amostragem de solos apresentadas em: [“Riyis, M. T., Arakaki, E., Riyis, M. T., & Giacheti, H. L. \(2019\). A importância da amostragem de solo de perfil completo \(ASPC\) para a investigação de alta resolução em áreas contaminadas”. Águas Subterrâneas, 33\(4\). Site: Revista Águas Subterrâneas;](#) e outras bibliografias de referência elencadas.

Não deve ser utilizado fluido de perfuração, bem como emprego de graxas ou outro material.

Deve-se usar, preferencialmente, sondagem revestida e não deve ser usado método rotativo para coleta de amostras, limitando-se sua utilização como método consorciado para revestimento da sondagem e coleta de amostra pelos métodos de cravação contínua.

Métodos não revestidos somente poderão ser utilizados quando permitirem a abertura do amostrador na profundidade selecionada para coleta da amostra (ex. método *piston sampler*).

Deve-se obter amostras a partir do *liner*.

Deverá ser apresentado texto explicativo das práticas para controle de qualidade da amostra de acordo com estabelecido nos itens “c” até “i” do item “4 Qualidade na amostragem de solo e água subterrânea” da ABNT 16435:2015, quais sejam:

- seleção prévia de equipamentos e materiais adequados considerando o modelo conceitual de investigação da área e as melhores práticas aplicáveis;
- procedimento de calibração dos equipamentos (apresentação dos certificados em anexo);
- procedimento verificação e de ajuste intermediário de equipamentos (indicados no certificado de calibração);
- avaliação da acessibilidade aos pontos de amostragem;
- avaliação e implantação de logística adequada de armazenamento e transporte dos equipamentos;
- avaliação prévia da infraestrutura disponível;
- condições estabelecidas para limpeza, descontaminação, uso e manutenção dos equipamentos e recipientes;

Deverá ser apresentada a descrição dos equipamentos que serão utilizados para a execução das sondagens e amostragem, bem como dos equipamentos utilizados para realização dos testes para caracterização de propriedades físicas como a condutividade hidráulica.

Deverão ser listadas as informações do(s) laboratório(s) contratado(s) para a realização das análises, incluindo o certificado emitido pelo INMETRO com acreditação na ABNT NBR ISSO/IEC 17025 e as informações sobre os métodos que serão utilizados para as análises, como:

- métodos analíticos adotados;

- pré-tratamento de amostras;
- prazos aceitáveis de estocagem e análise das amostras;
- amostras de controle de qualidade;
 - branco de equipamento de amostragem;
 - branco de campo;
 - branco de temperatura;
 - branco de viagem; e
 - replicatas.

Poderão ser encaminhados os modelos de cadeia de custódia e laudos, que deverão estar de acordo com as disposições contidas na “ABNT NBR ISSO/IEC 17025:2017; Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração”; “ABNT NBR 15515-3:2013: Passivo ambiental em solo e água subterrânea – Parte 3: Investigação detalhada” e “ABNT NBR 16435:2015: Controle da qualidade na amostragem para fins de investigação de áreas contaminadas – Procedimento”.

Este Plano será a base para a elaboração do Plano Definitivo de Amostragem para Investigação Detalhada durante a execução da etapa de Investigação Detalhada, que deverá ser elaborado conforme orientações contidas neste roteiro e no item “h” do Roteiro para elaboração do Relatório de Investigação Detalhada.

Dessa forma, informações complementares indispensáveis ao Plano definitivo de Amostragem para Investigação Detalhada, quando disponíveis, poderão ser incluídas no Plano Preliminar, a critério do responsável técnico por sua elaboração.

○ INVESTIGAÇÃO DETALHADA

A etapa de investigação detalhada deverá ser realizada com base nos resultados da avaliação preliminar e investigação confirmatória, seguindo o disposto na Norma ABNT NBR 15515-3:2013: Passivo ambiental em solo e água subterrânea – Parte 3: Investigação confirmatória e outras normas de referência.

Complementarmente, deverão ser utilizadas as orientações contidas na respectiva seção do Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas da CETESB, ainda que não citados explicitamente neste Roteiro.

A Investigação Detalhada tem como objetivos principais: caracterizar espacialmente a contaminação confirmada na etapa de investigação confirmatória; definir a geometria e os limites das plumas de contaminantes, horizontal e verticalmente; caracterizar os *hot spots* de contaminação nos diferentes compartimentos do meio físico; determinar as concentrações das substâncias químicas de interesse (SQI) e caracterizar, em detalhe, as áreas fontes de contaminação, os tipos litológicos que ocorrem em subsuperfície e a hidrogeologia local.

○ RELATÓRIO DE INVESTIGAÇÃO DETALHADA

a) resumo executivo;

O resumo executivo deve conter, minimamente, a descrição sucinta das atividades realizadas durante a investigação detalhada (levantamento complementar de dados, atualização do modelo conceitual e relatório, campanhas de amostragem, entre outras), contendo as datas de início e fim de cada atividade e o resumo dos principais resultados alcançados. Deverão ser apontadas eventuais alterações de escopo do Plano Preliminar de Amostragem para Investigação Detalhada.

b) introdução;

A introdução deverá conter, minimamente, informações sobre a motivação para a realização do estudo, contexto histórico resumido dos estudos anteriores, escopo resumido do trabalho, objetivos pretendidos, principais fatores limitantes e observações adicionais julgadas pertinentes para avaliação de cada etapa ou que influenciaram os resultados obtidos.

c) histórico da área e das atividades realizadas, incluindo-se os resultados analíticos consolidados;

Este item deverá conter, minimamente, a compilação e avaliação dos dados existentes que fundamentaram as atividades determinadas na etapa de investigação detalhada.

Deverão ser mantidas nomenclaturas, códigos de identificação ou quaisquer denominações utilizadas para identificação e caracterização de infraestruturas, áreas de interesse, unidades de decisão, entre outros; adotados nas etapas anteriores de investigação.

Deverá ser elaborado texto explicativo com histórico resumido das instalações e manejo de produtos no empreendimento e plantas em escala apropriada ($\geq 1:500$) à área do empreendimento e do entorno, contendo:

- O posicionamento das fontes potenciais de contaminação, ou seja, a indicação da localização de todas as instalações, atuais e antigas, como por exemplo, área de abastecimento, área de descarga, área de troca de óleo, filtro de diesel e tubulações, entre outras.
- O posicionamento das fontes primárias de contaminação identificadas, ou seja, a indicação da localização de todas as instalações, atuais e antigas, onde foram observados vazamentos ou indicações de vazamentos.
- A identificação dos locais onde ocorreram reformas, consertos, substituição de equipamentos ou mudanças das instalações.
- O posicionamento dos pontos de amostragem da Investigação Confirmatória, destacando os locais onde foi constatada presença de contaminação.
- A identificação dos locais onde foi constatada presença de fase livre.
- A identificação dos locais onde foi constatada situação de perigo.
- A identificação dos locais onde foram desencadeadas medidas emergenciais.
- A identificação dos locais onde possam existir receptores potenciais ou bens a proteger dentro da área do empreendimento, como por exemplo, escritório e loja de conveniências.

d) objetivo e escopo;

Deverão ser listados de maneira objetiva os objetivos específicos da etapa de investigação detalhada, preferencialmente, vinculados às fontes identificadas e ao escopo estabelecido, com base no modelo conceitual estabelecido na avaliação preliminar e suas atualizações.

e) localização da área;

Deverão ser descritas de maneira objetiva as informações a respeito da localização da área, podendo-se fazer referência a informações mais completas presentes em outros estudos elaborados para o empreendimento/área nas etapas anteriores de investigação.

f) caracterização do entorno;

Deverão ser descritas de maneira objetiva as informações a respeito da caracterização do entorno, podendo-se fazer referência a informações mais completas presentes em outros estudos elaborados para o empreendimento/área nas etapas anteriores de investigação.

Deverá ser dada ênfase às alterações provenientes da obtenção de informações adicionais e complementares sobre as áreas adjacentes (descoberta de poços de captação, da ocorrência de atividades potencialmente poluidoras, etc.) ou a respeito de mudanças ocorridas no decorrer do desenvolvimento das etapas anteriores de investigação como, por exemplo, alterações de uso de áreas vizinhas.

Deverá ser atualizado e apresentado o mapa de uso e ocupação do entorno incluindo-se captações de água subterrânea. O referido mapa poderá ser apresentado no item referente a “*representação gráfica das informações e dos resultados (item “l”)*” do relatório, sendo devidamente referenciado nesta seção.

g) caracterização geológica/hidrogeológica;

Deverá ser realizada a validação, atualização e aprofundamento das caracterizações geológica e hidrogeológica locais com base no desenvolvimento das atividades mínimas elencadas no item “6.2 Plano de investigação detalhada”, da ABNT NBR 15515-3:2013.

Deverão ser apresentados os resultados de cada uma das atividades realizadas para a caracterização geológica³ (cumprimento obrigatório dos itens “a” até “f” do item 6.2.2) e caracterização hidrogeológica (cumprimento obrigatório dos itens “a” até “h” do item 6.2.3).

³ A norma ABNT NBR 12069 foi cancelada, sendo publicada a Norma ABNT NBR ISO 22476-12:2023: Investigação Geotécnica e Ensaio – Ensaio de Campo – Parte 12: Ensaio de penetração de cone mecânico (CPTM), que deverá ser utilizada em substituição quando da aplicação do método.

Deverão ser apresentadas todas as informações elencadas nos itens acima indicados, atentando-se para a inclusão das informações adicionais e relatórios exigidos nas normas de referência específica dos métodos aplicados, cujo conteúdo deverá ser incluído no item “*metodologias e descrições detalhadas das atividades realizadas (item “i”)*” do relatório.

Os Mapas com locação e identificação das sondagens, dos pontos de coleta de amostras, potenciométricos, do mapeamento de plumas, entre outros, deverão ser apresentados em escala apropriada ($\geq 1:500$), e também como anexo ao relatório; em formato compatível para manuseio em softwares de geoprocessamento (ex. *shapefile*).

Deverão ser apresentadas, junto aos perfis de sondagens, as seções geológicas e seções esquemáticas (longitudinais e transversais) para entendimento da geologia e hidrogeologia local, em número suficiente para representação das heterogeneidades e variações encontradas. Poderão ser apresentados ainda modelos tridimensionais ou outras formas de representação a critério do responsável técnico.

Os perfis das sondagens; as tabelas contendo os resultados da determinação da granulometria, porosidade total e efetiva, densidade real e aparente, umidade e fração de carbono orgânico; tabelas contendo as informações de cota topográfica absoluta, nível d’água, condutividade hidráulica, velocidades de fluxo das águas subterrâneas nas unidades hidrogeológica, entre outros; deverão ser apresentadas, também, como anexo ao relatório (em formato editável, por exemplo, *.xls*).

Deverá ser apresentado texto explicativo com resumo da geologia e hidrogeologia local e relação com o contexto geológico e hidrogeológico regional.

Para a caracterização hidrogeológica deverão ser apresentados elementos suficientes para o entendimento do comportamento hidrodinâmico da água subterrânea e dos contaminantes na área investigada, considerando aspectos como direção e sentido de fluxo, velocidade de escoamento da água subterrânea e gradiente hidráulico.

Deverão ser apresentadas informações sobre a identificação da ocorrência de fluxo vertical ascendente e descendente da água subterrânea na área investigada, quando aplicável, baseando-se nos poços multiníveis instalados.

h) Plano Definitivo de Amostragem para Investigação Detalhada;

O Plano Definitivo de Amostragem para Investigação Detalhada deverá ser elaborado, a partir do Plano Preliminar de Amostragem para Investigação Detalhada; com base no que for estipulado neste Roteiro, que foi confeccionado tendo como base nas Normas ABNT NBR 15.515-2, ABNT 15.492; ABNT NBR 15.495-1, ABNT NBR 15.495-2; ABNT NBR 16.434; ABNT NBR ISO/IEC 17025; 15847 (em suas versões mais recentes), bem como no item 6.2 – Elaboração do Plano de Investigação Confirmatória do Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas da CETESB.

Deverão ser observadas as disposições contidas no item “6.2 Plano de investigação detalhada”, da “ABNT NBR 15515-3:2013: Passivo ambiental em solo e água subterrânea – Parte 3: Investigação detalhada”, quanto à atividades mínimas a serem desenvolvidas para a caracterização do entorno, caracterização geológica e caracterização hidrogeológica.

Devem ser observadas as Normas ABNT de referência para a indicação das metodologias de sondagem, instalação e desenvolvimento de poços, amostragem de solo e água subterrânea; bem como da composição mínima da cadeia de custódia e de laudos analíticos que serão apresentados ao Instituto Brasília Ambiental.

Podem ser utilizadas as orientações contidas no Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas da CETESB como fonte suplementar de informação quanto ao teor de cada tópico.

Deverá ser dada atenção especial às alterações de escopo na Investigação Detalhada indicando, sempre, o conteúdo inicial do Plano Preliminar, sua convalidação ou alteração no Plano Definitivo, acompanhada da respectiva justificativa técnica e a incerteza associada (quando identificada).

O Plano de Amostragem deverá conter os seguintes elementos:

- Validação do Modelo Conceitual;

Deverá ser realizada a validação ou atualização do modelo conceitual com base nos esforços para o aprimoramento da caracterização do entorno, caracterização geológica e caracterização hidrogeológica, caracterização de outros meios nos termos dos itens “6.1.

Consolidação das informações existentes” e “6.2 Plano de investigação detalhada”, da ABNT NBR 15515-3:2013.

- Meios a serem amostrados;

Deverá ser apresentada a convalidação dos meios amostrados, sua atualização, complementação ou alteração, tecnicamente justificadas, com base no desenvolvimento das atividades listadas para o aprimoramento da caracterização do entorno, caracterização geológica e caracterização hidrogeológica, caracterização de outros meios nos termos do item “6.2 Plano de investigação detalhada”, da ABNT NBR 15515-3:2013.

- Distribuição dos pontos de amostragem e design amostral;

Deverá ser apresentada a convalidação da distribuição dos pontos de amostragem e do design amostral, sua atualização, complementação ou alteração tecnicamente justificadas pela aplicação de métodos de coleta de informações adicionais, pelas observações de campo durante o processo de sondagem e/ou amostragem, etc.

A profundidade de amostragem deverá ser convalidada ou atualizada a partir do Plano Preliminar; justificada a partir da atualização do modelo conceitual, da atualização dos modelos geológico e hidrogeológico, bem como pelas características do meio, observadas durante as atividades de campo.

- Determinação das substâncias químicas de interesse a serem analisadas;

Deverá conter a convalidação ou atualização das SQI determinadas no Plano Preliminar de Amostragem para Investigação Detalhada a partir dos resultados obtidos durante as etapas de avaliação preliminar e investigação confirmatória.

- Determinação do número de campanhas de amostragem;

Deverá conter a convalidação ou atualização das campanhas em razão das dificuldades observadas em campo, contendo as datas de início e fim de cada campanha e a relação das amostras realizadas em cada uma delas;

- Técnicas de Amostragem e realização de análises químicas

Deverão ser convalidadas ou atualizadas as informações sobre as técnicas de sondagem, amostragem e análise apresentadas no Plano Preliminar de Amostragem para Investigação Detalhada, incluindo as informações específicas sobre os equipamentos, ferramentas e insumos utilizados.

O Plano deverá prever a instalação de conjunto de poços com seções filtrantes localizadas estrategicamente em função da distribuição litológica, das características físico-químicas e do comportamento nos meios da SQI, com o objetivo de determinar a existência de fluxo e distribuição verticais das SQI, devidamente referenciados com base nos resultados apresentados durante a caracterização geológica e hidrogeológica.

i) metodologias e descrições detalhadas das atividades realizadas;

As informações necessárias aos relatórios listados que, porventura, se repetirem ou que tenham sido reproduzidas em outras partes do Estudo ou anexos (ex.: localização da área, mapas e fotos aéreas, entre outros) poderão ser apenas referenciadas, não sendo necessária sua repetição para fins de atendimento às exigências dos conteúdos mínimos.

Apresentar para as sondagens, o relatório do registro das perfurações (item 7 - ABNT 15.492:2007), contendo minimamente:

- data;
- equipe;
- profissional responsável;
- descrição da metodologia e dos equipamentos utilizados;
- unidades geológicas perfuradas;
- condições climáticas;
- distribuição litológica;
- profundidades da perfuração;
- características litológicas do perfil da sondagem (textura, estrutura, cor, cimentação, coesão, etc. - ver Anexo A);
- profundidade do(s) nível(eis) da água;
- recuperação da amostra;
- indícios de contaminação;
- medições realizadas no campo (concentração de vapores no solo, etc.);

- dificuldades encontradas; e
- dados sobre a locação dos furos, a descrição da área investigada e um mapa georreferenciado em UTM (referência do *datum* utilizado) com localização de cada sondagem/perfuração.

As caracterizações litológicas deverão ser acompanhadas dos respectivos relatórios fotográficos, contendo a imagem e identificação de cada *liner*.

Deverão acompanhar, também, os cálculos realizados e as constatações a respeito da recuperação de amostras (no caso de compressão/expansão da amostra no *liner* ou recuperação incompleta) e a definição da espessura apresentada no perfil litológico.

Os perfis deverão ser caracterizados em unidades hidroestratigráficas, em camadas com maior capacidade de transmissão ou armazenamento.

Deverão ser consolidadas todas as informações a respeito dos os registros de perfuração, das sondagens, ensaios granulométricos, leituras de níveis d'água iniciais e finais, todos os resultados de ensaios de laboratório, descrição da água utilizada e de todos os perfis construtivos dos poços de monitoramento.

Para a amostragem de águas subterrâneas, a partir da instalação de poços de monitoramento, deve-se apresentar o relatório do projeto, locação e construção de poços de monitoramento (ABNT 15.495-1:2007 – Versão Corrigida 2009), contendo, minimamente:

- a localização da área investigada em termos pertinentes ao projeto, mapas ou fotos aéreas, nas quais estejam locados furos exploratórios, piezômetros e poços de monitoramento, bem como informações hidrogeológicas, geomorfológicas e geológicas dos tipos de solo e rocha.
- a descrição das informações obtidas no estágio de investigação de campo e reconhecimento inicial (seção 4.2), os procedimentos de projeto e construção adotados (seção 6.2 e seção 7) e as locações levantadas (ver seção 9);
- um procedimento recomendado para o descomissionamento (tamponamento) dos poços, consistente com a construção dos poços e com a legislação aplicável;
- registro da sondagem:
 - Descrição da metodologia e dos equipamentos utilizados, data de realização, equipe responsável, condições climáticas, litologia e distribuição litológica, profundidades de interesse e total, textura, estrutura, cor, odor, indícios de contaminação, profundidade

do(s) nível(eis) da água, recuperação da amostra, medições realizadas no campo (concentração de vapores, resistência à penetração etc.), dificuldades encontradas.

- registro da perfuração
- Data, equipe responsável, descrição da metodologia e dos equipamentos utilizados, unidades geológicas perfuradas, progresso da perfuração, profundidade, nível d'água, recuperação da amostra, e outros fatos significantes da perfuração.
- registro da construção do poço de monitoramento
- Data da instalação, equipe responsável, condições climáticas, identificação do poço, cota georreferenciada, material do tubo-filtro, tubo de revestimento e tubo de revestimento do furo, descrição dos tampões e tipos de juntas, diâmetro do furo, diâmetro dos tubos, características do tubo-filtro (abertura das ranhuras, aspectos construtivos), posição e extensão do tubo-filtro, características dos pré-filtros (material, granulometria e uniformidade), extensão e posicionamento do pré-filtro, volume do pré-filtro, metodologia de posicionamento do pré-filtro, características, extensão, posicionamento, metodologia de instalação e volume do selo anular (selo anular de bentonita e calda de preenchimento), profundidade do nível da água, posicionamento dos centralizadores, descrição do revestimento de proteção, método de desenvolvimento, data do desenvolvimento.

Deverá ser apresentado, também, o relatório sobre o desenvolvimento dos poços conforme a - ABNT 15.495-2:2008 Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares Parte 2: Desenvolvimento - (Item 9 - modelo no Anexo A) contendo:

- turbidez avaliada durante as diversas fases do desenvolvimento e ao seu final (para ser comparada com os níveis de turbidez obtidas posteriormente durante as operações de monitoramento do poço);
- características físicas (cor, odor, etc.) volume e quantidade de sedimento contido na água adicionado ao poço ou removida do poço;
- quantidades e tamanho das partículas do sedimento que acumulam/precipitam no poço ou tanque de decantação durante as várias fases do desenvolvimento;
- tipos de equipamento usados durante o desenvolvimento;
- detalhes da construção do poço;
- nível estático do poço, antes, durante e após o desenvolvimento;
- data de início e fim dos trabalhos de desenvolvimento e tempo real de duração de cada etapa do desenvolvimento;

- outros detalhes pertinentes ao procedimento e objetivos do desenvolvimento.

Deverá ser apresentado também o relatório de purga e amostragem (ABNT 15.847:2010) contendo:

- dados relativos ao perfil construtivo do poço de monitoramento (profundidade, comprimento e posicionamento do tubo-filtro, diâmetro da perfuração e do tubo-filtro e de revestimento, material do tubo-filtro e tubo de revestimento);
- identificação do local (nome e endereço);
- identificação do poço de monitoramento;
- nome dos membros da equipe de amostragem;
- registro dos dados das condições climáticas;
- registro do uso de produtos que possam interferir nos resultados analíticos (protetor solar e repelente, por exemplo);
- dados de calibração de equipamentos utilizados em campo (identificação do instrumento e data da última calibração);
- anotação das condições de preservação e manutenção do poço de monitoramento (integridade da proteção superficial, obstruções no interior, integridade do tubo-filtro e de revestimento, presença de materiais estranhos etc.);
- anotação das observações efetuadas em campo (odores, medidas de vapores orgânicos);
- registro da aparência da água antes e após a purga (aspecto, turbidez), cor, odor);
- registro da data e o tempo de início e finalização da purga;
- descrição dos procedimentos de descontaminação de equipamentos não descartáveis;
- medição e anotação do nível da água estabilizado antes da purga, utilizando ponto de referência demarcado de elevação conhecida (descrever o ponto de referência), e a data em que esta medição foi efetuada;
- registro da presença ou não de fase livre e sua espessura;
- medição e registro da profundidade do poço de monitoramento e comparar com os dados construtivos (dependendo do método de purga, efetuar esta medição após a sua finalização);
- citação do método e dos equipamentos utilizados para purga;
- registro da variação do nível d'água durante a purga (anotar o nível da água em relação ao tempo de execução);
- vazão de purga na estabilização (se aplicável);
- volume de água purgada (se aplicável);

- registro dos resultados da medição efetuada durante a purga (nível da água, parâmetros indicadores, monitoramento de compostos orgânicos voláteis (VOC));
- registro das medições dos parâmetros indicadores na estabilização e tempo necessário para atingir a estabilização;
- descrição do manuseio e destinação da água purgada (se aplicável); e
- métodos de coleta, manuseio e preservação das amostras coletadas.

Deverão ser apresentadas as metodologias utilizadas (slug test, bail test, etc.) e memoriais de cálculo referente à determinação de parâmetros hidráulicos do aquífero.

A nomenclatura dos poços de monitoramento, adotadas em estudos anteriores, deve ser mantida a fim de facilitar a rastreabilidade dos poços e das análises realizadas ao longo do tempo.

A respeito da coleta de amostras, deverão ser apresentadas as informações, acompanhadas dos respectivos relatórios fotográficos do conteúdo mínimo dos rótulos dos frascos de cada uma das amostras coletadas, conforme a ABNT 16435:2015 - Controle da qualidade na amostragem para fins de investigação de áreas contaminadas — Procedimento:

Conteúdo Mínimo Rótulos dos Frascos

- identificação do projeto;
- identificação da amostra;
- identificação da matriz a ser analisada;
- grupos de analitos de interesse a serem analisados, quando couber;
- especificação dos preservantes eventualmente utilizados;
- data e horário de amostragem

Deverão ser apresentadas as cadeias de custódia e laudos com conteúdo mínimo estabelecido no item referente aos anexos do Relatório de Investigação Detalhada.

Deverão ser apresentados, neste item, outros relatórios ou informações detalhadas a respeito da aplicação de métodos específicos ou decorrentes da execução de atividades complementares, a exemplo, das necessárias à caracterização geológica e hidrogeológica.

j) limitações da metodologia adotada, garantia e controle da qualidade e avaliação de incertezas;

A discussão de incertezas deve conter uma avaliação criteriosa dos impactos das escolhas e priorizações realizadas durante o processo de investigação detalhada, que estejam vinculados: aos níveis de confiabilidade das informações a respeito do meio físico (heterogeneidade da estratigrafia, variações do N.A) e das infraestruturas; das substâncias químicas de interesse; do comportamento do contaminante no solo; das limitações das metodologias de sondagem, amostragem, conservação e transporte de amostras; acesso restrito as áreas limítrofes; incertezas próprias dos métodos analíticos, das ações e materiais utilizados para limpeza e desinfecção de equipamentos; dos métodos de ajuste intermediário de equipamentos; entre outros aspectos que determinam de aspectos técnicos da investigação e que influenciam nos resultados alcançados.

k) apresentação e discussão de informações obtidas e resultados

Nesse item, deverão ser consolidadas as interpretações sobre os resultados de cada etapa e atividade realizada durante a investigação detalhada, a partir da elaboração de texto síntese, que deverá ser devidamente referenciado nas representações gráficas das informações e dos resultados, apresentados no item “I” do Relatório.

Deverão ser discutidos os resultados a partir das metodologias adotadas para a elaboração e execução do Plano de Amostragem.

Neste item deverão ser incluídas, entre outras, as informações referentes aos itens “6.3 Mapeamento da Contaminação”; “6.4 Estimativa de volume de solo e águas subterrânea com concentrações acima de VI” e “6.5 Prognóstico de evolução da pluma” da Norma ABNT NBR 15515-3:2013.

Deverão ser apresentadas as delimitações das zonas onde as concentrações das SQI ultrapassem os valores de investigação/intervenção (VI).

O mapeamento espacial da distribuição da contaminação deve contemplar a completa delimitação, vertical e horizontal, da contaminação por fase retida (solo superficial e subsuperficial), fase dissolvida e fase livre (quando couber), bem como a variação das concentrações das substâncias químicas de interesse no interior da zona contaminada.

A delimitação das plumas de contaminação pluma de fase retida e dissolvida nas zonas não saturada e saturada devem seguir as orientações contidas na ABNT NBR 15515:3:2013, a partir da aplicação das técnicas e metodologias descritas no Plano de Amostragem.

O mapeamento da contaminação deve possibilitar o entendimento da distribuição da contaminação, associando-a ao modelo conceitual da área.

Deverão ser apresentadas as estimativas de volume de solo e água subterrânea com concentrações acima do valor de intervenção, acompanhados dos cálculos para sua determinação.

Deverá ser realizada, já nesta etapa, a quantificação de massa de contaminantes em todos os meios (solo, ar do solo e água) e em todas as unidades hidroestratigráficas (U.H.) afetadas.

Os cálculos de quantificação de volumes e massas deverão ser realizados a partir da aquisição de parâmetros de interesse específicos (porosidade, densidade, etc.) para a U.H. afetada, a partir da aquisição de amostras indeformadas representativas de cada uma das U.H. afetadas.

Deverão ser apresentados os prognósticos de evolução da pluma de fase dissolvida, acompanhados da descrição das ferramentas (software), das metodologias (modelo computacional), dos memoriais de cálculo utilizados no processo.

Na ocorrência de fase livre no durante o processo de investigação e diagnóstico, deverá ser apresentada, em caráter emergencial, estratégia para seu mapeamento e remoção, que inclua, minimamente, os métodos e critérios para sua mensuração (ex. método de Pastrovich) e delimitação (ABNT NBR 15.515-3:2013), tecnologias empregadas na remoção e monitoramento da efetividade do processo de remoção.

1) representação gráfica das informações e dos resultados:

Neste item deverão ser apresentados os mapas, tabelas, quadros, etc.; referentes aos resultados alcançados durante a investigação detalhada contendo, minimamente:

- mapa de localização das atividades realizadas com a identificação das instalações e fontes de contaminação;

- mapa de uso e ocupação do entorno incluindo-se captações de água subterrânea;
- mapa potenciométrico com cotas baseadas em referências oficiais de nível sobre o mapa do tópico anterior;
- seções esquemáticas geológicas e hidrogeológicas transversal e longitudinal ao sentido preferencial do fluxo de água subterrânea;
- mapas de distribuição de contaminação horizontal e vertical para solo e água subterrânea;
- mapas resultantes dos prognósticos de evolução da pluma;
- tabelas com resultados analíticos comparados (entre campanhas e aos VI) de amostras de solo e água subterrânea;
- outros mapas utilizados para representar as informações sobre as características da área investigada como, por exemplo, o comportamento da variação do nível d'água a partir das seções hidrogeológicas, seções utilizadas na definição do gradiente hidráulico, entre outros.

Mapas, tabelas e quadros que, eventualmente, tiverem sido apresentados nos respectivos tópicos temáticos ou como anexo (em função de suas características) poderão ser apenas referenciados nessa seção, a critério do responsável técnico.

Os mapas da distribuição de contaminação devem ser apresentados, minimamente, da seguinte forma:

- Representação geral da contaminação sobre a representação das seções esquemáticas geológicas e hidrogeológicas.
- Representação das plumas de contaminação em fase retida (para cada uma das SQI).
- Representação das plumas de contaminação em fase dissolvida (para cada uma das SQI).
- Representação da pluma de contaminação em fase livre (quando couber).

m) modelo conceitual atualizado;

O Modelo Conceitual deverá ser atualizado com base nas orientações contidas no item “6.7 Identificação das fontes, dinâmica de transporte, vias de exposição e receptores (modelo conceitual)” da ABNT NBR 15.515-3:2013 (itens “a” até “k”) com a finalidade de suprir a avaliação de risco à saúde humana, e deverá apresentar uma atualização ao modelo conceitual gerado na investigação confirmatória.

n) conclusões e recomendações;

Deverão ser observadas as orientações contidas 2.5. Apresentação do texto conclusivo (conclusões e recomendações) da seção “[Seção 7.5: Relatório de Investigação Detalhada](#)” do Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas da CETESB, quanto a apresentação de texto conclusivo que verse sobre:

- justificativa para o encerramento do GAC (quando couber);
- justificativa sobre a necessidade de realização da etapa de Avaliação de Risco ou outras etapas do GAC necessárias;
- avaliação crítica sobre a acurácia e completude das informações obtidas na Investigação Detalhada;
- justificativa para a escolha dos caminhos de exposição a serem contemplados na etapa de Avaliação de Risco;
- definição de ações preventivas e corretivas necessárias;
- definição dos responsáveis pela execução da etapa de Avaliação de Risco e demais etapas ou ações do GAC necessárias.

o) plano de ações (medidas emergenciais, necessidade de refinamento do modelo conceitual, proposição de medidas de controle institucional, avaliação de Risco à Saúde Humana e plano de monitoramento, entre outras);

Deverá ser apresentado o plano de ação associado às necessidades elencadas nas conclusões e recomendações da etapa de investigação detalhada contendo, minimamente, as ações necessárias, as estratégias para sua realização e o cronograma de execução.

p) referências técnicas e bibliográficas;

Deverão ser incluídas, conforme ABNT 6023:2020 – Informação e Documentação – Referências – Elaboração.

q) equipe técnica, qualificação e assinatura do(s) profissional(is) responsável(is).

Anexos

I. Relatório de Vistoria e Ficha de Inspeção nos termos do Anexo 02;

II. registro fotográfico da investigação;

- III. boletins de sondagens de solo e perfis litológico-constructivos de poços de monitoramento;
- IV. boletins de amostragem de solo, águas subterrâneas ou demais meios amostrados;
- V. boletins de ensaios hidrogeológicos e interpretações;
- VI. levantamento topográfico georreferenciado de pontos de amostragem, sondagens e poços de monitoramento;
- VII. resultados de testes e medições em campo (como geofísica, medição de vapores, entre outros);
- VIII. protocolo de recebimento, cadeia de custódia de amostras, boletins, laudos ou relatórios de ensaios analíticos;

A respeito das análises químicas deverão ser apresentadas as Cadeias de Custódia, a Ficha de Recebimento de amostras pelo laboratório e Laudo de acordo com o estabelecido nas ABNT 16435:2015 - Controle da qualidade na amostragem para fins de investigação de áreas contaminadas — Procedimento e ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017: Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração, contendo:

- Cadeia de Custódia:
 - nome e endereço da área;
 - organização responsável pela coleta;
 - nome, função e assinatura do técnico responsável pela coleta e custódia da amostra até a entrega ao laboratório;
 - nome, função e assinatura do técnico responsável pelo recebimento das amostras no laboratório;
 - identificação da amostra, profundidade de amostragem e tipo (simples, composta ou multi-incremento);
 - identificação da matriz a ser analisada;
 - identificação das análises químicas a serem realizadas;
 - quantidade e tipo de frascos utilizados por amostra;
 - especificação dos conservantes eventualmente utilizados;
 - data e horário de amostragem;
 - data e horário de entrega ao laboratório;
 - prazo de processamento (normal ou expresso);
 - integridade dos frascos e temperatura de chegada ao laboratório;
 - pré-tratamento de amostras;

- prazos aceitáveis de estocagem e análise das amostras;
- Amostras de controle de qualidade:
 - branco de equipamento de amostragem;
 - branco de campo;
 - branco de temperatura;
 - branco de viagem;
 - replicatas;
- Laudos:
 - nome (da organização ou do responsável) e endereço da área;
 - data e horário da coleta;
 - data da entrada no laboratório;
 - data de preparação e extração, quando aplicável;
 - data de análise;
 - identificação e assinatura do responsável técnico pela análise;
 - limites de quantificação – o laboratório deve reportar o limite de quantificação da amostra para cada uma das substâncias químicas de interesse analisadas;
 - resultados de brancos do método, ensaio de adição, traçadores e os respectivos intervalos de controle de qualidade;
 - método de preparação e analítico;
 - diluição e fator utilizado, se houver;
 - no caso de amostra de solo, informação se a análise foi conduzida na base úmida ou seca e, neste último caso, o teor de umidade da amostra;
 - incertezas de medição para cada parâmetro, cujo resultado esteja próximo ($\pm 20\%$) ao valor de intervenção do CONAMA ou outro valor de referência (quando aplicável);
 - cromatogramas;
 - outros documentos, como cartas-controle, resultados obtidos em ensaios de proficiência e de validação;

IX. certificados de calibração dos instrumentos de medição em campo;

X. representação (*prints*) das telas do software utilizado na modelagem de progressão das plumas; e

XI. anotação de responsabilidade técnica (ART); e

XII. declaração de responsabilidade nos termos do Anexo 03.

○ AVALIAÇÃO DE RISCO

A Avaliação de Risco deverá ser desenvolvida a partir da metodologia descrita na “ABNT NBR 16.209:2013 - Avaliação de risco a saúde humana para fins de Gerenciamento de Áreas Contaminadas”, observadas as etapas de Coleta, avaliação e validação de dados; Avaliação de exposição; Análise de toxicidade e Caracterização do risco.

Na etapa de avaliação de risco à saúde humana, deverá ser avaliado o risco a partir da comparação entre as Concentrações Máximas Aceitáveis (CMA) e as concentrações obtidas nas amostras de solo, ar do solo e água subterrânea para cada SQI.

Para os cenários associados à ingestão de águas subterrâneas, deverão ser considerados os padrões de potabilidade estabelecidos pela PORTARIA GM/MS Nº 888, DE 4 DE MAIO DE 2021 ou norma que venha a substituí-la.

Conforme itens XIV e XV do artigo 6º da Resolução CONAMA nº 420/2009, para avaliação do risco deverá ser adotado valor inferior a 10^{-5} (um caso adicional para cada cem mil indivíduos) como o Nível Tolerável de Risco à Saúde Humana para exposição a substâncias carcinogênicas. Para as substâncias não carcinogênicas serão considerados aceitáveis valores iguais ou inferiores a 01 (um) para o Nível Tolerável de Risco à Saúde Humana.

Os valores limites se aplicam tanto para o risco calculado para cada SQI associado a cada cenário de exposição, bem como para o risco cumulativo.

A avaliação de risco para o local poderá ser realizada por meio do uso da [Planilha para Avaliação de Risco para Áreas Contaminadas sob Investigação disponibilizada pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo \(CETESB\)](#), bem como suas atualizações.

Poderão ser utilizados outros softwares desde que sejam apresentados os cálculos e parâmetros utilizados, com a justificativa para tal.

No caso de uso das Planilhas CETESB deverão ser apresentadas imagens de todas as ABAS (em formato PDF), garantindo a legibilidade dos dados e informações; bem como o arquivo editável (formato .xlsx) devidamente preenchido.

