

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

SUE ANN RODRIGUES PALHETA

**Aplicação das etapas de gerenciamento de áreas contaminadas:
estudo de caso de uma unidade de tratamento de resíduos
desativada em *site* localizado na zona central do Rio de Janeiro**

Rio de Janeiro
2020

SUE ANN RODRIGUES PALHETA

**Aplicação das etapas de gerenciamento de áreas contaminadas:
estudo de caso de uma unidade de tratamento de resíduos
desativada em *site* localizado na zona central do Rio de Janeiro**

Versão Corrigida

Monografia apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos para obtenção do certificado de Especialista em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de *Brownfields*.

Orientador: Dr. Marcelo Martins Seckler

Rio de Janeiro

2020

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo-na-publicação

Palheta, Sue Ann

Aplicação das etapas de gerenciamento de áreas contaminadas: estudo de caso de uma unidade de tratamento de resíduos desativada em site localizado na zona central do Rio de Janeiro / S. A. Palheta -- São Paulo, 2020.

79 p.

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Química.

1.Áreas Contaminadas 2.Avaliação Preliminar 3.Investigação Confirmatória 4.Passivo Ambiental I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Química II.t.

Dedico este trabalho a minha mãe Eliana e ao meu irmão Juan, por serem meus maiores incentivadores, e principalmente pelo amor incondicional.

AGRADECIMENTOS

A todos os professores do curso de Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields por todo conhecimento compartilhado. Um agradecimento especial ao professor Dr. Marcelo Martins Seckler pela orientação e paciência.

Ao meu namorado Junior por todo por todo amor, carinho, dedicação emocional, companheirismo, incentivo e principalmente paciência. Obrigada pelos cafés, por aguentar tantas crises de ansiedade e estresse, e por ouvir minhas lamentações. Sem ele ao meu lado esse trabalho não seria possível.

Ao meu amigo e mentor Carlos Eduardo pela amizade, confiança, cumplicidade, por compartilhar toda sua experiência e conhecimento comigo, por todo o incentivo e paciência, sempre acreditando no meu potencial, e principalmente por me apresentar o mundo do gerenciamento de áreas contaminadas.

À Apollo Engenharia e Meio ambiente pelos desafios diários, oportunidade de crescimento profissional, e por ceder as informações necessárias a realização deste estudo.

A minha amiga no trabalho e na vida Tainá, por todo apoio, carinho, cumplicidade e companheirismo.

A minha colega do curso Janaína, pelos sábados de estudo, trocas de ideias e ajuda mútua, mesmo à distância.

A minha pequena Luna pelos momentos de descontração, amor e carinho incondicionais.

Por fim, agradeço a minhas amigas/irmãs esmeraldinhas pela força e torcida para que tudo desse certo.

“Conhecimento não é aquilo que você sabe, mas o que você faz com aquilo que você sabe.” (Aldous Huxley)

RESUMO

PALHETA, Sue Ann Rodrigues. Aplicação das etapas de gerenciamento de áreas contaminadas: estudo de caso de uma unidade de tratamento de resíduos desativada em site localizado na zona central do Rio de Janeiro, 2020. 79 f. Monografia (MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.

Ao longo das últimas décadas, áreas contaminadas têm se transformado em um dos mais relevantes problemas ambientais nos países densamente industrializados. Fato semelhante vem acontecendo no Brasil, em especial na região Sudeste, onde a intensidade da atividade industrial, associada a condutas negligentes, leva ao aparecimento de áreas contaminadas que oferecem riscos à saúde humana e ao meio ambiente. Uma etapa importante do gerenciamento de áreas contaminadas é a que ocorre após o encerramento das atividades industriais, quando se faz necessário realizar o planejamento das ações visando controlar os impactos ambientais decorrentes do processo de desmobilização, reduzir o passivo ambiental e preparar a área para um novo uso. Neste trabalho, foi apresentado um estudo de caso em que as etapas de Avaliação Preliminar e Investigação Confirmatória foram aplicadas a um *site* desativado, seguindo as metodologias descritas nas normas ABNT NBR 15515 parte 1 e parte 2. Diante dos resultados pôde-se concluir que as normativas utilizadas apresentam uma orientação satisfatória para execução das etapas de gerenciamento de áreas contaminadas, possibilitando o embasamento para tomadas de decisão futuras, referentes às etapas de detalhamento e, se necessária, de intervenção.

Palavras-chave: Áreas Contaminadas. Avaliação Preliminar. Investigação Confirmatória. Passivo Ambiental

ABSTRACT

PALHETA, Sue Ann Rodrigues. Application of contaminated areas management steps: case study of a decommissioned waste treatment unit located in the central area of Rio de Janeiro, 2020. 79 f. Monografia (MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.

Over the past few decades, contaminated areas have become one of the most relevant environmental problems in densely industrialized countries. A similar fact has been happening in Brazil, especially in the Southeast region, where the intensity of industrial activity, through negligent conduct, leads to the appearance of contaminated areas that pose risks to human health and the environment. An important step in the management of contaminated areas is that which occurs after the end of industrial activities, when it is necessary to carry out the planning of actions, reducing the environmental impacts resulting from the demobilization process, reducing the environmental liabilities, and preparing the area for a new use. In this work, a case study was presented where the stages of Preliminary Assessment and Confirmatory Investigation were applied to a deactivated site, following the methodologies in the standards ABNT NBR 15515 part 1 and part 2. In view of the results, it was concluded that as normative Uses a satisfactory orientation for the execution of the management stages of contaminated areas, enabling the basis for the future decision, referring to the details and, if necessary, intervention.

Keywords: Contaminated Sites. Preliminary Assessment. Confirmatory Investigation. Environmental Liability

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma gerenciamento de áreas contaminadas no estado do Rio de Janeiro.	22
Figura 2 - Fluxograma do processo de Avaliação Preliminar.	25
Figura 3 - Fluxograma do processo de Investigação Confirmatória.	27
Figura 4 - Fluxograma do processo de Investigação Detalhada.	29
Figura 5 - Fluxograma do processo de Avaliação de Risco à Saúde Humana (ARSH)	30
Figura 6 - Mapa de localização do Estado Rio de Janeiro	32
Figura 7 – Delimitação do bairro de Benfica/RJ	32
Figura 8 - Mapa geológico da área de estudo, que encontra-se na área identificada como Qha.....	34
Figura 9 – Mapa geomorfológico da área de estudo que encontra-se na área identificada com o número 122.	34
Figura 10 – Área da antiga unidade de tratamento de resíduos.....	37
Figura 11 – Monitoramento dos parâmetros físico-químicos.....	43
Figura 12 – Coleta de amostra de água subterrânea.....	43
Figura 13 – Mapa de classificação das AP e AS.....	49
Figura 14 – Mapa potenciométrico local.....	54
Figura 15 – Pluma de contaminação por TPH e Chumbo total.	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação das áreas.....	37
Tabela 2 – Características das sondagens (SD).....	38
Tabela 3 – Características das amostras de solo.....	40
Tabela 4 - Características das amostras de solo enviadas para análises físico-químicas.	41
Tabela 5 - Características das amostras de água subterrânea.	44
Tabela 6 – Modelo conceitual da Avaliação Preliminar (continua).	50
Tabela 7 – Modelo conceitual da Avaliação Preliminar (conclusão).....	51
Tabela 8 - Resultados dos parâmetros físicos da amostra de solo.	53
Tabela 9 - Resultados dos parâmetros físico-químicos da amostra de solo.	53
Tabela 10 - Cotas topográficas, N.A, Profundidade e Cargas Hidráulicas dos poços.	53
Tabela 11 - Condutividade hidráulica obtida nos poços de monitoramento.	55
Tabela 12 - Velocidade do fluxo da água subterrânea.	55
Tabela 13- Resultados de PCBs em solo (mg/Kg).	56
Tabela 14 - Resultados de VOC em solo (mg/Kg).	57
Tabela 15 - Resultados de SVOC em solo (mg/Kg).	58
Tabela 16 - Resultados de TPH <i>finger print</i> em solo (mg/Kg).	59
Tabela 17 - Resultados de metais totais em solo (mg/Kg).	60
Tabela 18- Resultados de PCBs em água subterrânea (µg/L).	61
Tabela 19 - Resultados de VOC em água subterrânea (µg/L).	62
Tabela 20 - Resultados de SVOC em água subterrânea (µg/L).	63
Tabela 21 - Resultados de TPH <i>Finger Print</i> em água subterrânea (µg/L).	64
Tabela 22 - Resultados de Metais Totais em água subterrânea (µg/L).	65
Tabela 23 – Modelo conceitual atualizado.	70

