

PROTOCOLO DE DIAGNÓSTICO DE ÁREAS CONTAMINADAS POR HIDROCARBONETOS DE PETRÓLEO A PARTIR DE AÇÕES CORRETIVAS BASEADAS NO RISCO

Sandro Antonio **de Lima**¹, Sergio **Koide**², Ricardo Tezini **Minoti**³

(1 - Universidade de Brasília (UnB), sandroantonio.lima@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0005-2287-4651>; 2 - Universidade de Brasília (UnB), skoide@unb.br, <https://orcid.org/0000-0002-0424-5748>; 3 - Universidade de Brasília (UnB), rtminoti@unb.br, <https://orcid.org/0000-0001-9193-843X>)

Resumo: 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). Assim, neste trabalho é proposto um protocolo de diagnóstico com foco na elaboração de roteiros que permitirão a coleta sistematizada de dados e produção de informações que subsidiem a tomada de decisão de órgãos ambientais. O protocolo foi desenvolvido com base na legislação de alguns estados brasileiros, em normas ABNT e internacionais. Para avaliar a efetividade do protocolo desenvolvido, analisou-se um caso de contaminação por derrame de combustíveis ocorrido no Distrito Federal, no ano de 2002, e que ainda não foi encerrado. Neste trabalho foi verificado se a utilização do protocolo levaria ao atendimento satisfatório das necessidades dos referidos estudos à contaminação no caso distrital. O protocolo mostrou-se com abrangência e cobertura necessárias para sanar a maioria dos problemas encontrados.

Palavras-chave: contaminação ambiental; derramamento de combustíveis; avaliação de risco.

DIAGNOSTIC PROTOCOLS FOR AREAS CONTAMINATED BY PETROLEUM HYDROCARBONS USING RISK- BASED CORRECTIVE ACTIONS.

Abstract: According to CONAMA Resolution No. 420/2009, contaminated areas must be managed using the Risk-Based Corrective Actions (ACBR) methodology. Therefore, in this study, a diagnostic protocol is proposed with a focus on the development of scripts that will

allow the systematic collection of data and production of information that supports decision-making by environmental agencies. The protocol was developed based on the legislation of some Brazilian states, ABNT and international standards. To evaluate the effectiveness of the developed protocol, a case of contamination due to fuel spills that occurred in the Brazilian Federal District in 2002, which had not yet been closed, was analyzed. In this work, it was verified whether the use of the proposed protocol would lead to satisfactory fulfillment of the needs of the aforementioned studies on contamination in the district case. The proposed protocol has the necessary scope and coverage to resolve most of the problems encountered.

Keywords: environmental contamination; fuel spills; risk assessment

PROTOCOLOS PARA EL DIAGNÓSTICO DE ÁREAS CONTAMINADAS POR HIDROCARBUROS DE PETRÓLEO MEDIANTE ACCIONES CORRECTIVAS EN FUNCIÓN DEL RIESGO.

Resumen: Según la Resolución CONAMA N° 420/2009, las áreas contaminadas deben gestionarse utilizando la metodología de Acciones Correctivas Basadas en Riesgos (ACBR). Por lo tanto, en este trabajo se propone un protocolo de diagnóstico con enfoque en el desarrollo de guiones que permitirán la recolección sistemática de datos y la producción de información que apoye la toma de decisiones por parte de los organismos ambientales. El protocolo fue desarrollado con base en la legislación de algunos estados brasileños, la ABNT y estándares internacionales. Para evaluar la efectividad del protocolo desarrollado se analizó un caso de contaminación por derrames de combustible ocurrido en el Distrito Federal en 2002, que aún no ha sido cerrado. En este trabajo se verificó si la utilización del protocolo propuesto llevaría al cumplimiento satisfactorio de las necesidades de los estudios antes mencionados sobre contaminación en el caso distrital. El protocolo propuesto demostró tener el alcance y la cobertura necesarios para resolver la mayoría de los problemas encontrados.

Palabras clave: contaminación ambiental; derrames de combustible; Evaluación de.

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 da qualidade das 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.

No âmbito internacional, foram criados muitos procedimentos, legislações, manuais, listas de verificação, entre outros produtos, que dão suporte ao processo de tomada de decisão relacionado à ocorrência e recuperação de áreas contaminadas.