No caso do uso de outros softwares, deverão ser apresentadas a imagens de todas as telas/abas/formulários preenchidos, garantindo a legibilidade dos dados e informações. O

uso de valores padrão (*default*) deverão ser justificados; devendo ser consolidado em tabela todos os parâmetros utilizados, o valor e unidade de medida e sua referência técnica.

Essas informações deverão ser apresentadas como Anexo do Relatório de Avaliação de Risco à Saúde Humana.

Para a realização de Avaliação de Risco Ecológico, deverá ser utilizada como referência a [NORMA TÉCNICA P4.001/2022](#) da CETESB.

Não deverão ser conduzidas avaliações de risco (*tier 3*) sem o completo mapeamento da contaminação.

RELATÓRIO DE AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE HUMANA

O Relatório de Avaliação de Risco deverá contemplar a apresentação texto síntese sobre o cumprimento de cada um dos itens necessários para o desenvolvimento das etapas descritas na Norma ABNT NBR16.209:2013, quais sejam:

f) Coleta, avaliação e validação de dados

- Coleta de dados;
- Avaliação e validação de dados;

g) Avaliação de exposição

- Caracterização dos cenários de exposição
- Quantificação do ingresso

h) Análise de toxicidade

i) Caracterização do risco

- Quantificação de risco para efeitos carcinogênicos
- Quantificação de risco para efeitos não carcinogênicos

j) Análise de incertezas

- Incertezas ligadas a informações da área de estudo
- Incertezas ligadas à análise de toxicidade e avaliação de exposição

Deverão ser abordados todos os tópicos (e subtópicos) descritos na referida Norma.

ANEXO 01

CONCEITOS E DEFINIÇÕES

Os conceitos aqui presentes foram extraídos da Resolução CONAMA nº 420 de de 28 de dezembro de 2009; das Normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT; da Lei nº 13.577, de 8 de julho de 2009, do Decreto nº 59.263, de 5 de junho de 2013, da Decisão de Diretoria nº 038/2017/C, de 07 fevereiro de 2017 do Estado de São Paulo.

Os conceitos aqui contidos foram incorporados em seu inteiro teor, quando ausentes da Resolução CONAMA 420/2009.

Conceitos complementares foram somados aos conceitos existentes de modo a ampliar seu escopo ou facilitar seu entendimento.

Conceitos de outras normas jurídicas, existentes na Resolução CONAMA 420/2009 foram adotados de forma suplementar, quando possuíam maior abrangência técnica ou menor quantidade de termos limitantes.

- I. **Água subterrânea:** água que preenche os poros e as fraturas das rochas abaixo da superfície terrestre, na zona de saturação, e que é o manancial hidrogeológico da Terra.
- II. **Área Contaminada (AC):** área, terreno, local, instalação, edificação ou benfeitoria que contenha quantidades ou concentrações de matéria em condições que causem ou possam causar danos à saúde humana, ao meio ambiente ou a outro bem a proteger;
- III. **Área Contaminada Crítica:** são áreas contaminadas que, em função dos danos ou riscos, geram risco iminente à vida ou saúde humana, inquietação na população ou conflitos entre os atores envolvidos, exigindo imediata intervenção pelo responsável ou pelo poder público, com necessária execução diferenciada quanto à intervenção, comunicação de risco e gestão da informação;
- IV. **Área com potencial de Contaminação (AP):** área, terreno, local, instalação, edificação ou benfeitoria onde são ou foram desenvolvidas atividades que, por suas características, possam acumular quantidades ou concentrações de matéria em condições que a tornem contaminada;
- V. **Área Suspeita de Contaminação (AS):** Área, terreno, local, instalação, edificação ou benfeitoria com indícios de ser uma área contaminada, conforme resultado da avaliação preliminar;

- VI. **Área Contaminada sob Investigação (AI):** aquela em que comprovadamente for constatada, mediante investigação confirmatória, a contaminação com concentrações de substâncias no solo ou nas águas subterrâneas acima dos valores de investigação;
- VII. **Área Contaminada sob Intervenção (ACI):** aquela em que for constatada a presença de substâncias químicas em fase livre ou for comprovada, após investigação detalhada e avaliação de risco, a existência de risco à saúde humana;
- VIII. **Área em Processo de Monitoramento para Reabilitação (AMR):** aquela em que o risco for considerado tolerável, após a execução de avaliação de risco;
- IX. **Área Fonte:** área que abriga ou abrigou fontes potenciais ou fontes primárias de contaminação;
- X. **Área Reabilitada para o Uso Declarado (AR):** área, terreno, local, instalação, edificação ou benfeitoria anteriormente contaminada que, depois de submetida às medidas de intervenção, ainda que não tenha sido totalmente eliminada a massa de contaminação, tem restabelecido o nível de risco aceitável à saúde humana, ao meio ambiente e a outros bens a proteger;
- XI. **Avaliação de Risco:** processo pelo qual são identificados, avaliados e quantificados os riscos à saúde humana ou a bem de relevante interesse ambiental a ser protegido;
- XII. **Avaliação Preliminar:** avaliação inicial, realizada com base nas informações históricas disponíveis e inspeção do local, com o objetivo principal de encontrar evidências, indícios ou fatos que permitam suspeitar da existência de contaminação na área;
- XIII. **Bens a proteger:** bens que precisam ser protegidos, como a saúde e o bem-estar da população; a fauna e a flora; a qualidade do solo, das águas e do ar; os interesses de proteção à natureza e paisagem; a infraestrutura da ordenação territorial e planejamento regional e urbano; a segurança e a ordem pública;
- XIV. **Cadastro de Áreas Contaminadas:** conjunto de informações referentes aos empreendimentos e atividades que apresentam potencial de contaminação e às áreas suspeitas de contaminação e contaminadas, distribuídas em classes de acordo com a etapa do processo de identificação e remediação da contaminação em que se encontram;
- XV. **Caminho de Exposição:** percurso desenvolvido, ou que possa ser desenvolvido, por uma substância química de interesse (SQI) desde a fonte de contaminação até o receptor;
- XVI. **Cenário de exposição:** situação com chance real de ocorrência em que o receptor pode vir a ser direta ou indiretamente exposto à(s) substância(s) química(s) de interesse, sem considerar condições extremas ou virtualmente impossíveis;

- XXVII. **Cenário de exposição padronizado:** padronização do conjunto de variáveis relativas à liberação das substâncias químicas de interesse, a partir de uma fonte primária ou secundária de contaminação; aos caminhos de exposição e às vias de ingresso no receptor considerado, para derivar os valores de investigação, em função dos diferentes usos do solo;
- XXVIII. **Classificação de área:** ato administrativo por meio do qual o órgão ambiental classifica determinada área durante o processo de identificação e remediação da contaminação;
- XXIX. **Concentração Máxima Aceitável (CMA):** concentração da substância química de interesse acima da qual há necessidade de implementação de medidas de intervenção;
- XX. **Contaminação:** presença de substância(s) química(s) no ar, água ou solo, decorrentes de atividades antrópicas, em concentrações tais que restrinjam a utilização desse recurso ambiental para os usos atual ou pretendido, definidas com base em avaliação de risco à saúde humana, assim como aos bens a proteger, em cenário de exposição padronizado ou específico;
- XXI. **Contaminante:** substâncias químicas ou organismos patogênicos que, introduzidos no meio, podem afetar a saúde humana e o meio ambiente;
- XXII. **Fase líquida imiscível (Fase Livre):** ocorrência de substância ou produto imiscível, em fase separada da água;
- XXIII. **Foco de Contaminação (Hot Spot):** Porção de uma área contaminada onde são detectadas as maiores concentrações das substâncias químicas de interesse;
- XXIV. **Fonte de Contaminação:** local onde os contaminantes entraram ou podem entrar em contato com o meio físico;
- XXV. **Fonte Primária de Contaminação:** instalação, equipamento ou material a partir dos quais as substâncias químicas de interesse/contaminantes se originam e estão sendo, ou foram, liberadas para um ou mais compartimentos do meio físico;
- XXVI. **Fonte Potencial de Contaminação:** instalação ou material a partir dos quais as substâncias químicas de interesse/contaminantes podem ser liberados para um ou mais compartimentos do meio físico;
- XXVII. **Fonte Secundária de Contaminação:** meio atingido por substâncias químicas de interesse/contaminantes provenientes da Fonte Primária de Contaminação, capaz de armazenar certa massa dessas substâncias e atuar como fonte de contaminação de outros compartimentos do meio físico;
- XXVIII. **Gerenciamento de Áreas Contaminadas:** conjunto de medidas que asseguram o conhecimento das características das áreas contaminadas e a definição das medidas de

intervenção mais adequadas a serem exigidas, visando eliminar ou minimizar os danos e/ou riscos aos bens a proteger, gerados pelos contaminantes nelas contidas;

- XXIX. **Indício de contaminação:** a constatação da ocorrência de vazamentos ou do manejo inadequado de substâncias, matérias primas, produtos, resíduos e efluentes, bem como da presença das mesmas na superfície do solo ou nas paredes e pisos das edificações e da existência de instalações com projeto inadequado ou fora das normas existentes;
- XXX. **Ingresso diário tolerável:** é o aporte diário tolerável a seres humanos de uma substância presente no ar, na água, no solo ou em alimentos ao longo da vida, sem efeito deletério comprovado à saúde humana;
- XXXI. **Investigação confirmatória:** etapa do processo de identificação de áreas contaminadas que tem como objetivo principal confirmar ou não a existência de substâncias de origem antrópica nas áreas suspeitas, no solo ou nas águas subterrâneas, em concentrações acima dos valores de investigação;
- XXXII. **Investigação Detalhada:** etapa do processo de gerenciamento de áreas contaminadas, que consiste na aquisição e interpretação de dados em área contaminada sob investigação, a fim de entender a dinâmica da contaminação nos meios físicos afetados e a identificação dos cenários específicos de uso e ocupação do solo, dos receptores de risco existentes, dos caminhos de exposição e das vias de ingresso a partir da avaliação detalhada das características da fonte de contaminação e dos meios afetados, determinando os tipos de contaminantes presentes e suas concentrações, bem como a área e o volume das plumas de contaminação, e sua dinâmica de propagação;
- XXXIII. **Limite de Detecção do Método - LDM:** menor concentração de uma substância que pode ser detectada, mas não necessariamente quantificada, pelo método utilizado;
- XXXIV. **Limite de Quantificação Praticável - LQP:** menor concentração de uma substância que pode ser determinada quantitativamente, com precisão e exatidão, pelo método utilizado;
- XXXV. **Limite de Quantificação da Amostra – LQA:** LQP ajustado para as características específicas da amostra analisada;
- XXXVI. **Mapa de Intervenção:** plantas e seções com a localização das medidas de intervenção propostas, especificando as áreas e volumes de atuação das medidas de remediação, de controle institucional e de engenharia;
- XXXVII. **Mapa de Risco:** representação espacial das áreas onde os riscos identificados na Avaliação de Risco ultrapassaram os níveis considerados aceitáveis e/ou os padrões legais aplicáveis;

- XXXVIII. **Medidas de controle institucional:** ações, implementadas em substituição ou complementarmente às técnicas de remediação, visando a afastar o risco ou impedir ou reduzir a exposição de um determinado receptor sensível aos contaminantes presentes nas áreas ou águas subterrâneas contaminadas, por meio da imposição de restrições de uso, incluindo, entre outras, ao uso do solo, ao uso de água subterrânea, ao uso de água superficial, ao consumo de alimentos e ao uso de edificações, podendo ser provisórias ou não;
- XXXIX. **Medidas emergenciais:** conjunto de ações destinadas à eliminação do perigo, a serem executadas durante qualquer uma das etapas do gerenciamento de áreas contaminadas;
- XL. **Medidas de engenharia:** ações baseadas em práticas de engenharia, com a finalidade de interromper a exposição dos receptores, atuando sobre os caminhos de migração dos contaminantes;
- XLI. **Medidas de intervenção:** conjunto de ações adotadas visando à eliminação ou redução dos riscos à saúde humana, ao meio ambiente ou a outro bem a proteger, decorrentes de uma exposição aos contaminantes presentes em uma área contaminada, consistindo da aplicação medidas de remediação, controle institucional e de engenharia;
- XLII. **Medidas de remediação:** conjunto de técnicas aplicadas em áreas contaminadas, divididas em técnicas de tratamento, quando destinadas à remoção ou redução da massa de contaminantes, e técnicas de contenção ou isolamento, quando destinadas à prevenir a migração dos contaminantes;
- XLIII. **Meta de Remediação:** Concentração Máxima Aceitável da substância química de interesse que deve ser atingida nos compartimentos do meio físico, por meio da execução de medida de remediação;
- XLIV. **Meio Físico:** espaço pertencente aos compartimentos formados pelo solo superficial, solo subsuperficial, ar do solo, águas subterrâneas, águas superficiais e sedimentos, individualizados por unidades e diferenciados entre si por suas características geológicas, hidrogeológicas, hidroestratigráficas, pedológicas, hidrológicas, geomorfológicas ou meteorológicas, a serem caracterizados por processos de quantificação de suas propriedades físicas;
- XLV. **Modelo Conceitual:** relato escrito, acompanhado de representação gráfica, dos processos associados ao transporte das substâncias químicas de interesse na área investigada, desde as fontes potenciais, primárias e secundárias de contaminação até os receptores potenciais ou efetivos;

- XLVI. **Monitoramento:** medição ou verificação, que pode ser contínua ou periódica, para acompanhamento da condição de qualidade de um meio ou das suas características;
- XLVII. **Monitoramento para Encerramento:** etapa do gerenciamento de áreas contaminadas executada nas seguintes situações: i) após a execução da etapa de Avaliação de Risco foram observadas concentrações das substâncias químicas de interesse abaixo das concentrações máximas aceitáveis (CMA) calculadas, além de não terem sido verificadas quaisquer das demais situações: i.a) realizada a Avaliação de Risco foi constatado que os valores definidos para risco aceitável à saúde humana foram ultrapassados; i.b) quando for observado risco inaceitável para organismos presentes nos ecossistemas, por meio da utilização de resultados de Avaliação de Risco Ecológico; i.c) nas situações em que os contaminantes gerados em uma área tenham atingido compartimentos do meio físico e determinado a ultrapassagem dos padrões legais aplicáveis ao enquadramento dos corpos d'água e de potabilidade; i.d) nas situações em que os contaminantes gerados possam atingir corpos d'água superficiais ou subterrâneos, determinando a ultrapassagem dos padrões legais aplicáveis, comprovadas por modelagem do transporte dos contaminantes; i.e) nas situações em que haja risco à saúde ou à vida em decorrência de exposição aguda a contaminantes, ou à segurança do patrimônio público ou privado; ii) quando o Plano de Intervenção proposto para a área indicar somente a necessidade de implementação de medidas de controle institucional e/ou de medidas de engenharia; iii) quando as metas de remediação, definidas no Plano de Intervenção, forem atingidas pela aplicação de medidas de remediação;
- XLVIII. **Nível Tolerável de Risco à Saúde Humana, para Substâncias Carcinogênicas:** probabilidade de ocorrência de um caso adicional de câncer em uma população exposta de 100.000 indivíduos;
- XLIX. **Nível Tolerável de Risco à Saúde Humana, para Substâncias Não Carcinogênicas:** aquele associado ao ingresso diário de contaminantes que seja igual ou inferior ao ingresso diário tolerável a que uma pessoa possa estar exposta por toda a sua vida;
- L. **Órgão ambiental:** órgãos ou entidades da administração direta, indireta e fundacional do Estado, dos Municípios e do Distrito Federal, constituídos pelo Poder Público, responsáveis pela proteção e melhoria da qualidade ambiental, administração de recursos naturais e manutenção e recuperação da qualidade de vida;
- LI. **Passivo ambiental:** presença de quaisquer substâncias em uma propriedade, que representem potenciais danos à saúde humana e ao meio ambiente, devido a qualquer liberação no ambiente; em condições indicativas de liberação para o meio ambiente; ou

sob condições que representem uma ameaça material de uma futura liberação para o meio ambiente;

- LII. **Perigo:** situação em que estejam ameaçadas a vida humana, o meio ambiente ou o patrimônio público e privado, em razão da presença de agentes tóxicos, patogênicos, reativos, corrosivos ou inflamáveis;
- LIII. **Ponto de Conformidade:** pontos de monitoramento situados junto aos receptores potencialmente expostos aos contaminantes, cujas concentrações devam estar em conformidade com as metas estabelecidas;
- LIV. **Ponto de Exposição:** local onde ocorre ou poderá ocorrer a exposição de um dado receptor às substâncias químicas de interesse provenientes de uma fonte de contaminação;
- LV. **Reabilitação:** processo que tem por objetivo proporcionar o uso seguro de áreas contaminadas por meio da adoção de um conjunto de medidas que levam à eliminação ou redução dos riscos impostos pela área aos bens a proteger;
- LVI. **Receptor:** indivíduo ou grupo de indivíduos, humanos ou não, organismo, comunidade, habitat sensível ou ecossistema que esteja exposto direta ou indiretamente a um ou mais compostos químicos associados a um evento de contaminação ambiental.
- LVII. **Remediação de áreas contaminadas:** uma das ações de intervenção para reabilitação de área contaminada, que consiste na aplicação de técnicas, visando à remoção, contenção ou redução de massa de contaminantes, com o objetivo de atingir um risco tolerável, para o uso declarado ou futuro da área;
- LVIII. **Responsável Legal:** pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, responsável, direta ou indiretamente, pela área contaminada, ou pela propriedade potencial ou efetivamente contaminada e, conseqüentemente, pelo planejamento e execução das etapas do gerenciamento de áreas contaminadas;
- LIX. **Responsável Técnico:** pessoa física ou jurídica, designada pelo Responsável Legal para planejar e executar as etapas do gerenciamento de áreas contaminadas;
- LX. **Revitalização:** é o processo de requalificação de áreas ou regiões abandonadas que possam ter abrigado atividades com potencial de contaminação, propiciando a ocupação residencial ou comercial;
- LXI. **Risco:** probabilidade de ocorrência de efeito(s) adverso(s) em receptores expostos a substâncias químicas de interesse/contaminantes presentes em áreas contaminadas;

- LXII. **Seguro ambiental:** contrato de seguro que contenha cobertura para assegurar a execução de Plano de Intervenção aprovado em sua totalidade e nos prazos estabelecidos, no valor mínimo de 125% (cento e vinte e cinco por cento) do custo estimado;
- LXIII. **Solo:** camada superior da crosta terrestre constituída por minerais, matéria orgânica, água, ar e organismos vivos;
- LXIV. **Solo subsuperficial:** horizonte do solo a partir de 1 m de profundidade em relação à superfície do terreno até o nível de água subterrânea;
- LXV. **Solo superficial:** horizonte do solo de 0 a 1 m de profundidade em relação à superfície do terreno;
- LXVI. **Substância emergente:** substância contaminante quantificada em amostras de monitoramento ambiental, que podem causar impactos à saúde humana ou aos bens a proteger;
- LXVII. **Substâncias químicas de interesse:** substância química quantificada em amostra proveniente do meio físico, que está relacionada à fonte primária ou secundária de contaminação;
- LXVIII. **Superfidiário:** detentor do direito de superfície de um terreno, por tempo determinado ou indeterminado, mediante escritura pública registrada no Cartório de Registro de Imóveis, nos termos da Lei Federal nº 10.257, de 9 de julho de 2001;
- LXIX. **Técnicas de Resposta Rápida:** técnicas aplicadas em campo ou não, que permitem um aumento significativo na densidade de informações, possibilitando um aprimoramento do modelo conceitual, simultaneamente aos trabalhos que estão sendo realizados;
- LXX. **Unidade de Exposição (UE):** áreas que são delimitadas durante a Avaliação de Risco e que se caracterizam por conter receptores expostos, ou potencialmente expostos, a cenários comuns de exposição, considerando os caminhos de exposição e as substâncias químicas de interesse presentes;
- LXXI. **Unidade Hidroestratigráfica:** corpo de rocha, camada de sedimento ou solo com extensão espacial e características hidrogeológicas e hidrodinâmicas únicas, distintos das demais unidades que compõem o subsolo do local sob avaliação;
- LXXII. **Valor de Investigação (VI)/Valor de Intervenção:** concentração de determinada substância no solo ou na água subterrânea, acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos à, saúde humana, considerando um cenário de exposição genérico ou padronizado;
- LXXIII. **Valor de Prevenção (VP):** concentração de determinada substância acima da qual podem ocorrer alterações prejudiciais à qualidade do solo e da água subterrânea;

- LXXIV. **Valor de Referência de Qualidade (VRQ):** concentração de determinada substância no solo e na água subterrânea que define um solo como limpo ou a qualidade natural da água subterrânea.
- LXXV. **Via de Ingresso:** mecanismo pelo qual uma substância química de interesse (SQI) adentra o organismo do receptor.

ANEXO 02

ELABORAÇÃO DO RELATÓRIO DE VISTORIA E FICHA DE INSPEÇÃO

Este Anexo foi construído com base no item 4.3 do Anexo VIII da Resolução SEDEST nº 003/2020 da SEDEST do Estado do Paraná.

Deverá ser apresentado um conjunto de imagens fotográficas da situação das instalações e infraestrutura do empreendimento, informando a data da aquisição das imagens e o que as mesmas representam. Deverão ser demonstradas no anexo fotográfico, a pista de abastecimento, área de tancagem, bombas, local de lubrificação e de troca de óleo, local de lavagem de veículos, canaletas, filtros, caixas separadoras, base dos respiros, sumps das bombas e de tanques, bocas de descarga dos tanques e demais constituintes visíveis do SASC e/ou SAAC. Deverá ser incluído registro fotográfico de todos os poços de monitoramento e poços cacimba/tubulares profundos que existam na área do empreendimento.

Deverão ser apresentadas fotos com os detalhes do estado de construção/instalação e conservação das estruturas. Nos casos em que for verificada situações que indiquem desconformidade, estas deverão ser detalhadas, inclusive quanto à sua posterior regularização.

O Relatório Fotográfico deverá ser apresentado, também, em formato de pasta compacta nomeada com a data da realização da vistoria/inspeção de campo, contendo subpastas nomeadas de acordo com a área/estrutura de interesse. Os registros fotográficos realizados em inspeções diferentes deverão ser separados pela data da inspeção.

Também deverá ser apresentada a Ficha de Vistoria, contendo a seguinte informação:

- Data da Vistoria;
- Razão Social;
- CNPJ;
- Identificação do Responsável (pela inspeção);
 - e-mail do Responsável;
 - telefone;
- Data de Instalação;
- Data da Última Reforma;

- N° Tanques (total);
- Volume de armazenamento (m³);
- Descrição individual dos tanques (plenos, bipartidos, tripartidos);
- Tanques c/ Parede: Simples () Dupla NBR 13.212 () Jaquetado NBR 13.785 ()
- Data de Fabricação e Instalação;
- Número de Série;
- Capacidade de armazenamento;
- N° Bombas;
- N° Bicos;
- Piso da Pista de Abastecimento em concreto armado e superfície alisada dotado de Sistema de Drenagem Oleosa - SDO (Sim/Não);
- Condições de conservação;
- Avaliação da Integridade;
- Observações;
- Piso da área de descarga em concreto armado e superfície alisada dotado de Sistema de Drenagem SDO (canaletes) - (Sim/Não);
- Condições de conservação;
- Avaliação da Integridade;
- Observações;
- Descarga selada (NBR 15.138) sobre o tanque;
- Restritor de mangueira (CRUZETA) (Sim/Não);
- Possui sistema de respiro de tanques (válvula de pressão e vácuo) (Sim/Não);
- *Sump* de tanques, câmara de contenção (*spill* container) da descarga de combustível sobre o tanque - NBR 15.118. (Sim/Não);
- Descrição das condições de conservação e limpeza;
- Monitoramento Eletrônico de Estoque (Sim/Não);
- Aparelho/Ano de Instalação;
- Observações;
- Sensor Monitoramento Intersticial (Sim/Não);
- Tanques () bombas () filtros () (preencher com “X” se possuir)
- Aparelho/ano de instalação;
- Observações;
- Último Teste de Estanqueidade do SASC e/ou SAAC;
- data de realização (dd/mm/aaaa);

- Empresa/Responsável Técnico;
- Método;
- Condições de Estanqueidade;
- Câmara de Contenção sob a unidade abastecedora- *Sump* de Bomba - NBR 15.138.
(Sim/Não);
- condições de instalação, limpeza e conservação;
- Canaleta interna à projeção da cobertura das bombas e áreas de descarga- NBR 14605.
(Sim/Não);
- condições de instalação, limpeza e conservação
- Câmara de Contenção (*sump*) da unidade de filtragem de diesel (Sim/Não);
- condições de instalação, limpeza e conservação
- Filtro de Diesel (Sim/Não) (preencher com “X” se possuir);
- área descoberta ();
- área coberta ();
- Piso concretado ();
- Drenagem Oleosa ()
- condições de instalação, limpeza e conservação;
- observações;
- Possui área de armazenamento de resíduos (Classe I) (Sim/Não);
- Circundada por Canaletes de contenção (Sim/Não);
- Condições de conservação;
- Avaliação da Integridade;
- Observações;
- CSAO para área da(s) pista(s) - (Sim/Não);
- Quantidade
- Tipo (concreto/pré-moldado em PEAD) (preencher com “X” se possuir);
 - caixa receptora ();
 - caixa separadora ();
 - caixa coletora ();
 - caixa de amostragem ();
- Volume;
- Data da última manutenção;
- Condições de conservação;
- Efluente Final Drenagem Oleosa Pista/Tanques (preencher com “X” se possuir);

- Rede de Esgotos ();
 - Solo ();
 - Corpo Hídrico ();
 - Galeria ().
- Sistema de Drenagem Pluvial independente do Sistema de Drenagem Oleosa - (Sim/Não);
 - Condições de instalação, limpeza e conservação;
 - Esgoto Sanitário; (preencher com “X” se possuir)
 - rede pública ();
 - rede privada ();
 - fossa séptica ();
 - filtro biológico ();
 - sumidouro ();
 - condições de instalação, limpeza e conservação;
 - Óleo Lubrificante Usado ou Contaminado – OLUC - (Sim/Não) (preencher com “X” se possuir);
 - Tambor ();
 - Tanque Aéreo ();
 - Tanque subterrâneo;
 - Parede simples ();
 - Parede dupla ();
 - Monitoramento Intersticial ();
 - Bacia de Contenção ();
 - Área coberta ();
 - Empresa Responsável pela Coleta;
 - Razão Social;
 - CNPJ;
 - Licença de Operação;
 - Informações do último certificado de destinação;
 - Lavagem de veículos - (Sim/Não) (preencher com “X” se possuir);
 - área coberta ()
 - integral ()
 - parcial ()

- a céu aberto ()
- caixa de areia ()
- CSAO independente para área de lavagem;
 - Quantidade
 - Tipo (concreto/pré-moldado em PEAD) (preencher com “X” se possuir);
- caixa receptora ();
- caixa separadora ();
- caixa coletora ();
- caixa de amostragem ();
 - Volume;
 - Data da última manutenção;
 - Condições de instalação, limpeza e conservação;
- Lançamento do Efluente Final da Lavagem de Veículos (preencher com “X” se possuir);
 - Rede de Esgotos ();
 - Solo ();
 - Galeria ();
 - Corpo Hídrico ();
 - Reuso ()
- Abastecimento de água (preencher com “X” se possuir):
- Rede pública ();
- Poço tubular profundo ();
- Poço Cacimba ();
- Corpo Hídrico ();
 - Identificação;
- Mina ()
- Dados de Outorga/Cadastro;
- Número de Poços de Monitoramento (se existente):

A Ficha de Vistoria da infraestrutura do empreendimento deverá ser anexada em formato PDF como Anexo do respectivo Estudo, sendo devidamente referenciada no corpo do texto.

ANEXO 03

MODELO DE DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Eu _____, CPF: _____ na
qualidade de Responsável Legal, em conjunto com
_____, CPF: _____ Registro
Profissional: _____ junto ao _____
(conselho de classe) na qualidade de Responsável Técnico, declaramos, sob as penas da lei
e de responsabilização administrativa, civil e penal, que todas as informações prestadas ao
Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Distrito Federal – Instituto Brasília
Ambiental, ora apresentadas: _____ (discriminar), são verdadeiras e
contemplam integralmente as exigências estabelecidas pelo Instituto Brasília Ambiental, se
encontram em consonância com o que determina a : (órgão ambiental deverá especificar a
norma), publicada no Diário Oficial do Distrito Federal – DODF nº , na data __/__/__.

Declaramos, outrossim, estarmos cientes de que os documentos e laudos que subsidiam as
informações prestadas podem ser requisitados a qualquer momento, durante ou após a
implementação do procedimento previsto no documento “Procedimento para
Gerenciamento de Áreas Contaminadas” para fins de auditoria.

Local e data

<hr style="width: 80%; margin: 0 auto;"/> <p>Proprietário/Responsável Legal Nome RG/CPF</p>

<hr style="width: 80%; margin: 0 auto;"/> <p>Responsável Técnico Nome Profissão Número de Conselho de Classe</p>
--

APÊNDICE 02 - AVALIAÇÃO ESTUDOS E MANIFESTAÇÕES TÉCNICAS ELABORADOS PARA O ESTUDO DE CASO.

Tabela A2. 1. Histórico processual do Auto Posto Morada dos Nobres (Antigo Brazuca).

<p>Processo 190.001.132/2001 (Volumes 01 a 29):</p>	<p>1.- Auto de Infração Ambiental nº 0305 (peça 80). em 10/05/2002, devido a despejo de efluentes graxos e com traços de combustíveis diretamente no solo sem devido tratamento, e funcionamento do posto de abastecimento sem devida licença ambiental. Foi aplicada uma multa de 20.000 reais e estipulado um prazo de 30 dias para apresentação de um estudo ambiental conforme Termo de Referência;</p> <p>2.Memorando nº 2.308/02 - I.C., Instituto de Criminalística da Polícia Civil do Distrito Federal (peças 166 a 168): Informa sobre exames periciais realizados no empreendimento, os quais detectaram presença de gás no solo em todos os poços abertos para monitoramento, solicitando a comunicação da Defesa Civil e outros órgãos para que sejam tomadas as medidas cabíveis;</p> <p>3.Parecer Técnico nº 112/2002 - SEMARH (peças 182 a 187): Desfavorável à concessão da licença;</p> <p>4.Ofício GADIPN 1260/02, da Petrobras Distribuidora S.A., em referência aos Critérios para avaliação de terra (peças 211 e 212); Lista holandesa de valores de qualidade de solo e da água subterrânea - Valores STI (peças 213 a 229): via e-mail, foi enviada essa lista para comparação dos futuros valores das análises do solo;</p> <p>5.Informação Técnica nº 101/2002 SEMARH (peças 240 e 241) em resposta ao GADIPN 1260/02, e envio de "Termo de Referência para transporte de materiais perigosos";</p> <p>6.Laudo Geológico (peças 275 a 278);</p> <p>7.Parecer Técnico nº 15 J/2002 SEMARH, favorável à concessão da Licença de Instalação, com algumas restrições</p>
---	---

	<p>listadas (peças 282 a 285);</p> <p>8.Licença de Instalação nº 166/2002, válida por 365 (trezentos e sessenta e cinco) dias corridos, expedida em 21/10/2002;</p> <p>9.Parecer Técnico nº 174/2002 SEMARH, quanto ao transporte e incineração do solo contaminado a ser removido (peças 330 a 334);</p> <p>10.Ofício QADIPN 1588/02 (peças 339 a 340) da Petrobras Distribuidora S.A. em referência a avaliação se solo, comunicando que os resultados indicam a necessidade de remoção e destinação ambientalmente segura da terra localizada na área dos tanques e em torno da descarga remota, até a profundidade de 6m;</p> <p>11.Relatório Técnico da Análise do Solo do Posto Brazuca Ltda (peças 341 a 346). escrito pela UNB, com resultados das análises quantitativas de BTEX realizadas de 15 a 18 de novembro de 2002. Todas as 20 amostras apresentaram valores de concentração de benzeno superiores ao limite para oferecer risco para a saúde humana e o ambiente;</p> <p>12.Relatório de Monitoramento de Solo do Posto Brazuca Ltda (peças 347 a 358), escrito pela ENSR International com resultados das análises dos Hidrocarbonetos de Petróleo- TPH e Benzeno, também realizadas em novembro. A presença de hidrocarbonetos diversos foi confirmada;</p> <p>13.Informação Técnica nº 121/2002 SEMARH (peças 360 e 631), em resposta aos resultados das análises do solo;</p> <p>14.Relatório Técnico da Análise de Água do Posto Brazuca Ltda (peças 362 a 366), escrito pela UNB, com resultados das análises quantitativas de BTEX e qualitativa das amostras, realizadas em 23 de agosto de 2002. Duas amostras apresentaram valores acima do padrão de consumo humano de benzeno;</p> <p>15.Termo de referência para a contratação dos serviços de sondagem exploratória, construção de piezômetros e</p>
--	---

	<p>reabilitação de poço tubular, realizado pela Ambiental Petroclean Ltda (peças 367 a 386);</p> <p>16. Croquis dos pontos de amostragem de solo e resultados de análises (peças 389 a 393);</p> <p>17. Projeto de Remediação Ambiental- Bioventing (peças 397 a 405), realizado pela ENSR International, prestando serviço à BR- Petrobrás Distribuidora S.A., de janeiro de 2003;</p> <p>18. Informação Técnica nº 05/2002 SEMARH (peças 406 e 407);</p> <p>19. Continuação do Teste de estanqueidade realizado em 30/05/2002, detecta vazamento na sucção da bomba FD 1 que atende ao tanque nº 8 (peças 408 a 429);</p> <p>20. Teste de Estanqueidade realizado em 27/03/2002, detecta vazamento no respiro da Linha 17 que atende ao tanque nº 06 (peças 430 a 450);</p> <p>21. Relatório de Vistoria nº 73/2002- GFIAM/DLFMA/SUMAM que constata um forte odor de combustível na água das torneiras de residências próximas à área do posto e constata que os efluentes líquidos oleosos são despejados diretamente no solo em uma área nos fundos do posto (peça 454);</p> <p>22. Relatório de Vistoria datado de 04/06/2002, concluindo a provável contaminação do lençol freático, à contaminação do sangue de moradores vizinhos e a realização de estudos na área por empresa do Rio de Janeiro contratada pela Petrobrás (peça 463);</p> <p>23. Relatório de Remediação Ambiental com data de junho de 2002 (peças 468 a 474);</p> <p>24. Relatório de Remediação Ambiental com data de julho de 2002 concluindo que o solo da área em questão está impactado por hidrocarbonetos e a existência de elevadas concentrações de voe (peças 477 a 554);</p> <p>25. Termo de Referência da Petrobrás relativo ao diagnóstico de</p>
--	--

	<p>remediação ambiental (peça 568);</p> <p>26.Relatório Técnico de Perfilagem Ótica em Poços Tubulares datado de 30/08/2002 (peça 610);</p> <p>27.Relatório de Remediação Ambiental datado de 30/08/2002 (peça 618);</p> <p>28.Avaliação do Risco Ambiental da Contaminação do Solo e da Vegetação em Área Afetada por Vazamento de Gasolina de setembro de 2002 que não detectou contaminação além dos índices aceitáveis concluindo não haver risco à saúde humana por ingestão, contato ou inalação dos componentes encontrados nos vegetais e solos amostrados (amostras enviadas pelo interessado) (peças 626 a 662);</p> <p>29.Perfilagem ótica do poço artesiano poço nº 158 (PA-02), pela HIDROGEO (peças 671 a 675);</p> <p>30.Perfilagem ótica do poço artesiano poço nº 157, pela HIDROGEO (peças 676 a 682);</p> <p>31.Etapas (peças 684 a 693):</p> <p>Avaliação Preliminar;</p> <p>Investigação Confirmatória e Detalhada;</p> <p>Avaliação de Risco;</p> <p>Investigação para Remediação;</p> <p>Projeto de remediação;</p> <p>Remediação;</p> <p>Monitoramento.</p> <p>32.Relatório de Diagnóstico Ambiental - Setembro/2002, feito pela ENSR International, em maio/2002 (peças 697 a 813);</p> <p>33.Relatório de Remediação Ambiental (Junho/2002) -(peças 814 a 823);</p> <p>34.Relatório de Remediação Ambiental (Julho/2002) (peças 824 a 831);</p> <p>35.Relatório de Remediação Ambiental (22/07 a 16/08/2002 - agosto) - (peças 832 a 839);</p> <p>36.Laudos das análises químicas dos poços tubulares profundos</p>
--	---