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AC	Área contaminada
ANA	Agência Nacional de Águas
AP	Área com Potencial de Contaminação
AS	Área Suspeita de Contaminação
BDNAC	Banco de Dados Nacional sobre Áreas Contaminadas
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo
CMAs	Concentrações Máximas Aceitáveis
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONEMA	Conselho Estadual do Meio Ambiente
Eh	Potencial Redox
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
NA	Nível d'água
NBR	Normas Brasileiras de Regulação
OD	Oxigênio Dissolvido
PCBs	Bifenilas Policloradas
pH	Potencial Hidrogeniônico
PID	Photo Ionization Detector – Detector de Fotoionização
SGB	Serviço Geológico do Brasil
SIAGAS	Sistema de Informações de Águas Subterrâneas
SNIRH	Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos
SQIs	Substâncias Químicas de Interesse
SVOC	Compostos Orgânicos Semi Voláteis
TE	Termo de Encerramento
TPH	Hidrocarbonetos Totais de Petróleo
UTM	Universal Transversa de Mercator
VI	Valor de Intervenção
VOC	Compostos Orgânicos Voláteis
VT	Valor de Alerta

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS.....	16
2.1 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	16
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
3.1 ÁREAS CONTAMINADAS	17
3.2 GERENCIAMENTO DE ÁREAS CONTAMINADAS	18
3.2.1 Legislação Federal	18
3.2.2 Legislação Estadual – Rio de Janeiro	20
3.3 NORMAS TÉCNICAS.....	22
3.3.1 ABNT NBR 15.515-1 - Avaliação Preliminar	23
3.3.2 ABNT NBR 15.515-2 - Investigação Confirmatória	25
3.3.3 ABNT NBR 15.515-3 - Investigação Detalhada.....	27
3.3.4 ABNT NBR 16209 - Avaliação de Risco à Saúde Humana	29
4 METODOLOGIA	31
5 ESTUDO DE CASO	32
5.1 AVALIAÇÃO PRELIMINAR	33
5.1.1 Caracterização do meio físico	33
5.1.2 Caracterização do Entorno.....	34
5.1.3 Análise Multitemporal	35
5.1.4 Caracterização da Área de Estudo.....	35
5.1.5 Classificação das Áreas	37
5.2 INVESTIGAÇÃO CONFIRMATÓRIA	38
5.2.1 Sondagem	38
5.2.2 Amostragem de Solo.....	39
5.2.3 Instalação de Poços de Monitoramento	41
5.2.4 Amostragem de Água Subterrânea e Medições dos Parâmetros Físico-Químicos	42
5.2.5 Levantamento Topográfico e Medição de Nível d'água	45
5.2.6 Ensaios de Permeabilidade	46
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	48
6.1 AVALIAÇÃO PRELIMINAR	48

6.2 INVESTIGAÇÃO CONFIRMATÓRIA	52
6.2.1 Sondagem de Investigação	52
6.2.2 Resultados Analíticos de Solo	56
6.2.3 Resultados Analíticos de Água Subterrânea	61
6.2.4 Revisão do Modelo Conceitual	69
7 CONCLUSÕES	71
REFERÊNCIAS.....	74

1 INTRODUÇÃO

A conscientização mundial sobre os problemas ocasionados por áreas contaminadas se deu ao final da década de 70 e início da década de 80, após os incidentes de extrema relevância, tais como *Love Canal*, nos Estados Unidos; *Lekkerkerk*, na Holanda; e *Villela Salle*, no Canadá. A partir destes fatídicos eventos foram desenvolvidas políticas e criadas legislações específicas para regulamentar diversos temas relacionados ao meio ambiente, entre elas o estabelecimento de normas orientadoras para execução das etapas de gerenciamento de áreas contaminadas (BEAULIEU, 1998).

No Brasil, a industrialização e a expansão urbana, assim como a forma de organização do espaço, refletiram por anos nas questões envolvendo contaminação e poluição do solo, das águas e do meio ambiente. A alta intensidade da atividade industrial, associada a negligência e falta de conhecimento técnico sobre a gestão de resíduos industriais, levou ao aparecimento de áreas contaminadas, oferecendo riscos à saúde humana e ao meio ambiente. Um dos primeiros casos noticiados no Brasil foi em 1975, quando o complexo industrial das Indústrias Reunidas Matarazzo, localizada na cidade de São Caetano do Sul, começou a ser desativado. As instalações permaneceram em operação por mais de 30 anos até o reconhecimento do poder público sobre a existência da contaminação por resíduos, geridos inadequadamente, provenientes do processo produtivo de diversos produtos químicos (IPT, 2014). No Rio de Janeiro, o caso da contaminação do solo por pesticidas organoclorados (hexaclorociclohexano – HCH) na Cidade dos Meninos em Duque de Caxias foi o mais emblemático até hoje, em virtude ao armazenamento inadequado ao longo de muitos anos de material tóxico que operou no local e encontra-se abandonada desde a década de 1960.

Um dos marcos do gerenciamento de áreas contaminadas no Brasil foi publicação da Resolução CONAMA nº 420 em 28 de dezembro de 2009, tendo como uma de suas premissas “estabelecer critérios para definição de valores orientadores para a prevenção da contaminação dos solos e de definir diretrizes para o gerenciamento de áreas contaminadas”. A CONAMA 420/2009 possibilitou a atuação mais efetiva dos órgãos ambientais estaduais, fazendo com que criassem suas legislações acerca da temática das áreas contaminadas, e apresentassem

procedimentos e critérios para integração entre órgãos nas esferas federal e estadual. Para tanto, foi instituído o Banco de Dados Nacional sobre Áreas Contaminadas (BDNAC), porém, até o presente momento, apenas os estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro publicaram informações sobre o tema, demonstrando a dificuldade na implementação das medidas em nível nacional (IBAMA, 2020).

A atuação do estado do Rio de Janeiro se deu de maneira mais efetiva em 2012, a partir da publicação da Resolução CONEMA nº44/2012 que dispõe sobre a obrigatoriedade da identificação de eventual contaminação em áreas no âmbito do processo de licenciamento ambiental (CONEMA, 2012). A Resolução determina a apresentação de relatório ambiental de identificação da contaminação do solo e água subterrânea, como requisito obrigatório dos requerimentos de licenciamento ambiental. Para tal, o relatório deve apresentar a etapa de identificação do gerenciamento de áreas contaminadas utilizando a metodologia proposta na norma ABNT NBR 15515 e suas partes.

Baseado nestas informações, o estado desenvolveu o cadastro de áreas contaminadas através do Instituto Estadual do Meio Ambiente resultando (INEA). No ano de 2013 foi publicada a 1ª edição do relatório de Cadastro de Áreas Contaminadas e Reabilitadas, contendo informações detalhadas sobre a localização das áreas contaminadas e atividades. Este relatório teve sua última publicação no ano de 2015, quando apresentou um total de 328 áreas contaminadas cadastradas, com destaque para postos de combustíveis (59 %) e indústrias (34%) (INEA, 2015).

Um caso particular de aplicação das etapas de gerenciamento de áreas contaminadas ocorre na ocasião de encerramento das atividades de empreendimentos industriais, quando se faz necessário realizar o planejamento das ações que antecedem o fechamento da indústria a fim de controlar os impactos ambientais decorrentes do processo de desmobilização, reduzir o passivo ambiental e preparar a área para um novo uso (SÁNCHEZ, 2001).