Dentre as publicações geradas, Oliveira (2020) aponta a elaboração do *Quantification of Vapor Phase Related NSZD Processes da API (2017)* e *LNAPL Site Management: LCSM Evolution, Decision Process, and Remedial Technologies; LNAPL 3 (Updating ITRC - 2009)* do ITRC (2018) e o *Technical measurement guidance for LNAPL natural source zone depletion* do CRC CARE (2018), como sendo alguns dos mais atualizados sobre a temática.

No Brasil, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) foi precursora do denominado Gerenciamento de Áreas Contaminadas (GAC) no âmbito das instituições públicas brasileiras e teve como marco técnico a publicação do Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas, com a primeira edição em 1999.

A partir do Manual CETESB, outros instrumentos no estado de São Paulo foram elaborados até a promulgação, da Lei Estadual nº 13.577, de 08 de julho de 2009, a qual estabeleceu as bases para a elaboração, em nível Federal, da Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA nº 420 de 28 de dezembro de 2009 e das normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Todos os documentos e legislações citadas adotam as Ações Corretivas Baseadas no Risco (ACBR) como metodologia para orientação a tomada de decisão quanto às ações de gerenciamento de áreas contaminadas.

O processo de avaliação de risco proposto pela ACBR baseia-se em três estágios de coleta, tratamento e interpretação de dados que se tornam progressivamente mais específicos e

complexos à medida que os estudos sobre a área e o contaminante são desenvolvidos (ASTM, 2015).

A ABNT (2013) aborda a Avaliação de Risco como sendo uma etapa do processo de gerenciamento de áreas contaminadas a partir da metodologia ACBR, 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.

Segundo o Davis *et al.* (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.

A partir desse aspecto, os trabalhos Riyis (2012), Riyis *et al.* (2013), Riyis *et al.* (2017), Riyis (2019), (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 enviam os resultados e, conseqüentemente, impactam negativamente nas tomadas de decisão. Os problemas relatados podem ser associados ao uso de práticas de campo insuficientes para caracterização do meio físico (caracterização geológica e hidrogeológica), práticas obsoletas e incompatíveis com a investigação de voláteis.

Como exemplos desses problemas citam-se, o uso de metodologias de sondagem inadequadas, a 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 (Riyis, 2019b).

Além das incertezas causadas 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.

Complementarmente, Saatsaz & Eslamian (2020) reforçam que, embora os modelos numéricos utilizados para simulação do destino e transporte de contaminantes, 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, confiáveis, suficientes e precisos.

Riyis (2019) e Schneider *et al.* (2020) corroboram que, apesar de existirem inúmeras ferramentas 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 que os protocolos, metodologias e abordagens sejam estabelecidos, de modo que as tecnologias modernas disponíveis no exterior sejam adaptadas ao contexto brasileiro, tendo como um dos objetivos principais da investigação o aprimoramento continuado do Modelo Conceitual da Área. Essa abordagem denomina-se Investigação de Alta Resolução (*High-Resolution Site Characterization - HRSC*).

A 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 HRSC 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 aplicação de remediações mais apropriadas.

Tal cenário implica em desafios técnicos e 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.

Assim, a respeito da legislação e normalização desses procedimentos, em nível estadual, Araújo-Moura e Caffaro Filho (2015), Pereira *et al.* (2015), IPT (2016), Canario e Bettine (2020), Ferreira, Lofrano e Morita (2020) e Lima *et al.* (2023), traçaram panoramas que apontam que o arcabouço legislativo e normativo no Brasil é bastante heterogêneo.

Lima *et al.* (2023) citam que todos os Estados da Região Sudeste e Sul possuem legislação para o gerenciamento de áreas contaminadas para postos de combustíveis. Entretanto, outros 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. Para dez Estados, não foram encontradas leis ou normas que estabeleçam alguma normativa para o gerenciamento de áreas contaminadas, sendo cinco na Região Norte (Acre, Amapá, Rondônia, Roraima e Tocantins) e cinco na Região Nordeste (Alagoas, Ceará, Paraíba, Piauí e Sergipe).

Lima *et al.* (2023) destacam 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, fundamentam sua atuação, ainda que parcialmente, nas recomendações das boas práticas presentes nas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT.

Nesse contexto, se destacam como referência, a Decisão de Diretoria nº 038/2017/C da CETESB, a Resolução SEDEST nº 003/2020 do Estado do Paraná, o Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas da CETESB; e o conteúdo de cerca de 30 (trinta) normas da ABNT afetas ao tema.