<p>(peças 840 a 854);</p> <p>37.Relatório de Perfilagem Ótica, realizado em 30/08/2002 (peças 955 a 963);</p> <p>38.Termo de Referência - Gerenciamento do Diagnóstico e Remediação Ambiental - Revisão 10/10/02 (peças 965 a 977);</p> <p>39.Relatório de avaliação do risco da contaminação do solo e da vegetação em área afetada por vazamento de gasolina - Posto Brazuca (relativo à ingestão de alimentos) – (peças 980 e 997);</p> <p>40.Relatório de Remediação Ambiental- Relatório 4 (peças 1000 a 1020);</p> <p>41.Carta s/n da Petrobrás Distribuidora relatando os procedimentos adotados para avaliação da terra retirada da região dos tanques (peças 1057 e 1 058);</p> <p>42.Relatório Técnico de Avaliação de Risco Ambiental da Contaminação do Solo e da Vegetação em Área afetada por vazamento de gasolina, realizado em setembro de 2002 (peças 1074 a 1116);</p> <p>43.Relatório de Perfilagem Ótica dos Poços Tubulares Profundos - realizado pela empresa HIDROGEO em 03/10/02 no poço 02 (peças 111 7 a 1124);</p> <p>44.Perfilagem Ótica de Poço Artesiano -Profundos- realizado pela empresa HIDROGEO em 03/10/02 no poço 02, localizado nos fundos da área lado direito (peças 1125 a 1131);</p> <p>45.Laudos de Amostragem de Água de 10/10/02, realizado pelo laboratório INNLAB na Alemanha (peças 1166 a 1179);</p> <p>46.Laudo Pericial realizado pelo Instituto de Criminalística da PCDF, realizado em 16/05/2002 (peças 1181 a 1314);</p> <p>47.Relatório de Vistoria Técnica (RVT) realizado no dia 03/08/02 por técnicos da SEMARH (peças 1315 e 1316);</p> <p>48.RVT em 21/8/02, coleta de amostras de água para análises pela UnB, BETEX dissolvido na água do PA02. PA03, ex. d'água próxima poço PA 01 e Cacimba 01 e 02 (peça I 319);</p>

49.RVT em 09/02, coleta de amostras de água para análises pela UnB, BETEX no poço PA 01, na ex d'água próxima ao PA 01 e no poço de monitoramento acima da casa do médico. neste constatou um cheiro muito forte de gasolina, sugeriu então abrir novos poços (peça 1320);

50.Relatório Técnico - resultados das análises da UnB(2/9/02): detectado presença de benzeno no poço artesiano PA01 e no poço cacimba 01. os demais não foram detectados nenhum dos compostos químicos BTEX (peça 1322);

51.Cronologia dos fatos, 2002 e 2003 (Apresentação IBAMA) – (peça 1346 a 1424);

52.Relatório de análise de água feita na área do posto e com resultados de acordo com a legislação (peça 1561);

53.Informação Técnica n° 4112006 - OLAST/DILAM/SUMAM, fonte de contaminação cessada, equipamentos adequados, atenção nas descargas seladas de óleo diesel (peça 1 580);

54.Informação Técnica n° 106/2007, solicita apresentação de novo plano de remediação. e informa que o SASC foi substituído (peça 1599);

55.Croqui de disposição das barreiras hidráulicas (peça 1612);

56.Anteprojeto do novo sistema de remediação ambiental a ser implantado (peça 1662);

57.Parecer Técnico N.º 428/2008- GELAMIDILAM/SULFI (folhas 1683 a 1709);

58.Licença de Operação n° 158/2008 emitida em 14/11/2008 com validade de 04 anos (fl. 1714);

59.Relatório referente aos meses 06 a 09/2009, com informações sobre os trabalhos realizados para a contenção hidráulica e o monitoramento ambiental do terreno e entorno do posto Brazuca (fls. 1744— a 2077);

60.Relatório do Sistema de Remediação de água subterrânea referente aos meses 01 a 03/2006 (fls. 2403 a 2467) e referente

	<p>ao mês 04 de 2006 (fls. 2468 a 2528);</p> <p>61.Contenção Hidráulica e Monitoramento Ambiental da Contaminação de Solos e Águas Subterrâneas: 5º Relatório maio de 2006 (fls. 2529 a 2561);</p> <p>62.6º Relatório junho de 2006 (fls. 2561 a 2618);</p> <p>63.7º Relatório - Julho de 2006 (fls. 2619 a 2650);</p> <p>64.8º Relatório - agosto de 2000 (fls. 2651 a 2710);</p> <p>65.9º Relatório - agosto de 2006 (fls. 2711 a 2742);</p> <p>66.10º Relatório- outubro de 2006 (fls. 2743 a 2776);</p> <p>67.11º Relatório novembro de 2006 (fls. 2777 a 2838);</p> <p>68.12º Relatório - dezembro de 2006 (fls. 2839 a 2870);</p> <p>69.13º Relatório janeiro de 2007 (fls. 2871 a 2903);</p> <p>70.14º Relatório - fevereiro de 2007 (fls. 2903 a 2962);</p> <p>71.15º Relatório - março de 2007 (fls. 2963 a 2994);</p> <p>72.Contenção Hidráulica e Monitoramento Ambiental da Contaminação de Solos e Águas Subterrâneas: abril de 2007 (fls. 2999 a 3000);</p> <p>73.Contenção Hidráulica e Monitoramento Ambiental da Contaminação de Solos e Águas Subterrâneas: maio de 2007 (fls. 3061 a 3093);</p> <p>74.Contenção Hidráulica e Monitoramento Ambiental da Contaminação de Solos e Águas Subterrâneas: junho de 2007 (fls. 3095 a 3125);</p> <p>75.Contenção Hidráulica e Monitoramento Ambiental da Contaminação de Solos e Águas Subterrâneas: julho de 2007 (fls. 3126 a 3154);</p> <p>76.Contenção Hidráulica e Monitoramento Ambiental da Contaminação de Solos e Águas Subterrâneas: agosto de 2007 (fls. 3150 a 3189);</p> <p>77.Contenção Hidráulica e Monitoramento Ambiental da Contaminação de Solos e Águas Subterrâneas: setembro de 2007 (fls. 3192 a 3220);</p> <p>78.Sistema de Barreiras Hidráulicas Relatório de Operação -</p>
--	---

	<p>janeiro de 2008 (fls. 3227 a 3266);</p> <p>79.Sistema de Barreiras Hidráulicas Relatório de Operação: outubro de 2007 (fls. 3267 a 3295);</p> <p>80.Sistema de Barreiras Hidráulicas Relatório de Operação: novembro de 2007 (fls. 3296 a 3326);</p> <p>81.Sistema de Barreiras Hidráulicas Relatório de Operação: dezembro de 2007 (fls. 3327 a 3361);</p> <p>82.Sistema de Barreiras Hidráulicas Relatório de Operação: janeiro de 2008 (fls. 3362 a 3391);</p> <p>83.Sistema de Barreiras Hidráulicas Relatório de Operação: fevereiro de 2008 (fls. 3392 a 3425);</p> <p>84.Sistema de Barreiras Hidráulicas Relatório de Operação: abril de 2008 (fls. 3426 a 3454);</p> <p>85.Sistema de Barreiras Hidráulicas Relatório de Operação: maio de 2008 (fls. 3455 a 3488);</p> <p>86.Sistema de Barreiras Hidráulicas Relatório de Operação: junho de 2008 (fls. 3499 a 3519);</p> <p>87.Relatório de operação Sistema de Barreiras Hidráulicas - transição - novembro de 2008 (fls.. 3520 a 3728);</p> <p>88.Sistema de Barreiras Hidráulicas Relatório de Implantação Outubro de 2008 (fls. 3731 a 3757);</p> <p>89.Sistema de Barreiras Hidráulicas Relatório de Implantação Transição - Outubro de 2008 (fls. 3758 a 3787);</p> <p>90.Sistema de Barreiras Hidráulicas Relatório: novembro de 2008 (fls. 3788 a 3820);</p> <p>91.Sistema de Barreiras Hidráulicas Relatório: dezembro de 2008 (fls. 3820 a 4021);</p> <p>92.Sistema de Barreiras Hidráulicas Relatório de Operação: janeiro de 2009 (fls. 4022 a 4062);</p> <p>93.Sistema de Barreiras Hidráulicas Relatório de Operação: fevereiro de 2009 (fls. 4063 a 4245);</p> <p>94.Sistema de Barreiras Hidráulicas Relatório de Operação - continuação de fevereiro/março de 2009 (fls. 4248 a 4332);</p>
--	--

	<p>95.Sistema de Barreiras Hidráulicas Relatório de Operação: abril de 2009 (fls. 4333 a 4382);</p> <p>96.Sistema de Barreiras Hidráulicas Relatório de Operação: março de 2009 (fls. 4383 a 4442);</p> <p>97.Sistema de Barreiras Hidráulicas Relatório de Operação: setembro/outubro de 2009 (fls. 4443 a 4908);</p> <p>98.Sistema de Barreiras Hidráulicas Relatório de Operação: novembro de 2009 (fls. 4909 a 4977);</p> <p>99.Sistema de Barreiras Hidráulicas Relatório de Operação: dezembro de 2009 (fls. 4978 a 5032);</p> <p>100.Sistema de Barreiras Hidráulicas Relatório de Operação: janeiro de 2010 (fls.5033 a 5088);</p> <p>101.Sistema de Barreiras Hidráulicas Relatório de Operação: fevereiro de 2010 (fls. 5089 a 5 146);</p> <p>102.Sistema de Barreiras Hidráulicas Relatório de Operação: março de 2010 (fls. 5147 a 5205);</p> <p>103.Sistema de Barreiras Hidráulicas Relatório de Operação: abril de 2010 (fls. 5206 a 5267).</p> <p>104.Sistema de Barreiras Hidráulicas Relatório de Operação: maio de 2010 (fls. 5268 a 5229);</p> <p>105.Sistema de Barreiras Hidráulicas Relatório de Operação: junho de 2010 (fls. 5330 a 5393);</p> <p>106.Sistema de Barreiras Hidráulicas Relatório de Operação: julho de 2010 (fls. 5394 a 5459);</p> <p>107.Sistema de Barreiras Hidráulicas Relatório de Operação: agosto de 2010 (fls. 5460 a 5529);</p> <p>108.Sistema de Barreiras Hidráulicas Relatório de Operação: setembro de 2010 (fls. 5530 a 5599);</p> <p>109.Sistema de Barreiras Hidráulicas Relatório de Operação: outubro de 2010 (fls. 5600 a 5671);</p> <p>110.Sistema de Barreiras Hidráulicas Relatório de Operação: novembro de 2010 (fls. 5672 a 5745);</p> <p>111.Sistema de Barreiras Hidráulicas Relatório de Operação -</p>
--	---

	<p>dezembro de 2010 (fls. 5748 a 5823);</p> <p>112.Monitoramento e Amostragem de Água Subterrânea de fevereiro de 2011 (fls. 5825 a 5897);</p> <p>113.Relatório de Monitoramento Hidroquímico de setembro de 2011 (fls. 5903 a 6090);</p> <p>114.Relatório de Monitoramento Hidroquímico de abril de 2012 (fls. 6091 a 6310);</p> <p>115.Relatório de Monitoramento Hidroquímico de maio de 2012 (fls. 6311 a 6507);</p> <p>116.Informação Técnica nº 302/2012 - GELEU/COLAM/SULFI (fls. 6509 a 6517);</p> <p>117.Relatório TELSAN - Histórico das Técnicas de Remediação Empregadas, Descrição da Atual Técnica e Evolução da Pluma de Benzeno Dissolvido em Água Subterrânea ao Longo do Tempo no Empreendimento Auto Posto Morada dos Nobres Ltda., Sobradinho/DF (fls. 6528 a 6541 - – repetido nas fls. 6597 a 6610);</p> <p>118.Relatório de Operação – Final – Sistema de Remediação – ERH AUTO POSTO MORADA DOS NOBRES LTDA (fls. 6612 a 6956);</p> <p>119.Relatório Técnico de Encerramento do Sistema de Remediação - Método de Remediação – Passiva (fls. 7002 a 7019);</p>
<p>Processo nº 00391-00017924/2017-17 (Licença de Operação)</p>	<p>120.Informação Técnica n.º 21/2020 - IBRAM/PRESI/SULAM/DILAM-V (35119705);</p> <p>121.Ofício nº 062/2020 – Resposta ao Ofício nº 28/2020 (44727024) contendo ao Relatório de Monitoramento Hidroquímico – Julho 2014 e o Relatório de Investigação Ambiental Complementar - abril de 2019;</p> <p>122.Informação Técnica n.º 143/2020 - IBRAM/PRESI/SULAM/DILAM-V (47263933);</p>

	123.Parecer Técnico n.º 560/2020 - IBRAM/PRESI/SULAM/DILAM-V (50612895); 124.Manifestação 7863 (51077195); 125.Manifestação 7922 (51294469); 126.RAF – Relatório de Auditoria e Fiscalização 369 (100773792);
Processo Eletrônico 00391-00001014/2020-18 (Gerenciamento de Áreas Contaminadas)	133.Ofício nº 063/2020 – (44695491) contendo ao Relatório de Monitoramento Hidroquímico – Julho 2014 e o Relatório de Investigação Ambiental Complementar - abril de 2019; 134.Manifestação 11345 (67773757); 135.Relatório de Monitoramento Ambiental – Dezembro 2020 (74423303); 136.Correspondência Eletrônica (108203408); 137.Relatório Laudos Apresentados (109708041); 138.Manifestação 19499 (111856928);

Características da área ocupada pelo empreendimento

De acordo com o Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal – PDOT (2012), a área está inserida na Zona Urbana de Expansão e Qualificação - ZUEQ - I, compreendendo zonas destinadas à ocupação urbana, predominantemente habitacional, que acolhem o histórico geográfico social tendo relação direta com áreas já implantadas, com densidades demográficas baixas a médias.

De acordo com o Mapa Hidrográfico do DF (2024), o empreendimento encontra-se na Unidade Hidrográfica (UHA) do Ribeirão Sobradinho, na Bacia Hidrográfica do São Bartolomeu, na Região Hidrográfica do Rio Paraná. O Zoneamento Ecológico Econômico do Distrito Federal - ZEE/DF. indica que essa unidade hidrográfica possui área total de 145,6 km².

Os dados oficiais descrevem que a região vem passando por um crescimento urbano desordenado, logo, essa UHA apresenta grandes problemas quanto à disponibilidade hídrica e

qualidade dos recursos hídricos superficiais, com altas taxas de carga total de fósforo, indicando que as águas superficiais tiveram sua capacidade de suporte excedidas.

Com relação ao contexto hidrogeológico, Zoby e Duarte (2001) classificam o contexto hidrogeológico local com a presença dos domínios dos aquíferos Poroso e Fraturado.

O Domínio Fraturado abarca os Sistemas Paranoá e Canastra. O Sistema Paranoá foi subdividido em quatro subsistemas aquíferos: Metarritmito Arenoso (média de vazões de 26,7 m³ /h), Quartzito (média de vazões de 8,7 m³ /h), Metarritmito Argiloso (média de vazões de 4,6 m³ /h) e Psamo-Pelito Carbonatado (média de vazões de 15,7 m³ / h).

Já o Domínio Poroso está associado, na região, ao manto de intemperismo (solo e saprolito), que chega a mais de 100 m de espessura, sendo representado por aquíferos livres, de grande continuidade lateral. A espessura e permeabilidade do manto de intemperismo apresentam grande controle em função do substrato geológico. O Domínio Poroso é explorado amplamente nessa região através de poços rasos para abastecimento e usos diversos.

Segundo o Mapa Hidrogeológico do Distrito Federal, disponibilizado pelo Serviço Geológico Brasileiro -SGB (2019), a área do estudo de caso está localizada sobre os sistemas P1 e P3 do Domínio Poroso.

O Mapeamento apontou que a Unidade P1 apresenta vazão esperada de até 0,8 m³/h, com a incidência de Latossolo Arenoso e Neossolo Quartzarênico e Manto de Intemperismo.

A Unidade P3 apresenta vazão esperada até 0,5 m³/h com a incidência de Plintossolo e Argissolo e Manto de Intemperismo.

Essas águas são, no geral, de boa qualidade; entretanto, devido às suas características, é bastante vulnerável à contaminação antrópica. E a contaminação aqui em análise é uma prova dessa vulnerabilidade.

Com relação ao Domínio Fraturado a área se encontra sobre o Domínio Paranoá 3 unidade rítmica quartizítica intermediária - MPpa3qt. Essa unidade é formada por quartzitos finos a médios, friável, silicificados e intensamente fraturados, quartzitos finos, com intercalações de metarenitos e metassiltitos argilosos.

No contexto local natural, as águas do Domínio Poroso não mineralizam as águas mais profundas do Domínio Fraturado, No entanto, com a exploração e uso extensivo de poços artesianos na região, a abertura de poços de monitoramento, há a possibilidade das

contaminações atingirem o Domínio Fraturado, o qual também deve ser investigado e considerado no Modelo Conceitual.

Notas sobre a avaliação dos processos

A investigação foi iniciada no dia 19/05/2002 (instalação de poços de monitoramento) mediante solicitação da polícia civil em função de denúncias, já havia sido constatado o lançamento irregular dos efluentes do posto sem pré-tratamento por SÃO e cheiro e gosto de combustível na água da chácara 06.

Relatório de Vistoria e Auto de Infração datados de 14/05/2002 e 10/05/2002, respectivamente, já solicitavam os estudos sobre a qualidade da água subterrânea.

Teste de estanqueidade de 22/03/2002 apresentado à polícia civil indicava não estanqueidade em tanques de gasolina e tanque de diesel. Interessante ressaltar que o processo de licenciamento foi autuado em 30 de agosto de 2001, sendo que o referido teste de estanqueidade não foi anexado aos autos do processo de licenciamento.

O Relatório de Vistoria nº 040/2002 (folhas 171 a 176) datado de 14/06/2002 e referente à vistoria realizada em 31/05/2002 elencava um grande número de inadequações na operação do empreendimento, relacionando várias fontes potenciais e primárias de contaminação, incluindo a área utilizada para armazenamento do material utilizado para perfuração dos poços de monitoramento.

Em 31/07/2002 a equipe da SEMARH por meio do Parecer Técnico 112/2002 (folhas 182 a 187) recomendou a não concessão de licença ambiental, bem como a interdição da atividade.

Neste ínterim houve a interdição pelo IBAMA e a desinterdição mediante liminar concedida por meio da judicialização do processo. Nova interdição foi realizada em 30/09/2002.

Em 08/10/2002 a Petrobrás apresentou o que denominou de “proposta de procedimento para avaliação da terra retirada da região dos tanques do Posto Brazuca” (folhas 211 a 238) com proposta de amostragem de “diversos montes de terra já formados” e de “terra ainda presente no solo” com análise para o parâmetro TPH e comparação com os valores de referência da Lista Holandesa, para classificação da terra e definição do destino final.

Nenhum dos documentos apresentados até esse momento trazia informações espaciais (plantas ou croquis) sobre a localização das sondagens, dos locais de remoção de terra, da localização das fontes de contaminação, etc.

A informação técnica 101/2002 datada de 18/10/2002, complementava a proposta e dava o aceite ao procedimento proposto, bem como encaminhava Termo de Referência - TR para destinação do “material perigoso”. O referido TR não consta dos autos do processo.

Em 09/09/2002 foi recebido e posteriormente anexado aos autos do processo de licenciamento novo Relatório de Controle Ambiental - RCA. O Histórico deste RCA apresenta fatos e procedimentos ocorridos em ocasiões anteriores aos documentos produzidos pela Petrobrás e pelo órgão ambiental e que não estavam relatados nos autos do processo de licenciamento (vide folhas 247 a 250 dos autos do processo).

Dentre a situação relatada estão, testes de estanqueidade que teriam sido apresentados, laudos geológicos realizados e que teriam sido apresentados, transporte de volumes de terra contaminada ao Aterro do Jóquei, perdas significativas de volumes de combustíveis por vazamento durante a interdição do empreendimento, entre outros.

Foi emitido o Parecer Técnico 151/2002 datado de 18/10/2002 (folhas 282 a 291) favorável à concessão de Licença de Instalação para reforma do empreendimento que condicionava a apresentação de documentos fundamentais e que são pré-requisito à avaliação da viabilidade de concessão da licença como plantas e projetos do SASC. Anexo a este Parecer consta o TR supramencionado. Com base neste Parecer foi emitida a Licença de Instalação nº 166/2002 (folha 294).

Foi elaborado o Parecer nº 174/2002 (folhas 330 a 334) que cita vistoria realizada em 30/10/2002 e elenca uma série de estudos protocolados pela Petrobrás e que não constavam dos autos do processo de licenciamento, entre eles, os testes de estanqueidade, estudos de investigação e remediação, entre outros.

Posteriormente foi anexado aos autos, documento denominado GADIPN 1588/02 (folhas 339 a 358) datado de 11/10/2002 (e recebido em 16/12/2002) que versavam sobre os resultados da análise de solo e informavam desconformidade dos resultados analíticos para a área de tancagem de gasolina e álcool até a profundidade de 6 metros, bem como discrepância entre resultados laboratoriais para a área de tancagem de diesel com execução de contraprova em laboratórios diferentes.

A este documento estavam anexados laudos de análise da UNB e da ENSR e somente neste último, havia um croqui da área de amostragem do solo, contendo informações sobre os poços instalados (ainda que ilegíveis).

Foi emitida então a Informação Técnica nº 121/2002 datada de 23/12/2002 que versava sobre a documentação apresentada, solicitava a apresentação da contraprova com brevidade, bem como autorizava a instalação de técnica de bioventilação na área de tancagem de diesel e proibia a concretagem da pista de abastecimento.

Foi anexado aos autos o Laudo da UNB das análises dos poços de captação datado de 02/09/2002, que apresentavam inconformidade para benzeno em 02 (dois) poços.

Foi anexado nos autos o Termo de Referência elaborado pela empresa “Ambiental PETROCLEAN” datado de 30/11/2002, que trazia as condições para contratação de investigação de passivo ambiental com proposta de áreas a serem investigadas. Especial atenção para a proposta de locação das perfurações denominadas “sondagem exploratória” contidos na figura 1 (folha 371), para os “conjuntos de piezômetros” e para os poços de abastecimento. Pela primeira vez um documento anexado aos autos do processo indicam as localizações das áreas cuja água subterrânea foi analisada.

O documento versava sobre a instalação de 03 (três) piezômetros nas profundidades de 20, 50 e 80 metros, bem como para reabilitação de poços existentes que previa o revestimento dos mesmos até uma profundidade de 100 (cem) metros.

Em 05/02/2003 foi apresentado o Ofício GADIPN 121/03 que trazia o croqui de realização de amostragem de solo e os resultados laboratoriais (folhas 388 a 393).

Posteriormente foi anexado o Ofício GADIPN 53/03 datado de 20/01/2003 que trazia os resultados analíticos dos PM 21, 25, 26 e 28 para análises realizadas em julho e agosto de 2002, bem como apresentava o projeto de remediação por meio de bioventilação (folhas 394 a 405).

Foi elaborada então a Informação Técnica nº 05/2002 datada de 29/01/2003 que solicitava uma série de esclarecimentos sobre a proposta de remediação (folhas 406 e 407) a referida IT versa sobre a realização de diversos estudos para conhecimento.

Nas páginas 409 a 429 foi anexado o Laudo de Estanqueidade datado de 30/05/2002 que demonstrava a não-estanqueidade da linha de sucção da bomba do tanque nº 08 (oito). O croqui contido à folha 427 detalha satisfatoriamente o SASC do empreendimento.

Nas folhas 430 a 450 consta o Teste de Estanqueidade datado de 27/03/2002 (com operações realizadas em 08/03/2002 e reteste no tanque 06 em 05/04/2002) que demonstrava a não-estanqueidade da linha de respiro/retorno do tanque nº 06 (seis).

Nas folhas 454 e 455 consta cópia do Relatório de Vistoria 073/2002 (peças 04 e 05 do Processo 190.000.586/2002) referente a vistorias realizadas em 08/05/2002 e 10/05/2002 que resultou na lavratura do primeiro Auto de Infração.

Acesso à reportagem do Correio Braziliense de 25/05/2002 que trazia a matéria sobre o Bazuca (http://memoria.bn.br/docreader/DocReader.aspx?bib=028274_05&pagfis=11408). Segundo a reportagem as atividades do posto se iniciaram em 1994 (08 anos antes da reportagem).

O primeiro estudo anexado aos autos se trata do “Relatório de Remediação Ambiental” datado de Junho/2002 (folhas 468 a 474) elaborado pela empresa ENSR International, a respeito deste estudo constatou-se que:

Trata-se estudo referente à recuperação de fase livre de Gasolina iniciado em 07/06/2002 (operação de 08/06 a 26/06 à exceção dos domingos), com 20 dias de operação de 199 litros de produto recuperado. Interessante que os efluentes eram descartados na CSAO, entretanto, o CSAO não possuía ligação com a rede de esgotamento, ou seja, provavelmente a fase dissolvida foi descartada em CSAO cujo destino final era a infiltração em vala ou sumidouro (verificar no projeto).

A sucção foi feita no poço S-10 cuja localização pode ser vista na folha 472.

O Ofício GEDIP/SEMAUT nº 27/02 da Petrobrás (folhas 475 e 476 – Volume 03) datado de 22/07/2002 traz o escopo dos primeiros trabalhos realizado na área do posto.

O Relatório de Remediação Draft (também datado de julho de 2002) trazia as seguintes informações:

Início da Operação em 27/06/2002 com 12 (doze) dias de operação (dos dias 27/06 a 12/07 - com interrupção nos dias 29/06 e 30/06) com 156,5 litros de produto recuperados e um volume acumulado (somada à primeira etapa) de 355,5 litros de gasolina recuperados.

O primeiro estudo anexado e que tinha por objetivo trazer as informações do diagnóstico ambiental foi o “RELATÓRIO DE DIAGNÓSTICO AMBIENTAL – DRAFT – REV.01” (folhas 492 a 554).

O Estudo contemplou a realização de duas etapas de campo sendo a primeira de 26/05/2002 a 07/06/2002 e a segunda de 08/07/2002 a 12/07/2002.

O Histórico de vazamentos não contemplou os resultados dos testes de estanqueidade supracitados, todavia apontou outras ocorrências de vazamentos e indícios de contaminação como a presença de combustível nas caixas das bombas e ocorrências de vazamentos nos bocais de descarga de combustível (vide detalhamento na folha 495).

Os testes de permeabilidade (tipo bail test) realizados apontaram condutividade hidráulica bastante elevada (vide folha 499). Na folha 500 encontram-se os cálculos da velocidade linear de escoamento da água subterrânea.

Importante citar que o estudo apresentado ao órgão ambiental era uma cópia (xerox), assim, muitas informações importantes sobre os perfis de sondagem e os perfis construtivos dos poços eram muito difíceis e por vezes impossíveis de serem avaliadas.

De forma geral, o Estudo se caracterizou como uma etapa de confirmação da contaminação, restando ainda o detalhamento, uma vez que informações importantes (como a delimitação das plumas de fase dissolvida) não foram abordadas.

As tabelas constantes às folhas 508 a 516 traziam os resultados analíticos para solo e água subterrânea. Para as sondagens S-22 a S-28 ainda aguardavam os resultados laboratoriais das amostras de solo e água.

Particularidades:

A sondagem S-21 aparece nas tabelas apenas para a amostragem de água subterrânea.

O item 3.2 (página 497) aponta a realização de 39 sondagens, sendo 26 (vinte e seis) a sonda mecanizada e 13 (treze) a sonda manual. Informa também a instalação de 21 (vinte e um) poços de monitoramento.

Na numeração das sondagens amostradas não constam as sondagens S-14, S-15, S-18, S-19, S-20, S-21. Essas sondagens foram realizadas, conforme figuras constantes nas páginas 501 a 505 (não foi possível observar na digitalização os critérios para que não fossem amostradas).

O mapa constante à folha 502 é essencial para avaliar a localização das sondagens, mas está ilegível.

Posteriormente a Carta GADIPN 980/02 datada de 12 de agosto de 2002 trazia os próximos passos do processo de diagnóstico. (folhas 567 a 575). Esta carta de prestou a apresentar em seu anexo 01 nova Avaliação Preliminar que apontava não-estanqueidade e falhas do processo de operação (descarga de combustível) que seriam os causadores da contaminação.

Foi apresentada carta com as providências do posto Brazuca data de 16 de agosto de 2002. Relatava várias providências e apresentava uma série de documentos dentre as questões mais relevantes destaca-se o envio de solo contaminado para o Aterro do Jóquei (relatado na folha 579) e teste de estanqueidade data de 16 de agosto de 2002 que apresentava resultado estanque para todo o SASC, mas continha na folha 593 uma observação sobre uma depressurização da linha LN 020 do tanque 09 (nove) que após reparo apresentou resultado estanque.

O Relatório de Remediação acerca da remoção de fase livre datado de 30 de agosto de 2002 (folhas 618 a 625) mostrava alteração do sistema de bombeamento que passou a bombear 03 (três) poços (S-09, S-10 e S-24) e a remoção durante os dias 22/07/2002 a 16/08/2002 removeu 238 litros totalizando 648,5 litros de combustíveis recuperados. Importante salientar que em todas as campanhas de remediação as caixas das bombas apresentavam alguma quantidade de combustível.

Foi anexado aos autos do Processo a “Avaliação de Risco Ambiental (folhas 626 a 668) datada de Setembro/2002 esse Estudo foi elaborado em complementação ao “Relatório de Diagnóstico Ambiental e Análise de Risco – RBCA – Tier 2” (vide folha 628). O estudo citado não estava anexado aos autos do processo até aquele momento.

O referido estudo foi realizado para que fosse analisado o risco associado ao consumo de alimentos produzidos nas adjacências do local e acerca do contato com o solo superficial nestes locais (vide páginas 633 a 635).

O estudo concluiu não haver risco para os cenários pesquisados, entretanto, há que se verificar se o procedimento de coleta de amostras (descrito nas folhas 634 e 635) foi o mais adequado e se segue a metodologia ASTM.

O Laudo da Perfilagem do poço tubular (nº 158) apresenta nas folhas 673 e 674 o perfil construtivo do poço com anotações importantes sobre infiltrações (13 metros) e as profundidades do solo/rocha, bem como das profundidades de coleta. Neste poço o NA se

encontrava a 7,95m. Na folha 675, uma das fotos mostra a presença de um réptil submerso no interior do poço.

Nas folhas 684 a 693 foi apresentado o “Termo de Referência Gerenciamento do Diagnóstico e Remediação Ambiental” revisado em setembro de 2002. Os anexos deste documento trazem uma compilação dos trabalhos realizados no local e os resultados encontrados. De certa forma, representa um modelo conceitual do site, fazendo a correlação entre as inconformidades e os resultados das investigações.

O Anexo 4 que traz informações sobre a remediação aponta que a água resultante da extração de fase livre após passar por filtro de carvão é lançada na rede de águas pluviais. Não foram dadas informações sobre a amostragem da qualidade dessas águas.

Sob diversos aspectos se observa que determinadas práticas realizadas à época poderia ocasionar um acréscimo de contaminantes do meio ambiente como por exemplo a infiltração desses efluentes em pontos de desconformidade da rede de águas pluviais, ou mesmo o carreamento de combustíveis para os corpos hídricos que recebiam essa água. Todavia faltava detalhamento dos sistemas implantados, especialmente de informações espaciais.

Foi apresentado às peças 698 a 813 o Estudo intitulado “Diagnóstico Ambiental” datado de Setembro de 2002 trazendo o “Relatório de Diagnóstico Ambiental e Análise de Risco RBCA – Tier 2”. O Sumário Executivo deste estudo (folhas 701 e 702) que apresenta resumidamente o teor do Estudo traz informações importantes sobre o resultado das campanhas de investigação contemplando os resultados da primeira campanha. Demonstra o crescimento da pluma de fase livre e apresenta resultados sobre a amplitude da pluma de contaminação de fase dissolvida. Apresenta, por fim, informações resumidas sobre a avaliação de risco para a qual avalia não haver risco para os cenários avaliados de contaminação de solo e para água subterrânea recomenda a interrupção das fontes de contaminação, a remoção de fase livre e a remediação de fase dissolvida. Recomenda, ainda, a ação de tamponamento do poço cacimba 01.

Mais uma vez o Estudo apresentado foi uma cópia e as informações eram de difícil interpretação, sendo impossível avaliar os dados de perfil litológico dos poços. As ilustrações estão tão ruins que não é possível avaliar quais parâmetros determinaram as profundidades de coleta do solo, por exemplo.

Esse Estudo foi o primeiro a determinar valores de SSTL (site-specific target levels) ou concentrações máximas aceitáveis abaixo das quais o risco não se caracteriza. Conforme a caracterização dos cenários de exposição (folha 735) foram elencados os seguintes cenários:

- exposição direta através de contato dermal e ingestão de material particulado do solo, por receptores comerciais e por eventuais trabalhadores de obras;
- inalação de vapores provenientes do solo e da água subterrânea contaminados em ambiente aberto por receptores comerciais e por eventuais trabalhadores de obras;
- inalação de vapores em ambiente confinado provenientes do solo e da água subterrânea atingindo receptores comerciais;
- inalação de vapores provenientes da água subterrânea contaminada em ambiente aberto por receptores residenciais;
- inalação de vapores em ambiente confinado provenientes da água subterrânea atingindo receptores residenciais; e
- ingestão de água subterrânea por trabalhadores comerciais do posto e por receptores residenciais.

Além disso, as vias de exposição completas consideradas neste estudo foram as seguintes:

- Contato dermal e ingestão de solo superficial contaminado por trabalhadores de obras e receptores comerciais (na área-fonte);
- Inalação de vapores ou de particulados no ar externo, por comerciais e trabalhadores de obras a partir do solo e água subterrânea, contaminados por compostos orgânicos voláteis (na área-fonte);
- Inalação de vapores ou de particulados no ar externo, por residenciais, a partir de água subterrânea contaminada por compostos orgânicos voláteis (a 40 m da área-fonte);
- Inalação de vapores em ambiente confinado por receptores comerciais, a partir do solo e da água subterrânea, contaminados por compostos orgânicos voláteis (na área-fonte);
- Inalação de vapores em ambiente confinado por receptores residenciais, a partir da água subterrânea, contaminados por compostos orgânicos voláteis (a 50 m área-fonte);
- Ingestão de água subterrânea, por receptores comerciais (na área-fonte);

- Ingestão de água subterrânea por receptores residenciais (a 70 m área-fonte);

Os cenários e vias de exposição foram construídos de maneira satisfatória, entretanto, não é possível avaliar se as distâncias da área-fonte foram corretamente delimitadas uma vez que não há o completo mapeamento da pluma de contaminação.

Na página 854 foram apresentados os resultados dos valores de análise da água dos poços de captação em comparação com a portaria de potabilidade vigente à época.

Na folha 965 a 977 foi apresentado o “Termo de Referência - Gerenciamento do Diagnóstico e Remediação Ambiental” com atualização em 10 de outubro de 2002, apresentando os resultados parciais das ações realizadas. É importante salientar que o Anexo 5, aponta no item Revisão (folha 977) a necessidade de investigação do aquífero profundo.

Na folha 979 consta o Ofício GADIPN 1417/02 de Novembro de 2002 que apresentava relatórios de remediação e monitoramento, bem como a comprovação das comunicações de risco para a comunidade.

O Relatório de Remediação nº 04 e 05 constantes às folhas 1002 à 1054 trazem as informações acerca do processo de bombeamento para remoção de fase livre apontavam que em 11/10/2002 já haviam sido removidos 1361 litros de gasolina, bem como a contínua remoção de combustíveis das caixas das bombas e do filtro de diesel.

Esses relatórios apontavam a instalação de 10 (dez) poços adicionais para o bombeamento S-37 a S-46, bem como 3 (três) poços de verificação.

As tabelas transpostas constantes nas folhas 1028 a 1030 (sobre a medição de NA) dão uma boa ideia da cronologia de instalação dos poços de monitoramento/extração entre o período de 16/09/2002 a 11/10/2002.

Foi anexada nova cópia do Relatório de Avaliação de Risco realizado em Setembro de 2002 às folhas 1.074 a 1.116.

Foi apresentado o “Termo de Referência - Gerenciamento do Diagnóstico e Remediação Ambiental” com atualização em 14 de novembro de 2002 (folhas 1151 a 1179). Essa versão trazia uma série de complementações de estudos propostos e em execução com os respectivos prazos de finalização.

O Anexo 2 (folha 1158) trazia a informação da instalação de dois poços com 13 (treze) metros de profundidade) profundidade informada como sendo a máxima do aquífero poroso. Sendo um com seção filtrante a partir de 10 metros e outro com seção filtrante a partir de 12 metros. Trazia a informação sobre as ações complementares de investigação, bem como apontava a necessidade de reavaliação do risco.

O Anexo 3 versava sobre as ações complementares de remediação e o Anexo 4 versava sobre as ações para determinação do solo contaminado a ser removido, bem como sobre a reforma do empreendimento.

Por fim, o Anexo 5, tratava das hipóteses para o avanço da fase livre presente nos poços, vinculando esse aumento à paralisação da utilização do poço de abastecimento PA-02 (ver onde fica no mapa).