No estado do Rio de Janeiro, o processo de licenciamento ambiental de uma atividade institui, após o início da sua desativação, o cumprimento do Termo de Encerramento (TE) como obrigação legal a ser cumprida para encerramento das operações cujas atividades sejam consideradas potencialmente poluidoras ou degradadoras do meio ambiente. Como parte dos requisitos, deve-se apresentar o

relatório de avaliação de situação ambiental, contendo informações sobre a destinação ambientalmente correta dos resíduos gerados, a reparação de danos eventualmente causados ao ambiente pela atividade, e o atendimento aos padrões estabelecidos pela legislação vigente quanto a qualidade do solo e das águas superficiais e subterrâneas.

Neste trabalho, será apresentado um estudo de caso em que as etapas preconizadas para realização do gerenciamento de áreas contaminadas foram aplicadas a um *site* desativado, situado na cidade do Rio de Janeiro. O referido estudo foi realizado em atendimento aos requisitos para obtenção do Termo de Encerramento das atividades do local, considerando as exigências legais dos órgãos competentes.

2 OBJETIVOS

Aplicar as etapas de Avaliação Preliminar e Investigação Confirmatória conforme preconiza as normas ABNT NBR 15.515-1 e 15.515-2, visando investigar possível contaminação de solo e água subterrânea em *site* localizado na zona central da cidade do Rio de Janeiro, onde se encontra uma unidade de tratamento de resíduos atualmente desativada, bem como propor ações ambientais futuras com base nos resultados obtidos.

2.1 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

No capítulo 2 é abordado o tema áreas contaminadas, os aspectos legais do gerenciamento de áreas contaminadas no âmbito federal e estadual (Rio de Janeiro) e o as normas técnicas ABNT NBR referente as etapas de gerenciamento de áreas contaminadas.

No capítulo 3 é apresentada a metodologia utilizada para desenvolvimento do trabalho, e no capítulo 4 é apresentado o estudo de caso. São apresentadas as principais características da área de interesse e as etapas da aplicação da norma ABNT NBR 15515-1 (avaliação preliminar) e ABNT NBR 15515-2 (investigação confirmatória).

No capítulo 5 são os resultados obtidos e a análise para confirmação de possível contaminação ou não.

Por fim, o capítulo 6 sintetiza as conclusões do trabalho e sugere possíveis abordagens para a ações futuras.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 ÁREAS CONTAMINADAS

O modelo de industrialização e a expansão urbana no Brasil, bem como a forma de organização no espaço, refletiram em poluição urbana, sendo recentes as políticas públicas que visam a minimização dos impactos e gerenciamento de áreas contaminadas. Regiões intensamente industrializadas, como no sudeste do Brasil, tendem a apresentar maior incidência de áreas contaminadas, em virtude do passado ausente de políticas públicas de controle ambiental. Atualmente, tem aumentado consideravelmente a participação dos órgãos ambientais competentes na identificação, avaliação e investigação destas áreas (ARÊAS et. al. 2017).

De acordo com o INEA (2015), área contaminada (AC) é definida pela presença de substâncias químicas de interesse (SQIs) no solo, sedimento, ar ou água provenientes de atividades antrópicas, em concentrações acima dos valores de referência vigentes, que indique potencial risco à saúde humana ou ao meio ambiente, bem como acarretar restrições ao uso do solo e danos ao patrimônio público e privado, pela desvalorização das propriedades, além de outros impactos negativos, por vezes não mitigáveis, ao meio ambiente.

A contaminação nem sempre se limita a uma área específica. De acordo Rodrigues (2003), os contaminantes podem migrar do solo para a água subterrânea, ou ainda, podem ser lixiviados para o entorno e/ou cursos d'água. Também pode-se relacionar a contaminação, com atitudes negligentes e/ou liberações involuntárias de substâncias químicas perigosas ou de subprodutos gerados por estas.

Silva (2007) cita dois fatores principais responsáveis pela contaminação do solo, sendo o primeiro o descarte ilegal de resíduos industriais e em segundo, a desativação de empreendimento e, posterior abandono, sem o com que haja o devido planejamento e subsequente monitoramento, bem como ações para recuperação da área para o uso futuro.

Passivo ambiental é descrito por Hendges (2013), como um conjunto de danos causados ao meio ambiente que representa as obrigações e responsabilidades sociais das empresas com os aspectos ambientais de suas atividades. A relevância dos passivos na contabilidade ambiental é um elemento fundamental para identificar,

avaliar e quantificar os custos e gastos ambientais que necessitam de atenção em curto, médio ou longo prazo.

Portanto, uma área contaminada é considerada um passivo ambiental de aspectos físico, e os custos para sua recuperação podem ser muito altos, sobretudo se não for realizada uma caracterização minuciosa para estudo da área, que dê estrutura a um modelo conceitual do *site* robusto, de forma que fique de acordo com a complexidade do problema.

3.2 GERENCIAMENTO DE ÁREAS CONTAMINADAS

Conforme estabelecido pela ABNT NBR 16.210 (2013), o gerenciamento de áreas contaminadas é o conjunto de medidas que visam assegurar o conhecimento das características das áreas contaminadas, bem como dos impactos provenientes da contaminação, proporcionando instrumentos necessários para tomada de decisão acerca das formas de intervenção mais adequadas, objetivando reduzir para níveis aceitáveis, os riscos a que estão sujeitos à população e o meio ambiente, em virtude de exposição às substâncias oriundas dessas áreas.

Em suma, pode-se dizer que o gerenciamento de áreas contaminadas é um conjunto de metodologias e técnicas que permitem avaliar as características de áreas potencialmente contaminadas e dos impactos por elas sofridas, sendo possível estabelecer as soluções ambientais mais adequadas, de acordo com cada situação e gravidade. É realizado, de maneira geral, através das etapas de identificação, diagnóstico e intervenção.

3.2.1 Legislação Federal

A Resolução CONAMA 420, regulamentada em 28 de dezembro de 2009, foi a primeira normativa legal relacionada à áreas contaminadas publicada no Brasil no âmbito federal, a qual determina as diretrizes para a realização das etapas de gerenciamento ambiental em uma área contaminada, bem como estabelece os valores orientadores, referentes as concentrações de substância químicas que indicam sobre a qualidade e alterações do solo e da água subterrânea proveniente de atividades antrópicas. E ainda que estabeleça critérios para avaliar a qualidade de um

ambiente já contaminado, é destacada a proteção do solo não só em caráter corretivo, mas também preventivo, de modo a garantir a manutenção de suas funções naturais.

A publicação da Resolução CONAMA 420/2009, significou um avanço expressivo acerca das questões relacionadas ao gerenciamento de áreas contaminadas no Brasil segundo Mattiaso (2010), visto que o Conselho Nacional do Meio Ambiente dispunha de resoluções para tratar a qualidade do ar e da água desde os anos 80, mas nenhuma em relação à qualidade do solo. E os critérios estabelecidos nesta resolução são análogos aos critérios atualmente aplicados nos países desenvolvidos, incorporando a avaliação de risco e o uso pretendido do solo.

Importante ressaltar que a Resolução CONAMA nº 420/2009, estabelece que os órgãos ambientais competentes deverão dar publicidade às informações sobre as áreas contaminadas identificadas e suas principais características. A Resolução ainda atribui ao órgão ambiental a obrigação de instituir durante o processo de gerenciamento de áreas contaminadas procedimentos e ações que contemplem as etapas de identificação de áreas suspeitas de contaminação, diagnóstico (a fim de caracterizar a contaminação) e intervenção, realizada por meio de ações de controle e mitigação dos riscos. Durante este processo as áreas podem ser classificadas pelo órgão ambiental competente como a seguir (CONAMA, 2009):

- a) Área Suspeita de Contaminação (AS): ocorre quando após a investigação preliminar, durante a etapa de identificação, são evidenciados indícios da presença de contaminação ou identificadas condições perigosas;
- b) Área Contaminada sob Investigação (AI): considerada após a constatação de contaminação (investigação confirmatória) com concentração de substância(s) acima dos valores de investigação, durante a etapa de diagnóstico;
- c) Área Contaminada sob Intervenção (ACI): declarada quando for constatada a presença de substâncias químicas em fase livre (imiscível) ou for comprovada, após investigação detalhada e análise de risco, existência de risco à saúde humana; e
- d) Área em Processo de Monitoramento para Reabilitação (AMR): classificação atribuída à área considerada com risco tolerável, após a execução da avaliação de risco.