No Distrito Federal (DF), dados disponíveis no Observatório da Natureza e Desempenho Ambiental (ONDA) no Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Distrito Federal – Instituto Brasília Ambiental (órgão de meio ambiente do DF), em consulta realizada em agosto de 2024, mostram a existência de 120 (cento e vinte) 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, um procedimento padrão completo que aborde as etapas do processo de Gerenciamento de Áreas Contaminadas.

Assim, muitas das lacunas de informação e incertezas apontadas por Riyis (2019), (Riyis et al., 2019a), (Riyis et al., 2019b) e Schneider *et al.* (2020) ainda persistem no processo de investigação e gerenciamento no Distrito Federal.

Nesse sentido, este trabalho tem o objetivo de propor um protocolo de diagnóstico de áreas contaminadas por hidrocarbonetos de petróleo baseado em uma sequência de procedimentos padronizados de execução das etapas de investigação de passivos ambientais para o gerenciamento de áreas contaminadas por hidrocarbonetos de petróleo no território do Distrito Federal. O protocolo estruturado poderá servir de subsídio à estruturação dos procedimentos, também, em outras unidades da Federação. Para avaliar a efetividade do protocolo proposto, a pesquisa traz como estudo de caso a análise da contaminação de aquífero por derrame de combustíveis por posto de gasolina ocorrido no Distrito Federal no ano de 2002.

2. Metodologia

A construção do Protocolo de Diagnóstico foi realizada a partir da avaliação dos parâmetros de cálculo utilizados na avaliação de risco e que serviu de base para definição de métodos de investigação que proporcionassem coleta de dados primários ou, quando secundários, escolhidos a partir de bases de informação consolidadas.

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 objetivo de avaliar como essas normas abordam a obrigatoriedade do uso das metodologias e soluções técnicas mais comumente utilizadas no processo de investigação e diagnóstico de contaminações.

Aplicaram-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 deste trabalho.

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 do trabalho.

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 e informações e produtos a serem apresentados (incluindo relatórios, plantas, croquis, cadeias de custódia, laudos laboratoriais, modelos hidrogeológicos e modelos de exposição).

Após a conclusão da análise comparativa, foi realizada uma análise pormenorizada das disposições contidas na Resolução Sedest 003/2020 e elaboradas propostas de Roteiros de investigação para as etapas de Avaliação Preliminar, Investigação Confirmatória, Investigação Detalhada e Análise de Risco à saúde.

A construção dos Roteiros foi feita a partir da composição de orientações contidas nos materiais de referência da CETESB, ABNT, SEDEST, Instituto Brasília Ambiental/DF, entre outros.

Com os Roteiros construídos, foi realizada sua aplicação ao estudo de caso e uma análise crítica sobre a competência e relevância do protocolo de investigação desenvolvido para suprir lacunas de informação, imprescindíveis para tomada de decisão.

3. Resultados

3.1. Proposta de Protocolo de Diagnóstico

A solução para aperfeiçoar a investigação e o diagnóstico da contaminação foi a adoção de roteiros de execução que abordassem a apresentação de conteúdo mínimo e adequado. Com base nessa avaliação, o Protocolo de Diagnóstico foi produzido a partir de roteiros

elaborados para cada etapa do gerenciamento de áreas contaminadas, os quais sintetizam os resultados obtidos.

No desenvolvimento, estabeleceu-se que os roteiros deveriam atender premissas como: a garantia da rastreabilidade dos dados e a conformidade na execução das atividades; a exigência da adoção de técnicas específicas e melhores práticas; a inibição e veto ao uso de técnicas não conformes; que o protocolo permita o estabelecimento de linhas de evidência para a obtenção e comprovação dos resultados; e promova 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 base nessas premissas, a elaboração dos roteiros de investigação teve início com a estruturação dos seguintes materiais: a organização dos conteúdos 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.

Foram utilizadas, também, bibliografias adicionais de referência, em especial o artigo de Riyis *et al* (2019a), Riyis *et al* (2019b) e a tese de Riyis (2019), que apresentam abordagens metodológicas orientadas para a investigação de alta resolução adaptadas ao cenário brasileiro.

A organização das etapas de investigação que compõem os roteiros pode ser observada na Figura 1. 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 Protocolo de Diagnóstico desenvolvido traz, para fins de 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.