Nas folhas (1182 a 1313) foi apresentado o Laudo da Perícia realizada pela PCDF em Maio de 2002. Esse Laudo contava com a realização de 3 (três) vistorias, com a última delas realizada em setembro de 2002 de apontava uma série de irregularidades, apontava nexos causal entre a contaminação do Posto Brazuca e os impactos observados nos lotes vizinhos e na população exposta. O Laudo abordou exaustivamente a questão do gerenciamento de áreas contaminadas, incluindo extensa revisão bibliográfica sobre o tema.

A instalação do processo de biorremediação pela técnica de Bioventing (na área atingida por Diesel) foi autorizada em reuniões realizadas em 03/02/2003 e 06/02/2003 cujas atas foram anexadas às folhas 1330 e 1331. Na reunião do dia 06/02/2003 foi autorizada a concretagem da área de armazenamento de diesel e o coprocessamento do solo impactado por gasolina.

O projeto de remediação Bioventing (injeção e extração de ar na zona saturada em baixa pressão para favorecer a atividade microbiana) foi anexado às páginas 1333 a 1345.

As premissas listadas para proposição da técnica foram (vide folha 1335):

A área foco deste plano apresenta nível do lençol freático entre 6 e 7 metros de profundidade;

A Litologia local consiste de forma geral de argila siltosa seguida por argila arenosa e areia, com alta heterogeneidade e condutividade hidráulica na zona saturada na ordem de 10⁻⁴ cm/s;

Ao longo do perfil da zona não saturada as amostras se apresentaram com ligeira umidade;

Os teores de VOC são moderados, indicando a ausência de saturação de combustível (hidrocarbonetos residuais no solo):

Resultados obtidos no decorrer do processo de remediação na área adjacente à área foco deste plano, com uso de sistema de extração de vapores, indicam boa condutividade de ar através do solo, com raio de influência de até 10 metros de distância.

Importante destacar que não haviam, até então, documentos nos autos do processo que versavam sobre a aplicação da remediação via extração de vapores.

Notas do projeto: Folha 1336 - “para permitir o funcionamento pleno do sistema , na ocasião do start-up do processo será realizado monitoramento de background em que serão analisados os parâmetros físicos, químicos e biológicos de interesse, entre estes: contagem bacteriana, teor de matéria orgânica, cadeia de nitrogênio e outros. Caso se justifique ao longo do processo, o uso de nutrientes (ex: N, P, K) poderá fazer parte integrante do sistema de remediação.”

O sistema de Bioventing a ser instalado no local irá compreender equipamentos e linhas, que atuarão na totalidade de 6 poços de injeção de ar (BVI) de 2" de diâmetro e 4 poços de extração de ar (BVE) de 4" de diâmetro.

A Figura 1 (folha 1339) contendo o croqui de instalação do projeto ainda trazia a informação que as áreas dos tanques seriam escavadas.

Os anexos 1 a 3 detalham as ações adicionais de monitoramento e intervenção a serem implementadas a depender dos resultados medidos durante a aplicação do método.

Foi anexada às folhas 1346 a 1424 apresentação do IBAMA de Fevereiro de 2003 que traçam todo o panorama da situação do posto, bem como das etapas planejadas. Essa apresentação traz conceitualmente o cronograma de acontecimentos. Pode-se considerar o primeiro MCA consolidado da situação. Apresenta conceitualmente a evolução dos trabalhos, das ocorrências, das evoluções das plumas de contaminação.

Em momento algum houve delimitação da contaminação em solo, todas as etapas foram baseadas nas observações dos poços de monitoramento e nos resultados analíticos para água subterrânea.

Em março de 2003 os autos foram para a PRODEMA retornando somente em Agosto de 2003 e com isso a retomada da instrução processual.

À folha 1466 foi então anexado Auto de Constatação (0630) lavrado em 04/02/2004 que determinava a continuidade de práticas operacionais inadequadas (lavagem de veículos com infiltração de efluentes).

Em 23/12/2004 foi anexado aos autos Teste de estanqueidade realizado em 14/08/2003 (folhas 1516 a 1525) que apontava estanqueidade de todo o sistema.

Foi anexado às folhas 1527 e 1528 o PARECER TÉCNICO N° 0026/2005- SUSDEC, elaborado em 25 de fevereiro de 2005 pela Defesa Civil alegando condições de operação do estabelecimento.

A digitalização do volume 7 se inicia com digitalização de documento que não compõe o processo (rascunhado a mão e sem numeração).

Foi anexado aos autos o Ofício GRPDF - 121/05(folhas 1556 e 1557) datado de 03 de junho de 2005 que traz esclarecimentos sobre as ações adotadas no empreendimento sobre a remediação:

1.1. Bombeamento do produto em fase livre no lençol freático, por meio de bombas tipo "auto-pump", totalizando a retirada de 1.762 litros de gasolina, no período de junho de 2002 a fevereiro de 2003.

1.2. Operação de sistema de extração de vapores do solo na área fonte, conhecido como SVE - Soil Vapour Extraction no período de setembro de 2003 a março de 2004, com a retirada de massa significativa de contaminantes em fase vapor.

1.3. Operação de sistema de injeção de ar no aquífero, na região da área fonte, conhecido como Air Sparging, no período de novembro de 2003 a julho de 2004, obtendo redução importante nas concentrações nesta área.

1.4. Operação de barreiras hidráulicas com a finalidade de conter o avanço das plumas de fase dissolvida, o que ocorreu com sucesso, desde setembro de 2003 até o presente momento, ocorrendo também o tratamento da água bombeada e re-injeção no aquífero.

1.5. Foram ainda realizados testes de tratabilidade para avaliação da possibilidade de aplicação da técnica Oxidação Química como metodologia final de remediação da área, em convênio com a Universidade de Campinas.

2. Continuam em andamento as seguintes ações de remediação:

2.1. Operação de barreiras hidráulicas, com o tratamento da água bombeada e reinjeção da mesma no lençol freático após tratamento.

3. Estão previstas para realização as seguintes ações:

3.1. Conclusão da análise de risco toxicológico final e projeto final de remediação ambiental e protocolo na SEMARH para avaliação até julho de 2005

3.2. Implementação do projeto final após aprovação da SEMARH.

5. Sobre o funcionamento do posto temos o seguinte parecer:

O funcionamento do posto não interferirá nos trabalhos de remediação em curso, contudo, temos as seguintes recomendações:

a) Que a água subterrânea não seja utilizada para consumo humano até a finalização dos trabalhos de remediação ambiental;

b) Que o SASC - Sistema de Armazenamento Subterrâneo de combustíveis seja re-testado para avaliar a sua estanqueidade, previamente entrada em operação;

c) Que seja instalado o sistema de monitoramento automático de vazamentos com sensores nos interstícios dos tanques, sumps de bombas e de filtros.

Foi anexado às folhas 1.561 a 1563 laudo de análise de água realizado pela UNB (datado de 20 de setembro de 2005) para amostras coletadas nos poços de abastecimento que determinaram concentrações abaixo dos parâmetros de potabilidade da legislação de referência à época (Portaria 518/2004).

Em janeiro de 2006 foram emitidas comunicações pelo órgão ambiental que solicitaram esclarecimentos sobre o processo de monitoramento da qualidade da água e remediação bem como apontavam irregularidades na conservação das estruturas do SASC (Tampas das descargas quebradas) - folhas 1565 e 1566.

Foi elaborada a INFORMAÇÃO TÉCNICA N°: 041/2006-GLAST/DILAM/SUMAM datada de 20/12/2006 (folha 1580) que apontava a apresentação de estudos periódicos, a adequação do SASC e o acompanhamento da questão, manifestando-se favorável à concessão da LO, todavia, a documentação referida não constava anexada aos autos do processo.

Foi apresentado Teste de Estanqueidade (folhas 1590 a 1592) realizado em 25 de novembro de 2007 atestando a Estanqueidade do SASC.

Foi anexada às folhas 1593 a 1598 documentação referente aos atestados de conformidade das instalações do SASC datada de 2006.

À folha 1599 foi anexada a INFORMAÇÃO TÉCNICA Nº 106/2007 GELAM/DILAM/SULFI datada de 14 de dezembro de 2007 que apontava o seguinte:

A presente informação é resultante da análise dos relatórios de contenção hidráulica e monitoramento ambiental da contaminação de solo e águas subterrâneas que estão sendo realizadas no local, onde tenho a informar que por conta da remediação empregada, os valores das concentrações totais de BTEX vem diminuindo significativamente. Estes valores representam uma considerada recuperação da qualidade do lençol freático, entretanto são concentrações que vem se mantendo desde maio do corrente ano, sugerindo com isto que uma nova etapa e métodos de remediação poderão ser estabelecidas para uma melhor eficiência no combate aos compostos químicos de interesse, que ainda estão presentes no solo local da área fonte.

Portanto recomendo que o interessado seja informado da necessidade de se apresentar um novo plano de remediação ambiental para a fase residual dos compostos de hidrocarbonetos que ainda estão presentes na área fonte, com objetivo de se atingir os níveis insignificantes de contaminação no sítio.

Somente com a nova apresentação deste novo plano de remediação é que poderá ser dada continuidade no processo de licenciamento tendo em vista que todos os equipamentos do Sistema de Armazenamento Subterrâneo de Combustível - SASC do empreendimento já foram substituídos.

Os relatórios mencionados não estavam anexados aos autos do processo.

Nas folhas 1612 a 1615 foram anexadas partes de estudos contendo imagens das barreiras hidráulicas e das plumas de contaminação.

Nas folhas 1616 a a 1621 foi elaborado o PARECER TÉCNICO Nº 024/2008 - GELAM/DILAM/SULFI datado de 18 de janeiro de 2008, favorável à concessão da Licença de Operação desde que apresentado Plano de Remediação para fase retida e recomendando lavratura de Termo de Compromisso; e que assim versava sobre a Remediação:

Tendo em vista o vazamento de combustível ocorrido no empreendimento , vazamento este oriundo de uma das linhas do SASC devido equipamento obsoleto, má manutenção/monitoramento e métodos de instalação desconhecida, causando conseqüentemente a contaminação do solo e atingindo o lençol freático desenvolvendo uma pluma de contaminação nas águas subterrâneas locais com subprodutos de combustíveis e derivados de petróleo, deu-se início, nos anos de 2002/2003, na remediação das áreas afetadas.

O sistema empregado foi o de contenção da pluma de contaminação através de barreiras hidráulicas instaladas transversalmente à referida pluma com o objetivo de promover um bloqueio no caminamento da mesma na direção jusante.

O sistema de barreira hidráulica foi implantado com poços de bombeamento, que consiste em bombear a água contaminada e a sua subsequente reinjeção no solo através de uma vala de brita, a montante do ponto de captação

Preliminarmente na remediação utilizou-se a técnica de injeção de ar no aquífero e extração de vapor do solo que se destina na execução do processo de retirada e recuperação de hidrocarbonetos presentes no solo e águas subterrâneas. A água subterrânea também era submetida a tratamento do tipo 'air stripping' que consiste em fazer, em uma câmara, a aspersão desta água em sua parte superior e a injeção de ar em sua parte inferior, a fim de permitir a passagem dos hidrocarbonetos voláteis da água para o ar. Visando aumentar a eficiência do sistema foi implantado posteriormente filtros de carvão ativado.

A partir de outubro/novembro de 2003 foram iniciadas as coletas de água subterrânea para análise analítica e determinação das concentrações de BTEX - benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos.

Em dezembro de 2003 começaram a ser apresentados os resultados das análises laboratoriais, onde se pode verificar concentrações acima de 5000 ppb de benzeno nas proximidades da área fonte e a partir deste momento periodicamente foram coletadas e analisadas em laboratórios as amostras de água para determinação das concentrações de BTEX iniciando com isto o monitoramento das referidas concentrações.

Desde o início do processo de remediação até a presente data, não houve interrupção no referido tratamento, que tem ação contínua 24 horas/dia.

Duas barreiras hidráulicas foram implementadas, a barreira n° 01 foi instalada visando conter a expansão da pluma de contaminação da água subterrânea na direção nordeste e a barreira n° 02 foi instalada visando conter esta expansão na direção norte.

Analisando os relatórios de contenção hidráulica e monitoramento ambiental da contaminação de solo e águas subterrâneas enviados pela BR Distribuidora pode-se verificar através dos mapas de isoconcentração de BTEX na água subterrânea que durante estes 05 (cinco) anos de remediação a pluma de contaminação está efetivamente contida no local e apresentou significativa redução na expansão da mesma, contudo as concentrações de BTEX na área fonte e próximas a esta ainda estão apresentando valores altos em alguns pontos e vem apresentando variações significativas nestas concentrações, isto, segundo a empresa executora do projeto de remediação, possivelmente decorrem de carreamento da contaminação provocada por oscilações do nível freático.

Segue em anexo mapas das plumas com as isoconcentrações de BTEX referentes ao mês de setembro de 2004 e mês de janeiro de 2007 mostrando a evolução da remediação com aspecto positivo e eficiência do tratamento, juntamente com os mapas potenciométrico do nível freático e das barreiras hidráulicas com os pontos/valas de infiltração.

Obs.: Os relatórios da remediação não foram anexados ao processo em referência devido serem muito volumosos mas estão a disposição para consulta na GELAM/DILAM.

Em 30 setembro de 2008 (folhas 1662 a 1674) foi apresentado o Anteprojeto de Remediação Ambiental.

O Relatório apontava “Este último monitoramento foi realizado entre os dias 26 de fevereiro e 04 de março de 2008. Na ocasião, a empresa Angel Geologia e Meio Ambiente realizou na área do referido posto uma campanha de amostragem onde foram coletadas amostras em 134 poços, para análise de compostos BTEX, nos poços instalados na área do Brazuca Auto Posto Ltda. e áreas adjacentes”

As plumas de isoconcentração de BTEX presentes nas folhas 1665 a 1667 apontam as amostras que tiveram os parâmetros que ultrapassaram o valor de potabilidade,

Com base no levantamento de dados históricos da área e na experiência da Equipe Técnica da TECNOHIDRO Projetos Ambientais Ltda está sendo considerada a Implementação de um

Sistema de Extração de Vapores do Solo (SVE) associado a um Sistema Air Sparging (SPG) Além da operação simultânea das duas Barreiras Hidráulicas já instaladas na área.

Posteriormente foi elaborado o PARECER TÉCNICO Nº 428/2008-GELAMIDILAM/SULFI (folhas 1683 a 1709) datado de 10 de novembro de 2008. O Parecer se prestou a elaborar extensa revisão dos documentos constantes nos autos do processo, bem como apresentou resultado de vistoria realizada em 28 de outubro de 2008, que apontava adequação das instalações e o funcionamento do sistema de remediação (Air Sparging), bem como provável início do último projeto SVE+SPG em Fevereiro de 2009. O Parecer foi favorável à concessão da Licença de Operação. Com base neste Parecer foi emitida a Licença de Operação nº 158/2008 (folha 1714). Recebida em 14 de novembro de 2008.

Todo o Volume 08 de processo e o Volume 09 (até a página 2205) é formado pelos relatórios com as informações sobre o funcionamento das barreiras hidráulicas referente ao período de junho a setembro de 2009.

Esses relatórios trazem muitas informações sobre o monitoramento associado à metodologia de intervenção, desde o controle da carga hidráulica dos poços, até resultados de campanhas amostrais para as SQL.

Nas páginas 2238 a 2246 consta o Relatório de Vistoria nº 130/2010 - GELAM/DILAM/SULFI datado de 17 de setembro de 2010 referente ao monitoramento das condicionantes da Licença de Operação 158/2008. Este relatório apontava o descumprimento das condicionantes da licença, bem como a necessidade de adequações do empreendimento.

Nas folhas 2268 a 2280 consta Teste de Estanqueidade realizado em 20 de janeiro de 2010 que apresenta resultado estanque para todo o SASC.

A partir da folha 2284 até a folha 2402 foram apresentados os relatórios referentes ao funcionamento da barreira hidráulica e monitoramento ambiental para os meses de janeiro e fevereiro de 2006, realizados pela empresa Petroclean.

O primeiro relatório já trabalhou com valores de condutividade de $5,14 \times 10^{-2}$ m/h. A folha 2291 traz informações sobre alguns cálculos relacionados ao dimensionamento e funcionamento das barreiras 1 e 2.

Nas folhas 2404 a 2467 constam relatórios de Operação de Sistema de Remediação elaborado pela empresa Angel Engenharia datado de Março de 2006 sobre outro empreendimento.

A partir da folha 2468 até a folha 3220 a folha são inseridos os relatórios de operação e monitoramento das barreiras hidráulicas para o período de Abril de 2006 até Setembro de 2007.

A Tabela C.1 contida à folha 2499 lista uma relação de pontos amostrados para água subterrânea em 18 de abril de 2006, nessa relação constam mais de 15 poços cacimba, além dos outros poços de monitoramento, piezômetros e poços de abastecimento, totalizando 81 (oitenta e um) pontos amostrados.

A partir da folha 3227 até a folha 3266 consta Relatório referente à operação das barreiras hidráulicas para o período de novembro e dezembro de 2008 pela empresa ALGON.

O Relatório é bastante confuso na apresentação das ações adotadas.

Este Relatório aponta que a partir de Agosto a Novembro de 2007 foi realizada a readequação da barreira hidráulica 1 e em maio de 2008 tamponamento de 49 poços (folha 3230), incluindo os poços da antiga barreira 1 (croqui na folha 3237 - ilegível).

O relatório apresenta informações de uma campanha de monitoramento realizada em Outubro de 2008 como sendo a 3ª Campanha de Amostragem (coletas de 71 amostras entre os dias 11 a 13 de outubro - folha 3236).

*duas empresas trabalhando concomitantemente na área.

A folha 3267 até a folha 3728 são apresentados Relatórios de Funcionamento da Barreira Hidráulica e Monitoramento, referente ao período de Outubro de 2007 a Julho de 2008 (Faltando o relatório 12 referente a Março de 2008)

Essa relação de relatórios apresenta dados e informações sobre 29 (vinte e nove) meses de operação das barreiras hidráulicas. (30 meses se considerar que março foi operado, mas o relatório não foi apresentado).

A partir da folha 3731 até a folha 4436 foram apresentados os relatório da “reimplantação” do Sistema de Barreira datado de Outubro de 2008 e O Relatório de Funcionamento da Barreira - Transição 2 e Relatórios de Operação elaborados pela empresa ALGON, que somados ao relatório anexado às folhas 3227 até a folha 3266 mostraram os trabalho de readequação do tratamento nos períodos entre Agosto de 2008 e Abril de 2009.

OBS: Inversão dos relatórios de Março e Abril de 2009 nos autos. Relatório 05 foi anexado após o Relatório 6. Além disso, foi anexado apenas parcialmente (faltam anexos comumente presentes nos relatórios.)

O Relatório 07 referente a operação no período de maio de 2009 (folhas 4437 a 4442) não foi completamente anexado aos autos, sendo sucedido pelo Relatório de Operação 12 referente ao período de outubro de 2009.

Faltam informações do período de maio a setembro de 2009.

Posteriormente foram anexados os relatórios com informações acerca da operação do sistema de remediação e sobre o monitoramento da qualidade da água a partir de outubro de 2009 até dezembro de 2010 (folhas 4443 a 5823).

Foram anexados aos autos Relatório de Monitoramento realizado pela empresa BFU do Brasil, datado de fevereiro de 2011, mas com campanhas amostrais em agosto de 2010. (folhas 5825 a ???) não é possível determinar pois o volume 24 não foi totalmente digitalizado. (Faltam 100 páginas)

O Volume 25 começa com parte de estudo que deveria estar contido no final do Volume 24, mas que não foi totalmente digitalizado.

Após é anexado ao processo o Relatório de Monitoramento Hidroquímico realizado pela empresa FullGEO com serviço de campo realizado em Setembro de 2011. (folhas 6091 a

Nas folhas 6099, 6103 existem mapas das instalações não digitalizados.

Nas folhas 6119 a 6125 existem tabelas de resultados analíticos não digitalizadas.

Nas folhas 6127 a 6159 existem gráficos e tabelas não digitalizados.

Este relatório aponta a não existência de fase livre e informa que as recomendações sobre o gerenciamento encontram-se no Relatório referente a 5ª campanha de monitoramento (não encontrada na digitalização - provavelmente contido no volume 24 páginas não digitalizadas)

Nos volumes 26 e 27 é anexado novo Relatório de Monitoramento Hidroquímico com campo realizado em fevereiro de 2012. (folhas 6311 a 6507).

As tabelas com os resultados, contidas das folhas 6339 a 6366, não foram digitalizadas.

É elaborada a Informação Técnica 302/2012 - GELEU/COLAM/SULFI (folhas 6509 a 6517) datada de 14 de novembro de 2012 com vistoria realizada em 16 de fevereiro de 2012, com a finalidade de analisar o Requerimento de Licença de Operação do empreendimento.

Esta IT traz o histórico do processo a partir do Volume VII.

Esta IT cita o Relatório de Vistoria a°. 130/2010 - GELAM/DILAM/SULFI de 24/11/2010 que não consta nos autos do processo.

O item 4.1 (folhas 6513 e 6514) traz a avaliação das atividades realizadas para o gerenciamento da contaminação da área e aponta uma série de pendências com relação ao processo de tomada de decisão, como a ausência da avaliação de risco.

Por fim, solicitava ao interessado que fossem apresentados com relação ao GAC:

Apresentar relatório descrevendo a série histórica de todas as técnicas que já foram utilizadas para contenção da pluma de contaminação e remediação da área desde o início do processo, as metas a serem atingidas com a remediação (CMA ou SSSL) e se estas já foram alcançadas. Esse relatório deverá conter a evolução da pluma de contaminação 110 tempo para pelo menos o composto benzeno em representações gráficas das isolinhas de concentração. A delimitação das plumas deverá seguir o estabelecido no Item 2.4.3." da Decisão de Diretoria n°. 263/2009 da CETESB; e

Apresentar relatório com descrição da nova técnica de remediação que será empregada no local.

Nas folhas 6528 a 6541 a empresa TELSAN apresentou relatório datado de maio de 2013 com a relação das técnicas de remediação aplicadas, os princípios de funcionamento da técnica de remediação ERH e as imagens com a evolução das plumas de contaminantes. As plantas contendo as plumas não foram digitalizadas.

Foi apresentado teste de Estanqueidade datado de junho de 2013 com situação estanque para todo o SASC (folhas 6561 a 6590).

Nas folhas 6595 e 6596 constam tabelas com os CMAs considerados metas de remediação e que remetem ao estudo de 2002 conforme ofício contido à folha 6592.

Nas folhas 6597 a 6610 foi reapresentado o relatório da empresa TELSAN, desta vez as plantas foram digitalizadas, entretanto, a informação digitalizada é ilegível. Essas informações foram retiradas dos estudos realizados pela empresa Fullgeo.

Foi apresentado o Relatório sobre a operação do sistemas de remediação pela técnica Electrical Resistance Heating (ERH) às folhas 6612 a 6956) datado de março de 2014 mas referente ao período de operação de 23/01/2013 a 05/06/2013. Tratava-se de teste piloto para avaliar a redução das concentrações de fase dissolvida aos padrões de potabilidade vigentes à época para as SQI - BTEX.

O mapa das instalações do sistema não foi digitalizado. Este Relatório é o primeiro a trazer a quantidade estimada de produto vazado (cerca de 5 mil litros de gasolina). Entretanto a não estanqueidade da linhas de diesel não foi relatada. O Modelo Conceitual deste estudo foi montado a partir das informações contidas no Estudo elaborado pela FullGEO em 2011 (folha 6621). Este modelo conceitual cita Diagnóstico Ambiental Complementar realizado pela empresa FullGEO datado de julho de 2012 e que fariam parte deste Estudo. A planta com os resultados não foi digitalizada (folha 6622). Outras plantas e tabelas com informações importantes sobre as instalações do projeto de remediação não foram digitalizadas.

Muito importante citar que no item 7 - Recomendações e Considerações Finais (folha 6652), o estudo recomenda:

Preliminarmente recomenda-se como necessária a investigação detalhada para obtenção da fonte de contaminação e a delimitação horizontal e vertical das plumas constatadas na porção a montante.

Além disso, recomenda-se a imediata restrição a qualquer uso primário (consumo de água subterrânea) e secundário da água subterrânea (irrigação, processo industrial com contato humano e etc.) na área avaliada.

Vale ressaltar que ao se delimitar vertical e horizontalmente a contaminação, deverá ser realizada uma avaliação de risco à saúde humana.

A partir da delimitação das plumas de contaminação, sugerimos o redimensionamento do sistema ERH para aplicabilidade do mesmo na porção a montante do site Auto Posto Morada dos Nobres, o qual provavelmente deverá ser consorciado com mais uma tecnologia de remediação em especial na área dos tanques de armazenamento dos combustíveis.

Ao se realizar alguma escavação/obra civil deverão ser utilizados equipamentos de proteção individual (EPI) como luvas, óculos de proteção, macacão de proteção, capacetes e máscaras.

Nas folhas 6965 a 6993 foi apresentado teste de Estanqueidade realizado em 2015 com resultado Estanque para todo o SASC.

No volume 29 (último volume físico) foi anexado RELATÓRIO TÉCNICO DE ENCERRAMENTO DO SISTEMA DE REMEDIAÇÃO - Método de Remediação - Passiva; realizada pela empresa Antares, datado de Agosto de 2015 (folhas 7002 a 7019).

O Relatório aponta trabalhos de campo realizados entre 20/10/2014 e 30/05/2015, consistindo de Purga e esgotamento dos poços; Monitoramento dos poços; e Substituição da manta absorvente.

Outra informação importante é que o Relatório cita a instalação dos tanques no ano de 2005 com um tanque instalado em 2013, não consta nos autos licença de instalação para este último tanque.

O método consiste na inserção de manta absorvente em poços e posterior torção para recuperação do produto absorvido. O relatório apontou recuperação de produto apenas no PM-127 e PMN-02 durante o período de operação.

Processo 00391-00017924/2017-17 (Eletrônico)

O primeiro documento deste processo é a Manifestação 200 (1896005) que aponta pendências para concessão de Licença de Operação acerca da apresentação dos documentos referentes à instalação do SASC e que deveriam ter sido apresentados após a reforma do empreendimento.

O Documento 1899546 - Carta -Relatórios Analíticos Físico traz, entre outros documentos, teste de Estanqueidade realizado em dezembro de 2016 apresentando resultado Estanque para todo o SASC.

Foi elaborada a Informação Técnica n.º 21/2020 - IBRAM/PRESI/SULAM/DILAM-V (35119705) data de Fevereiro de 2020 que apontava um série de irregularidades no funcionamento do empreendimento e solicitava uma série de documentos, incluindo estudos sobre a contaminação realizados a partir de 2015.

Foi apresentado então o Ofício n.º 062/2020 - Resposta Ofício n.º 28/2020 que continha, dentre outros documentos, relatórios de adequação, o Relatório de Monitoramento Hidroquímico

realizado pela empresa FullGeo datado de julho de 2014 com atividades de campo realizadas em abril e maio de 2014. e o Relatório de Investigação Ambiental Complementar realizado pela empresa BfU datado de Abril de 2019 com atividades realizadas em 2017 (04/06/17 e 16/06/17).

Estes são os primeiros relatórios digitais com escala de informação compatível e verificável.

O Histórico deste processo apresenta ao menos 04 (quatro) relatórios referentes à complementações das investigações realizados pela empresa FullGeo e BfU e 01 (um) relatório de monitoramento hidroquímico que não constam dos autos do processo:

Em agosto de 2012 a FullGeo emitiu o Relatório de Diagnóstico Ambiental Complementar;

Em outubro de 2014 a FullGeo emitiu o Relatório de Investigação Detalhada e Elaboração de Plano de Intervenção;

Em outubro de 2014 a FullGeo emitiu um Relatório de Monitoramento Hidroquímico;

Em junho de 2015 a BfU emitiu um relatório de Investigação Ambiental, referente à área do posto

Em dezembro de 2015 a BfU emitiu um relatório de Investigação Ambiental;

Com relação ao último estudo elaborado pela empresa BfU (Relatório de Investigação Ambiental Complementar - abril de 2019) pode-se fazer as seguintes considerações.

As sondagens foram feitas com utilização de trado mecanizado de 4 polegadas o que já agrega incerteza, pois a metodologia de sondagem não é a adequada.

Esta investigação não seguiu a série de Normas ABNT 15.515 nem a ABNT 16.434 já disponíveis na época da realização do estudo. O Estudo cita procedimentos operacionais próprios para sondagem e coleta de amostras. O procedimento de sondagem ainda considera as ABNT NBR 9603:1986 e ABNT 15492:2007 (vide item 5.1.1 e 5.1.2).

O procedimento de acondicionamento e preservação de amostras foi realizado de acordo com Manual de Coleta e Preservação (VA-39) do Laboratório Görtler, também não anexado aos estudos.

A instalação do poço de monitoramento foi realizada de acordo com a Instrução Técnica da BfU IT-01 Rev. 03 – Construção de Poços de Monitoramento (2010), elaborada com base na

ABNT NBR 15495- 1:2007 – Poços de Monitoramento de Águas Subterrâneas em Aquíferos Granulares – Parte 1 – Projeto e Construção e ABNT NBR 15495-1:2007 – Poços de Monitoramento de Águas Subterrâneas em Aquíferos Granulares – Parte 2 – Desenvolvimento.

O procedimento de amostragem por baixa vazão foi realizado de acordo com a Instrução Técnica da BfU IT-26 Rev.0 – Amostragem de Água Subterrânea por Método de Baixa Vazão (2013), elaborada com base na ABNT NBR 15847:2010 – Amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento: métodos de purga.

A operação do equipamento de purga de baixa vazão seguiu as orientações descritas na Instrução Técnica da BfU IT-25 Rev.0 – Operação, Manutenção e Calibração do Medidor Multiparâmetro HI 9828 (2012).

Os procedimentos não foram anexados ao Estudo.

Não foram traçados perfis hidroestratigráficos/litológicos.

As coletas de amostras foram feitas em profundidade imediatamente anterior à detecção da franja capilar (vide tabela 2).

Todos os poços de monitoramento desta campanha foram instalados com 04 (quatro) metros de seção filtrante não afogada.

Devido à ausência de vários estudos e de informações de boa qualidade (atreladas a utilização de técnicas corretas de sondagem principalmente) não é possível concluir que essa etapa gerou informações suficientes sobre a contaminação, os locais de locação das sondagens desta etapa foram escolhidos com base em que critério?

As informações dos perfis construtivos dos PM-127 e PMN-02 que apresentam fase livre de produtos não existem no processo, uma vez que os estudos não estão anexados.

Foi elaborada a Informação Técnica n.º 143/2020 - IBRAM/PRESI/SULAM/DILAM-V (47263933), que se prestou a fazer considerações superficiais acerca do Estudo apresentado.

Parecer Técnico n.º 560/2020 - IBRAM/PRESI/SULAM/DILAM-V (50612895);

Manifestação 7863 (51077195);

A referida Manifestação foi realizada em atendimento ao solicitado no Parecer Técnico 560/2020 e assim versava:

Em atenção ao Despacho desta SULAM, bem como ao contido na Manifestação 7768 (50712101) e no Parecer Técnico 560 (50612895) manifesto-me da seguinte forma:

Ao avaliar o disposto no referido Parecer Técnico, observa-se que o empreendedor vem realizando no empreendimento uma série de investigações a fim de que se defina o cenário de contaminação existente e se estabeleçam as medidas necessárias para seu gerenciamento.

Para tanto foi iniciado o processo 00391-00001014/2020-18, no qual consta o Ofício nº 63/2020 (44695491) datado de 31 de julho de 2020 que encaminha a esta DIREM os seguintes estudos:

Relatório de Monitoramento Hidroquímico - datado de julho de 2014 e realizado pela empresa FullGeo Diagnóstico e Remediação Ambiental; e

Relatório de Investigação Ambiental Complementar - datado de abril de 2019 e elaborado pela empresa BfU do Brasil.

Ainda que careça de avaliação pormenorizada pelo corpo técnico desta DIREM os estudos foram alvo de avaliação pelo corpo técnico da DILAM-V, conforme consta no item 6.2 do supracitado Parecer Técnico.

O referido Parecer informa acerca da conclusão do Estudo realizado pela BfU do Brasil:

"Concluindo o Relatório de Investigação Ambiental Complementar a BfU recomenda a implantação de uma técnica para remoção da fase livre identificada e redução das concentrações em fase dissolvida e o tamponamento dos poços localizados na área de abastecimento que se encontram secos."

Em breve análise, verifica-se que o Parecer Técnico deixa de mencionar uma importante informação contida no referido Estudo, mais especificamente no item "7.3 Resultados analíticos das amostras de água subterrânea" (página 55 do Estudo).

"As plumas de fase dissolvida se encontram delimitadas dentro da área do posto. Devido à presença de fase livre no PMN 02 e de iridescência PM 127 foi identificado risco aos receptores comerciais do posto e da loja de conveniência (grifo nosso)."

Dessa forma, ainda que o estudo careça de análise pormenorizada, em havendo risco de exposição confirmado deve-se, preventivamente, evitar o acesso da população às áreas onde haja risco.

Assim sendo, recomenda-se restituição dos autos para revisão do posicionamento do corpo técnico, ou mesmo para que se avalie a necessidade de manifestação prévia desta DIREM a partir da análise dos estudos existentes para o empreendimento.

Em havendo a manutenção do posicionamento pelo corpo técnico, recomenda-se a inclusão de condicionantes que solicitem a comprovação da adoção das medidas de remediação propostas no Relatório de Investigação Ambiental Complementar e a solicitação de nova campanha de investigação com atualização da Avaliação de Risco à Saúde Humana para o empreendimento, a serem realizadas com base nas Normas ABNT NBR 15.515-3, ABNT NBR 16.209 e outras complementares.

Recomenda-se, também, que seja encaminhada à ADASA consulta acerca da permanência do funcionamento de poços tubulares no empreendimento, tendo em vista a existência de contaminação de água subterrânea.

Ademais, considerando o prazo estabelecido de 01 (um) ano para a licença, recomenda-se que seja revista a condicionante que apresenta prazo de cumprimento superior ao prazo de vigência recomendado, em especial a condicionante 13.

Essa é a manifestação.

Os demais documentos contidos nos autos do processo se referem a desdobramentos administrativos desta última manifestação, demandando análise pormenorizada dos estudos, ou versando sobre a continuidade do processo de licenciamento ambiental.

Processo 00391-00001014/2020-18

Esse processo foi aberto com o intuito de promover o gerenciamento da contaminação da área.

Constam nesse processo os seguintes documentos:

Ofício nº 063/2020 – (44695491) contendo ao Relatório de Monitoramento Hidroquímico – Julho 2014 e o Relatório de Investigação Ambiental Complementar datado de abril de 2019

-emitido pela empresa BfU do Brasil - Estes relatórios são os mesmos contidos no processo 00391-00017924/2017-17.

As constatações sobre o Relatório de Investigação Ambiental Complementar, constam do texto principal da pesquisa.

Manifestação 11345 (67773757) - Essa Manifestação se atentava para a ocorrência de fase livre e solicitava:

“Assim, solicitamos que esta manifestação seja encaminhada aos responsáveis pelo empreendimento, monitoramento e remediação da área para que apresentem quais as medidas adotadas em 2015 e 2017 para remoção da fase livre detectada, bem como que apresentem os relatórios de monitoramento mais atuais da área, se houver.”

Relatório de Monitoramento Ambiental – Dezembro 2020 (74423303), elaborado pela empresa TECPAM com os serviços de campo realizados entre os dias 8 a 11 de dezembro de 2020, somente na área anexa ao empreendimento.

Este Estudo utiliza informações de 2002 e informações secundárias para delimitar o que chamou de geologia e hidrogeologia locais. Não foram traçados perfis hidrogeológicos/estratigráficos para composição do modelo conceitual das zonas de fluxo e de retenção.

Este Estudo apresenta medições de campo da profundidade de poços, incluindo poços de monitoramento com mais de 15 metros de profundidade (vide Tabela 2).

O Mapa Potenciométrico foi elaborado a partir de levantamento topográfico realizado pela empresa ALGON em 2011, assim, muitos dos poços não possuíam dados (vide Tabela 3 do estudo). Interessante observar diferenças de níveis de água nos poços de mais de 02 (dois) metros de profundidade (variando de 2,20 a 4,70). Não foram traçadas quaisquer discussões acerca dessa diferença.

O Estudo utiliza análise estatística de Mann-Kendall para definir as tendências de concentrações e, por fim, recomenda que a área pertencente ao Condomínio Vila Rica (anexa ao Posto Morada dos Nobres) pode ser declarada como reabilitada para uso declarado. O Estudo não traz qualquer discussão sobre as incertezas na realização do trabalho.

Correspondência Eletrônica (108203408) - Essa correspondência visava responder a demanda do interessado e assim versava:

Em resposta ao ofício nº 0135/2022 e devido às novas diretrizes de trabalho para o monitoramento de riscos ambientais no DF retornamos com o presente.