A Resolução define ainda o escopo de responsabilidades relacionado ao processo de gerenciamento de áreas contaminadas, cabendo ao responsável pela contaminação da área propor ao órgão ambiental competente ações de intervenção que contemplem o controle ou eliminação das fontes de contaminação, a avaliação de risco à saúde humana e o monitoramento da eficácia das medidas adotadas. Em contrapartida, é definida a responsabilidade do órgão ambiental com relação ao acompanhamento e avaliação das etapas do gerenciamento e, quando da constatação de área contaminada, realizar a comunicação com os *stakeholders*.

3.2.2 Legislação Estadual – Rio de Janeiro

O pioneirismo do estado do Rio de Janeiro na temática da proteção ambiental ocorreu através do Decreto-Lei nº 134/75, que tornou obrigatória a prévia autorização para funcionamento e operação de instalação ou atividades real ou potencialmente poluidoras em consonância com o Decreto nº 1.633/77 que instituiu o Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras (SLAP) (Jaccoud, 2017). O processo de licenciamento abrangia três tipos de licenças ordinárias da legislação ambiental atual: a Licença Prévia (LP), a Licença de Instalação (LI) e a Licença de Operação (LO).

No ano de 2009 foi instituído o Sistema de Licenciamento Ambiental (SLAM), com a publicação do Decreto nº 42.159, alterado pelo Decreto Estadual nº 44.820, em 2 de junho de 2014, o qual define as seguintes licenças: Licença Ambiental Simplificada (LAS), Licença Prévia e de Instalação (LPI), Licença de Instalação e Operação (LIO); a Autorização Ambiental (AA); a Certidão Ambiental (CA), o Certificado Ambiental (CTA); a Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos (OUT); o Documento de Averbação (AVB). Além destas, foram definidas também as licenças específicas para o gerenciamento de áreas contaminadas, definidas a seguir:

- a) Licença de Operação e Recuperação (LOR): ato administrativo mediante o qual o órgão ambiental autoriza a operação de um empreendimento ou atividade, concomitante à recuperação ambiental de áreas contaminadas;
- b) Licença Ambiental de Recuperação (LAR): ato administrativo mediante o qual o órgão ambiental autoriza a recuperação de áreas contaminadas em atividades ou empreendimentos desativados, fechados ou abandonados ou

ainda de áreas degradadas, de acordo com os critérios técnicos estabelecidos em leis e regulamentos.; e

- c) Termo de Encerramento (TE): é o ato administrativo mediante o qual o órgão ambiental atesta a inexistência de passivo ambiental que represente risco ao ambiente ou à saúde da população, quando do encerramento de determinado empreendimento ou atividade, após a conclusão do procedimento de recuperação mediante LAR, quando couber, estabelecendo as restrições de uso da área, e nos casos onde seja necessário estabelecer o prazo para o encerramento de atividades e empreendimentos, onde a Licença de Operação não será concedida (RIO DE JANEIRO, 2014).

No estado do Rio de Janeiro, a legislação específica para o gerenciamento de áreas contaminadas é a Resolução CONEMA nº 44/2012 que 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.

Deste modo, os empreendimentos ficam obrigados, seja no requerimento de um novo processo de licenciamento como na renovação da licença, a realização de um estudo de avaliação da qualidade do solo e águas, bem como a apresentação de relatório de avaliação preliminar, e caso necessário, relatório de investigação confirmatória, sendo estes realizados com base nas diretrizes da CONAMA nº 420/2009 e orientações das Normas específicas da ABNT, tais como a Norma ABNT NBR 15.515 e suas partes. Caso constatados indícios de perigo à vida ou à saúde humana, o responsável legal deverá comunicar imediatamente aos órgãos pertinentes e adotar prontamente ações de intervenção emergenciais (AIE) necessárias para reduzir ou até eliminar o risco imediato.

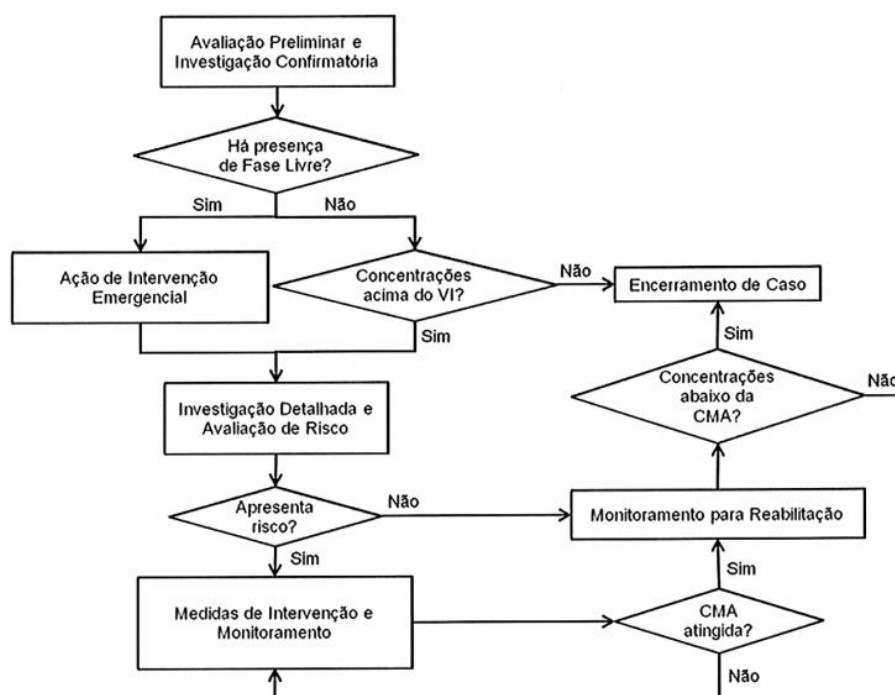
Importante ressaltar que as ações de intervenção emergenciais (AIE) deverão ser executadas no decorrer de qualquer uma das etapas do gerenciamento de áreas contaminadas, em que existam receptores sujeitos às situações de perigo.

Além disso, a Resolução CONEMA nº 44/2012 não estabelece valores orientadores para solos e águas subterrâneas, sendo considerados como valores orientadores os valores de investigação (VI) determinados na Resolução CONAMA nº

420/2009 e, na ausência destes, os valores de referência estabelecidos nas normas internacionais.

A partir das etapas de avaliação preliminar e investigação confirmatória, conforme apresentado na Figura 1, define-se o instrumento licenciatório aplicável ao caso, com ou sem exigências de recuperação ambiental.

Figura 1 - Fluxograma gerenciamento de áreas contaminadas no estado do Rio de Janeiro.



Fonte: CONEMA (2012).

3.3 NORMAS TÉCNICAS

Tendo como base a normativa de gerenciamento de áreas contaminadas criada pelo órgão americano *American Society for Testing and Materials* (ASTM), a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) elaborou a norma 15.515 “Passivo ambiental em solo e água subterrânea”, dividida em três partes destinadas a orientar na identificação de indícios de contaminação de solo e água subterrânea, estabelecendo os procedimentos mínimos para execução da Avaliação Preliminar, Investigação Confirmatória e Investigação Detalhada de passivos ambientais.

3.3.1 ABNT NBR 15.515-1 - Avaliação Preliminar

A primeira publicação da norma ABNT NBR15.515-1 ocorreu em dezembro de 2007 tendo como base a norma internacional ASTM E 1527:2005 “*Standard Practice for Environmental Site Assessments: Phase I Environmental Site Assessment Process*”. Mais tarde, a referida norma foi revisada e em abril de 2011 foi publicada uma errata, com algumas modificações. A normativa fornece as diretrizes para a execução do estudo de avaliação preliminar e tem como objetivo principal identificar indícios de contaminação do solo e água subterrânea em uma determinada área, através de análise de informações obtidas através de minucioso trabalho. Sua elaboração é imprescindível para a execução eficiente das etapas posteriores.