Figura 1 - Fluxograma das etapas que compõem os roteiros do Protocolo de Diagnóstico de Áreas Contaminadas por Hidrocarbonetos de Petróleo desenvolvido.



3.1.1. Soluções aplicadas às etapas de Avaliação Preliminar e Investigação Confirmatória

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 as 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).

Assim, 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.

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.

Com base na análise do estudo de caso, a partir da verificação dos motivos das lacunas de informação foi acrescida 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 essa etapa também se vetou a utilização do método de determinação de VOC a partir da metodologia de *Soil Gas Survey (SGS)*, uma vez que, tal metodologia apresenta muitos erros nos resultados, seja pela ocorrência de falsos positivos, mas principalmente pela ocorrência de falsos negativos conforme orienta Riyis em (Riyis, 2018).

Adicionalmente aos roteiros das etapas de investigação e diagnóstico, foram confeccionados roteiros voltados à elaboração de produtos preliminares, denominados “Planos Preliminares de Amostragem”, conforme procedimentos adotados pelos 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 do Protocolo de Diagnóstico 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, agregam incertezas aos resultados dessa etapa.

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.

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), Riyis, M. T *et al.*(2019a) e Riyis, M. T *et al.*(2019b) 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, também são contemplados e significam uma modernização para maior assertividade dos resultados e, conseqüentemente, das ações corretivas baseadas no risco. Como 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.

Alia-se o uso na caixa de luz UV-A e Varredura Vertical de VOC com Aquecimento em Campo (VVVAC) 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.

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.

Para a estruturação do roteiro foi utilizada uma abordagem que permita a construção de um Modelo Conceitual da Área - MCA que garanta o desenvolvimento do escopo de amostragem e design amostral orientado para contemplar as áreas fontes e fontes potenciais e 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, o roteiro busca 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 MCA 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.

3.1.2. Soluções aplicadas às etapas de Investigação Detalhada e Avaliação de Risco

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.

Nesse sentido, a metodologia de Avaliação de Solo de Perfil Completo (ASPC) orienta a coleta de amostras indeformadas em profundidade e 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. Garante-se, com essa sequência, que o processo de modelagem possua menos incertezas e gere uma avaliação de risco mais assertiva.

De forma complementar, para todas as etapas que envolvem amostragem e análises químicas, foram demandadas 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.

No roteiro para avaliação de risco foram listadas condições para realização da Avaliação de Risco com base nas etapas de desenvolvimento previstas na ABNT 16.209:2013. Contemplou-se nesta etapa, 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 Avaliação de Risco Ecológico o estipulado pela Norma Técnica P4.001/2022 da CETESB. Aderindo 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 e permitem 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, se expressa a necessidade da apresentação integral e tecnicamente justificada dos parâmetros de interesse e dos memoriais de cálculo da Avaliação de Risco, assim, contribuirá para o aprimoramento das avaliações apresentadas.

Por fim, 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).

Foi acrescentada ao Protocolo de Diagnóstico 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.

3.2. Aplicabilidade do Protocolo desenvolvido com base em caso ocorrido no Distrito Federal

A partir da elaboração do Protocolo de Diagnóstico, os roteiros elaborados foram aplicados a um estudo de caso referente a vazamento de posto de combustível no DF (Auto Posto Brazuca), a fim de se avaliar sua efetividade no aprimoramento da coleta de dados e produção de informação, conforme metodologia apresentada.