Tendo em vista o prazo solicitado recomendamos que seja entregue à DIREM/SUFAM/IBRAM os relatórios até 31 de março de 2023.

Em adição aos dados costumeiramente apresentados que se concentram na qualidade de água nos arredores do Posto solicitamos que sejam apresentados os dados mais atuais acerca das condições do solo na área do posto morada dos nobres em especial as áreas do pretérito vazamento.

Os dados da remediação realizados deverão ser compilados em uma planilha desde o início da remediação até seu encerramento e anexados ao processo de remediação 00391-00001014/2020-18.

Relatório Laudos Apresentados (109708041) - Esse documento traz a compilação do histórico dos estudos apresentados com algumas considerações existentes nas conclusões dos mesmos. Traz também a relação de Testes de estanqueidade realizados ao longo do período de 2013 a 2022. O relatório não possui ART assinada.

Manifestação 19499 (111856928) - Esta é a última manifestação elaborada pelo órgão ambiental que trata de aspectos técnicos da contaminação. Em resposta a este Relatório Complementar, o órgão ambiental elaborou a Manifestação nº 19499 DIREM/IBRAM, em 31/05/2023, onde pontua:

“Após a avaliação dos dados apresentados pelo empreendedor tanto no processo de licenciamento ambiental quanto no processo de gerenciamento de áreas contaminadas a presente equipe entende que os dados fornecidos até agora não limitam a operação do posto de combustíveis desde que não se utilize de águas subterrâneas do poroso para quaisquer finalidades e mantenha-se o monitoramento de vapores em áreas fechadas.

As análises de vários estudos apresentados informam uma condição fisicamente irreal, sem fundamento ou incompleta, o que recomenda que sejam realizados levantamentos complementares por conta do proprietário do imóvel. vários relatórios comprovaram ao longo do tempo a presença de contaminante no solo, sem, entretanto, a obrigatoria contraparte no solo.

Com base nisso a presente equipe entende que os relatórios de remediação que apresentaram ausência de contaminantes na água e que foram realizados durante eventos de estiagem podem representar um falso negativo e conseqüentemente manter a condição atual de risco provável.

*Cumpra informar que a ABNT NBR 15515-3 tem dentre os principais objetivos, o “mapeamentos horizontal e vertical da contaminação por meio da comparação entre as concentrações dos contaminantes e os valores de investigação ou intervenção”, bem como “quantificação da massa de substâncias químicas de interesse **no solo e na água subterrânea**”. **Grifo nosso***

*Além disso, a própria norma aponta que para o mapeamento da contaminação, o foco da investigação deve sempre ser **o solo superficial e subsuperficial e a água subterrânea.**”*

A não validação dos esforços apresentados pelo Relatório Complementar do Posto Brazuca pela Manifestação IBRAM é baseada, essencialmente, na alegação do não atendimento a normativa ABNT NBR 15.515-3, e em uma suposto enviesamento dos dados obtidos por terem sido coletados em período de estiagem.

As justificativas consideradas na Manifestação não correspondem ao que se tem como conhecimento específico para essa etapa do GAC, e ainda que o Relatório tenha apresentado não conformidades, as origens das mesmas não correspondem, como afirma a Manifestação, ao período de realização da amostragem, mas sim às inadequações dos procedimentos e processos como já descrito antes.

Visto a não corroboração do Relatório, a Manifestação segue sugerindo:

*“Diante do exposto encaminham-se as seguintes recomendações, que devem constar do novo estudo a serem entregues **no prazo máximo de 180 dias**:*

- *Apresentação de investigação detalhada em total acordo com o previsto na ABNT NBR 15515-3 - Avaliação de passivo ambiental em solo e água subterrânea Parte 3 — Investigação detalhada;*
 - *A complementação deve focar, sobretudo, na delimitação total da pluma de contaminação em sua fase dissolvida e fase retida.*

- *Apresentar plano de intervenção em acordo com o previsto na ABNT NBR 16784-1 - Reabilitação de áreas contaminadas — Plano de intervenção Parte 1: Procedimento de elaboração;*
 - *O Plano deve considerar o novo modelo conceitual a ser elaborado;*
 - *Propor técnicas de remediação adequadas ao tratamento da fase retida e dissolvida da contaminação;”.*

A Manifestação enfoca na apresentação de complementação, apenas citando a ABNT NBR 15.515-3, e não impôs ao interessado a execução de uma nova Investigação Detalhada, que deveria contemplar a aplicação dessa e das outras normas correlatas.

Tais solicitações da Manifestação não são suficientes para garantir a melhor execução da Investigação Detalhada, em especial, a execução adequada com qualidade das sondagens e amostragens, que estão sob as recomendações de outras normativas, tais como: ABNT NBR 16.434:2015; ABNT NBR 16.435:2015; ABNT NBR 15.847:2010; ABNT NBR 15.495 - Partes 1 e 2; ABNT NBR 16.209:2013, e; ABNT NBR 16.210:2022. Todas essas citadas são contribuições técnicas indispensáveis ao processo de Investigação Detalhada e que não são abordadas diretamente na ABNT 15.515-3:2013.

Além disso, o posicionamento do órgão ambiental não discutiu a necessidade de abordagem técnica acerca das incertezas existentes e associadas às infraestruturas já instaladas, como os poços de monitoramento, piezômetros, poços de bombeamento, etc. Além de negligenciar a necessidade da apresentação dos estudos realizados e não entregues.

Após esta Manifestação, foram emitidos outros documentos que tratam da solicitação de prazo adicional para a apresentação dos estudos requeridos.

APÊNDICE 03 - RELAÇÃO DE LEIS E NORMAS SOBRE O GERENCIAMENTO DE ÁREAS CONTAMINADAS E REGULARIZAÇÃO AMBIENTAL NO BRASIL.

Tabela A3. 1. Leis e Normas dos estados sobre a regularização ambiental e gerenciamento de áreas contaminadas.

Região	UF	Lei/Norma	Tema (Caput)
Norte	AC	LEI Nº 1.117, DE 26 DE JANEIRO DE 1994	Dispõe sobre a política ambiental do Estado do Acre e dá outras providências.
		LEI Nº 2843 DE 09/01/2014	Dispõe sobre a produção, importação, exportação, distribuição, armazenamento, transporte interno, comércio, prestação de serviços, consumo, uso e devolução, recebimento, recolhimento e destinação final das embalagens e das sobras de agrotóxicos, seus componentes e afins no Estado e dá outras providências.
		DECRETO ESTADUAL Nº 8.170, DE 05 DE AGOSTO DE 2014	Regulamenta a Lei nº 2.843, de 9 de janeiro de 2014, que dispõe sobre a produção, importação, exportação, distribuição, armazenamento, transporte interno, comércio, prestação de serviços, consumo, uso e devolução, recebimento, recolhimento e destinação final das embalagens e das sobras de agrotóxicos, seus componentes e afins no Estado e dá outras providências.
		RESOLUÇÃO Nº 004, DE 27 DE JUNHO DE 2008 - CEMACT	Define os procedimentos técnicos para o licenciamento ambiental da cultura de cana-de-açúcar no Estado do Acre.
		PORTARIA NORMATIVA Nº 01 DE 14 DE JANEIRO DE 2020.	Institui o Termo de Referência para licenciamento ambiental de aterro sanitário de pequeno porte no Estado do Acre.
	AP	Constituição do Estado do Amapá	
		LEI COMPLEMENTAR Nº 0005, DE 18	Institui o Código de Proteção ao Meio Ambiente do Estado do Amapá e dá

		DE AGOSTO DE 1994	outras providências.
		LEI COMPLEMENTAR Nº 0091, DE 06 DE OUTUBRO DE 2015	Acrescenta dispositivos à Lei Complementar nº 005, de 18 de agosto de 1994, que instituiu o Código de Proteção ao Meio Ambiente do Estado do Amapá, e outras providências.
		RESOLUÇÃO/COEMA Nº. 0001/1999	Estabelece diretrizes para caracterização de empreendimentos potencialmente causadores de degradação ambiental, licenciamento ambiental e dá outras providências.
	AM	PORTARIA/IPAAM/P/Nº. 149/2018 - INSTITUTO DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DO AMAZONAS	Critérios técnicos para a implantação e/ou regularização de cemitérios destinados ao sepultamento de cadáveres humanos, ou não, no que tange à proteção e à preservação do ambiente, em particular do solo e das águas subterrâneas
		Resolução N. 02/2020/SEDAM-CONSEPA	Dispõe sobre o licenciamento ambiental de postos de combustíveis e dá outras providências
	RO	Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Estado de Rondônia	Produto 4: Elaboração das diretrizes e estratégias para a implementação do PERS/RO e Documentos Consolidado. Subproduto 4.3 : Proposição de medidas a serem aplicadas em áreas degradadas, objeto de recuperação em razão da disposição inadequada de resíduos sólidos ou rejeitos.
		Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Rondônia	Subproduto 3.1: Diretrizes, Programas e Metas Subproduto 3.2: Agregação das Ações e Intervenções Recomendadas
		Lei Estadual nº 416, de 14 de janeiro de 2004	Dispõe sobre a Política Estadual de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos;
	RR	INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 5/2021/FEMARH/PRES/GAB	Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas no Estado de Roraima com uso de Protocolo com parâmetros básicos.
		INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 7/2022/FEMARH/PRES	Dispõe sobre o licenciamento para a atividade de lavra garimpeira no Estado de Roraima, e dá outras providências”
	PA	INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 11, DE 12 DE SETEMBRO DE 2011 - SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE - SEMAS	Estabelece diretrizes para o licenciamento ambiental de Posto Revendedor – PR, Posto de Abastecimento - PA, Instalações de Sistema Retalhista – ISR, Posto Flutuante – PF e Serviços no Estado do Pará

	TO	Lei nº 3.614, de 18 de dezembro de 2019.	Institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos – PERS, e adota outras providências.
		Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Estado do Tocantins	
Nordeste	AL	Lei nº 7.749 DE 13 de outubro de 2015	Dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos e Inclusão Produtiva, e dá outras providências
		Lei nº 7.094, de 02 de setembro de 2009	Dispõe sobre a conservação e proteção das águas subterrâneas de domínio no Estado de Alagoas e dá outras providências.
		Decreto nº 20.029, de 17 de maio de 2012	Regulamenta a Lei Estadual nº 7.094, de 2 de setembro de 2009, que dispõe sobre a conservação e proteção das águas subterrâneas de domínio no Estado de Alagoas e dá outras providências.
		Resolução CEPRAM nº 15, de 25 de agosto de 2020.	Estabelece os Valores Orientadores de Qualidade do Solo do Estado de Alagoas quanto à presença de Metais Pesados.
	BA	Lei Estadual nº 10.431, de 20 de dezembro de 2006	Dispõe sobre a Política de Meio Ambiente e de Proteção à Biodiversidade do Estado da Bahia
		LEI Nº 10.432 DE 20 DE DEZEMBRO DE 2006	Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, cria o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos e dá outras providências.
		Decreto Estadual nº 14.024, 05 de junho de 2012	Regulamento da Lei Estadual nº 10.431/2006
		Lei Estadual nº 12.932, de 07 de janeiro de 2014	Institui a Política Estadual de Resíduos.
		Instrução Normativa INEMA nº 22.181, de 22 de janeiro de 2021	Estabelece critérios para implantação de sistema de medição para monitoramento dos usos e intervenções em recursos hídricos visando à adoção de medidas de controle no estado da Bahia
		Instrução Normativa INEMA nº 2, de 18 de junho de 2021	Dispõe sobre a desativação total ou parcial de empreendimentos potencialmente poluidores, encerramento de atividades potencialmente poluidoras, reabilitação de área e dá outras providências.
	CE	LEI Nº 12.621, DE 26.08.96	Cria a obrigatoriedade em executar medidas preventivas de proteção ao meio ambiente nos postos de serviços, especialmente no sistema de combustíveis.
		Lei Estadual nº 16.032, de 20 de junho de 2016	Política Estadual de Resíduos
		PLANO DE	

	ENCERRAMENTO/DESATIVAÇÃO DE TANQUES E TUBULAÇÕES POSTO DE REVENDA DE COMBUSTÍVEIS E DERIVADOS DE PETRÓLEO	
	LEI Nº18.010, 01 de abril de 2022	DISPÕE SOBRE OS PRAZOS DE LICENÇA AMBIENTAL DOS POSTOS DE REVENDA DE COMBUSTÍVEIS E DERIVADOS DE PETRÓLEO NO ESTADO DO CEARÁ.
MA	Portaria Sema nº 1, de 16 de janeiro de 2018	Disciplina o Licenciamento Ambiental dos Sistemas de Armazenamento de derivados de Petróleo e outros Combustíveis de competência da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Naturais – SEMA.
PB	Plano de Regionalização da Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Estado da Paraíba	
	Deliberação Copam nº 3.602, de 18.12.2014	Estabelece os Valores Orientadores de Qualidade do Solo quanto à presença de Metais Pesados
PE	Lei nº 16.243, de 13 de setembro de 1996 (Recife)	Estabelece a política do meio ambiente da Cidade do Recife e consolida a sua legislação ambiental, mediante a instituição do Código do Meio Ambiente e do Equilíbrio Ecológico da Cidade do Recife.
	LEI Nº 11.427 DE 17 DE JANEIRO DE 1997	Dispõe sobre a conservação e a proteção das águas subterrâneas no Estado de Pernambuco e dá outras providências.
	Lei Estadual nº 14.236, de 13 de dezembro de 2010.	Dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos;
	Instrução Normativa CPRH Nº 003/2022	Disciplina o processo de licenciamento ambiental e a operação das indústrias de beneficiamento têxtil localizadas no Estado de Pernambuco, assim como os procedimentos a serem adotados em caso de encerramento das atividades e de constatação de passivos ambientais.
	Resolução CRH nº 02, de 12 de março de 2020	Dispõe sobre a obrigatoriedade de realização de análises físico-químicas e microbiológicas em águas de mananciais subterrâneos para fins de outorga e licença ambiental, e dá outras providências.
	Instrução Normativa CPRH Nº 005 de 25 de setembro de 2006	Disciplina o processo de licenciamento ambiental dos Postos Revendedores de Combustíveis localizados no Estado de Pernambuco, bem como os

			procedimentos a serem adotados em caso de vazamentos de combustíveis e constatação de passivos ambientais nos postos.
		Instrução Normativa CPRH nº 007 de 1º de agosto de 2014	Estabelece os valores de referência da qualidade do solo (VRQ) do Estado de Pernambuco quanto à presença de substâncias químicas para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias.
	PI	Lei nº 4.854, de 10 de julho de 1996	Dispõe sobre a política de meio ambiente do Estado do Piauí e dá outras providências.
		Decreto Nº 17.557, de 21 de dezembro de 2017	Institui a Licença Ambiental por Declaração e estabelece critérios para agilizar e simplificar os procedimentos de licenciamento ambiental das atividades e empreendimentos que implementem planos e programas voluntários de gestão ambiental no âmbito do Programa Ativo Verde.
		Instrução Normativa SEMAR nº 07, de 04 de março de 2021	Estabelece os procedimentos, informações e documentos necessários à instrução de processos de licenciamento ambiental, além de outros atos e instrumentos emitidos pela SEMAR e dá outras providências.
	RN	Resolução CONEMA nº 06, de 14 de dezembro de 2011	Dispõe sobre a instalação e operação de postos (revendedores e de abastecimento), sistemas retalhistas de combustíveis, postos flutuantes e demais instalações que utilizam sistemas de armazenamento de combustíveis e/ou que efetuem troca de óleo e/ou lavagem de veículos.
	SE	Lei Ordinária nº 8.497, de 28 de dezembro de 2018	Dispõe sobre o Procedimento de Licenciamento Ambiental no Estado de Sergipe e dá outras providências
		Resolução CEMA n.º 01/2019 - CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE	Dispõe sobre os critérios e valores de referência da qualidade do solo (VRQ) do Estado de Sergipe quanto à presença de substâncias químicas para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas.
Centro-Oeste	DF	Lei Distrital nº 5.418, de 24 de novembro de 2014.	Institui a Política Distrital de Resíduos Sólidos
		Resolução CONAM nº 03 de 18 de dezembro de 2018	Estabelece os procedimentos para o licenciamento ambiental de postos revendedores, pontos de abastecimento, instalações de sistemas retalhistas, postos flutuantes de combustíveis e posto revendedor lacustre, revoga e substitui a Instrução IBRAM 213/2013
		Instrução Normativa nº 28, de 11 de	Estabelece os procedimentos para o licenciamento ambiental de postos

		agosto de 2020 (IBRAM)	revendedores, pontos de abastecimento, instalações de sistema retalhistas, postos flutuantes de combustíveis e posto revendedor lacustre e dá outras providências.
GO		Lei Estadual nº 14.248, de 29 de julho de 2002	Dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos;
		Instrução Técnica 007/2018 - MPMGO	Gerenciamento de Áreas Contaminadas
		Lei Estadual nº 21.231, de 10 de janeiro de 2022.	Dispõe sobre a regularização de passivos ambientais de imóveis rurais e urbanos, bem como a compensação florestal e a compensação por danos para regularizar a supressão da vegetação nativa realizada sem a prévia autorização do órgão ambiental competente, também a definição dos parâmetros da compensação florestal no Estado de Goiás.
		Resolução CEMAm nº 29 de 10 de dezembro de 2018	Dispõe sobre os critérios e procedimentos relativos ao licenciamento ambiental de Ponto de Abastecimento, Posto Revendedor e Instalação de Sistema Retalhista de Combustíveis no Estado de Goiás.
MT		Instrução Normativa FEMA nº 01, de 14 de dezembro de 2004	Dispõe sobre os procedimentos para o Licenciamento Ambiental de Postos Revendedores, Postos de Abastecimentos, Instalações de Sistemas Retalhistas, Postos Flutuantes, Bases de Combustíveis e Gás Natural Veicular (GNV).
		Projeto de lei nº 1050/2019	Dispõe sobre diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e Gerenciamento de Áreas Contaminadas, e dá outras providências correlatas.
MS		Resolução Semac nº 10, de 06 de maio de 2014	Disciplina o procedimento de licenciamento integrado de atividades e empreendimentos que compõem o sistema municipal de gestão e gerenciamento de resíduos sólidos urbanos.
		Resolução nº 679/2019 (SEMAGRO)	Altera, revoga e acrescenta dispositivos da Resolução SEMADE nº 9, de 13 de maio de 2015 que estabelece normas e procedimentos para o licenciamento ambiental estadual, e dá outras providências.
		Termo de Referência IMASUL	PROCEDIMENTO PARA IDENTIFICAÇÃO DE PASSIVOS AMBIENTAIS EM ESTABELECIMENTOS COM SISTEMA DE ARMAZENAMENTO SUBTERRÂNEO DE COMBUSTÍVEL - SASC

		Termo de Referência IMASUL	PROCEDIMENTO PARA AMPLIAÇÃO DE POSTOS DE COMBUSTÍVEIS EM OPERAÇÃO DE ESTABELECIMENTOS COM SISTEMA DE ARMAZENAMENTO SUBTERRÂNEO DE COMBUSTÍVEL - SASC RELATÓRIO AMBIENTAL SIMPLIFICADO (RAS) INDUSTRIAL
Sudeste	ES	Lei 6.295, de 06 de julho de 2000	Dispõe sobre a administração, proteção e conservação das águas subterrâneas do domínio do Estado e dá outras providências.
		Lei Estadual nº 9.264, 15 de julho 2009	Institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos
		Instrução Normativa Iema nº 02, de 22 de janeiro de 2007	Estabelece critérios técnicos referentes a execução de trabalhos de investigação ambiental para a detecção de contaminação de solo e água por hidrocarbonetos e procedimentos para sua remediação em áreas ocupadas por postos revendedores varejistas de combustíveis derivados de petróleo no Estado do Espírito Santo
		Instrução Normativa Iema nº 015-N, 23 de setembro de 2020	Dispõe sobre o enquadramento das atividades potencialmente poluidoras e/ou degradadoras do meio ambiente com obrigatoriedade de licenciamento ambiental no IEMA e sua classificação quanto ao potencial poluidor e porte;
		Instrução Normativa Iema nº 15-N, de 07 de dezembro de 2016	Estabelece critérios técnicos para apresentação de resultados de monitoramento de Efluentes Líquidos Industriais, Efluentes Líquidos Sanitários, dos Corpos de água, do solo e da água subterrânea no âmbito do licenciamento ambiental do IEMA
		Instrução Normativa Iema nº 016-N, de 07 de dezembro de 2016	Institui procedimentos administrativos e critérios técnicos para regularização ambiental da atividade de Postos Revendedores de Combustíveis e dá outras providências
		Instrução Normativa Iema nº 1, de 24 de fevereiro de 2017	Dispõe sobre o licenciamento ambiental e estudos ambientais a serem apresentados quando do requerimento de licença para a atividade de cemitério
		Termo de Referência – TR CQAI-DT N°001/2019 (versão 01)	Termo de Referência para Elaboração de Estudos de Passivo Ambiental – Avaliação Preliminar e Investigação Confirmatória em solo e água subterrânea pela disposição irregular de Resíduos Sólidos Urbanos – RSU
		Decreto 4039-R/2016	Atualiza as disposições sobre o Sistema de Licenciamento Ambiental e Controle das Atividades Poluidoras ou Degradadoras do Meio Ambiente –

		SILCAP;
MG	Deliberação Normativa COPAM Nº 108, de 24 de maio de 2007	Altera a Deliberação Normativa Copam 50/01, que estabelece os procedimentos para o licenciamento ambiental de postos revendedores, postos de abastecimento, instalações de sistemas retalhistas e postos flutuantes de combustíveis e dá outras providências
	Deliberação Normativa COPAM nº116, 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;
	Lei Estadual nº 18.031, de 12 de janeiro de 2009	Dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos
	Decreto Estadual nº 45.181, de 25 de setembro de 2009	Regulamenta a Lei Estadual nº 18.031, de 12 de janeiro de 2009
	Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 02, de 8 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;
	Deliberação Normativa COPAM nº 166, de 29 de junho de 2011	Altera o Anexo I da Deliberação Normativa Conjunta COPAM CERH nº 2/2010, estabelecendo os Valores de Referência de Qualidade dos Solos
	DELIBERAÇÃO NORMATIVA CONJUNTA COPAM-CERH Nº 05, DE 14 DE SETEMBRO DE 2017.	Estabelece diretrizes e procedimentos para a definição de áreas de restrição e controle do uso das águas subterrâneas e dá outras providências.
	PORTARIA IGAM Nº 48, DE 04 DE OUTUBRO DE 2019	Estabelece normas suplementares para a regularização dos recursos hídricos de domínio do Estado de Minas Gerais e dá outras providências.
SP	Lei nº 13.577/2009	Dispõe sobre diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e Gerenciamento de Áreas Contaminadas, e dá outras providências correlatas
	Decreto nº 59.263/2013	Regulamenta a Lei nº 13.577, de 8 de julho de 2009, que dispõe sobre diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e Gerenciamento de Áreas Contaminadas, e dá providências correlatas.

		Resolução SMA nº 10/2017	Dispõe sobre a definição das atividades potencialmente geradoras de áreas contaminadas.	
		Resolução SMA nº 11/2017	Dispõe sobre a definição das regiões prioritárias para a identificação de áreas contaminadas.	
		Decisão de Diretoria nº 38/2017/C	Dispõe sobre a aprovação do “Procedimento para a Proteção da Qualidade do Solo e das Águas Subterrâneas”, da revisão do “Procedimento para o Gerenciamento de Áreas Contaminadas” e estabelece “Diretrizes para Gerenciamento de Áreas Contaminadas no Âmbito do Licenciamento Ambiental”, em função da publicação da Lei Estadual nº 13.577/2009 e seu Regulamento, aprovado por meio do Decreto nº 59.263/2013, e dá outras providências.	
		Instrução Técnica nº 039	Gerenciamento de Áreas Contaminadas	
		Decisão de Diretoria N.º 125/2021/E, de 09 de dezembro de 2021	Dispõe sobre a Aprovação da Atualização da Lista de Valores Orientadores para Solo e Água Subterrânea.	
		Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas		
	RJ		Resolução Conema nº 44, de 14 de dezembro de 2012	Dispõe sobre a obrigatoriedade da identificação de eventual contaminação ambiental do solo e das águas subterrâneas por agentes químicos, no processo de licenciamento ambiental estadual;
			Resolução Conema nº 46, de 10 de maio de 2013	Aprova a Norma Operacional NOP-INEA nº 05 – Licenciamento Ambiental e encerramento de Postos Revendedores de Combustíveis Líquidos e Gás Natural;
			Decreto Estadual nº 46.890, de 23 de dezembro de 2019	Dispõe sobre o Sistema Estadual de Licenciamento e demais Procedimentos de Controle Ambiental – SELCA
			Lei Estadual nº 9.055, de 08 de outubro de 2020	Institui a obrigatoriedade do controle e tratamento do chorume nos sistemas de destinação final de resíduos sólidos, vazadouros, aterros controlados e aterro sanitários, bem como a remediação de vazadouros;
			Resolução INEA Nº 122 de 28 de julho de 2015	APROVA A NOP-INEA nº 06 PARA AVALIAÇÃO AMBIENTAL DA QUALIDADE DO SOLO E DA ÁGUA SUBTERRÂNEA EM POSTOS DE

			SERVIÇOS.
Sul	PR	Lei Estadual nº 14.984, de 28 de dezembro de 2005	Dispõe sobre a localização, construção e modificação de postos revendedores, conforme especifica, dependerão de prévia anuência municipal;
		Lei Estadual nº 19.261, de 07 de dezembro de 2017	Cria o Programa Estadual de Resíduos Sólidos para atendimento às diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos
		Resolução Sedest 003, de 22 de janeiro de 2020	Dispõe sobre o Licenciamento Ambiental, estabelece condições e critérios para Posto Revendedor, Posto de Abastecimento, Instalação de Sistema Retalhista de Combustível – TRR, Posto Flutuante, Base de Distribuição de Combustíveis
		Resolução Cema nº 107, de 09 de setembro de 2020	Dispõe sobre o licenciamento ambiental, estabelece critérios e procedimentos a serem adotados para as atividades poluidoras, degradadoras e/ou modificadoras do meio ambiente
		Resolução Cerh nº 9, de 29 de setembro de 2020	Estabelece diretrizes e critérios gerais para a definição de áreas críticas quanto ao uso de águas superficiais e subterrâneas de domínio do Estado do Paraná.
		Resolução CEMA Nº 129 DE 23/11/2023	Dispõe sobre procedimentos para proteção da qualidade do solo e das águas subterrâneas e sobre o gerenciamento de áreas contaminadas no Estado do Paraná.
	RS	Lei Estadual nº 9.921, de 27 de julho de 1993	Dispõe sobre a gestão dos resíduos sólidos, nos termos do artigo 247, §3º, da Constituição do Estado do Rio Grande do Sul;
		Decreto Estadual nº 38.356, de 1º de abril de 1998	Regulamenta a Lei Estadual nº 9.921/1993
		Lei Estadual nº 14.528, de 17 de abril de 2014	Institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos;
		Portaria Fepam nº 49, de 22 de maio de 2014	Dispõe sobre a criação do Programa de Gerenciamento de Resíduos Sólidos e Áreas Contaminadas no âmbito da Fundação Estadual de Proteção Ambiental.
Portaria Fepam nº 85, de 05 de setembro de 2014		Dispõe sobre o estabelecimento de Valores de Referência de Qualidade (VRQ) dos solos para nove elementos químicos naturalmente presentes nas diferentes províncias geomorfológicas/geológicas do Estado do Rio Grande	

		do Sul;
	Portaria Fepam nº 26, de 02 de abril de 2015	Dispõe sobre a Convalidação do Programa de Gerenciamento de Resíduos Sólidos e Áreas Contaminadas – PGRSAC;
	Portaria Fepam nº 29, de 05 de junho de 2017	Estabelece a Exigência e Acreditação ou Reconhecimento para os laboratórios de análises ambientais no âmbito do território do Estado do Rio Grande do Sul
	Resolução Consema nº 372, de 02 de março de 2018	Dispõe sobre os empreendimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais, efetiva ou potencialmente poluidores ou capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental, passíveis de licenciamento ambiental no Estado do Rio Grande do Sul, destacando os de impacto de âmbito local para o exercício da competência municipal no licenciamento ambiental;
	Portaria Fepam nº 99, de 5 de dezembro de 2018	Institui procedimentos para emissão de ato administrativo – Declaração de Passivo Ambiental;
	Lei Estadual nº 15.434, de 9 de janeiro de 2020	Institui o Código Estadual do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul;
	Portaria FEPAM nº 82, de 13 de novembro 2020	Dispõe sobre critérios, diretrizes gerais e os procedimentos a serem seguidos no Licenciamento Ambiental de empreendimentos do ramo Comércio Varejista de Combustíveis, no Estado do Rio Grande do Sul
	Diretriz Técnica nº 003/2021 – DIRTEC, de 5 de fevereiro de 2021	Licenciamento ambiental de áreas suspeitas, com potencial de contaminação ou contaminadas ou de áreas degradadas pela disposição irregular de resíduos sólidos.
	Portaria FEPAM Nº 126 DE 16 de março de 2021	Altera a Portaria FEPAM nº 82/2020 que dispõe sobre critérios, diretrizes gerais e os procedimentos a serem seguidos no Licenciamento Ambiental de empreendimentos do ramo Comércio Varejista de Combustíveis, no Estado do Rio Grande do Sul e dá outras providências.
	Diretriz Técnica nº. 04/2021 – DIRTEC, de 21 de julho de 2021	Monitoramento da água subterrânea no Gerenciamento de Áreas Contaminadas
	Portaria Conjunta Sema – Fepam nº 14, de 08 de julho de 2021	Altera a Portaria Conjunta Sema – Fepam nº 13, de 8 de novembro de 2019, que estabelece as regras de inscrição no Cadastro Técnico Estadual de Atividades Potencialmente Poluidoras ou Utilizadoras de Recursos Ambientais – CTE e de recolhimento da TCFA-RS.
	Procedimento Operacional Padrão - POP-	PROCEDIMENTO PARA GERENCIAMENTO DE ÁREAS COM

		SUMAM-SMAMS-002-2018 (Prefeitura de Porto Alegre)	POTENCIAL OU SUSPEITA DE CONTAMINAÇÃO E ÁREAS CONTAMINADAS
		Instrução Técnica 01/2018 (Prefeitura de Porto Alegre)	Gerenciamento de Áreas Contaminadas
SC		Instrução Normativa IMA nº 01/2017	Define a documentação necessária ao licenciamento e estabelece critérios para apresentação dos planos, programas e projetos ambientais para comércio de combustíveis líquidos e gasosos em postos revendedores, postos flutuantes e instalações de sistema retalhista, com ou sem lavagem e/ou lubrificação de veículos, incluindo o tratamento de resíduos líquidos, tratamento e disposição de resíduos sólidos, emissões atmosféricas e outros passivos ambientais;
		Resolução CONSEMA nº 98, de 05 de julho de 2017	Aprova, nos termos do inciso XIII, do art. 12, da Lei nº 14.675, de 13 de abril de 2009, a listagem das atividades sujeitas ao licenciamento ambiental, define os estudos ambientais necessários e estabelece outras providências.
		Resolução Consema nº 114, de 10 de novembro de 2017	Estabelece diretrizes e critérios para elaboração de Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS);
		Instrução Normativa IMA nº 74, de 24 de agosto de 2018	Define a documentação necessária ao licenciamento e estabelece critérios para apresentação dos planos, programas e projetos ambientais a serem executados na Recuperação/Gerenciamento de Áreas Contaminadas, incluindo identificação, investigação e reabilitação da área;
		Portaria IMA nº 45, de 19 de março de 2021	Aprova valores orientadores de qualidade dos solos e águas subterrâneas de Santa Catarina.

Análise da Legislação por Região

Região Sudeste

Araújo-Moura e Caffaro Filho (2015), Pereira et al (2015), IPT (2016) Canario e Bettine (2020) e Ferreira, Lofrano e Morita (2020) apontam o pioneirismo dos estados da região Sudeste na gestão e na construção de um arcabouço técnico-legislativo para melhor embasar a tomada de decisão durante o processo de gerenciamento.

No Estado de São Paulo, por exemplo, o processo de gerenciamento está ancorado em diversos instrumentos. A Lei 13577/2009 e o Decreto 56.263/2013 estabelecem as bases jurídicas dessa atuação. \entre outros aspectos, definem os objetivos, promovem a homogeneização de conceitos, estipulam a diretrizes específicas para o Estado, dispõem sobre as responsabilidades das partes envolvidas no processo, tipificam as infrações administrativas, define o poder regulatório de caráter técnico-científico da CETESB.

Para regulamentar os aspectos técnicos da legislação publicada, as Decisões de Diretoria – DD da CETESB (em especial a DD 38/2017/C), a Instrução Técnica nº 39/2017 e o Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas (em sua 3ª edição) trazem as bases técnicas do “como fazer”, abordando desde a etapa de diagnóstico, ao processo decisório sobre a intervenção.

A Instrução Técnica 39/2017 aborda, por exemplo, as atribuições para o trâmite administrativo nos setores responsáveis da CETESB, e entre outros, as atividades potencialmente geradoras de áreas contaminadas prioritárias para o licenciamento e desativação.

Atualmente, a Decisão de Diretoria N.º 125/2021/E, de 09 de dezembro de 2021 estabelece os valores orientadores que são a base para a definição das ações do processo de intervenção.

Complementarmente, a Resolução SMA 10/2017 que “dispõe sobre a definição das atividades potencialmente geradoras de áreas contaminadas” e a Resolução SMA 11/2017 que “dispõe sobre a definição das regiões prioritárias para a identificação de áreas contaminadas”, considerando a grande complexidade e o longo histórico de ocupação da Região Metropolitana de São Paulo, envidam esforços em estabelecer, respectivamente, “quem” e “onde” o processo de gestão deve focar, com base nos riscos potenciais à saúde da população.

Tratando-se especificamente de postos de combustíveis, o processo de GAC era abordado por meio da Decisão de Diretoria - DD 10-2006-C, de 26 de janeiro de 2006 (que dispõe sobre os novos procedimentos para o licenciamento de Postos e Sistemas Retalhistas de Combustíveis e dá outras providências). Entretanto, o amadurecimento do processo de gestão culminou na revogação dos Anexos IV a VII (e seus sub-anexos) da referida DD pela Decisão de Diretoria - DD 038/2017. Esses anexos tratavam especificamente do processo de investigação de passivos ambientais para postos de combustíveis.

Essa revogação indicou que, independente da atividade, os esforços devem estar concentrados em promover uma boa definição das substâncias químicas de interesse (SQI), do diagnóstico das fontes de contaminação, no estabelecimento correto dos mecanismos de liberação e transporte dos contaminantes e dos caminhos e cenários de exposição. Estes implicam na determinação dos riscos à saúde e ecológico aos bens a proteger. Com base no risco, são escolhidas as melhores medidas de intervenção para atingimento das metas de remediação; considerados os usos pretendidos na área contaminada.

Sob aspecto técnico, o Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas da CETESB é a base de orientação das etapas do processo de identificação e de reabilitação de áreas contaminadas, além de possuir informações sobre a legislação de referência do Estado de São Paulo e do país. Conforme a CETESB, o Manual, que ainda está em processo de atualização, prevê a elaboração de 83 seções distribuídas em 16 capítulos que tratam de procedimentos, etapas, instrumentos, técnicas, metodologias, além de abordar conceitos e bases legais internacionais e nacionais.

A companhia destaca que para a elaboração da legislação específica sobre GAC no Estado de São Paulo, houve forte influência da legislação estadunidense, especialmente a Lei do “Superfund” de 1980, além da legislação alemã, representada pela Lei “Bundes-Bodenschutzgesetz” de 1998 (CETESB, 2023).

Outro importante instrumento do processo de gerenciamento paulista, as “Planilhas para Avaliação de Risco em Áreas Contaminadas sob Investigação”. As planilhas de avaliação de risco da CETESB foram desenvolvidas com base na metodologia da USEPA descrita no documento “Risk Assessment Guidance for Superfund – RAGS” e constituem ferramentas auxiliares nos estudos de avaliação e gerenciamento de risco à saúde humana por exposição em áreas contaminadas (CETESB, 2023).

Tem como referência bibliográfica principal, normas da American Society for Testing and Materials – ASTM, da US Environmental Protection Agency – USEPA (agência de proteção ambiental dos Estados Unidos) e do National Institute for Public Health and the Environment (da Holanda); além outros trabalhos técnicos de autores brasileiros e estrangeiros, não se referenciando nas normas ABNT.

Ao avaliar os demais estados da Região Sudeste, verifica-se que Espírito Santo, Minas Gerais e Rio de Janeiro também tem desenvolvido seus mecanismos para aprimorar o processo GAC, os dois primeiros, mesmo antes da publicação da Resolução CONAMA 420/2009.