Segundo a NBR 15.515-1, a avaliação preliminar é o diagnóstico inicial da área, realizado por profissional habilitado através da coleta de dados existentes e uma inspeção de reconhecimento no local. Cabe a este profissional a escolha dos meios devidos visando alcançar o melhor resultado possível, permitindo com cautela e razoabilidade julgamento crítico sobre a potencialidade da contaminação.

A fase de coleta de dados contempla os estudos histórico da área e de uso e ocupação do entorno, o reconhecimento das atividades executadas, as substâncias químicas utilizadas, a localização das áreas potenciais, sendo as imagens aéreas aerofotogramétricas temporais instrumentos de suma importância para realizar essas identificações, possibilitando uma avaliação histórico-social, urbanística e administrativa da área a ser investigada.

Com o intuito de caracterizar o meio físico para compreender como se dá o transporte de possíveis contaminantes na área, a norma determina a obtenção de informações acerca da geologia, hidrogeologia, geomorfologia, hidrologia e meteorologia.

Estes dados previamente obtidos devem ser confirmados na fase de inspeção e reconhecimento da área, quando através de uma vistoria na área, busca-se constatações sobre possíveis fontes de contaminação. Além da vistoria detalhada da área, a norma destaca o valor das entrevistas realizadas com pessoas detentoras de conhecimento sobre o local, permitindo colher informações que não seriam possíveis adquirir através de base de dados convencionais ou observações.

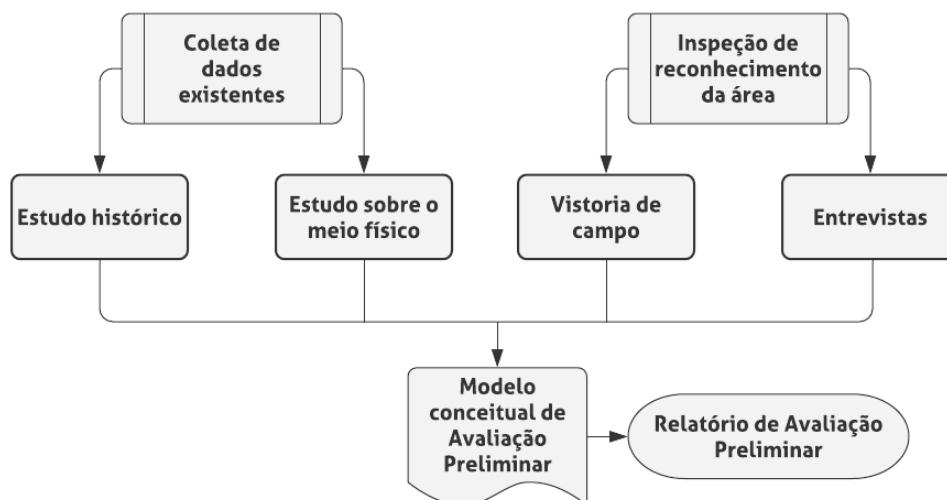
A fim de melhor organizar as informações obtidas durante a avaliação preliminar, a norma indica um modelo de ficha técnica de inspeção que deve ser preenchido. Trata-se de um documento-guia com questões elaboradas de forma que se torne possível definir se existem indícios de contaminação na área, e ainda indica a construção de um croqui onde são apontados esquematicamente o posicionamento das fontes potenciais de contaminação e dos bens a proteger, localizados dentro e fora da área.

A síntese de todas as informações obtidas durante a avaliação preliminar é realizada será apresentada no modelo conceitual, que pode ser representado através de uma tabela ou em um croqui esquemático da área. Dentre as informações que devem integrar o seu conteúdo, as principais são aquelas relacionadas as fontes potenciais de contaminação; os mecanismos de liberação dos contaminantes; as vias de transporte dos contaminantes no meio; os receptores da contaminação e bens a proteger. Além da classificação das áreas identificadas na avaliação preliminar, que podem ser:

- a) área com potencial de contaminação (AP) - área onde foram ou estão sendo desenvolvidas atividades com potencial de contaminação;
- b) área suspeita de contaminação (AS) - área onde foram observados indícios de contaminação.

A Figura 2, apresenta as principais etapas para a execução da avaliação preliminar, de acordo com a norma ABNT NBR 15.515-1.

Figura 2 - Fluxograma do processo de Avaliação Preliminar.



Fonte: Adaptado de ABNT NBR 15515-1 (2011).

Importante mencionar que para elaboração do modelo conceitual foi publicada, em agosto de 2013, a norma ABNT NBR 16210. A normativa estabelece que o modelo conceitual deve ser utilizado para integrar todas as informações acerca da área investigada a fim de verificar a necessidade ou não de buscar uma complementação das informações disponíveis. A norma ainda cita que as incertezas associadas ao modelo, usualmente maiores nos primeiros estudos, devem ser identificadas, registradas, justificadas e se possível quantificadas, de forma que medidas possam ser tomadas objetivando sua redução a níveis aceitáveis dentro do contexto do estudo.

Por fim, cumpridos estes passos, quanto a definição de áreas suspeitas de contaminação e/ou áreas com potencial de contaminação, o gerenciamento passa para a segunda etapa, a investigação confirmatória, normatizada pela NBR 15.515-2.

3.3.2 ABNT NBR 15.515-2 - Investigação Confirmatória

A norma ABNT NBR 15.515-2 estabelece os requisitos mínimos necessários para o desenvolvimento da investigação confirmatória, e tem como objetivo principal a confirmação da existência ou não de contaminação do solo e água subterrânea nas

áreas classificadas inicialmente (na avaliação preliminar) como potenciais ou suspeitas de contaminação.

A investigação confirmatória é baseada no modelo conceitual realizado na avaliação preliminar. Entretanto, quando as informações do modelo não são claras acerca das áreas potenciais e/ou suspeitas de contaminação, deve ser verificada a possibilidade de refinamento deste modelo, com a busca de informações adicionais bem como a aplicação de metodologias de tecnologias de resposta rápida, visando a diminuição do nível de incerteza do modelo, resultando em um plano de amostragem acurado.

No plano de amostragem são definidas as substâncias químicas de interesse (SQIs), focando no histórico das atividades executadas na área, nas áreas fonte, nos mecanismos de liberação, nas vias de transporte dos contaminantes de forma a prevenir a migração dos mesmos, chegando por fim na definição da locação dos pontos de sondagem e instalação de pontos de monitoramento e consequentemente, na coleta das amostras para análise.

A ABNT NBR 15.515-2 ainda traz a indicação de outras normas relacionadas a execução das sondagens para fins ambientais, projeto, construção e desenvolvimento de poços de monitoramento, amostragem de águas subterrâneas, conservação de amostras, credibilidade dos laboratórios de análises físico-químicas tal como os fatores relativos aos valores de referências e as metodologias a serem utilizadas na execução das análises.