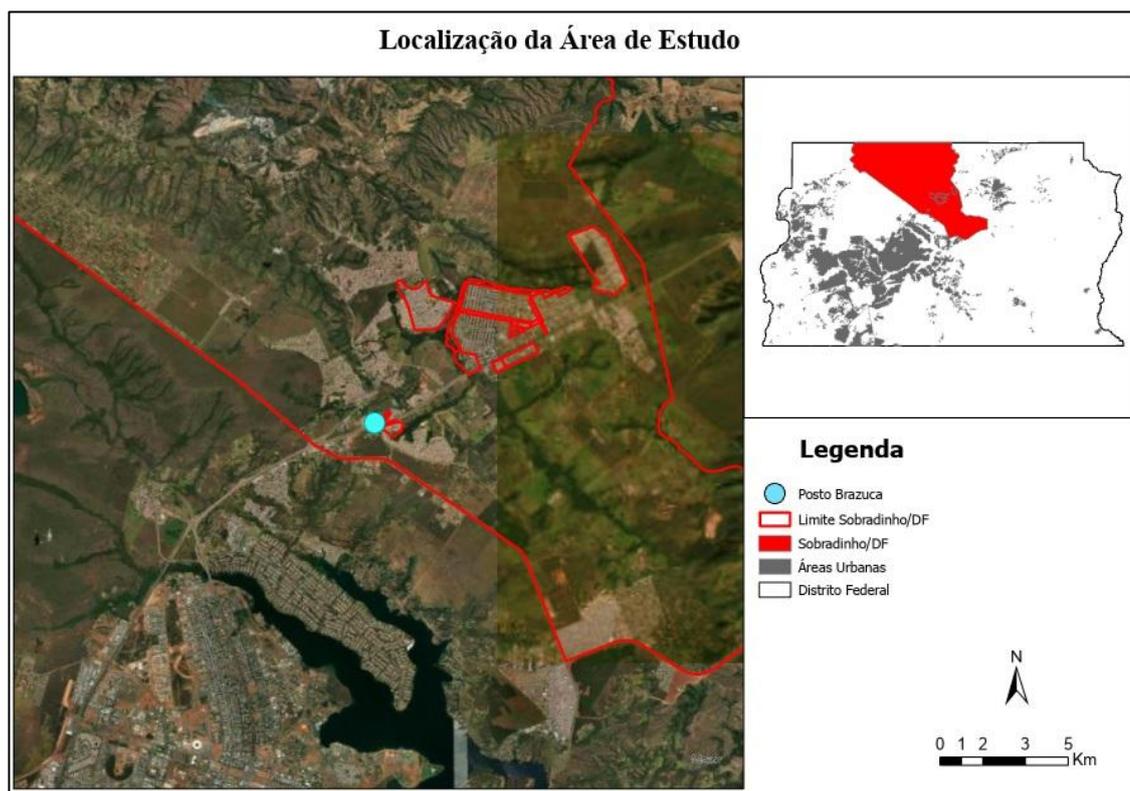
A área escolhida para esse estudo de caso está contaminada por hidrocarbonetos de petróleo, onde funciona um posto revendedor de combustível. O empreendimento está localizado na Rodovia BR 020, km 2.2, na Região Administrativa de Sobradinho - RA-V, Distrito Federal (Figura 2). As características da área apontam uma ocupação mista entre áreas urbanas residenciais e comerciais, mas ainda com a presença de áreas rurais adjacentes.

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, relacionados aos 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.

Os trabalhos de análise ambiental, investigação e intervenção no empreendimento foram iniciados após denúncias de moradores de algumas chácaras, localizadas nas áreas limítrofes

ao Auto Posto Brazuca, 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.

Figura 2 - Localização da área do estudo de caso.



Além disso, com o início das investigações, foram detectados em quatro avaliações de integridade 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.

Observa-se que a aplicação de medidas emergenciais deveria ser conduzida em conjunto com as ações de investigação, que seriam 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 do Protocolo de Diagnóstico desenvolvido, a aplicação 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.

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 houvesse as substituições de poços, quais as metodologias de sondagem, amostragem, instalação de poços de monitoramento, entre outros aspectos, que deveriam ter sido utilizados na avaliação? E 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 continuem a se desenvolver.

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.

Na sequência, 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.

Alguns dos problemas técnicos críticos identificados foram: a inexistência de informações sobre o perfil construtivo da maioria dos poços; ausência da descrição das técnicas de sondagens utilizadas; a falta de fonte e descrição de procedimento de obtenção da estratigrafia encontrada; a falta de informações a respeito das características e da posição da seção filtrante em relação comportamento do nível do aquífero (“afogamento”); a não correlação dos resultados com as unidades hidroestratigráficas, agregando incertezas aos dados analíticos apresentados sendo, inclusive, passíveis de invalidação e 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.

Os esforços empenhados na complementação dos Relatórios de Investigação do empreendimento não foram utilizados para elaboração de perfis hidroestratigráficos/litológicos.

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, geraram 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.

O Protocolo de Diagnóstico desenvolvido, com todos os roteiros elaborados, 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 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 Roteiros de Avaliação de Risco mais recentes, produzidos para o processo, pois tal documento, apesar de citado, não consta nos autos dos processos pesquisados.