No Espírito Santo, a Instrução Normativa do Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos Iema nº 02, de 22 de janeiro de 2007 já estabelecia critérios técnicos referentes a execução de trabalhos de investigação ambiental para a detecção de contaminação de solo e água por hidrocarbonetos e procedimentos para sua remediação em áreas ocupadas por postos revendedores varejistas de combustíveis derivados de petróleo no Estado do Espírito Santo (IEMA, 2007).

Da mesma forma, a Instrução Normativa Iema nº 016-N, de 07 de dezembro de 2016 que “institui procedimentos administrativos e critérios técnicos para regularização ambiental da atividade de Postos Revendedores de Combustíveis e dá outras providências” incluiu no processo de licenciamento a solicitação dos Laudo Técnico dos estudos hidrogeológico e geológico e o Laudo Técnico referente ao Estudo de Investigação de Passivos Ambientais Confirmatória (análise cromatográfica de solo e/ou água).

A IN 02/2007 traz toda a orientação técnica sobre a investigação de passivos ambientais, referenciando somente algumas atividades do processo de investigação, como análises granulométricas e de determinação de teor de matéria orgânica no solo, por exemplo, nas metodologias da ABNT.

Além destas, a Instrução Normativa IEMA Nº 15-N de 07 de dezembro de 2016 que estabelece critérios técnicos para apresentação de resultados de monitoramento de Efluentes Líquidos Industriais, Efluentes Líquidos Sanitários, dos Corpos de água, do solo e da água subterrânea no âmbito do licenciamento ambiental do IEMA, além de exigir a acreditação laboratorial com base na Norma ABNT NBR ISO/IEC 17025, também estabelece padrões próprios para elaboração dos relatórios.

Em Minas Gerais, destacam-se as Deliberações do Conselho Estadual de Políticas Ambientais – COPAM, em especial a Deliberação Normativa COPAM N° 108, de 24 de maio de 2007, que estabelece os procedimentos para o licenciamento ambiental de postos revendedores, postos de abastecimento, instalações de sistemas retalhistas e postos flutuantes de combustíveis e dá outras providências; a Deliberação Normativa COPAM n°116, 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 Gerais” e a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH n° 02, de 8 de setembro de 2010, que 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. Estas Resoluções são as principais regulamentadoras do GAC no Estado.

Complementarmente, o Inventário de Áreas Contaminadas 2022, disponibilizado pela Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM, traz em seu “Anexo A”, a relação de normas legais e procedimentos técnicos concernentes a gestão de áreas contaminadas, utilizados como base pelo Estado, dentre as quais se destaca a relação de Normas da ABNT e Decisões de Diretoria da CETESB, quais sejam, a DD 103/2007/C/E, de 22 de junho de 2007 (no que diz respeito ao item 6: Procedimento para Postos e Sistemas Retalhistas de Combustíveis) e a DD n°. 263/2009/P, de 20 de outubro de 2009, que aprova o Roteiro para Execução da Investigação Detalhada e Elaboração de Plano de Intervenção em Postos e Sistemas Retalhistas de Combustíveis (Minas Gerais, 2022). A adoção destas normas é expressa no parágrafo único do artigo sétimo da Deliberação Normativa COPAM n°116, 27 de junho de 2008.

Nesse sentido, a adoção de normas que se vinculam às legislações de outros estados carecem de rigor técnico, uma vez que podem resultar em problemas, já que revisões, atualizações e alterações de escopo ou de entendimento técnico estão sob responsabilidade do órgão de origem e podem não refletir a realidade do Estado. Para o caso específico, a DD 263/2009/P, por exemplo, foi revogada pela DD 38/2017. Há então que se avaliar, quais os desdobramentos para os processos do Estado de Minas Gerais.

No Rio de Janeiro, a atividade de Postos de Combustíveis é regida pela Resolução do Conselho Estadual do Meio Ambiente - CONEMA n° 46, de 10 de maio de 2013 e pela Norma Operacional 06 (NOPINEA-06) do Instituto Estadual do Ambiente – INEA

(aprovada por meio da Resolução INEA nº 122 de 28 de julho de 2015). Esta última tem seus procedimentos ancorados nas Normas ABNT.

Região Sul

Os três estados que compõem a Região Sul do país possuem legislações referentes ao gerenciamento de áreas contaminadas, cada qual com seu nível de aplicação e abrangência.

No Rio Grande do Sul, a Lei Estadual nº 9.921, de 27 de julho de 1993 e o Decreto Estadual nº 38.356, de 1º de abril de 1998 que a regulamente, já tipificavam o agravamentos das sanções administrativas à infrações ambientais, quando estas resultassem em contaminação significativa de águas superficiais ou subterrâneas.

Com a promulgação da Portaria Fepam nº 49, de 22 de maio de 2014 que criou o Programa de Gerenciamento de Resíduos Sólidos e Áreas Contaminadas no âmbito da Fundação Estadual de Proteção Ambiental, da Portaria Fepam nº 85, de 05 de setembro de 2014 que estabeleceu Valores de Referência de Qualidade (VRQ) dos solos para nove elementos químicos naturalmente presentes nas diferentes províncias geomorfológicas/geológicas do Estado do Rio Grande do Sul, entre outras legislações, as bases para o gerenciamento estavam postas.

Posteriormente, essa base legislativa foi atualizada com a publicação da Portaria FEPAM nº 82, de 13 de novembro 2020 que dispõe sobre critérios, diretrizes gerais e os procedimentos a serem seguidos no Licenciamento Ambiental de empreendimentos do ramo Comércio Varejista de Combustíveis, no Estado do Rio Grande do Sul, Diretriz Técnica nº 003/2021 – DIRTEC, de 5 de fevereiro de 2021 que dispõe sobre o licenciamento ambiental de áreas suspeitas, com potencial de contaminação ou contaminadas ou de áreas degradadas pela disposição irregular de resíduos sólidos, da Portaria FEPAM Nº 126 DE 16 de março de 2021 (que altera a Portaria 82/2020) e, por fim, da Diretriz Técnica nº. 04/2021 – DIRTEC, de 21 de julho de 2021 que trata do monitoramento da água subterrânea no gerenciamento de áreas contaminadas; o Rio Grande do Sul consolidou uma base legislativa para o gerenciamento de áreas contaminadas no Estado.

Ao se avaliar essas legislações, verifica-se que existe um enfoque legislativo em áreas contaminadas em decorrência da disposição de resíduos sólidos. No que se refere a postos de combustíveis a Portaria FEPAM nº 82 na Seção XIII do CAPÍTULO V que trata do

sistema de detecção de vazamentos e também o CAPÍTULO VII - ÁREAS CONTAMINADAS estabelecem alguns procedimentos a serem seguidos para o monitoramento a qualidade das águas subterrâneas e gerenciamento das áreas contaminadas.

Esses procedimentos são complementados pela Diretriz Técnica 03/2021 da FEPAM que trata do “licenciamento ambiental de áreas suspeitas, com potencial de contaminação ou contaminadas ou de áreas degradadas pela disposição irregular de resíduos sólidos” e pela Diretriz Técnica nº. 04/2021 que trata do “monitoramento de águas subterrâneas”. Ambas diretrizes são referenciadas, também, pelas normas ABNT.

Além disso, no Rio Grande do Sul, a legislação Estadual é complementada por dois importantes instrumentos elaborados em nível municipal na cidade de Porto Alegre, a Instrução Técnica 01/2018 e o Procedimento Operacional Padrão POP-SUMAM-SMAMS-002-2018 ambos publicados pela Secretaria do Meio Ambiente e da Sustentabilidade – SMAMS, pois trazem procedimentos específicos para o processo de identificação e reabilitação de áreas contaminadas.

Tratando então da legislação Paranaense, a Lei Estadual nº 14.984, de 28 de dezembro de 2005 já estabelecia que “a localização, construção, instalação, modificação, ampliação e operação de postos revendedores, postos distribuidores, postos de abastecimento e instalações de sistemas retalhistas, em áreas urbanas, dependerão da prévia anuência do Município em relação ao zoneamento e Leis Municipais vigentes e após deverão ter o licenciamento prévio do órgão ambiental estadual, sem prejuízo de outras licenças legalmente exigíveis.” (Paraná, 2005), todavia, somente com o lançamento da Resolução Sedest 003, de 22 de janeiro de 2020, da Resolução do Conselho Estadual do Meio Ambiente - Cema nº 107, de 09 de setembro de 2020 e da Resolução do Conselho Estadual de Recursos Hídricos - Cerh nº 009, de 29 de setembro de 2020; é que as bases para o gerenciamento de áreas contaminadas, incluindo às originárias de postos de combustíveis foi, de fato, estabelecida.

Em especial a Resolução Sedest 003/2020 que “dispõe sobre o Licenciamento Ambiental, estabelece condições e critérios para Posto Revendedor, Posto de Abastecimento, Instalação de Sistema Retalhista de Combustível (TRR), Posto Flutuante, Base de Distribuição de Combustíveis e dá outras providências.”, traz a partir do seu artigo 40 a diretrizes para o gerenciamento de áreas contaminadas e, mais especificamente, em seus

Anexos IV a XIV sob a forma de “Termos de Referência”, os procedimentos a serem seguidos, teores dos estudos, o conteúdo de declarações e processos de averbação de informação em matrícula, cadeia de custódia e outros documentos relacionados à investigação de passivo ambiental. Esses procedimentos são, em parte, amparados nas normas ABNT.

No Estado de Santa Catarina a Instrução Normativa do Instituto do Meio Ambiente de Santa Catarina - IMA nº 01/2017 “define a documentação necessária ao licenciamento e estabelece critérios para apresentação dos planos, programas e projetos ambientais para comércio de combustíveis líquidos e gasosos em postos revendedores, postos flutuantes e instalações de sistema retalhista, com ou sem lavagem e/ou lubrificação de veículos, incluindo o tratamento de resíduos líquidos, tratamento e disposição de resíduos sólidos, emissões atmosféricas e outros passivos ambientais” (IMA, 2017).

A essa Instrução se soma a Instrução Normativa IMA nº 74, de 24 de agosto de 2018 que “define a documentação necessária ao licenciamento e estabelece critérios para apresentação dos planos, programas e projetos ambientais a serem executados na Recuperação/Gerenciamento de Áreas Contaminadas, incluindo identificação, investigação e reabilitação da área”.

Essas duas normas se caracterizam como as principais instituidoras do processo de gerenciamento ambiental do Estado. A primeira estabelece, entre outros, aspectos os Instrumentos Técnicos Utilizados no Processo de Licenciamento Ambiental, dentre os quais figuram a Avaliação de Passivo Ambiental em Solo e Água Subterrânea, a Avaliação de Risco a Saúde Humana para Fins de Gerenciamento de Áreas Contaminadas, o Plano de Ação Emergencial e o Projeto de Remediação da Área.

Essa norma também determina que caso seja detectada contaminação do solo e/ou do aquífero freático por hidrocarbonetos derivados de petróleo, mesmo que anterior à instalação do empreendimento, independente de manifestação do órgão ambiental (no caso da Fundação do Meio Ambiente - FATMA, atual IMA), deverá ser seguido o procedimento de Gestão de Áreas Contaminadas, contemplando as etapas de investigação ambiental previstas na NBR 15515 – Avaliação de passivo ambiental em solo e água subterrânea – Parte 1: Avaliação preliminar, Parte 2: Investigação confirmatória e Parte 3: Investigação detalhada, bem como na NBR 16209 - Avaliação de risco a saúde humana

para fins de Gerenciamento de Áreas Contaminadas e ações de remediação da área, quando necessárias (IMA, 2017).

A Instrução Normativa IMA 74/2018, por sua vez, objetiva definir a documentação necessária ao licenciamento e estabelecer critérios para apresentação dos planos, programas e projetos ambientais a serem executados na Recuperação/Gerenciamento de Áreas Contaminadas, incluindo identificação, investigação e reabilitação da área (IMA, 2018). Essa norma define a Autorização Ambiental como ato administrativo para o processo de recuperação de áreas contaminadas. Além de fornecer um extenso glossário para homogeneização conceitual, estabelece o procedimento de gerenciamento de áreas contaminadas. Essa legislação também se vincula às orientações técnicas emanadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Por fim, o Estado ainda conta com a Portaria IMA nº 45, de 19 de março de 2021 que aprova os valores orientadores de qualidade dos solos e águas subterrâneas de Santa Catarina.

Região Norte

Na região Norte, em contraste ao verificado nas regiões Sudeste e Sul a legislação acerca do tema não está plenamente desenvolvida.

Levantamentos realizados sobre a legislação dos Estados do Acre, Amapá, Amazonas, Rondônia, Roraima, Pará e Tocantins; mostraram que apenas o Pará, por meio da Instrução Normativa nº 11, de 12 de setembro de 2011 da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade – SEMAS, que “Estabelece diretrizes para o licenciamento ambiental de Posto Revendedor – PR, Posto de Abastecimento - PA, Instalação de Sistema Retalhista – ISR, Posto Flutuante – PF e Serviços no Estado do Pará”, traz em seus Anexos I e II procedimentos para a Investigação de Passivo Ambiental (etapas preliminar, investigação ambiental e análise de risco) e para amostragem de cava em caso de desmobilização dos sistemas de armazenamento de combustíveis. Essa documentação referencia-se nas Normas da ASTM e nos Valores orientadores definidos pela CETESB.

No Estado do Acre a respeito do tema, a Lei nº 1.117, de 26 de janeiro de 1994 que dispõe sobre a política estadual de meio ambiente já estabelecia em seu artigo 32 que “os órgãos estaduais competentes manterão serviços indispensáveis à avaliação dos recursos hídricos do subsolo, e adotarão medidas contra a contaminação dos aquíferos e deteriorização das

águas subterrâneas” (ACRE, 1994). Desde então se destaca na legislação local a Resolução nº 004, de 27 de junho de 2008 do Conselho Estadual de Meio Ambiente, Ciência e Tecnologia - CEMACT e a Portaria Normativa nº 01 de 14 de janeiro de 2020 do Instituto de Meio Ambiente do Acre – IMAC que tratam dos procedimentos técnicos para o licenciamento ambiental da cultura de cana-de-açúcar e que Institui o Termo de Referência para licenciamento ambiental de aterro sanitário de pequeno porte, respectivamente. Essas legislações trazem procedimentos para a investigação de passivos específicos para as atividades mencionadas.

A primeira estabelece que em seu artigo nono que “as áreas de implantação dos tanques de armazenamento de vinhaça deverão ser apresentadas pelo responsável e avaliadas pelo órgão ambiental, quanto a uma possível contaminação de solo e águas subterrâneas, sendo que os resultados analíticos deverão ser comparados com os padrões de potabilidade estabelecidos na Portaria do Ministério da Saúde nº 518/04, de 25 de março de 2004”.

A segunda adota a “Norma ABNT NBR 15849:2010 - Resíduos sólidos urbanos – Aterros sanitários de pequeno porte - Diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento” que traz, entre outros, procedimentos referentes ao monitoramento de lixiviado e de águas subterrâneas durante as etapas de implantação, operação e após o encerramento da atividade.

Todavia, não foram encontradas normas que versem sobre o GAC em postos revendedores ou correlatas ao armazenamento de combustíveis.

Para o Estado do Amapá, das legislações encontradas, a Constituição do Estado do Amapá traz em seu artigo 320 que “as indústrias poluentes só serão implantadas em áreas previamente delimitadas pelo Poder Público, respeitada a política de meio ambiente, e adotarão, obrigatoriamente, técnicas eficazes que evitem a contaminação ambiental”.

Além desta, a Lei Complementar nº 0091, de 06 de outubro de 2015, que “acrescenta dispositivos à Lei Complementar nº 005, de 18 de agosto de 1994, que instituiu o Código de Proteção ao Meio Ambiente do Estado do Amapá, e outras providências”; trás redação ao artigo 12-B parágrafo terceiro, item quatro, que proíbe a emissão de Licença Ambiental Corretiva para empreendimentos em áreas contaminadas com produtos que apresentem riscos à saúde humana.

De toda forma, não foram encontradas normas específicas que estabeleçam procedimentos para o GAC.

No Estado do Amazonas, foi encontrada uma única legislação. A Portaria/IPAAM/P/ N°. 149/2018 do Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas que trás procedimentos para investigação de passivo ambiental de monitoramento de águas subterrâneas, aplicados ao processo de licenciamento da atividade de cemitério.

Para o Estado de Rondônia, foi encontrada a Resolução do Conselho Estadual de Política Ambiental - SEDAM/CONSEPA n° 02/2020 que “dispõe sobre o licenciamento ambiental de postos de combustíveis e dá outras providências”. Essa Resolução trás em seu Anexo I como requisito para a Licença Prévia a “caracterização hidrogeológica com definição do sentido de fluxo das águas subterrâneas, identificação das áreas de recarga, localização de poços de captação destinados ao abastecimento público ou privado registrados nos órgãos competentes até a data da emissão do documento, no raio de 100 m, considerando as possíveis interferências das atividades com corpos d’água superficiais e subterrâneos” (CONSEPA, 2020).

Além disso, apresenta em seu Anexo III, intitulado “TERMO DE REFERÊNCIA – TR PARA A ELABORAÇÃO DO RELATÓRIO DE MONITORAMENTO AMBIENTAL CONSOLIDADO – RMAC” a obrigação da apresentação de amostras para água subterrânea para as substâncias Benzeno, Etilbenzeno, Estireno, Tolueno, Xileno, e pH, bem como a obrigação de informar a ocorrência de acidentes ou vazamentos.

Outros instrumentos como o Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Estado de Rondônia e o Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Rondônia abordam o tema da contaminação de solo e águas subterrâneas de forma bastante genérica, todavia, não se vinculam um procedimento específico para o gerenciamento de áreas contaminadas.

No Estado de Roraima a Instrução Normativa n° 5/2021/FEMARH/PRES/GAB da Fundação Estadual do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos que “dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas no Estado de Roraima com uso de Protocolo com parâmetros básicos” traz em seu artigo terceiro a obrigatoriedade de análise de hidrocarbonetos (BTEX – Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xileno); em áreas onde existam postos de gasolina; em complementação às análises necessárias ao processo de enquadramento.

De outra forma a Lei Estadual nº 416, de 14 de janeiro de 2004 que dispõe sobre a Política Estadual de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos traz em seus artigos 12 e 97 dispositivos que proíbem a disposição de resíduos em áreas sujeitas à contaminação de água subterrânea, especialmente em áreas de recarga; e a necessidade de remediação provocada pela atividade, respectivamente. Essas legislações não especificam um procedimento para o gerenciamento de áreas contaminadas.

Por fim, para o Estado do Tocantins foram encontrados apenas alguns dispositivos que tratam paralelamente do tema nas legislações referentes à regulação da atividade de gerenciamento de resíduos sólidos, quais sejam a Lei nº 3.614, de 18 de dezembro de 2019 e o Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Estado do Tocantins.

A Lei traz em seu artigo 20 como conteúdo mínimo dos Planos Intermunicipais e Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos o programa de monitoramento, identificação dos passivos ambientais relacionados aos resíduos sólidos, incluindo áreas contaminadas, e respectivas medidas saneadoras, entretanto, sem vínculo com os parâmetros ou procedimentos relacionados à Investigação Preliminar ou Confirmatória.

Já o Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Estado do Tocantins, traz em seu apêndice “F” que trata da proposição de medidas a serem aplicadas em áreas degradadas objeto de recuperação em razão da disposição inadequada de resíduos sólidos ou rejeitos, a previsão de estudos prévios ao encerramento de áreas objeto de disposição de resíduos sólidos que abrangem a análise da qualidade das águas superficiais e subterrâneas, bem como procedimentos para avaliação quanto a contaminação do solo, da qualidade hídrica (superficial e subterrânea) no local degradado e em seu entorno imediato.

Prevê ainda que, constatada a contaminação; deve ser realizada a recuperação do mesmo, adicionado solo natural e revegetação com espécies nativas da região, conforme o Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD), elaborado por um profissional habilitado e avaliado pelo órgão ambiental. (TOCANTINS, 2017).

Tais quais os Estados de Rondônia e Roraima não apresenta procedimentos para o GAC.

Região Nordeste

Na Região Nordeste se destacam as legislações do Ceará, Maranhão, Pernambuco e Rio Grande do Norte.

No Estado do Ceará desde 1997 a partir da promulgação da Lei nº 12.703, de 19 de junho de 1997 que acrescentou à Lei nº 12.621, de 26 de agosto de 1996, o artigo sexto, parágrafo sétimo que determinava que “a existência de poços de inspeção ou qualquer outro sistema de detecção de vazamentos, independentemente do Livro de Movimentação de Combustíveis - LMCA quantidade de poços de inspeção deve ser de tal forma dimensionada, que seja possível detectar um vazamento em qualquer tanque ou tubulação do sistema de abastecimento de combustível, num mínimo de 03(três).” (CEARÁ, 1997); o Estado passou a ter legislação que demonstrava preocupação com a contaminação por hidrocarbonetos.

Essa legislação foi seguida do “Plano de Encerramento/Desativação de Tanques e Tubulações - Posto de Revenda de Combustíveis e Derivados de Petróleo” (que exige o laudo da cava do tanque após remoção, para determinação da existência de contaminação) e, recentemente, pela Lei nº 18.010, de 01 de abril de 2022 que determina em seu artigo primeiro, parágrafo terceiro que: “em caso de vazamento nas instalações do Sistema de Armazenamento Subterrâneo de Combustíveis – SASC, o empreendimento deverá promover a devida correção em prazo a ser estabelecido pela Semace, o qual será contado da notificação”.

Esses instrumentos demonstram claramente a preocupação dos entes públicos com a questão da contaminação, entretanto, não se verificou a existência de norma legal que estabeleça o procedimento de gerenciamento de área contaminada ou que determine os parâmetros mínimos para sua realização.

No Estado do Maranhão, foi encontrada uma única legislação que aborda o tema do GAC associada a Postos de Combustíveis, a Portaria da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Naturais-Sema nº 1, de 16 de janeiro de 2018.

Essa Portaria disciplina o Licenciamento Ambiental dos Sistemas de Armazenamento de derivados de Petróleo e outros Combustíveis de competência da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Naturais – SEMA e trás em seu artigo quinto parágrafos segundo e terceiro a figura da identificação de passivo ambiental para empreendimentos que operam sem licença ambiental.

Apresenta em seu Anexo VII que trata do check list para a Licença de Regularização (para os empreendimentos que operam irregularmente sem licença) a necessidade de apresentação da Avaliação Preliminar, Investigação Confirmatória e da Investigação da

Contaminação (Investigação detalhada somada à Avaliação de Risco) todas elas realizadas mediante Termo de Referência a ser emitido pelo órgão ambiental.

Define ainda em seu Anexo VIII, dentro da documentação necessária ao licenciamento a necessidade da apresentação do Estudo Hidrogeológico - EHG com definição do sentido de fluxo das águas subterrâneas, identificação das áreas de recarga, localização de poços de captação destinados ao abastecimento público ou privado registrados ou não nos Órgãos competentes até a data da emissão do documento no raio de 200 m, definição do coeficiente de permeabilidade do nível do lençol freático, do potencial de corrosão do solo, perfil litológico e considerar as possíveis interferências das atividades com corpos d'água superficiais e subterrâneos (SEMA, 2018).

No Estado de Pernambuco, se destacam as Resoluções da Agência Estadual de Meio Ambiente – CPRH, em especial a Instrução Normativa CPRH nº 005 de 25 de setembro de 2006 e a Instrução Normativa CPRH nº 007 de 1º de agosto de 2014 que tratam, respectivamente, do “processo de licenciamento ambiental dos Postos Revendedores de Combustíveis localizados no Estado de Pernambuco, bem como os procedimentos a serem adotados em caso de vazamentos de combustíveis e constatação de passivos ambientais nos postos” e que “estabelece os valores de referência da qualidade do solo (VRQ) do Estado de Pernambuco quanto à presença de substâncias químicas para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias”.

Essas legislações estabelecem o embasamento normativo para o GAC em postos, sendo que a primeira estabelece a Investigação Ambiental Preliminar (IAP) como requisito para a concessão de renovação da Licença de Operação e do de laudo técnico investigativo da existência de passivos ambientais vinculado ao encerramento da atividade. Os procedimentos de realização da IAP são disponibilizados no Anexo II da referida Resolução, enquanto as investigações de passivo vinculadas ao processo de encerramento estão contidas no Anexo III da mesma.

Complementarmente o Estado promulgou outras normas que visam a proteção do solo e águas subterrâneas com destaque para a Resolução do Conselho Estadual de Recursos Hídricos CRH nº 02, de 12 de março de 2020 que “dispõe sobre a obrigatoriedade de realização de análises físico-químicas e microbiológicas em águas de mananciais subterrâneos para fins de outorga e licença ambiental, e dá outras providências”.

Essa resolução estabelece em seu artigo sétimo a necessidade de realização de estudos específicos para o mapeamento de áreas contaminadas, imputando a responsabilidade dos procedimentos aos proprietários de postos ou lavadoras de veículos e também trata em seu anexo único das modalidades de análises físico-químicas aplicadas a poços tubulares sujeito à outorga do controle de hidrocarbonetos, exigindo semestralmente a análise da água para Benzeno, Tolueno, Xileno e Fenol.

Outra resolução importante é a Instrução Normativa CPRH Nº 003/2022 que “disciplina o processo de licenciamento ambiental e a operação das indústrias de beneficiamento têxtil localizadas no Estado de Pernambuco, assim como os procedimentos a serem adotados em caso de encerramento das atividades e de constatação de passivos ambientais.” Essa Resolução determina que, para o encerramento de atividades abrangidas pela resolução; no caso de existência de passivo ambiental (vestígios de vazamentos de efluentes brutos, de depósitos de resíduos sólidos no solo, de vazamentos de produtos químicos, dentre outros); o empreendedor deverá promover a completa reparação do dano ambiental, providenciando em seguida o correto armazenamento dos resíduos, conforme suas respectivas classes, e a adequada destinação final (CPRH, 2022).

Assim verifica-se que o Estado de Pernambuco possui legislação específica para o GAC de Postos.

Para o Estado do Rio Grande do Norte a Resolução do Conselho Estadual do Meio Ambiente - CONEMA nº 06, de 14 de dezembro de 2011 que dispõe sobre a instalação e operação de postos (revendedores e de abastecimento), sistemas retalhistas de combustíveis, postos flutuantes e demais instalações que utilizam sistemas de armazenamento de combustíveis e/ou que efetuem troca de óleo e/ou lavagem de veículos, também foi a única legislação de referência encontrada.

Essa resolução estabelece em seu artigo terceiro parágrafo único a investigação de passivo ambiental e a investigação detalhada da qualidade do solo e água subterrânea e avaliação de risco; como requisito para o licenciamento da atividade de postos em terrenos que já tenham abrigado atividades similares no passado. Estabelece ainda que o rito é orientado pelos Anexos II, III e IV da referida resolução.

O Anexo II trás, em suas diretrizes gerais, a informação de que o Termo de Referência foi desenvolvido com base nos “Procedimentos para Identificação de Passivos Ambientais em Estabelecimentos com Sistemas de Armazenamento Subterrâneo de Combustíveis (SASC),

adotados pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB, aprovados em 26.01.2006.”.

Esse anexo além de apresentar todo o conteúdo a ser abrangido pelo Estudo a ser apresentado, ainda conta com outros três sub anexos que detalham o número mínimo de amostras a serem realizadas, o procedimento para avaliação de gases no solo e os procedimentos para amostragem de água subterrânea.

O Anexo III, por sua vez, baseia-se na DD nº 263/2009/P, de 20 de outubro de 2009, da CETESB. E também possui três sub anexos que trazem informações sobre mecanismos utilizados pela CETESB na Avaliação de Risco e que devem ser aplicados aos estudos executados no Estado.

Por fim, o Anexo 4 que trata do Plano de Intervenção para Tratamento de Passivos Ambientais em Postos e Sistemas Retalhistas de Combustíveis, também é referenciado na DD nº 263/2009/P da CETESB, bem como na Norma Operacional 06 (NOPINEA-06) do Rio de Janeiro.

Outros estados da Região Nordeste, como Alagoas, Paraíba e Sergipe, tiveram como resposta à busca realizada, somente a existência de legislações estaduais que estabelecem os valores de referência de qualidade ou normas que abordem o tema de forma geral, mas nenhuma norma que abordasse os procedimentos para o gerenciamento de áreas contaminadas.

O Estado de Alagoas, apesar de não possuir legislação afeta ao GAC possui em seu arcabouço legal a Lei nº 7.094, de 02 de setembro de 2009, que dispõe sobre a conservação e proteção das águas subterrâneas de domínio no Estado de Alagoas e dá outras providências e o Decreto nº 20.029, de 17 de maio de 2012 que regulamenta a referida lei. Essas legislações versam especificamente sobre proteção sanitária de poços de captação a fim de evitar a contaminação.

De outra forma, a Lei nº 7.749 DE 13 de outubro de 2015 que dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos e Inclusão Produtiva, e dá outras providências, estabelece como objetivo, em seu artigo sexto item quatorze a descontaminação de áreas contaminadas, incluindo as áreas órfãs resultantes da disposição irregular de resíduos sólidos.

No Estado de Sergipe, apesar da Lei Ordinária nº 8.497, de 28 de dezembro de 2018 que “dispõe sobre o Procedimento de Licenciamento Ambiental no Estado de Sergipe e dá outras providências”, contemplar e classificar a atividade de recuperação de áreas contaminadas ou degradadas, não foram encontradas outras leis ou normas que versem sobre o procedimento de GAC à exceção da Resolução n.º 01/2019 do Conselho Estadual do Meio Ambiente que “dispõe sobre os critérios e valores de referência da qualidade do solo (VRQ) do Estado de Sergipe quanto à presença de substâncias químicas para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas.”.

O Estado do Piauí, apesar de ter sua política estadual de meio ambiente desde a aprovação da Lei nº 4.854, de 10 de julho de 1996 que determina em seu artigo sexto item oitavo o dever de “estabelecer normas, padrões de qualidade ambiental para aferição e monitoramento dos níveis de poluição e contaminação do solo, atmosférica, hídrica e acústica, dentre outros”.

A mesma institui em seu artigo nono item quinze como instrumento da Política Estadual de Mudanças Climática e Combate à Pobreza – PEMCP a recuperação de passivos ambientais, tais como, recuperação de áreas degradadas, mineradas ou contaminadas, como: depósitos antigos, depósitos de resíduos sólidos ou aterros abandonados, áreas de empréstimo, bota-fora, derramamento de líquidos, óleos e graxas, percolação de substâncias nocivas, lençol freático contaminado, presença de amianto ou de transformadores com ascarel, áreas alteradas sujeitas a erosões e voçorocas, terras salinizadas, áreas de Reserva Legal e Áreas de Preservação Permanente degradadas ou utilizadas para outros fins.

O Estado conta ainda com o Decreto Nº 17.557, de 21 de dezembro de 2017 que institui a Licença Ambiental por Declaração

e estabelece critérios para agilizar e simplificar os procedimentos de licenciamento ambiental das atividades e empreendimentos que implementem planos e programas voluntários de gestão ambiental no âmbito do Programa Ativo Verde. Este Decreto estabelece em seu artigo nono item três subitem “d” que é vedada a emissão de Licença Ambiental por Declaração - LAD para empreendimentos em áreas contaminadas com produtos que apresentem riscos à saúde humana.

Por fim, a Instrução Normativa da Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos - SEMAR nº 07, de 04 de março de 2021 que estabelece os procedimentos, informações e documentos necessários à instrução de processos de licenciamento ambiental, além de outros atos e instrumentos emitidos pela SEMAR e dá outras providências, determina em seu artigo cinquenta e dois parágrafo terceiro quanto à Licença de Operação de Regularização (LO-R) que os estudos ambientais requeridos para instrução do pedido de LO-R deverão ser focados na avaliação dos impactos ambientais inerentes à atividade já instalada, na identificação de passivos ambientais, bem como na proposição de medidas de remediação e/ou compensação. Apesar disso, não foi localizada nenhuma norma que abordasse o gerenciamento de áreas contaminadas.

No que se refere à legislação do Estado da Bahia, cabe ressaltar o teor da Instrução Normativa INEMA nº 2, de 18 de junho de 2021. Essa Instrução dispõe sobre a desativação total ou parcial de empreendimentos potencialmente poluidores, encerramento de atividades potencialmente poluidoras, reabilitação de área e dá outras providências e tem sua fundamentação legal nas disposições da Lei Estadual nº 10.431, de 20 de dezembro de 2006 que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e no Decreto Estadual nº 14.024, 05 de junho de 2012 que a regulamenta.

Ao longo de seus trinta e quatro artigos, a Instrução Normativa determina todos os procedimentos necessários à desativação de empreendimentos, especialmente em seus capítulos V a VIII que versam sobre os procedimentos inerentes ao gerenciamento de áreas contaminadas. Em seu Anexo I apresenta as legislação e normas de referência, dentre as quais se destacam as Normas ABNT e a Norma ASTM E 1739 - American Standard Testing Methods - RBCA Risk Based Corrective Actions. Por fim, apresenta em seu Anexo II o fluxograma para o encerramento de atividades, com foco nas etapas do GAC.

Região Centro-Oeste (exceto DF)

No Estado de Goiás, a regulamentação do processo de GAC é fundamentada na Resolução do Conselho Estadual de Meio Ambiente - CEMAm nº 29 de 10 de dezembro de 2018 que dispõe sobre os critérios e procedimentos relativos ao licenciamento ambiental de Ponto de Abastecimento, Posto Revendedor e Instalação de Sistema Retalhista de Combustíveis no Estado de Goiás. Essa Resolução trás em seu capítulo cinco as diretrizes para o gerenciamento de áreas contaminadas.

Esse capítulo define todo o procedimento a ser seguido no gerenciamento. Especialmente os artigos 30 e 31 se referem a uma série de Normas da ABNT que são definidas como as balizadoras do processo. Entre as quais se destacam a Norma ABNT NBR 16210, ABNT NBR 15.515 (partes 1 a 3), ABNT NBR 15847 e ABNT NBR 16.435.

Além disso, o Estado promulgou recentemente a Lei Estadual nº 21.231, de 10 de janeiro de 2022 que dispõe sobre a regularização de passivos ambientais de imóveis rurais e urbanos, bem como a compensação florestal e a compensação por danos para regularizar a supressão da vegetação nativa realizada sem a prévia autorização do órgão ambiental competente, também a definição dos parâmetros da compensação florestal no Estado de Goiás.

Essa Lei estabelece a Declaração Ambiental do Imóvel – DAI para regularização ambiental de passivos ambientais em propriedades rurais e urbanas. Determina em seu artigo quarto item cinco que o formulário da DAI objetiva identificar passivos diversos existentes na poligonal da atividade ou do empreendimento referentes a resíduos, efluentes, áreas contaminadas, entre outros. Essa legislação estabelece uma série de procedimentos que permite a pessoas físicas e jurídicas promoverem adequações em seus empreendimentos referentes à existência de passivos ambientais, independente de estarem sujeitas ao processo de licenciamento ambiental.

Para o Estado do Mato Grosso foi encontrada somente a Instrução Normativa nº 01, de 14 de dezembro de 2004 que dispõe sobre os procedimentos para o Licenciamento Ambiental de Postos Revendedores, Postos de Abastecimentos, Instalações de Sistemas Retalhistas, Postos Flutuantes, Bases de Combustíveis e Gás Natural Veicular (GNV).

Essa Instrução traz em seus Anexos I e II os procedimentos para a elaboração dos estudos hidrogeológicos, geológicos e pedológicos e de investigação de passivos ambientais, respectivamente.

O Anexo II é dividido em duas partes, sendo a primeira referente à Investigação Ambiental Preliminar e a segunda à Investigação Ambiental e Análise de Risco. A execução desta segunda etapa orientava quanto à utilização da metodologia RBCA (Risk based corrective action) desenvolvida pela ASTM (American Society for Testing and Materials) ou similar nacional. Requer também o uso dos valores de referência da CETESB.

O Estado do Mato Grosso foi o único para o qual foi encontrado projeto de lei que previa a regulamentação do gerenciamento de áreas contaminadas. Entretanto o Projeto de Lei nº 1050/2019 foi arquivado pela Assembleia Legislativa do Estado. Esse projeto disporia sobre “procedimentos para a proteção da qualidade do solo e Gerenciamento de Áreas Contaminadas, e dá outras providências correlatas.”.

Para o Estado do Mato Grosso do Sul não foi encontrada legislação específica para postos de combustíveis. A Resolução Semac nº 10, de 06 de maio de 2014 que “disciplina o procedimento de licenciamento integrado de atividades e empreendimentos que compõem o sistema municipal de gestão e gerenciamento de resíduos sólidos urbanos e dá outras providências”, estabelece como conteúdo do Plano de Encerramento, a exigência de realização de análises Laboratoriais das águas subterrâneas e superficiais, com Elaboração do Estudo de Áreas Contaminadas por resíduos sólidos, de acordo com as Normas Técnicas, com a indicação e justificativa da adoção ou não do mesmo.