Em uma investigação confirmatória as sondagens possuem como objetivos: avaliar o perfil litológico do subsolo e as suas características locais, visando o levantamento de aspectos, visuais, estruturais e organolépticos, e realizar a coleta de amostras de solo para análises das SQIs. Adicionalmente são instalados poços de monitoramento nas áreas classificadas como potenciais e/ou suspeitas, bem como a montante e a jusante destas áreas, de forma a abranger os locais onde é esperado a ocorrência das maiores concentrações de contaminantes de acordo com o que foi definido no modelo conceitual preliminar, com o objetivo de avaliar a presença de contaminação. Posteriormente é realizada a campanha de monitoramento para realização da coleta de amostras de água subterrânea e enviadas para análise em laboratórios credenciados que atendam aos requisitos estabelecidos pelos órgãos

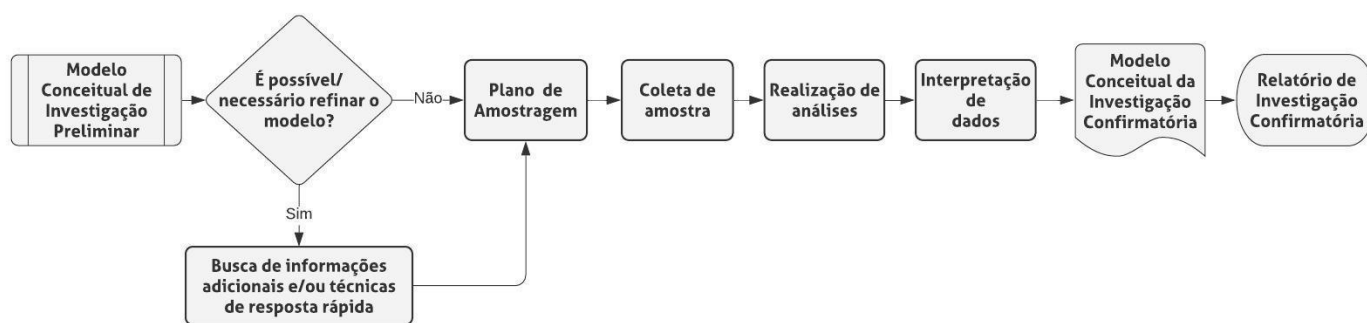
ambientais competentes, atentando sempre para os prazos de validade das amostras estabelecidos pelos métodos analíticos.

A partir dos resultados analíticos das amostras de solo e água subterrânea, inicia-se o entendimento sobre a existência ou não de uma contaminação, com a realização da interpretação dos resultados, comparando-os com os valores orientadores definidos pelos órgãos ambientais ou pela CONAMA. Na ausência de valores orientadores nacionais, podem ser adotados valores orientadores internacionais, desde que sejam reconhecidos pelos órgãos ambientais competentes.

Com base nos resultados da investigação confirmatória é realizada a revisão do modelo conceitual com a inclusão de informações tais como: nível da água dos poços de monitoramento, sentido e velocidade do fluxo subterrâneo e os meios afetados. E caso sejam identificadas concentrações superiores aos valores orientadores, deverá ser elaborado um plano de ação para as etapas posteriores.

A Figura 3, apresenta as principais etapas para a execução da investigação confirmatória, de acordo com a norma ABNT NBR 15.515-2.

Figura 3 - Fluxograma do processo de Investigação Confirmatória.



Fonte: Adaptado de ABNT NBR 15515-2 (2011).

3.3.3 ABNT NBR 15.515-3 - Investigação Detalhada

De acordo com a ABNT NBR 15515-3 (2013) a investigação detalhada consiste na aquisição e interpretação de dados referente a área contaminada, objetivando entender a dinâmica da contaminação nos meios afetados. Em suma, a execução dessa etapa visa:

- a) Mapear tridimensionalmente a contaminação por meio da comparação entre as concentrações dos contaminantes e os valores de investigação;
- b) Caracterizar o meio físico e o entorno;
- c) Quantificar a massa das substâncias químicas de interesse nos meios afetados;
- d) Identificar e caracterizar outras fontes de contaminação, se houver;
- e) Definir as substâncias químicas de interesse para a área;
- f) Definir a dinâmica de transporte da contaminação;
- g) Identificar as vias de exposição e os receptores para a realização de avaliação de risco à saúde humana;
- h) Subsidiar a elaboração de planos de ações necessários;
- i) Verificar a necessidade da adoção de medidas emergenciais na área de interesse, visando à segurança da população e demais bens a proteger, evitando a contaminação de novas áreas; e
- j) Atualizar e complementar o modelo conceitual da área em avaliação.

Nesta etapa, os procedimentos são semelhantes aos da etapa anterior (investigação confirmatória), entretanto intentam abranger um nível mais profundo de compreensão da contaminação existente na área. Sendo assim, com base nos estudos anteriores e em seus modelos conceituais, é definido um plano de investigação detalhada, que deve considerar a caracterização do entorno, geologia, hidrogeologia, e caso necessário deverá incluir também a vegetação e biota, bem como definir as substâncias químicas de interesse para a área.

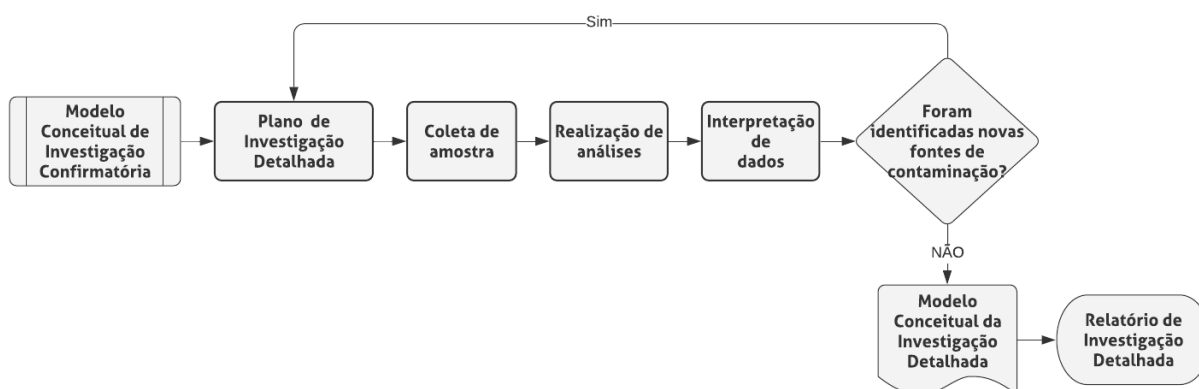
Uma vez definido o plano, são realizadas as sondagens complementares para coleta de amostras de solo e instalação de poços de monitoramento para amostragem de água subterrânea e delimitação horizontal da contaminação. Também se faz necessária a instalação de poços multiníveis em diferentes cotas do aquífero para o mapeamento da distribuição vertical das substâncias químicas de interesse, delimitando assim tridimensionalmente a pluma de contaminantes da fase dissolvida.

Após a interpretação dos resultados analíticos, dos dados adquiridos na investigação, da geologia local e do fluxo do subterrâneo é possível delimitar as plumas de contaminação e definir um prognóstico de evolução espacial destas plumas (entre 5 a 10 anos), permitindo identificar os receptores que poderão ser atingidos

pela contaminação. Posteriormente se faz necessária a atualização do modelo conceitual que servirá de base para subsidiar a avaliação de risco à saúde humana, etapa seguinte do gerenciamento de áreas contaminadas.

A Figura 4, apresenta as principais etapas para a execução da investigação detalhada, de acordo com a norma ABNT NBR 15.515-3.

Figura 4 - Fluxograma do processo de Investigação Detalhada.



Fonte: Baseado na ABNT NBR 15515-3 (2013).

3.3.4 ABNT NBR 16209 - Avaliação de Risco à Saúde Humana

A avaliação de risco à saúde humana é uma etapa do processo de gerenciamento de áreas contaminadas, que visa estimar o risco à saúde associado à exposição determinada substância ou grupo de substâncias presente no meio físico. Uma vez identificado risco superior ao aceitável, a norma determina que sejam definidas metas que servirão como base para medidas de intervenção e/ou para o processo de remediação da área.

Os procedimentos da norma ABNT NBR 16209, foram desenvolvidos com base na metodologia descrita pela EPA em 1989.