4. Conclusões

- O Protocolo de Diagnóstico de Áreas Contaminadas por Hidrocarbonetos de Petróleo desenvolvido, com todos os roteiros elaborados, apresenta o conteúdo a ser abordado durante as etapas de investigação e que foram estabelecidos a partir de avaliações de métodos e práticas consolidados e convalidados em normas de referência nacionais e internacionais.

- A aplicação ao estudo de caso 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.
- 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.
- Os resultados do trabalho, 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, e poderá contribuir para outras unidades da Federação 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 do Protocolo e seus roteiros também podem fornecer subsídios para a aplicação de outras metodologias de Avaliação de Risco como, por exemplo, a metodologia ATSDR.

Referências Bibliográficas

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2013). *Avaliação de risco à saúde humana para fins de Gerenciamento de Áreas Contaminadas*. (NBR 16209:2013) (1ª ed.). ABNT.

Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente. *Resolução CONAMA nº 420 de 28 de dezembro de 2009*. (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.

http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=601

Brasília. Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Distrito Federal - Brasília Ambiental. *Instrução Normativa nº 28, de 11 de agosto de 2020*. (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. https://sinj.df.gov.br/sinj/Norma/c2c9879df8fd4647ba34b331c377eee5/Instru_o_Normativa_28_11_08_2020.html

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Áreas Contaminadas. *DECISÃO DE DIRETORIA Nº 038/2017/C, DE 07 FEVEREIRO DE 2017*. (2017). Dispõe sobre a aprovação do “Procedimento para a Proteção da Qualidade do Solo e das Águas Subterrâneas”, da revisão do “Procedimento para o Gerenciamento de Áreas Contaminadas” e estabelece “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. <https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2014/12/DD-038-2017-C.pdf>

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. (2023). *Áreas Contaminadas. Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas*. <https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/documentacao/manual-de-gerenciamento-de-areas-contaminadas/informacoes-gerais/apresentacao-2/>

CANARIO P.G.G., BETTINE S.C. (2020). *Gerenciamento de Áreas Contaminadas no Brasil: Uma Análise Crítica*, São Paulo, UNESP, Geociências, v. 39, n. 3, p. 751 – 764. <https://doi.org/10.5016/geociencias.v39i03.13180>

Davis, G. B., Merrick, N., & McLaughlan, R. (2006). *Protocols and techniques for characterising sites with subsurface petroleum hydrocarbons-a review technical CRC for*

Contamination Assessment and Remediation of the Environment. <https://crccare.com/wp-content/uploads/2022/12/CRCCARETechReport2-Protocolsandtechniquesforcharacterisingsiteswithsubsurfacepetroleumhydrocarbons2-1.pdf>

Ferreira, R.M.; Lofrano, F.C.; Morita, D.M. (2020). *Remediação de áreas contaminadas: uma avaliação crítica da legislação brasileira*. Engenharia Sanitária e Ambiental | v.25 n.1 | jan./fev. 2020 | 115-125. <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522020168968>

IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. (2016). *Panorama GAC: Mapeamento da cadeia de Gerenciamento de Áreas Contaminadas*. 1º. Ed. - São Paulo: IPT. PDF. <https://www.aesas.com.br/single-post/2017/04/23/panorama-gac>

Lima S.A., Koide S., Minoti R.T., Castanheira D. (2023). *Panorama do gerenciamento de áreas contaminadas por hidrocarbonetos de petróleo no Brasil - Arcabouço normativo nos estados da federação*. Anais do XXV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos da ABRHidro. <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=15349>

Milani, M. G. e C., Gonçalves A. C. M. (2021). 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*, v. 26(2), 327-337. <https://doi.org/10.1590/S1413-415220190043>

Oliveira, K. A. B. A. (2020). *Remoção de solo e sistema de bombeamento emergencial: um estudo de caso em terminal de combustíveis líquidos ativo impactado por biodiesel*. (Trabalho de Conclusão de Curso - MBA). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. Recuperado de <https://bdta.abcd.usp.br/directbitstream/93785477-63ac-4961-b62b-632a65e528f9/KATIA%20ABDALLA%20BARRETO%20ABIB%20OLIVEIRA%20PQI20.pdf>

Pereira H. E.; Bezerra J.S., Bárbara V.F., Barros R.G. (2015). *Panorama do Gerenciamento de Áreas Contaminadas no Brasil*. 28º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro.

https://www.researchgate.net/publication/340004044_PANORAMA_DO_GERENCIAMENTO_DE_AREAS_CONTAMINADAS_NO_BRASIL