De outra forma a Resolução da Secretaria de Estado de Meio Ambiente, Desenvolvimento Econômico, Produção e Agricultura Familiar - SEMAGRO nº 679/2019, que “altera, revoga e acrescenta dispositivos da Resolução SEMADE nº 9, de 13 de maio de 2015 que estabelece normas e procedimentos para o licenciamento ambiental estadual, e dá outras providências”, estabelece para a atividade de cemitério que apresentam substâncias de origem antrópica em concentrações acima dos valores de investigação deverão ser regularizados por meio do Plano de Recuperação de Áreas Contaminadas - PRAC, que contemple a efetivação do encerramento das atividades, a delimitação da extensão da área contaminada, o programa de monitoramento, as medidas de controle e adequação do local.

Determina, também, para recuperação de área degradada por disposição inadequada de resíduos sólidos; encerramento de atividade de aterro sanitário; ou por contaminação do solo e/ou água subterrânea (situações de passivo ambiental em decorrência de produtos ou resíduos perigosos contaminantes de solo e água) a elaboração de PRAC-MS conforme termo de referência fornecido pelo IMASUL PE / PAM / (atender a NBR 15.515 e Resolução CONAMA 420/2009) (SEMAGRO, 2019).

Para Postos de Combustíveis o Estado do Mato Grosso do Sul disponibiliza no site do Instituto do Meio Ambiente do Mato Grosso do Sul – IMASUL, Termos de Referência – TR que orientam o gerenciamento de áreas contaminadas. São disponibilizados dois TR sendo o primeiro deles o “Procedimento para Identificação de Passivos Ambientais em

estabelecimentos com Sistema de Armazenamento Subterrâneo de Combustível – SASC” que trata especificamente do processo de investigação de passivos ambientais, trazendo orientações quanto a procedimentos de amostragem, número de sondagens e amostras e etc. É baseado parcialmente em Normas da ABNT.

O segundo TR, denominado “Procedimento para Ampliação de Postos de Combustíveis em Operação de Estabelecimentos com Sistema de Armazenamento Subterrâneo de Combustível – SASC - Relatório Ambiental” aborda o GAC no âmbito do processo de licenciamento para ampliação e estabelece em seu item 3 subitem “m” os procedimentos de investigação de passivos no âmbito do processo de troca de tanques. Adota para tanto as disposições das três partes da Norma ABNT 15.515, além de estipular outras obrigações como o número mínimo de sondagens e sua localização em relação à cava do tanque.

A análise da legislação do Distrito Federal consta do texto principal da pesquisa.

Análise da Resolução SEDEST 003/2020 - IAT/PR

A referida Resolução dispõe sobre o Licenciamento Ambiental, estabelece condições e critérios para Posto Revendedor, Posto de Abastecimento, Instalação de Sistema Retalhista de Combustível – TRR, Posto Flutuante, Base de Distribuição de Combustíveis e dá outras providências.

Percebe-se inicialmente que o processo de gerenciamento de áreas degradadas está intimamente ligado ao processo de regularização ambiental do empreendimento. Essa interação é demonstrada já no artigo 7º que trata da documentação para a concessão de Licença Prévia, onde se exige o “Estudo Hidrogeológico” (Art. 7º, XII) a ser elaborado de acordo com o “Anexo V”.

Este Anexo constitui-se em um roteiro para a elaboração do Estudo. O Objetivo retratado neste é que *“Ênfase deve ser dada à caracterização da fragilidade do meio físico (solo, subsolo e zona saturada), diante da possibilidade de vazamentos de combustíveis líquidos.”*

Apresenta como referencial Normativo as seguintes Normas e Trabalhos:

- ABNT NBR 15.495-1 – Poços de Monitoramento de Águas Subterrâneas em Aquíferos Granulares – Parte 1: Projeto e Construção;

- ABNT NBR 15.495-2 – Poços de Monitoramento de Águas Subterrâneas em Aquíferos Granulares – Parte 2: Desenvolvimento;
- ABNT NBR 15.847 – Amostragem de Água Subterrânea em Poços de Monitoramento – Métodos de Purga; e
- NISHIYAMA, L., ZUQUETTE, L. V. Underground water: procedures for survey and valuation of data, and elaboration of the phreatic water table depth. Geociências (São Paulo), v.16, n.2, p. 581 - 607, 1997.

De forma geral este Roteiro busca orientar o processo de construção do modelo geológico e hidrogeológico (características físicas geológicas e hidrogeológicas), bem como as características hidrodinâmicas da área na qual se pretende instalar ou que já funciona como atividade de Posto Revendedor e outras voltadas ao armazenamento, utilização e comércio de combustíveis.

Já prevê a construção de uma série de informações importantes para o processo de diagnóstico de áreas contaminadas como a elaboração de perfis litológicos, mapas potenciométricos e definição de unidades hidroestratigráficas.

Por fim, estabelece o conteúdo mínimo do Estudo, elencando a apresentação dos seguintes conteúdos:

- Relatório técnico, estruturado conforme roteiro de execução proposto pelo órgão ambiental.
- Imagens fotográficas deverão ser utilizadas para ilustrar o relatório (execução de sondagens, aspectos da área, etc.).
- Mapa de localização da área em escala adequada ($\geq 1:500$).
- Mapa potenciométrico envolvendo a área de interesse em escala adequada ($\geq 1:500$).

Em continuidade ao processo de licenciamento, a Resolução solicita em seu artigo 8º, IX referente ao requerimento de Licença de Instalação e no artigo 11, Parágrafo Único (relativo ao requerimento de renovação de Licença de Operação) a apresentação do o Estudo de Identificação de Passivos Ambientais, conforme roteiro previsto no ANEXO VI , para empreendimentos em operação (após ano 2000), e para empreendimentos que não tenham apresentado o Relatório de Monitoramento e Operação durante a vigência de Licença de Operação.

O mesmo procedimento se aplica para empreendimentos que necessitem promover a regularização ambiental por estarem operando sem a respectiva licença ambiental, casos para os quais deverá ser requerida a Licença de Operação de Regularização (LOR), conforme artigo 12, VII.

O referido Anexo estipula diretrizes mínimas para elaboração de estudos de identificação de passivos ambientais para as etapas de avaliação preliminar e investigação confirmatória em empreendimentos armazenadores de combustíveis líquidos, com o objetivo de *“investigar a presença de compostos de hidrocarbonetos constituintes de combustíveis líquidos em solo e em água subterrânea”*.

Já em seu início, o roteiro apresenta uma série de definições atualizadas sobre o assunto para promover a homogeneização conceitual, trazendo, em especial, as diferenciações sobre as terminologias voltadas à análises de Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (do inglês Total Petroleum Hydrocarbons) - TPH.

Posteriormente, o Anexo traz um item referente às condições disciplinares, das quais se destaca a efetiva necessidade do cumprimento dos tópicos balizadores e das providências adotadas junto ao conselho profissional para os casos de omissão e não cumprimento das diretrizes mínimas estabelecidas.

Já nas atividades referentes à etapa de avaliação preliminares observa-se a imposição de ações. No item inerente ao levantamento do histórico de uso e ocupação, impõe à consulta aos órgãos e instituições públicas, bem como a avaliação do processo existente junto ao órgão ambiental. Também determina a distância mínima (raio de quinhentos metros da área) para o levantamento de informações sobre poços de abastecimento cadastrados junto aos órgãos responsáveis.

No que é relativo à caracterização do empreendimento o roteiro solicita que a apresentação obrigatória da Ficha de Vistoria de Infraestrutura que deve ser elaborada conforme o modelo constante no item 4.3 do Anexo VIII da Resolução que trata das *“Diretrizes Mínimas para Elaboração do Relatório de Monitoramento e Operação”*.

Com relação à caracterização do meio físico, remete à obrigatoriedade de execução da caracterização hidrogeológica conforme o já citado Anexo V e a apresentação dos perfis de sondagem e de uma “seção tipo” da área de interesse. A definição de seção tipo não foi abordada nas definições do roteiro.

O Roteiro também demanda construção de um modelo conceitual inicial (MCI), apresentando modelo de planilha como exemplo a ser seguido na construção do mesmo. Nesta etapa elenca várias fontes primárias que devem ser abordadas nas áreas fontes. Por fim define a necessidade de categorização das áreas fontes entre Áreas Potenciais de Contaminação e Áreas Suspeitas de Contaminação com base nos indícios e informações levantadas na etapa de avaliação preliminar.

Passando à etapa de Investigação Confirmatória, o roteiro estabelece o procedimento para realização de análise de compostos orgânicos voláteis, trazendo orientações como a malha amostral regular inicial (de 5x5 metros) para a área de instalações do empreendimento, com possibilidade de adensamento, e com malha amostral regular de 10 metros para as demais áreas (estacionamento e pátio) para empreendimento com até 10.000m² e de 20 metros para empreendimentos com área superior.

Por fim, para esta etapa, estabelece critérios de qualidade a serem apreciados durante a operação de amostragem, incluindo situações impeditivas à medição e situações que devem ser obrigatoriamente seguidas como profundidades de amostragem e de tamponamento do furo após a amostragem.

Para a etapa de definição do número de sondagens o roteiro aborda várias questões importantes sobre a localização das sondagens, vinculadas ou não ao resultado da amostragem de compostos orgânicos voláteis.

Dentre as orientações mais importantes encontram-se às inerentes à profundidade de coleta de amostras em caso de ausência de voláteis; a proibição de justificativa técnica vinculada a método de sondagem não compatível com o objetivo da sondagem (impenetrabilidade pelo uso de equipamento inadequado); profundidade de avanço da sondagem na região saturada do solo (2 metros abaixo do nível do aquífero); quantidade de sondagens mínimas para definição da extensão do topo rochoso (pelo menos 3 sondagens) com justificativa técnica vinculada também à informações geológicas; entre outros.

Com relação à amostragem a Resolução se atrela à Normas ABNT NBR 16.434 e 16.435, elencando condições adicionais para realização desta etapa, quais sejam:

- Não utilizar fluido de perfuração, bem como emprego de graxas ou outro material.

- Realizar a limpeza de todos os equipamentos utilizados antes do início de cada perfuração, sendo obrigatória a utilização de detergente neutro e não fosfatado, água corrente e enxague final com água destilada e deionizada.
- Apresentar documentação fotográfica de todo o processo de amostragem.
- Elaborar o perfil descritivo do material identificado para cada sondagem de solo executada.
- Apresentar a descrição dos equipamentos para execução das sondagens e amostragem de solo.
- Identificar cada frasco com os dados correspondentes ao ponto amostrado.
- Georreferenciar todos os pontos de amostragem, informando as coordenadas UTM, cota e o Datum utilizado.
- Apresentar cadeia de custódia e ficha de recebimento de amostras pelo laboratório.

A Resolução incorpora a necessidade de elaboração do Plano de Amostragem e determina as Substâncias Químicas de Interesse cuja análise é obrigatória: BTEX (benzeno, tolueno, xilenos e etilbenzeno), HPAs (hidrocarbonetos poliaromáticos) e TPHs (hidrocarbonetos totais de petróleo).

Determina que os Laudos devem estar de acordo com o definido pela Norma ABNT NBR ISO/IEC 17.025, e que os Laboratórios possuam certificação na mesma Norma, bem como apresentem Certificado de Cadastramento de Laboratório – CCL conferido pelo Instituto Água e Terra - IAT.

Para a instalação dos poços de monitoramento a Resolução se vincula integralmente à regras determinadas pelas Norma ABNT/NBR 15.495 partes 1 e 2. Determina também que os poços podem ser instalados nos furos utilizados para coleta de solo e que a profundidade dos poços deva ser de, pelo menos, 02 (dois) metros abaixo do nível d'água.

Estipula que os poços devem ser denominados Poços de Monitoramento - PM e devem ser mantidos, ainda que para simples acompanhamento da integridade da água do aquífero até o final da vigência da licença ambiental, bem como para o processo de monitoramento de áreas com processo de remediação implantado.

Estabelece ainda a obrigatoriedade da manutenção da nomenclatura dos poços em diversas etapas de investigação para facilitar a rastreabilidade. Por fim, faculta ao responsável

técnico a utilização de poços com seção filtrante afogada, caso verifique a potencial migração vertical de contaminantes.

Para a amostragem de água subterrânea a norma se vincula às ABNT NBR 15.847, ABNT NBR 16.435, recomendando a utilização de amostragem por meio do método de purga de baixa-vazão. Determina que outros métodos poderão ser utilizados a critério do responsável técnico mediante justificativa técnica.

Estabelece também que a coleta de amostras deverá ser realizada por profissional certificado junto ao INMETRO - ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017, independente do método de amostragem utilizado.

A Resolução também fornece a taxa de variação para determinação da estabilidade hidrogeoquímica para os parâmetros físico-químicos monitorados durante a purga de baixa-vazão.

Estabelece a obrigatoriedade de apresentação de cadeia de custódia das amostras, elaborada com base no Anexo X da Resolução que trata do modelo de cadeia de custódia.

Esse Anexo possui um pequeno erro de referência para a produção das amostras de controle, uma vez que referencia essa etapa à ABNT NBR 16453 (que não guarda correlação com o tema).

O roteiro determina a necessidade de elaboração do Modelo Conceitual Confirmatório (MCC) a partir da atualização do MCI.

O procedimento determina a elaboração de um único Relatório que aborde as duas etapas de identificação denominado “Relatório de Avaliação Preliminar e de Investigação Confirmatória”.

Parametriza a confecção do Relatório com a utilização de dois capítulos, contendo todos os itens referentes a cada uma das etapas.

Estabelece a necessidade de apresentação da Declaração de Responsabilidade confeccionada de acordo com o Anexo IX da Resolução, bem como estabelece prazos (em dias corridos) e ritos para a comunicação de fase livre (modelo conforme Anexo XIII) e para a realização das etapas de detalhamento da fase livre e elaboração do projeto

executivo e cronograma de execução e da implementação do sistema de extração de produto em fase livre.

O Roteiro apresenta uma tabela com valores de investigação de substâncias químicas de interesse específicas, com valores referenciados na CETESB, Canadian Soil Quality Guidelines for the Protection Of Environmental And Human Health – Summary Tables, Update 2002, Lista Holandesa de valores de qualidade do solo e de água subterrânea – valores de intervenção e Resolução CONAMA nº 420 de 28 de dezembro de 2009.

Estabelece ainda o critério para classificação da seguinte forma: *“será considerada contaminada a área na qual, pelo menos um dos compostos analisados apresente teor superior ao valor de investigação estabelecido”*.

Por fim, estabelece referencial bibliográfico dos quais constam, prioritariamente, as Normas ABNT NBR citadas, além da legislação estadual específica para a regularização de atividade que envolve o armazenamento de combustíveis.

Os objetivos do procedimento de investigação de passivos ambientais também se aplicam no processo de desativação de Sistemas de Armazenamento de Combustíveis, sejam eles aéreos ou subterrâneos. A resolução 003/2020 traz em seu artigo 13, VI, f) a necessidade de apresentação do Estudo do Fundo de Cava a ser realizado de acordo com o Anexo III (que por sua vez exige a execução da amostragem de gases conforme Anexo IV).

O Anexo III se atém aos procedimentos para a remoção dos componentes do Sistema de Armazenamento de Combustíveis, trazendo a orientações sobre número de pontos a serem amostrados para medição de gases, as distâncias, profundidades das coletas de amostras de solo e procedimentos de sondagem e de coleta de amostras para medição de gases; bem como os números de amostras para análises químicas.

Além disso, apresenta o fluxo de procedimentos em decorrência a verificação de produto no interior da cava, assim descritos: *“A constatação da presença de produto (combustível ou óleo lubrificante) no solo ou sobrenadante em água, eventualmente presente no interior da cava, deve ser registrada e indicada no relatório, sendo esta situação suficiente para que a área seja declarada contaminada. Nessa situação, não é necessário coletar amostra de solo para análise química, devendo ser iniciada a recuperação do produto e, paralelamente, realizada a investigação detalhada da área”*.

O Procedimento de Medição de Gases está descrito no Anexo IV e detalha o passo a passo para a realização das medições.

A Resolução apresenta também um Capítulo específico ao gerenciamento de áreas contaminadas; formado pelos Artigos 40 a 45.

O Artigo 40 estabelece a obrigatoriedade de continuidade do processo de gerenciamento independente da manifestação do órgão ambiental.

O Artigo 41 trata dos casos em que é obrigatória a apresentação do Estudo de Investigação de Passivo Ambiental, além dos casos já previstos anteriormente, quais sejam:

I - acidentes com derramamento de produtos líquidos de combustíveis;

II - implantação de novos empreendimentos em local onde antes era desenvolvida atividade potencialmente poluidora;

III - em situações onde o monitoramento eletrônico instalado estiver desativado/inoperante no momento da vistoria técnica realizada pelo corpo técnico do órgão ambiental; e

IV - em situações onde o monitoramento eletrônico instalado detectar a ocorrência de vazamentos durante o respectivo monitoramento.

O artigo 42 estabelece os casos para os quais deverão ser apresentados o Estudo de Investigação Detalhada e Avaliação de Risco à Saúde Humana, cujos procedimentos estão elencados no Anexo VII da Resolução, quais sejam:

I - Concentrações das Substâncias Químicas de Interesse superiores aos Valores de Intervenção (VI) nas amostras de água subterrânea e/ou solo, sejam identificadas no Relatório de Monitoramento e Operação do empreendimento;

II - Concentrações das Substâncias Químicas de Interesse superiores aos Valores de Intervenção (VI) nas amostras de água subterrânea e/ou solo, sejam identificadas no Estudo de Investigação de Passivos Ambientais;

III - Concentrações das Substâncias Químicas de Interesse superiores aos Valores de Intervenção (VI) nas amostras de água subterrânea e/ou solo, sejam identificadas nos estudos de troca de tanque;

IV - em caso de presença de substâncias químicas em fase livre, deverá ser feito Estudo de Investigação Detalhada, para delimitação da mesma, paralelamente às medidas de intervenção adotadas para remoção.

Apresenta também, em seu parágrafo único, a necessidade de revisão e complementação de Estudo nos casos de mudança no cenário de exposição.

O Artigo 43 retoma os procedimentos de atuação nos casos de ocorrência de fase livre, trazendo prazos de início e fim do procedimento de remoção.

O Artigo 44 estabelece as condições para a averbação na matrícula do imóvel da caracterização da área como contaminada.

O artigo 45 trata das condições para a determinação da reabilitação da área para o uso declarado.

Por fim, a Resolução apresenta no artigo 51 das disposições finais a periodicidade (12 anos da data do último estudo) da apresentação do Estudo de Investigação de Passivo Ambiental quando não aplicadas as disposições dos artigos 42 e 43.

Quando abordamos então o Anexo VII que trata de Investigação detalhada e da Avaliação de Risco à Saúde Humana Temos:

O Anexo VII denominado “INVESTIGAÇÃO DETALHADA E AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE HUMANA (DIAGNÓSTICO)” apresenta como objetivos desta etapa:

- Caracterizar espacialmente a contaminação confirmada na etapa de investigação confirmatória.
- Definir a geometria e os limites das plumas de contaminantes, horizontal e verticalmente.
- Caracterizar os *hot spots* de contaminação nos diferentes compartimentos do meio físico.
- Determinar as concentrações das substâncias químicas de interesse (SQI's).
- Caracterizar, em detalhe, as áreas fontes de contaminação, os tipos litológicos que ocorrem em subsuperfície e a hidrogeologia local.

Ao abordar os “âmbitos de aplicação” desta etapa o anexo determina que a área seja caracterizada como “Área Contaminada sob Investigação (ACI) conforme classificação da

Resolução CONAMA 420/2009” e estipula um prazo de 120 dias corridos, para conclusão e apresentação do respectivo Relatório.

O Roteiro também determina que o empreendedor faça a designação de técnicos responsáveis por:

- Compilação e avaliação de dados existentes.
- Desenvolvimento da investigação detalhada.
- Desenvolvimento da avaliação de risco à saúde humana.
- Desenvolvimento do plano de intervenção.

Para cada uma destas etapas a Resolução estipula um objetivo, como por exemplo, a etapa de Compilação e Avaliação de Dados Existentes, cuja atuação tem como escopo promover a revisão das informações obtidas até a etapa de Investigação Confirmatória e avaliar a necessidade de revisão ou complementação do MCI e/ou MCC. Também é necessária a apresentação de texto explicativo e plantas (em escala pré-determinada) cujo conteúdo é elencado no próprio roteiro.

Partindo para a etapa de execução da Investigação Detalhada o Roteiro, tal qual na etapa de Avaliação Preliminar e Investigação Confirmatória, também estabelece uma itemização que deve ser seguida, por apresentar a sequência lógica a ser a seguida na confecção do respectivo Relatório.

Nesse âmbito, quanto à etapa de caracterização do meio físico, o roteiro faz a referência à Norma ABNT NBR 15.492 (em estágio de revisão) cuja versão válida é a de 2007. Essa Norma por sua vez faz referência às Normas 6484:2001 e 15.495-1:2007. A este respeito, o Roteiro poderia ter referenciado outras Normas vigentes à época, tais quais:

- ABNT NBR 9604:2016: Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas – Procedimento;
- ABNT NBR 7181:2016 – Versão Corrigida 2: 2018: Solo – Análise granulométrica;
- ABNT NBR 9820:1997: Coleta de amostras indeformadas de solos de baixa consistência em furos de sondagem – Procedimento; e
- ABNT NBR 15935:2011: Investigações ambientais - Aplicação de métodos geofísicos.

O Roteiro também determina que *“A descrição do solo, sedimento, rocha e/ou aterro deverá ser realizada de acordo com as recomendações do Manual de Descrição e Coleta de Solos no Campo, da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, e outros documentos aplicáveis à descrição de rochas.”*

Esta etapa prevê a apresentação dos seguintes produtos:

- Mapa em escala apropriada ($\geq 1:500$) com locação e identificação das sondagens e dos pontos de coleta de amostras de solo;
- Perfis das sondagens realizadas e duas seções geológicas para representar o entendimento da geologia do local. Deve ser destacada a descrição do material identificado, sua cor, textura e granulometria;
- Tabela com a identificação das amostras, coordenadas geográficas UTM/Datum, elevação, perfil de sondagem, profundidade da coleta de amostra, data e hora de amostragem, número da cadeia de custódia, entre outros.
- Texto explicativo com resumo da geologia local e relação com o contexto geológico regional.

No próximo item, que trata da Consolidação do Modelo Conceitual da Área, o roteiro se presta a orientar a construção e instalação de poços com seção filtrante afogada e poços multinível, bem como estabelece informações que devem ser construídas a partir das instalações desses poços, como a velocidade média de escoamento da água subterrânea e gradiente hidráulico.

Sob o aspecto da orientação para construção dos poços o roteiro é bastante ousado, uma vez que a heterogeneidade da hidrogeologia pode não ser condizente com os aspectos construtivos determinados, principalmente com relação à distância e posição das seções filtrantes.

Todavia é muito assertivo ao determinar sondagens encamisadas na construção dos conjuntos de poços multinível evitando eventual migração de contaminantes e agravamento da contaminação.

Em sequência, ao estipular os procedimentos para mapeamento da contaminação, o roteiro é impositivo quanto à obrigatoriedade de delimitação das fases retida, dissolvida e livre, tanto horizontalmente quanto verticalmente. Ainda determina a obrigatoriedade de análise de solo e água para as substâncias BTEX, HPA e TPH.

O Roteiro determina que a delimitação da pluma de fase livre seja feita por meio da instalação de poços de seção filtrante plena. O Roteiro também determina que na ocorrência de fase livre medidas emergências para remoção da substância em fase livre devem ser adotadas (determinação extraída da ABNT NBR 15.515-3:2013 - item 6.3.3). É necessário aprofundar o entendimento sobre esse aspecto do GAC.

O documento ainda se presta a apresentar metodologia para delimitação horizontal e vertical das plumas de fase retida, dissolvida e livre. entre os pontos mais significativos está a determinação da malha amostral para avanço do detalhamento (5x5 metros ou a depender do MCA), a quantidade mínima de amostras por sondagem e os critérios para definição de profundidade e os limites para delimitação da pluma com base na comparação dos resultados analíticos das amostras de solo e água com os Valores de Investigação (VI). Estipula que o mapeamento de fase livre seja feito por meio de poços de seção plena e através do método de Pastrovich.

Determina também que a delimitação da espessura aparente deva ser realizada por meio de equipamento de medição de interface e conceitua que será considerada “película” a fase livre com espessura até 5 milímetros.

ANEXO 01 – TRANSCRIÇÃO DAS EQUAÇÕES ASTM - Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Release Sites (ASTM, 1995) e Tabela de Avaliação de sensibilidade (ASTM, 1999)

Tabela An1. 1. Equações usadas para o desenvolvimento dos “Nível 1 - Risk-Based Screening level (RBSL) ou Níveis Aceitáveis Baseados no Risco – NABR (Maximiano 2001)” – Efeitos Carcinogênicos.

Meio	Rota de Exposição	Risk-Based Screening Level (RBSL)
Ar	Inalação ^B	$RBSL_{air} \left[\frac{\mu g}{m^3 - ar} \right] = \frac{TR \times BW \times AT_c \times 365 \frac{dias}{anos} \times 10^3 \frac{\mu g}{mg}}{SF_i \times IR_{air} \times EF \times ED}$
Água Subt.	Ingestão (apenas abastecimento de água subterrânea potável) ^B	$RBSL_w \left[\frac{mg}{L - H_2O} \right] = \frac{TR \times BW \times AT_c \times 365 \frac{dias}{anos}}{SF_o \times IR_w \times EF \times ED}$
Água Subt. ^C	Inalação de vapores em ambiente fechado ^D	$RBSL_w \left[\frac{mg}{L - H_2O} \right] = \frac{RBSL_{air} \left[\frac{\mu g}{m^3 - ar} \right]}{VF_{wesp}} \times 10^{-3} \frac{mg}{\mu g}$
Água Subt. ^C	Inalação de vapor em ambiente aberto ^D	$RBSL_w \left[\frac{mg}{L - H_2O} \right] = \frac{RBSL_{air} \left[\frac{\mu g}{m^3 - ar} \right]}{VF_{wamb}} \times 10^{-3} \frac{mg}{\mu g}$

Solo superficial	Ingestão de solo, inalação de vapores e partículas, e contato dérmico ^B	$RBSL_s \left[\frac{\mu g}{kg - solo} \right]$ $= \frac{TR \times BW \times AT_c \times 365 \frac{dias}{anos}}{EF \times ED \left[\left(SF_o \times 10^{-6} \frac{kg}{mg} \times (IR_{soil} \times RAF_o + SA \times M \times RAF_d) \right) + (SF_i \times IR_{air} \times (VF_{ss} + VF_p)) \right]}$ <p>para solos superficiais e escavados (0 até 1 m)</p>
Solo subsuperficial ^C	Inalação de vapor em ambiente aberto ^D	$RBSL_s \left[\frac{mg}{kg - solo} \right] = \frac{RBSL_{air} \left[\frac{\mu g}{m^3 - ar} \right]}{VF_{samb}} \times 10^{-3} \frac{mg}{\mu g}$
Solo subsuperficial ^C	Inalação de vapores em ambiente fechado ^D	$RBSL_s \left[\frac{mg}{kg - solo} \right] = \frac{RBSL_{air} \left[\frac{\mu g}{m^3 - ar} \right]}{VF_{sefp}} \times 10^{-3} \frac{mg}{\mu g}$
Solo subsuperficial ^C	lixiviação para a água subterrânea ^D	$RBSL_s \left[\frac{mg}{kg - solo} \right] = \frac{RBSL_w \left[\frac{\mu g}{m^3 - H_2O} \right]}{LF_{sw}}$

^A Observe que todos os valores RBSL devem ser comparados com limites de partição termodinâmica, como níveis de solubilidade, concentrações máximas de vapor e assim por diante. Se um RBSL exceder o limite de partição relevante, isto é uma indicação de que o nível de risco ou perigo selecionado foi alcançado ou excedido para esse produto químico e para o cenário de exposição selecionado.

^B Os níveis de triagem para esses meios com base em outras considerações (por exemplo, estética, níveis de fundo, proteção de recursos ambientais e assim por diante) podem ser derivados com essas equações, substituindo o nível alvo selecionado por RBSL_{air} ou RBSL_w que aparecem nessas equações.

^C Essas equações são baseadas na Ref (26) – Ref (26) Wallace, L. A., *Journal of Occupational Medicine*, Vol 28, No. 5, 1986.

^D Estas equações simplesmente definem os "fatores de particionamento entre meios", VF_{ij} e LF_{sw}.

Tabela An1. 2. Equações usadas para o desenvolvimento do “Nível 1 - Risk-Based Screening Level (RBSL)” ou Níveis Aceitáveis Baseados no Risco – NABR (Maximiano 2001) – Efeitos Não-carcinogênicos.

Meio	Rota de Exposição	Risk-Based Screening Level (RBSL)
Ar	Inalação ^B	$RBSL_{air} \left[\frac{\mu g}{m^3 - ar} \right] = \frac{THQ \times RfD_i \times BW \times AT_n \times 365 \frac{dias}{anos} \times 10^3 \frac{\mu g}{mg}}{IR_{air} \times EF \times ED}$
Água Subt.	Ingestão (apenas abastecimento de água subterrânea potável) ^B	$RBSL_w \left[\frac{mg}{L - H_2O} \right] = \frac{THQ \times RfD_o \times BW \times AT_n \times 365 \frac{dias}{anos}}{IR_w \times EF \times ED}$
Água Subt. ^C	Inalação de vapores em ambiente fechado ^D	$RBSL_w \left[\frac{mg}{L - H_2O} \right] = \frac{RBSL_{air} \left[\frac{\mu g}{m^3 - ar} \right]}{VF_{wesp}} \times 10^{-3} \frac{mg}{\mu g}$
Água Subt. ^C	Inalação de vapor em ambiente aberto ^D	$RBSL_w \left[\frac{mg}{L - H_2O} \right] = \frac{RBSL_{air} \left[\frac{\mu g}{m^3 - ar} \right]}{VF_{wamb}} \times 10^{-3} \frac{mg}{\mu g}$
Solo superficial 1	Ingestão de solo, inalação de vapores e partículas, e contato dérmico ^B	$RBSL_s \left[\frac{\mu g}{kg - solo} \right]$ $= \frac{THQ \times BW \times AT_n \times 365 \frac{dias}{anos}}{EF \times ED \left[\left(\frac{10^{-6} \frac{kg}{mg} \times (IR_{soil} \times RAF_o + SA \times M \times RAF_d)}{RfD_o} \right) + \left(\frac{IR_{air} \times (VF_{ss}}{RfD_i} \right)} \right]}$ <p>para solos superficiais e escavados (0 até 1 m)</p>
Solo subsuperficial ^C	Inalação de vapor em ambiente aberto ^D	$RBSL_s \left[\frac{mg}{kg - solo} \right] = \frac{RBSL_{air} \left[\frac{\mu g}{m^3 - ar} \right]}{VF_{samb}} \times 10^{-3} \frac{mg}{\mu g}$

Solo subsuperficial ^C	Inalação de vapores em ambiente fechado ^D	$RBSL_s \left[\frac{mg}{kg - solo} \right] = \frac{RBSL_{air} \left[\frac{\mu g}{m^3 - ar} \right]}{VF_{seps}} \times 10^{-3} \frac{mg}{\mu g}$
Solo subsuperficial ^C	lixiviação para a água subterrânea ^D	$RBSL_s \left[\frac{mg}{kg - solo} \right] = \frac{RBSL_w \left[\frac{\mu g}{m^3 - H_2O} \right]}{LF_{sw}}$

^A Observe que todos os valores RBSL devem ser comparados com limites de partição termodinâmica, como níveis de solubilidade, concentrações máximas de vapor e assim por diante. Se um RBSL exceder o limite de partição relevante, isto é uma indicação de que o nível de risco ou perigo selecionado foi alcançado ou excedido para esse produto químico e para o cenário de exposição selecionado.

^B Os níveis de triagem para esses meios com base em outras considerações (por exemplo, estética, níveis de fundo, proteção de recursos ambientais e assim por diante) podem ser derivados com essas equações, substituindo o nível alvo selecionado por RBSL_{air} ou RBSL_w que aparecem nessas equações.

^C Essas equações são baseadas na Ref (26) – Ref (26) Wallace, L. A., *Journal of Occupational Medicine*, Vol 28, No. 5, 1986.

^D Estas equações simplesmente definem os "fatores de particionamento entre meios", VF_{ij} e LF_{sw}.

Tabela An1. 3. Fatores de exposição que aparecem nas tabelas A2.1 e A2.2 (conceitos parametrizados com planilha CETESB).

<u>Parâmetros</u>	<u>Definição e Unidades</u>	<u>Valores Residencial</u>	<u>Valores Comercial/Industrial</u>
AT_c	tempo médio para efeitos carcinogênicos [anos]	70 anos	70 anos
AT_n	tempo médio para efeitos não-carcinogênicos [anos]	30 anos	25 anos
BW	massa corpórea de adultos [kg]	70 kg	70 kg
ED	duração da exposição [anos]	30 anos	25 anos
EF	frequência da exposição [dias/anos]	350 dias/anos	250 dias/ano
IR_{soil}	taxa de ingestão de solo [mg/dia] (IR_s)	100 mg/dia	50 mg/dia
$IR_{air - indoor}$	taxa de inalação diária em ambientes fechados [m ³ /dia] (IR_{aesp})	15 m ³ /dia	20 m ³ /dia
$IR_{air - outdoor}$	taxa de inalação diária em ambientes abertos [m ³ /dia] (IR_{aamb})	20 m ³ /dia	20 m ³ /dia
IR_w	taxa de ingestão diária de água [L/dia]	2 L/dia	1 L/dia
LF_{sw}	fator de lixiviação [(mg/L-H ₂ O)/(mg/kg-solo)]	específico por substância	específico por substância
M	Fator de aderência do solo na pele [mg/cm ²] (AF)	0,5	0,5
RAF_d	Fator de absorção dérmica relativa, voláteis/PAH	0,5/0,05	0,5/0,05
RAF_o	Fator de absorção oral relativa	1,0	1,0
$RBSL_i$	Níveis aceitáveis baseados no risco para o meio i [mg/kg-solo; mg/L-H ₂ O ou µg/m ³ -ar]	específico para o meio, substância e rota de exposição	específico para o meio, substância e rota de exposição
RfD_i	Dose de referência para inalação crônica [mg/kg-dia]	específico por substância	específico por substância
RfD_o	Dose de referência ingestão crônica [mg/kg-dia]	específico por substância	específico por substância
SA	Área da superfície da pele disponível para contato dérmico [cm ²]	3160	3160
SF_i	Fator de carcinogenicidade para inalação	específico por	específico por substância

		substância	
SF_o	Fator de carcinogenicidade para ingestão	específico por substância	específico por substância
THQ	Quociente de Risco não-Carcinogênico [sem unidade] (THI)	1,0	1,0
TR	Risco Carcinogênico [sem unidade]	por exemplo, 10^{-6} ou 10^{-4}	por exemplo, 10^{-6} ou 10^{-4}
VF_i	Fator de volatilização [(mg/m ³ -ar)/(mg/kg-solo); ou (mg/m ³ -ar)/(mg/L-H ₂ O)]	específico para o meio e substância	específico para o meio e substância

Tabela An1. 4. Fatores de Volatilização (VF_i), Fator de Lixiviação (LF_{sw}) e Coeficientes de Difusão Efetiva (D_i^{eff}).