A primeira etapa para avaliar o risco consiste na coleta, avaliação e validação de dados, com base nos estudos anteriores. A partir dos dados validados, é realizada a etapa de avaliação de exposição (caracterização dos cenários de exposição e a quantificação do ingresso da SQI), com o objetivo de avaliar o tipo, a magnitude e a frequência da exposição humana às SQIs. Concomitantemente a avaliação de exposição é realizada a análise de toxicidade, onde são avaliadas as SQIs quanto aos

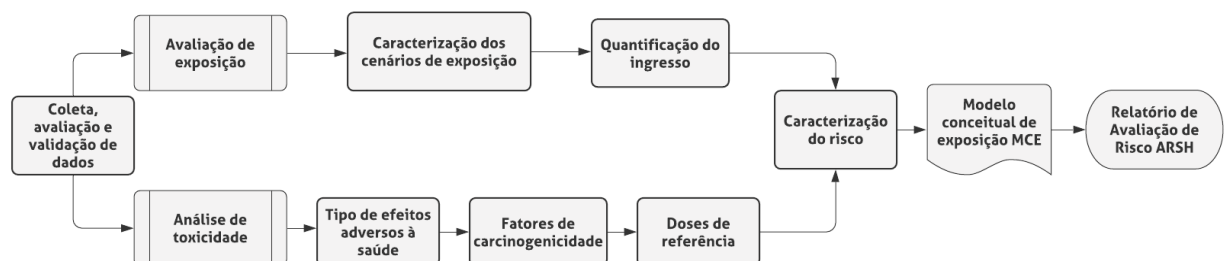
seus efeitos adversos à saúde, sendo possível elaborar o modelo conceitual de exposição (MCE), que caracteriza por meio de modelos matemáticos os aspectos qualitativos e quantitativos da exposição, quantificando o risco à saúde humana.

Em geral, as avaliações de risco são realizadas por meio de *softwares*, como o *RBCA Tool Kit* ou através das planilhas da CETESB, que realizam a quantificação e comparação do risco, bem como determinam as concentrações máximas aceitáveis (CMAs) para cada cenário de exposição. A metodologia a ser escolhida fica a critério do órgão ambiental competente ou do responsável pelo estudo.

Caso seja confirmado o risco à saúde humana acima do tolerável para o cenário correspondente, se faz necessária a adoção de ações de intervenção na área investigada, visando eliminar ou reduzir o risco ao aceitável pelo órgão ambiental competente.

A Figura 5 apresenta as principais etapas para a execução da avaliação de risco a saúde humana, de acordo com a norma ABNT NBR 16209.

Figura 5 - Fluxograma do processo de Avaliação de Risco à Saúde Humana (ARSH)



Fonte: Baseado na ABNT NBR 16209 (2013).

4 METODOLOGIA

No presente trabalho foi desenvolvido um estudo de caso real, no qual foram executadas as etapas de gerenciamento de áreas contaminadas conforme estabelecida na Resolução CONAMA nº 420 de 30/12/2009 e na Resolução CONEMA nº 44 de 14/12/2012. Para tal, foram aplicadas na área de estudo as metodologias descritas na ABNT NBR 15515, parte 1 (avaliação preliminar) e parte 2 (investigação confirmatória), já detalhadas no capítulo anterior – Referencial Teórico.

5 ESTUDO DE CASO

Por uma questão de confidencialidade, o empreendimento não será identificado e a localização da área objeto deste estudo será descrita de forma genérica, visto que a área ainda se encontra em processo junto ao órgão ambiental. As informações apresentadas a seguir foram cedidas pela empresa de consultoria Apollo Engenharia e Meio Ambiente.

Trata-se de uma planta industrial, atualmente desativada, localizada no bairro de Benfica, Zona Central do município do Rio de Janeiro onde outrora funcionava uma unidade de tratamento de resíduos de serviço de saúde grupos A (infectante) e E (perfurocortante) por autoclavagem, além de unidade para o armazenamento temporário de resíduos de serviço de saúde do grupo B (químicos), devidamente licenciada. A localização da área de interesse é apresentada nas Figura 6 e 7.

Figura 6 - Mapa de localização do Estado Rio de Janeiro



Fonte: Wikimedia (2013).

Figura 7 – Delimitação do bairro de Benfica/RJ



Fonte: Google Maps (2020).

O empreendimento em questão operou no local de 2004 a 2015, quando encerrou suas atividades e solicitou o Termo de Encerramento (TE) conforme Decreto nº 44.820 de 02/06/2014 que regulamenta procedimentos destinados ao Sistema Licenciamento Ambiental (SLAM). Para obtenção do TE se faz necessário o cumprimento das etapas de gerenciamento de áreas contaminadas de acordo com a Resolução CONAMA 420/2019, bem como apresentar Relatório de Passivo Ambiental em solo e águas subterrâneas, conforme NBR 15.515 “Passivo Ambiental em Solo e

Água Subterrânea” Parte 1: Avaliação Preliminar e Parte 2: Investigação Confirmatória, visando dar prosseguimento ao processo de licenciamento.

5.1 AVALIAÇÃO PRELIMINAR

A avaliação preliminar realizada na área foi conduzida de acordo com os procedimentos estabelecidos na norma ABNT NBR 15515-1 – “Passivo Ambiental em Solo e Água Subterrânea – Parte 1: Avaliação Preliminar”, com o intuito de identificar indícios de uma possível contaminação de solo e água subterrânea, através de uma análise detalhada dos dados históricos, bem como uma minuciosa inspeção de reconhecimento da área, para subsidiar a realização de um modelo conceitual inicial robusto, tendo em vista que o mesmo norteará as investigações posteriores.

Primeiramente foi realizado um estudo prévio da área com a análise dos documentos históricos do empreendimento, entrevista com antigos funcionários do local, entendimento do processo de execução das atividades, análise temporal de fotos aéreas bem como análise do entorno e a caracterização do meio físico. Posteriormente foi realizada a vistoria no local e entrevista com moradores e trabalhadores do entorno. Todas as informações adquiridas serviram como base para preenchimento do questionário de avaliação preliminar, ou ficha técnica, conforme a norma ABNT NBR 15515-1 e elaboração do modelo conceitual.

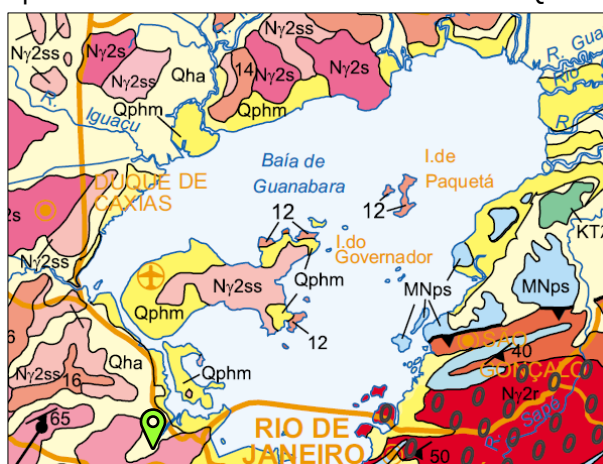
5.1.1 Caracterização do meio físico

A geologia da área de estudo é descrita pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM), como depósito colúvio-aluvionar, caracterizada por depósitos flúvio-marinhos e fluviais, areno-siltico-argilosos ricos em matéria orgânica, com camadas de cascalho associados a depósitos de tálus, como também sedimentos lacustrinos e de manguezais retrabalhado (Figura 8). Também são constituídas de sedimentos quaternários, com solos orgânicos distróficos, bem como com gleis húmicos e pouco húmicos álicos, caracterizados por terrenos inundáveis, com baixa capacidade de carga, e lençol freático subaflorante, passível de contaminação (CPRM, 2001).

A área de estudo está inserida no sistema de relevo de agradação na unidade geomorfológica das baixadas da Baía de Guanabara, caracterizada por planícies

colúvio-alúvio marinhas que são terrenos argilo-arenosos das Baixadas (Figura 9). Possuem superfícies subhorizontais, com gradientes extremamente suaves e convergentes à linha de costa, de interface com os sistemas deposicionais marinhos e continentais. Os terrenos possuem pouca drenagem, com padrão de canais divagante e meandrante. Possuem ainda superfícies de aplainamento e pequenas colinas ajustadas ao nível de base das baixadas, que possuem sedimentação de interface entre ambientes marinhos e continentais, ou transicionais (CPRM, 2001).

Figura 8 - Mapa geológico da área de estudo, que encontra-se na área identificada como Qha.



Fonte: CPRM (2001).

Figura 9 – Mapa geomorfológico da área de estudo que encontra-se na área identificada com o número 122.



Fonte: CPRM (2001).