Ravenscroft, Peter; Lytton, Lucy. (2022). *Seeing the Invisible: A Strategic Report on Groundwater Quality*. © Washington, DC: World Bank.
<http://hdl.handle.net/10986/37197>

Riyis, M.T., Giacheti, H. L., Derrite, R. M. (2013). *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.
https://www.abge.org.br/downloads/revistas/Artigo_InvestigacaoGeoambiental.pdf

Riyis, M.T., Derrite, R. e Jesus, L. (2017). *Avaliação das falhas no modelo conceitual de uma área contaminada utilizando investigação com métodos convencionais*. Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade, Vol. 12 nº 1 – junho de 2017, São Paulo: Centro Universitário Senac, ISSN 1980-0894, 12p.
https://www3.sp.senac.br/hotsites/blogs/InterfacEHS/wp-content/uploads/2017/06/7-200_InterfacEHS_ArtigoRevisado.pdf

Riyis, M.T. *Varredura de Compostos Orgânicos Voláteis – VOCs*. (2018).
<http://www.ecdambiental.com.br/2018/04/varredura-de-compostos-organicos.html>

Riyis, M.T. (2019). *Contribuição para investigação de áreas contaminadas com abordagem de alta resolução*. (Tese de Doutorado). Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Bauru, Bauru, 162f. <http://hdl.handle.net/11449/191563>

Riyis, M. T., de Jesus, L. S., Arakaki, E., & Giacheti, H. L. (2019a). *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>

Riyis, M. T., Arakaki, E., Riyis, M. T., & Giacheti, H. L. (2019b). *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>

Saatsaz, M. (2020). Groundwater Modeling and Its Concepts, Classifications, and Applications for Solute Transport Simulation in Saturated Porous Media. *Advances in Hydrogeochemistry Research*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.11923.71200/1>

Santos, M.A. (2009). *Avaliação de risco à saúde humana por exposição ambiental a hidrocarbonetos aromáticos monocíclicos – estudo de caso* (Dissertação de Mestrado), Universidade de Brasília – UNB, Brasília, DF, Brasil. <http://repositorio2.unb.br/handle/10482/4625>

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 de 22 de janeiro de 2020 (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. <https://www.legislacao.pr.gov.br/legislacao/listarAtosAno.do?action=exibir&codAto=230883>

Távora B.E. (2010). *Estudo da contaminação do lençol freático por hidrocarbonetos utilizando modelagem computacional* (Dissertação de Mestrado), Universidade de Brasília – UNB, Brasília, DF, Brasil. <https://repositorio.unb.br/handle/10482/9015>

UNESCO. Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura. (2022). *Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2022: águas subterrâneas: tornar visível o invisível*. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000380721>

USEPA – United States Environmental Protect Agency. (2011). *Environmental Cleanup Best Management Practices: Effective Use of the Project Life Cycle Conceptual Site Model*.

EPA 542-F-11-011, July 2011. <https://clu-in.org/download/remed/csm-life-cycle-fact-sheet-final.pdf>

USEPA - United States Environmental Protect Agency. (2015). *Ground Water Issue: Light Nonaqueous Phase Liquids*. EPA/540/S-95/500. <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-06/documents/lnapl.pdf>

USEPA - United States Environmental Protect Agency. (2023). *Superfund Remedial Investigation/Feasibility Study (Site Characterization)*. <https://www.epa.gov/superfund/superfund-remedial-investigationfeasibility-study-site-characterization>

USEPA - United States Environmental Protect Agency. (2023). *Characterization and Monitoring*. <https://clu-in.org/characterization/technologies/hrsc/hrscintro.cfm>

Publisher: Universidade Federal de Jataí. Instituto de Geografia. Programa de Pós-graduação em Geografia. Publicação no Portal de Periódicos UFJ. As ideias expressadas neste artigo são de responsabilidade de seus autores, não representando, necessariamente, a opinião dos editores ou da universidade.

Contribuições dos autores: Sandro Antonio de Lima: Conceituação, Curadoria de dados, Investigação, Escrita – rascunho original; Sergio Koide: Validação, Escrita – revisão; Ricardo Tezini Minoti: Validação, Escrita – revisão. Declaramos ainda ciência das Diretrizes Gerais da Geoambiente On-line.

Conflito de interesse: Os autores declaram que não possuem interesses financeiros ou não financeiros relevantes relacionados a este trabalho.