Símbolo	Rota entre meios (ou definição)	Equação
VF_{wesp}	Água subterrânea ▼ vapores em ambientes fechados	$VF_{wesp} \left[\frac{\left(\frac{mg}{m^3} - ar\right)}{\left(\frac{mg}{L-H_2O}\right)} \right] = \frac{H \left[\frac{D_{ws}^{eff}}{\frac{L_{GW}}{ERLB}} \right]}{1 + \left[\frac{D_{ws}^{eff}}{\frac{L_{GW}}{ERLB}} \right] + \left[\frac{D_{ws}^{eff}}{\frac{L_{GW}}{\left(\frac{D_{crack}}{L_{crack}}\right)\eta}} \right]} \times 10^3 \frac{L}{m^3} \text{ A}$
VF_{wamb}	Água subterrânea ▼ vapores em ambientes abertos	$VF_{wamb} \left[\frac{\left(\frac{mg}{m^3} - ar\right)}{\left(\frac{mg}{L-H_2O}\right)} \right] = \frac{H}{1 + \frac{U_{air}\delta_{air}L_{GW}}{WD_{ws}^{eff}}} \times 10^3 \frac{L}{m^3} \text{ B}$
VF_{ss}	Solos superficiais ▼ (vapores) ar ambiente	$VF_{ss} \left[\frac{\left(\frac{mg}{m^3} - ar\right)}{\left(\frac{mg}{kg-solo}\right)} \right] = \frac{2W_{\rho s}}{U_{air}\delta_{air}} \sqrt{\frac{D_s^{eff} H}{\pi[\theta_{ws} + k_s \rho_s + H\theta_{as}]\tau}} \times 10^3 \frac{cm^3 - kg}{m^3 - g} \text{ C}$ <p>ou</p> $VF_{ss} \left[\frac{\left(\frac{mg}{m^3} - ar\right)}{\left(\frac{mg}{kg-solo}\right)} \right] = \frac{W_{\rho s} d}{U_{air}\delta_{air}\tau} \times 10^3 \frac{cm^3 - kg}{m^3 - g}; \text{ o que for menor } \text{ D}$
VF_p	Solos superficiais ▼ (partículas) ar ambiente	$VF_p \left[\frac{\left(\frac{mg}{m^3} - ar\right)}{\left(\frac{mg}{kg-solo}\right)} \right] = \frac{PeW}{U_{air}\delta_{air}} \times 10^3 \frac{cm^3 - kg}{m^3 - g} \text{ E}$
VF_{samb}	Solos subsuperficiais ar ambiente	$VF_{samb} \left[\frac{\left(\frac{mg}{m^3} - ar\right)}{\left(\frac{mg}{kg-solo}\right)} \right] = \frac{H_{\rho s}}{[\theta_{ws} + k_s \rho_s + H\theta_{as}] + \left(1 + \frac{U_{air}\delta_{air}L_s}{D_s^{eff}}\right)} \times 10^3 \frac{cm^3 - kg}{m^3 - g} \text{ F}$

	▼	
VF_{sesp}	Solos subsuperficiais ▼ vapores em ambientes fechados	$VF_{sesp} \left[\frac{\left(\frac{mg}{m^3} - ar \right)}{\left(\frac{mg}{kg-solo} \right)} \right] = \frac{\frac{H\rho_s}{[\theta_{ws} + k_s\rho_s + H\theta_{as}]} \left[\frac{D_s^{eff}}{ER L_B} \right]}{1 + \left[\frac{D_s^{eff}}{ER L_B} \right] + \left[\frac{D_s^{eff}}{L_{crack}} \right] \eta} \times 10^3 \frac{cm^3 - kg}{m^3 - g} \text{ A}$
LF_{sw}	Solos subsuperficiais ▼ água subterrânea	$LF_{sw} \left[\frac{\left(\frac{mg}{L-H_2O} \right)}{\left(\frac{mg}{kg-solo} \right)} \right] = \frac{\rho_s}{[\theta_{ws} + k_s\rho_s + H\theta_{as}] \left(1 + \frac{U_{gw}\delta_{gw}}{IW} \right)} \times 10^0 \frac{cm^3 - kg}{L - g} \text{ B}$
D_s^{eff}	Coefficiente de difusão efetiva no solo com base na a concentração da fase vapor. (Coefficiente de difusão efetiva na matriz do solo da zona não saturada – Maximiano 2001)	$D_s^{eff} \left[\frac{cm^2}{s} \right] = D_{air} \frac{\theta_{as}^{3.33}}{\theta_T^2} + D_{wat} \frac{1}{H} \frac{\theta_{ws}^{3.33}}{\theta_T^2} \text{ A}$
D_{crack}^{eff}	Coefficiente de difusão efetiva através de rachaduras da fundação. (Coefficiente de difusão efetiva nas fendas das fundações de construções – Maximiano 2001)	$D_{crack}^{eff} \left[\frac{cm^2}{s} \right] = D_{air} \frac{\theta_{acrack}^{3.33}}{\theta_T^2} + D_{wat} \frac{1}{H} \frac{\theta_{wcrack}^{3.33}}{\theta_T^2} \text{ A}$
D_{cap}^{eff}	Coefficiente de difusão efetiva através da franja capilar. (Coefficiente de difusão efetiva na matriz do solo da franja capilar – Maximiano 2001)	$D_{cap}^{eff} \left[\frac{cm^2}{s} \right] = D_{air} \frac{\theta_{acap}^{3.33}}{\theta_T^2} + D_{wat} \frac{1}{H} \frac{\theta_{wcap}^{3.33}}{\theta_T^2} \text{ A}$
D_{ws}^{eff}	Coefficiente de difusão efetiva entre a água subterrânea e o solo superficial. (Coefficiente de difusão efetiva acima do nível d'água – Maximiano 2001)	$D_{ws}^{eff} \left[\frac{cm^2}{s} \right] = (h_{cap} + h_v) \left[\frac{h_{cap}}{D_{cap}^{eff}} + \frac{h_v}{D_s^{eff}} \right] - 1 \text{ A}$
C_s^{sat}	Concentração do solo na qual as fases de água e vapor dissolvidas tornam-se saturadas	$C_s^{sat} \left[\frac{mg}{kg-solo} \right] = \frac{S}{\rho_s} \times [H\theta_{as} + \theta_{ws} + k_s\rho_s] \times 10^0 \frac{L-g}{cm^3 - kg} \text{ F}$

^A – Referência - Mullens, M., and Rogers, T., *AIECHE/DIPPR Environmental, Safety, and Health Data*, Design Institute for Physical Property Research—Research Project 911, American Institute for Chemical Engineers, June 1, 1993.

^B – Referência - *Hazardous Waste Treatment, Storage, and Disposal Facilities (TSDF)*, OAQPS, Air Emissions Models, EPA/450/3-87/026, Environmental Protection Agency, Washington, DC, 1989.

^C – Referência - *Superfund Exposure Assessment Manual*, EPA/540/1-88/001, Environmental Protection Agency, Washington, DC, 1988

^D Baseado no balanço de massa

^E – Referência - Cowherd, C., Muleski, G. E., Englehart, P. J., and Gillett, D. A., *Rapid Assessment of Exposure to Partulate Emissions from Surface Contamination Sites*, Midwest Research Institute, PB85-192219, 1985

^F – Referência - Chevron Research and Technology Company, “Evaluation of Intrinsic Bioremediation at Field Sites,” *Proceedings of the 1993 Petroleum Hydrocarbons and Organic Chemicals in Ground Water: Prevention, Retention, and Restoration*, Westing Galleria, Houston, TX, Nov. 10–12, 1993.

Tabela An1. 5. Parâmetros de solo, construção, superfície e subsuperfície usados nos exemplos de RBSL Nível 1 gerados (conceitos parametrizados com planilha CETESB).

<u>Parâmetros</u>	<u>Definição e Unidades</u>	<u>Valores Residencial</u>	<u>Valores Comercial/Industrial</u>
d	menor profundidade da zona superficial do solo [cm]	100 cm	100 cm
D^{air}	coeficiente de difusão no ar [cm ² /s]	específico por substância	específico por substância
D^w	coeficiente de difusão na água [cm ² /s]	específico por substância	específico por substância
ER	taxa de troca de ar em ambientes fechados [1/sec]	0,00014 s ⁻¹	0,00023 s ⁻¹
f_{oc}	fração de carbono orgânico no solo [g-C/g-solo]	0,01	0,01
H	constante da Lei de Henry [(g/cm ³ -H ₂ O)/[(g/cm ³ -ar)]	específico por substância	específico por substância
h_{cap}	espessura da franja capilar [cm]	5 cm	5 cm
h_v	espessura da zona não saturada (zona vadosa) [cm]	295 cm	295 cm
I	taxa de infiltração da água através do solo [cm/anos]	30 cm/ano	30 cm/ano
k_{oc}	coeficiente de partição água-carbono [cm ³ -H ₂ O/g-C]	específico por substância	específico por substância
k_s	coeficiente de partição solo-água [cm ³ -H ₂ O/g-solo]	$f_{oc} \times k_{oc}$	$f_{oc} \times k_{oc}$
L_B	razão entre o volume do espaço fechado e a área de infiltração [cm] – Pé Direito	200 cm	300 cm
L_{crck}	espessura das fundações/paredes da construção [cm] (L_{crk})	15 cm	15 cm
L_{GW}	Profundidade da água subterrânea (nível d'água) = $h_{cap} + h_v$ [cm]	300 cm	300 cm

L_s	profundidade do solo subsuperficial impactado [cm]	100 cm	100 cm
P_e	taxa de emissão de partículas [g/cm ² -s]	$6,9 \times 10^{-14}$	$6,9 \times 10^{-14}$
S_i	solubilidade do componente puro na água [mg/L-H ₂ O]	específico por substância	específico por substância
U_{air}	velocidade do vento acima da superfície na zona de mistura do ambiente aberto [cm/s]	225 cm/s	225 cm/s
U_{gw}	velocidade da água subterrânea de Darcy [cm/ano]	2500 cm/ano	2500 cm/ano
W	largura da área fonte paralela à direção de fluxo do vento ou da água subterrânea [cm] (1500 cm	1500 cm
δ_{air}	altura(comprimento) da zona de mistura do ambiente aberto[cm]	200 cm	200 cm
δ_{gw}	espessura pluma dissolvida de água subterrânea [cm]	200 cm	200 cm
η	fração da área de rachaduras nas fundações/paredes (área de fendas/área total) [cm ² -fendas/cm ² -área total]	0.01 cm ² -fendas/cm ² -área total	0.01 cm ² -fendas/cm ² -área total
θ_{acap}	conteúdo volumétrico de ar na franja capilar [cm ³ -ar/cm ³ -solo]	0,038 cm ³ -ar/cm ³ -solo	0,038 cm ³ -ar/cm ³ -solo
θ_{acrk}	conteúdo volumétrico de ar nas fundações/paredes [cm ³ -ar/cm ³ -volume total] (θ_{acrk})	0,26 cm ³ -ar/cm ³ -volume total	0,26 cm ³ -ar/cm ³ -volume total
θ_{as}	conteúdo volumétrico de ar na zona não saturada [cm ³ -ar/cm ³ -solo]	0,26 cm ³ -ar/cm ³ -solo	0,26 cm ³ -ar/cm ³ -solo
θ_T	porosidade total da matriz do solo [cm ³ /cm ³ -solo]	0,38 cm ³ /cm ³ -solo	0,38 cm ³ /cm ³ -solo
θ_{wcap}	conteúdo volumétrico de água na franja capilar [cm ³ -H ₂ O/cm ³ -solo]	0,342 cm ³ -H ₂ O/cm ³ -solo	0,342 cm ³ -H ₂ O/cm ³ -solo
θ_{werk}	conteúdo volumétrico de água nas fundações/paredes [cm ³ -H ₂ O/cm ³ -volume total] (θ_{werk})	0,12 cm ³ -H ₂ O/cm ³ -volume total	0,12 cm ³ -H ₂ O/cm ³ -volume total

θ_{ws}	conteúdo volumétrico de água na zona não saturada capilar [$\text{cm}^3\text{-H}_2\text{O}/\text{cm}^3\text{-solo}$]	0,12 $\text{cm}^3\text{-H}_2\text{O}/\text{cm}^3\text{-solo}$	0,12 $\text{cm}^3\text{-H}_2\text{O}/\text{cm}^3\text{-solo}$
ρ_s	densidade do solo [$\text{g-solo}/\text{cm}^3\text{-solo}$]	1,7 g/cm^3	1,7 g/cm^3
τ	tempo médio do fluxo de vapor [s]	$9,46 \times 10^8$ s	$7,88 \times 10^8$ s

Tabela An 1. 6. Exemplos de modelos de transporte de níveis de triagem. Adaptado de ASTM (1995).

DESCRIÇÃO	APROXIMAÇÃO MATEMÁTICA
Transporte de Fase Dissolvida:	
Taxa máxima de transporte $u_{d, \max}$ [cm/dia] da pluma dissolvida.	$u_{d, \max} = \frac{K_s i}{\theta_s R_c}$
Tempo mínimo $\tau_{d, \min}$ [d] para a borda principal da pluma dissolvida percorrer a distância, L [cm]	$\tau_{\min} = \frac{L}{u_{d, \max}}$
Atenuação em estado estacionário [(g/cm ³ H ₂ O)/(g/cm ³ H ₂ O)] ao longo da linha central (x,y=0, z=0) de uma pluma dissolvida	$\frac{C(x)}{C_{source}} = \exp\left\{\frac{x}{2\alpha_x} \left[1 - \sqrt{1 + \frac{4\lambda\alpha_x}{u}}\right]\right\} \cdot \left(\operatorname{erf}\left[\frac{S_w}{4\sqrt{\alpha_y x}}\right]\right) \left(\operatorname{erf}\left[\frac{S_d}{4\sqrt{\alpha_z x}}\right]\right)$ <p>onde:</p> $u = \frac{K_s i}{\theta_s}$
Transporte de fase imiscível (fase livre):	
Profundidade máxima D_{max} [cm] de penetração da fase imiscível	$D_{max} = \frac{V_{spill}}{\theta_R \pi R_{spill}^2}$
Particionamento de equilíbrio:	
Concentração de vapor: $C_{v,eq}$ [g/cm³-vapor]	
Concentração máxima de vapor acima do hidrocarboneto dissolvido (1)	$C_{v,eq} = HC_{w,eq} \quad (1)$
Concentração máxima de vapor quando hidrocarboneto imiscível está presente (2)	$C_{v,eq} = \frac{X_i P_v^i M_w}{RT} \quad (2)$
Concentração máxima de vapor nos poros	$C_{v,eq} = \frac{HC_{soil} \rho_s}{[\theta_w + K_s \rho_s + H \theta_v]} \quad (3)$

do solo (nenhuma fase imiscível presente) (3)	
Concentração Dissolvida: $C_{w,eq}$ [$\text{g}/\text{cm}^3\text{H}_2\text{O}$]	
Concentração máxima dissolvida com presença de fase imiscível (1)	$C_{w,eq} = x_i S_i$ (1)
Concentração máxima dissolvida nos poros do solo (nenhuma fase imiscível presente) (2)	$C_{w,eq} = \frac{C_{soil} \rho_s}{[\theta_w + K_s \rho_s + H \theta_v]}$ (2)
Concentrações no solo [g/g-solo]:	
Concentração no solo [C_{soil}][g/g-solo] na qual a fase de hidrocarbonetos imiscíveis se forma na matriz do solo.	$(C_{soil}) = \frac{S_i}{\rho_s} [\theta_w + K_s \rho_s + H \theta_v]$
Transporte da fase vapor:	
Coefficiente de difusão eficaz em meios porosos D^{eff} [cm^2/dia] para transporte combinado de vapor e soluto, expresso como um coeficiente de difusão em fase de vapor (nenhum hidrocarboneto imiscível presente fora da área fonte).	$D^{eff} = \frac{\theta_v^{3,33}}{\theta_T} D^{air} + \frac{1}{H} \frac{\theta_w^{3,33}}{\theta_T} D^w$
Fator de “retardo” de meios porosos R_v (nenhum hidrocarboneto imiscível presente fora da área fonte).	$R_v = \left[\frac{\theta_w}{H} + \frac{K_s \rho_s}{H} + \theta_v \right]$
Taxa máxima de transporte convectivo $u_{v,max}$ [cm/dia] de vapor	$u_{v,max} = \frac{1}{R_v} \frac{K_v}{\mu_v} \nabla P$
Tempo mínimo $\tau_{v,min}$ [d] para os vapores percorrerem uma distância L [cm] da área fonte por convecção (1)	$\tau_{c,min} = \frac{L}{u_{v,max}}$ (1)
Tempo mínimo $\tau_{v,min}$ [d] para os vapores percorrerem uma distância L [cm] da área	$\tau_{d,min} = \frac{L^2}{(D^{eff}/R_v)}$ (2)

fonte por difusão (2)	
<u>Emissão de vapor da fonte subterrânea de vapor para ambientes abertos:</u>	
Fluxo difusivo máximo de vapor F_{max} [g/cm ² -dia] da fonte de vapor subterrânea localizada a uma distância d [cm] abaixo da superfície do solo (estado estacionário, fonte constante).	$F_{max} = D^{eff} \frac{C_{v,eq}}{d}$
Fluxo difusivo máximo de vapor <Fmax> [g/cm ² -dia] dos solos subterrâneos ao longo de um período do tempo = 0 até o tempo = τ , fase imiscível do componente único presente.	$\langle F_{max} \rangle = \frac{\rho_s C_{soil}}{\tau} \left\{ \sqrt{\left[d^2 + \frac{2C_{v,eq} D^{eff} \tau}{\rho_s C_{soil}} \right]} - d \right\}$
Máximo fluxo convectivo e difusivo combinados de vapor F_{max} [g/cm ² -dia] da fonte de vapor subterrânea localizada a uma distância d [cm] abaixo da superfície do solo.	$F_{max} = R_v u_{v,max} C_{v,eq} - \frac{R_v u_{v,max} C_{v,eq}}{\left[1 - \exp\left(\frac{R_v u_{v,max} d}{D^{eff}}\right) \right]}$
<u>Emissão de Vapor de solos superficiais para ambientes abertos:</u>	
Fluxo difusivo máximo de vapor <Fmax> [g/cm ² -dia] dos solos superficiais ao longo de um período do tempo = 0 até o tempo = τ , fase imiscível do componente único presente. (1)	$\langle F_{max} \rangle = \rho_s C_{soil} \sqrt{\frac{2C_{v,eq} D^{eff}}{\rho_s C_{soil} \tau}} \quad (1)$
Fluxo difusivo máximo de vapor [g/cm ² -dia] dos solos superficiais ao longo de um período do tempo = 0 até o tempo = τ , fase imiscível ausente. (2)	$\langle F_{max} \rangle = 2\rho_s C_{soil} \sqrt{\frac{D^{eff}}{\pi R_v \tau}} \quad (2)$
Fluxo difusivo máximo de vapor [g/cm ² -dia] dos solos superficiais ao longo de um período do tempo = 0 até o tempo = τ ,	$\langle F_{max} \rangle = \frac{2D^{eff} \left(\frac{x_i P_i^v M_{w,i}}{RT} \right)}{\sqrt{\pi \alpha \tau}} \quad (3)$

componentes voláteis da fase imiscível relativamente não volátil (por exemplo, benzeno da gasolina) (3)	<p>onde:</p> $\alpha = \frac{D^{eff}}{\theta_v + \frac{\rho_s RT (C_{soil}/M_{w,T})}{P_i^v}}$
<u>Emissão de Vapores em Ambientes Fechados</u>	
Taxa máxima de emissão de vapor E_{max} [g/cm ² -d] para ambientes fechados a partir de fontes de vapor subterrâneas localizadas a uma distância d [cm] de espaços fechados.	$E_{max} = Q_b C_{v,eq} \left(\frac{D^{eff} A_b}{Q_b d} \right) \exp \left(\frac{Q_{soil} L_{crack}}{D^{crack} A_{crack}} \right) / \left[\frac{\exp \left(\frac{Q_{soil} L_{crack}}{D^{crack} A_{crack}} \right) + \left(\frac{D^{eff} A_b}{Q_{soil} d} \right) \left(\exp \left(\frac{Q_{soil} L_{crack}}{D^{crack} A_{crack}} \right) - 1 \right)}{\left(\frac{D^{eff} A_b}{Q_{soil} d} \right) \left(\exp \left(\frac{Q_{soil} L_{crack}}{D^{crack} A_{crack}} \right) - 1 \right)} \right]$
<u>Dispersão de vapor de hidrocarbonetos</u>	
Concentração ambiente de vapor de hidrocarbonetos resultante da fonte de vapor da área $C_{outdoor}$ [g/cm ³]	$C_{outdoor} = \frac{FL}{u_w \delta}$
Concentração de vapor em espaço fechado C_{indoor} [g/cm ³]	$C_{indoor} = \frac{E_{max}}{V_B E_B}$
<u>Transporte de lixiviados: Impacto de lixiviação nas águas subterrâneas</u>	
Concentração da área de fonte de água subterrânea C_{source} [g/cm ³ H ₂ O] resultante da lixiviação através da zona vadosa de solos impactados por hidrocarbonetos.	$C_{source} = C_{w,eq} \frac{q_i W}{(K_s/M + q_i W)}$
Concentração da área de fonte de água subterrânea C_{source} [g/cm ³ H ₂ O] resultante de solos impactados por hidrocarbonetos em contato direto com a água subterrânea	$C_{source} = C_{w,eq}$

Tabela An 1. 7. Parâmetros da Tabela An1.6. Adaptado de ASTM (1995).

<p>$C(x)$ = concentração de hidrocarboneto dissolvido ao longo da linha ($x, y = 0, z = 0$) central da pluma dissolvida [$\text{g}/\text{cm}^3\text{H}_2\text{O}$].</p> <p>$C_{source}$ = concentração de hidrocarboneto dissolvido na área fonte da pluma dissolvida [$\text{g}/\text{cm}^3\text{H}_2\text{O}$].</p> <p>$i$ = gradiente hidráulico [cm/cm].</p> <p>K_s = condutividade hidráulica saturada [cm/dia]</p> <p>k_s = coeficiente de partição [$\text{g}/\text{d-solo}$] [$\text{g}/\text{cm}^3\text{H}_2\text{O}$].</p> <p>$L$ = distância de descida [cm].</p> <p>R_c = Fator de retardo = [$1 + k_s\rho_s/\theta_s$].</p> <p>S_w = Largura da fonte (perpendicular ao fluxo no plano horizontal)[cm].</p> <p>S_d = Largura da fonte (perpendicular ao fluxo no plano vertical)[cm].</p> <p>u = descarga específica [cm/dia].</p> <p>$u_{d,max}$ = Taxa máxima de transporte da pluma dissolvida [cm/dia]^A.</p> <p>x = distância ao longo da linha central da borda descendente da zona fonte da pluma dissolvida [cm].</p> <p>y = profundidade abaixo do lençol freático (nível d'água) [cm].</p> <p>z = distância lateral fora da linha central da pluma dissolvida [cm].</p> <p>α_x = dispersividade longitudinal [cm] $\approx 0,10x$.</p> <p>α_y = dispersividade transversa [cm] $\approx \alpha_x/3$.</p> <p>α_z = dispersividade vertical [cm] $\approx \alpha_x/20$.</p> <p>λ = constante de decaimento de primeira ordem [d^{-1}].</p> <p>θ_s = conteúdo volumétrico de água na zona saturada [$\text{cm}^3\text{-H}_2\text{O}/\text{cm}^3\text{-solo}$].</p> <p>$\rho_s$ = densidade do solo [$\text{g-solo}/\text{cm}^3\text{-solo}$].</p> <p>$\tau_{d,min}$ = tempo mínimo de viagem convectiva do hidrocarboneto dissolvido até a distância L [d]^A.</p> <p>$erf(\eta)$ = função de erro avaliada por valor de η.</p> <p>C_{soil} = concentração total de hidrocarbonetos no solo [$\text{g}/\text{g-solo}$].</p> <p>$C_{v,eq}$ = concentração de equilíbrio de vapor [$\text{g}/\text{cm}^3\text{-vapor}$]^A.</p> <p>$C_{w,eq}$ = concentração de equilíbrio dissolvida [$\text{g}/\text{cm}^3\text{-H}_2\text{O}$]^A.</p> <p>$D_{max}$ = máxima profundidade de penetração da fase imiscível (fase livre) [cm]^A.</p> <p>H = constante da Lei de Henry [$(\text{g}/\text{cm}^3\text{-vapor})/(\text{g}/\text{cm}^3\text{-H}_2\text{O})$].</p> <p>$k_s$ = coeficiente de sorção [$(\text{g}/\text{g-solo})/(\text{g}/\text{cm}^3\text{-H}_2\text{O})$].</p>
--

M_w = peso molecular [g/mol].
 P_v^i = pressão de vapor do composto i [atm].
 R = constante dos gases = 82 cm³-atm/mol-K.
 R_{spill} = extensão radial do impacto do hidrocarboneto [cm].
 S_i = solubilidade do componente puro [g/cm³-H₂O].
 T = temperatura absoluta [K].
 V_{spill} = volume de hidrocarboneto liberado [cm³].
 x_i = fração molar do componente i.
 Θ_R = conteúdo residual volumétrico de hidrocarbonetos sob condição de drenagem [cm³-hidrocarboneto/cm³-solo].
 Θ_w = conteúdo volumétrico de água na zona não saturada [cm³-H₂O/cm³-solo].
 Θ_v = conteúdo volumétrico de vapor no solo [cm³-vapor/cm³-solo].
 π = 3,1416.
 (C_{soil}) = concentração na qual a fase imiscível se forma em solo (concentração de saturação) [g/g-solo]^A.
 D^{air} = coeficiente de difusão do componente puro no ar [cm²/dia].
 D^{eff} = coeficiente de difusão eficaz em meios porosos para transporte combinado de vapor e soluto, expresso como um coeficiente de difusão em fase de vapor (nenhum hidrocarboneto imiscível presente fora da área fonte) [cm²/dia]^A.
 D^w = coeficiente de difusão do componente puro na água [cm²/dia].
 k_v = permeabilidade para o fluxo de vapor [cm²].
 L = distância [cm].
 R_v = fator de “retardo” do meio poroso (nenhum hidrocarboneto imiscível presente fora da área fonte).
 $u_{v,max}$ = taxa máxima de transporte convectivo de vapores [cm/dia]^A.
 ∇P = gradiente de pressão da fase vapor [g/cm²-s²].
 Θ_T = porosidade total da matriz do solo [cm³/cm³-solo]
 μ_v = viscosidade do vapor [g/cm-s].
 $\tau_{c,min}$ = tempo mínimo de viagem convectiva do vapor até a distância L [d]^A.
 $\tau_{d,min}$ = tempo mínimo de viagem difusiva do vapor até a distância L [d]^A.
 d = distância abaixo da superfície do solo até o topo da fonte de vapor de hidrocarbonetos [cm].
 τ = tempo médio [s].
 A_B = área total do ambiente fechado exposto à intrusão de vapores (área da fundação) [cm²].
 A_{crack} = área de fundação através da qual os vapores são transportados (área de rachaduras, costuras abertas e assim por diante) [cm²].
 d = distância entre a fundação/paredes e a fonte de vapor de hidrocarbonetos [cm].
 D^{crack} = coeficiente de difusão efetiva através das rachaduras da fundação [cm²/dia]^A.

L_{crck} = espessura da fundação/parede [cm].
 $M_{w,i}$ = peso molecular de i [g/mol].
 $M_{w,T}$ = peso molecular médio da mistura de hidrocarbonetos [g/mol].
 Q_B = taxa de fluxo volumétrico de ar dentro de ambientes fechados [cm³/s].
 Q_{soil} = taxa de fluxo de infiltração volumétrica de gás do solo em espaço fechado [cm³/s].
 E_B = taxa de troca de ar em ambientes fechados [l/d].
 E_{max} = taxa de emissão de vapor em ambientes fechados [g/dia]^A.
 F = fluxo de vapor [g/cm²-dia]^A.
 L = comprimento de queda da área da fonte de emissão de vapor [cm].
 M = espessura da zona de mistura na água subterrânea [cm].
 q_i = taxa de infiltração de água [cm/dia].
 u_w = velocidade do vento [cm/dia].
 V_B = volume do ambiente fechado [cm³].
 W = largura da zona de solo impactado [cm].
 δ = altura da zona de respiração [cm].

^A - a equação deste parâmetro é dada nesta tabela.

Tabela An 1. 8. Sensibilidade dos Parâmetros de entrada dos modelos com base no destino e caminho de transporte. Adaptado de ASTM (1999).

Destino e caminho de transporte.	Parâmetros de entrada	Comentário sobre a sensibilidade ao parâmetro de entrada
Transporte de águas subterrâneas	Concentração na fonte (C_s);	Específico da área; parâmetro sensível
	Fração de carbono orgânico (foc)	Altamente variável; Específico da área; parâmetro sensível
	Coefficiente de partição água-carbono (K_{oc});	Específico da substância; parâmetro sensível
	Coefficiente de partição solo-água (K_s);	$foc \times K_{oc}$; parâmetro sensível
	Distância do gradiente até o receptor mais próximo (x);	Altamente variável; Específico da área; parâmetro sensível
	Condutividade Hidráulica saturada (K_s)	Altamente variável; Específico da área; parâmetro sensível
	Gradiente Hidráulico (i)	Altamente variável; Específico da área; parâmetro sensível
	Velocidade linear média (v)	$v = K_s \times i / por.total$; Específico da área; parâmetro sensível
	Largura da fonte paralela ao fluxo das águas subterrâneas (W)	Altamente variável; Específico da área; sensibilidade moderada
	Porosidade Total (θ_T)	Afeta a velocidade e o fator de retardo; sensibilidade moderada
	Densidade do solo (ρ_s)	Varia pouco para tipos de solo comuns; sensibilidade limitada
Espessura da zona saturada (b)	Específico da área; sensibilidade moderada em modelos numéricos	

	Armazenagem (coeficiente de armazenamento) (S)	Depende do aquífero confinado/não confinado; sensibilidade limitada
	Taxa de infiltração de água através do solo (recarga) (I)	Altamente variável; Específico da área; sensibilidade limitada
	Dispersividade longitudinal (a_x)	Varia pouco para tipos de solo comuns; sensibilidade limitada
	Dispersividade transversal (a_y)	Varia pouco para tipos de solo comuns; sensibilidade limitada
	Dispersividade vertical (a_z)	Varia pouco para tipos de solo comuns; sensibilidade limitada
	Taxa de degradação/decaimento (λ)	Específico da substância; afetado pelas condições do local; sensibilidade moderada
	Tempo desde o lançamento (t)	Altamente variável; Específico da área; sensibilidade moderada
Solo para ar ambiente	Concentração na fonte (Cs)	Específico da área; parâmetro sensível
	Conteúdo volumétrico de ar na zona não saturada (vadosa) do solo (θ_{as})	Variações afetam o conteúdo de água; parâmetro sensível
	Conteúdo volumétrico de água na zona não saturada (vadosa) do solo (θ_{ws})	Variações afetam o conteúdo de ar; parâmetro sensível
	Porosidade Total (θ_T)	Correlacionado com o conteúdo volumétrico de ar/água; parâmetro sensível
	Profundidade de contaminação do solo (L_s)	Altamente variável; Específico da área; parâmetro sensível
	Espessura da contaminação do solo (L)	Altamente variável; Específico da área; parâmetro sensível
	Coeficiente de Difusão no ar (D^{air})	Específico da substância; sensibilidade limitada
	Fração de carbono orgânico (<i>foc</i>)	Não é um parâmetro sensível para esta via

	Constante da Lei de Henry (H)	Específico da substância; sensibilidade limitada
	Coeficiente de partição água-carbono (K_{oc})	Específico da substância; sensibilidade moderada
	Coeficiente de partição solo-água (K_s)	foc x K_{oc} ; sensibilidade moderada
	Densidade do solo (ρ_s)	Varia pouco para tipos de solo comuns; sensibilidade limitada
	Velocidade do vento acima da superfície do solo (U_{air})	Não é um parâmetro sensível para esta via
	Altura da zona de mistura de ar ambiente (δ_{air})	Não é um parâmetro sensível para esta via
	Largura da fonte paralela ao vento (W)	Altamente variável; Específico da área; sensibilidade moderada
Solo para ar (ambientes internos)	Relação volume do espaço fechado/área de infiltração (Lb)	Relaciona-se ao volume de ar em espaço fechado; parâmetro sensível
	Taxa de ventilação para o espaço fechado ou edifício (ER)	Causa fluxo advectivo de vapores para o edifício; parâmetro sensível
	Espessura da fundação/piso (L_{crack})	Não é um parâmetro sensível para esta via
	Fração de área de fissuras em fundações/paredes (η)	Não é um parâmetro sensível para esta via
	Conteúdo volumétrico de água nas fissuras (Θ_{wcrk})	Não é um parâmetro sensível para esta via
	Conteúdo volumétrico de ar nas fissuras (Θ_{acrck})	Não é um parâmetro sensível para esta via
	Coeficiente de difusão efetivo através das fissuras (D_{crack})	Específico da substância; sensibilidade limitada
	Perímetro da costura do piso/parede (X_{crack})	Não é um parâmetro sensível para esta via
	Profundidade da fissura abaixo da superfície do solo (Z_{crack})	Não é um parâmetro sensível para esta via
	Raio efetivo de fissura (r_{crack})	Não é um parâmetro sensível para esta via
Solo para água subterrânea.	Concentração na fonte (Cs)	Específico da área; parâmetro sensível
	Porosidade Total (Θ_T)	Correlacionado com o conteúdo volumétrico de

		ar/água; parâmetro sensível
	Fração de carbono orgânico (foc)	Altamente variável; Específico da área; parâmetro sensível
	Coefficiente de partição água-carbono (K_{oc})	Específico da substância; parâmetro sensível
	Coefficiente de partição solo-água (K_s)	foc x K_{oc} ; parâmetro sensível
	Largura da área de origem paralela ao fluxo de água subterrânea (W)	Altamente variável; Específico da área; sensibilidade moderada
	Densidade do solo (ρ_s)	Varia pouco para tipos de solo comuns; sensibilidade limitada
	Conteúdo volumétrico de ar na zona não saturada (vadosa) do solo (θ_{as})	Não é um parâmetro sensível para esta via
	Conteúdo volumétrico de água na zona não saturada (vadosa) do solo (θ_{ws})	Não é um parâmetro sensível para esta via
	Taxa de infiltração de água através do solo (recarga) (I)	Altamente variável; Específico da área; sensibilidade moderada
	Espessura da zona de mistura de águas subterrâneas (δ_{gw})	Depende do tipo de solo e não varia muito; sensibilidade limitada
	Velocidade de fluxo de Darcy (U_{gw})	Fluxo de volume, $U_{gw}/\text{área} = K_s \times i$; sensibilidade moderada
	Taxa de degradação na zona vadosa (λ)	Específico da substância; afetado pelas condições do local; sensibilidade moderada
	Profundidade até fontes subterrâneas do solo (L_s)	Altamente variável; Específico da área; sensibilidade moderada
	Espessura da zona vadosa (h_v)	Altamente variável; Específico da área; sensibilidade moderada
	Solubilidade do composto puro na água (S_i)	Específico da substância; sensibilidade moderada
Água subterrânea para o ar ambiente	Concentração na fonte (C_w)	Específico da área; parâmetro sensível

	Espessura da franja capilar (h_{cap})	Serve como barreira para o transporte de vapor; parâmetro sensível
	Conteúdo volumétrico de ar na zona não saturada (vadosa) do solo (θ_{as})	Variações afetam o conteúdo de água; parâmetro sensível
	Conteúdo volumétrico de água na zona não saturada (vadosa) do solo (θ_w)	Variações afetam o conteúdo de ar parâmetro sensível
	Porosidade Total (θ_T)	Correlacionado com o conteúdo volumétrico de ar/água; parâmetro sensível
	Profundidade das águas subterrâneas (L_{gw})	Altamente variável; Específico da área; parâmetro sensível
	Coeficiente de Difusão no ar (D^{air})	Específico da substância; sensibilidade limitada
	Coeficiente de Difusão no água (D^{water})	Específico da substância; sensibilidade limitada
	Conteúdo volumétrico de água na franja capilar (θ_{wcap})	Correlacionado com a espessura da franja capilar; sensibilidade moderada
	Conteúdo volumétrico de ar na franja capilar (θ_{acap})	Correlacionado com a espessura da franja capilar; sensibilidade moderada
	Fração de carbono orgânico (f_{oc})	Não é um parâmetro sensível para esta via
	Constante da Lei de Henry (H)	Específico da substância; sensibilidade limitada
	Coeficiente de partição água-carbono (K_{oc})	Específico da substância; sensibilidade moderada
	Coeficiente de partição solo-água (K_s)	$f_{oc} \times K_{oc}$; sensibilidade moderada
	Densidade do solo (ρ_s)	Varia pouco para tipos de solo comuns; sensibilidade limitada
	Velocidade do vento acima da superfície do solo (U_{air})	Não é um parâmetro sensível para esta via
	Altura da zona de mistura de ar ambiente (δ_{air})	Não é um parâmetro sensível para esta via
	Largura da fonte paralela ao vento (W)	Altamente variável; Específico da área; sensibilidade moderada

Água subterrânea para o ar (ambiente fechado)	Relação volume do espaço fechado/área de infiltração (L_b)	Relaciona-se ao volume de ar em espaço fechado; parâmetro sensível
	Taxa de ventilação para o espaço fechado ou edifício (ER)	Causa fluxo advectivo de vapores para o edifício; parâmetro sensível
	Espessura da fundação/piso (L_{crack})	Não é um parâmetro sensível para esta via
	Fração de área de fissuras em fundações/paredes (η)	Não é um parâmetro sensível para esta via
	Conteúdo volumétrico de água nas fissuras (Θ_{wcrk})	Não é um parâmetro sensível para esta via
	Conteúdo volumétrico de ar nas fissuras (Θ_{acrk})	Não é um parâmetro sensível para esta via
	Coefficiente de difusão efetivo através das fissuras (D_{crack})	Específico da substância; sensibilidade limitada
	Perímetro da costura do piso/parede (X_{crack})	Não é um parâmetro sensível para esta via
	Profundidade da fissura abaixo da superfície do solo (Z_{crack})	Não é um parâmetro sensível para esta via
	Raio efetivo de fissura (r_{crack})	Não é um parâmetro sensível para esta via