No contexto hidrogeológico, a área encontra no sistema de aquífero sedimentar alúvio-lacustre, caracterizado por sedimentos argilosos e arenosos intercalados com matéria orgânica, e com grande variação na sua composição. São aquíferos livres e sobrepostos tanto aos sedimentos mais antigos quanto ao embasamento cristalino, possuindo espessura de aproximadamente 20 metros e importância hidrogeológica local. Geralmente a água é de boa qualidade, possuindo teores de ferro e cloreto, e baixa permeabilidade (CPRM, 2001).

Importante ressaltar que a área de estudo encontra-se situada a Norte e a Leste da Baía de Guanabara, distando aproximadamente 2.200 metros.

5.1.2 Caracterização do Entorno

A caracterização do entorno foi realizada mediante vistorias considerando um raio mínimo de 200 metros mensurado a partir do centro geográfico da área, conforme preconiza a ABNT NBR 15515-1:2011, onde constatou-se que a área em questão

encontra-se situada em uma área plana, densamente urbanizada, predominantemente residencial, com alguns comércios, localizada na Zona Central do Rio de Janeiro.

Não foram identificadas nas imediações, nenhuma atividade que pudesse sugerir potencial contaminação de solo e água subterrânea, ou ainda influenciar uma contaminação na área de estudo.

Em consulta realizada na 3ª edição do cadastro de áreas contaminadas e reabilitadas do Rio de Janeiro do INEA, atualizado em 2015, não foi identificada a presença de nenhuma área contaminada, em um raio de 200 metros. Também não foi verificado nenhum poço captação de água subterrânea outorgado no entorno da área, em consulta realizada no sistema nacional de informações sobre recursos hídricos (SNIRH) da Agência Nacional de Águas (ANA) e ao sistema de informações de águas subterrâneas (SIAGAS) do Serviço Geológico do Brasil (SGB).

5.1.3 Análise Multitemporal

Objetivando observar o desenvolvimento e evolução do uso e ocupação do solo da área de estudo, bem como do seu entorno, foi realizada uma análise temporal a partir da observação de fotografias aéreas disponíveis em anos distintos no Google Earth Pro, iniciando em 2003 até 2019.

No ano de 2003 verificou-se que a planta, objeto deste estudo, já existia no local, assim como núcleos urbanos no entorno. Com o passar os anos, não foi constatada nenhuma alteração na planta da área de estudo, bem como não foi observada nenhuma modificação significativa no entorno.

5.1.4 Caracterização da Área de Estudo

Como mencionado anteriormente, trata-se de uma unidade, à época do estudo desativada, com área total de 4.498 m², onde eram realizadas as atividades de tratamento de resíduos de serviço de saúde (grupos A e E) e o armazenamento temporário de resíduos de serviço de saúde (grupo B).

O processo se iniciava com a recepção dos resíduos por caminhões que descarregavam na área de descarga. Em seguida estes resíduos eram encaminhados para a área de condicionamento, onde eram classificados por cliente e etiquetados de forma a assegurar a rastreabilidade.

Na área de carga, os resíduos para tratamento eram colocados em carrinhos apropriados para serem introduzidos nas autoclaves em que era realizado o processo de esterilização durante o período de 60 minutos. Em seguida, os resíduos tratados eram conduzidos à área de basculação para trituração e posteriormente encaminhados para a área de quarentena, onde era aguardado os resultados dos testes de esterilidade. Os resíduos tratados aprovados nos testes de esterilidade eram conduzidos para o depósito final e mais tarde para a área de carga final, onde todo resíduo tratado era disponibilizado em containers para destinação final.

Todas as etapas descritas geravam pequenas quantidades de efluentes líquidos devido à limpeza dos pisos e paredes, bem como geração de líquido da condensação de vapor d'água no interior das autoclaves. Estes efluentes e os esgotos sanitários eram tratados em sistema fossa-filtro anaeróbico, sendo posteriormente despejados na rede pública de esgoto.

O *site* ainda contava com duas áreas de armazenamento temporário de resíduos (grupo B) dotadas de canaletas de contenção ligadas a um tanque de armazenamento, e ao lado localizava-se a área de pesagem e segregação destes resíduos. Possuía ainda uma área onde funcionava uma casa de máquinas e ao lado um pátio de manutenção, uma sala de operação e ainda uma área de subestação elétrica.

Vale ressaltar que a área foi desativada e desmobilizada, porém a subestação de energia em tensão 220/380 V, ainda encontra-se no local, como evidenciado na ocasião da visita técnica ao local.

A planta da área estudada está apresentada na Figura 10.

5.2 INVESTIGAÇÃO CONFIRMATÓRIA

Com base nas informações acerca da área de estudo e no modelo conceitual desenvolvido a partir da Avaliação Preliminar, foi elaborado um plano de amostragem para nortear a execução da Investigação Confirmatória, contendo os procedimentos e que serão descritos a seguir.

5.2.1 Sondagem

As sondagens de investigação (SD) foram executadas a trado manual de quatro polegadas (4”) e tiveram como objetivos: possibilitar a descrição do perfil litológico do subsolo local, verificar a ocorrência de resíduos ou produtos químicos no subsolo, efetuar medições dos compostos orgânicos voláteis (VOC) *in situ* e coletar as amostras de solo para análises físicas e químicas, conforme as orientações da norma ABNT NBR 15.492:2007. Na Tabela 2 são apresentas a identificação das 8 sondagens realizadas com as profundidades totais de cada furo de sondagem e as justificativas para a localização.

Tabela 2 – Características das sondagens (SD).

Sondagem	Profundidade (m)	Justificativa (Fontes)	Observação
SD-01	3,80	Antiga área de descarga dos resíduos de Serviço de Saúde Grupo A, B e E	-
SD-02	3,75	Antiga área de condicionamento	-
SD-03	3,80	Antiga área de armazenamento temporário de resíduos classe I fracionados	-
SD-04	3,70	Antiga área de carga de resíduos infectantes	-
SD-05	2,70	Antiga área de manutenção III	-
SD-06	3,10	Antiga área de manutenção II	-
SD-07	3,15	Antiga área de manutenção I	-
SD-08	3,10	Antiga área da subestação	Odor forte de óleo de transformador

Fonte: Apollo Engenharia (2020).

Cabe salientar que os equipamentos e ferramentas que entraram em contato direto com o solo foram lavados com detergente neutro, não fosfatado, diluído em água potável, com auxílio de uma esponja. O enxágue dos equipamentos foi feito com água potável, com exceção das hastes e do amostrador de liner que foi enxaguado com água desmineralizada, para evitar a possibilidade da ocorrência de contaminação cruzada, conforme as orientações da norma ABNT NBR 15.492:2007. E todos os

resíduos gerados durante as sondagens foram destinados de forma ambientalmente correta.

5.2.2 Amostragem de Solo

Concomitantemente à execução das sondagens de investigação (SD), foi realizada a medição VOC in situ a cada 0,50 metros perfurados e posteriormente efetuada a coleta de 08 amostras de solo, seguindo a metodologia descrita na norma ABNT NBR 15.492:2007. Importante ressaltar que as amostras de solo foram coletadas diretamente no trado manual e não foi utilizada a metodologia *directpush* ou liners devido à possibilidade de se encontrar interferências subterrâneas desconhecidas.

As amostras de solo foram coletadas no horizonte mais próximo a franja capilar, divididas em duas alíquotas, sendo a 1ª alíquota foi acondicionada em frascos fornecidos pelo laboratório, devidamente identificadas e armazenadas sob refrigeração com temperatura variando entre 2 a 4°C para posterior entrega ao laboratório.

A litologia do solo foi determinada a partir da análise tátil visual do solo em atendimento aos termos estabelecidos pela norma ABNT NBR 6.502:1995 “Rochas e solos: Terminologia”.

Todas as amostras de solo enviadas ao laboratório foram submetidas a análise de compostos orgânicos voláteis (VOC), compostos orgânicos semi-voláteis (SVOC), TPH *Finger Print* e Metais Totais listados na Resolução CONAMA 420/2019 (Alumínio, Antimônio, Arsênio, Bário, Boro, Cádmio, Chumbo, Cobalto, Cobre, Cromo, Ferro, Manganês, Molibdênio, Níquel, Prata, Selênio, Vanádio e Zinco). E apenas a amostra coletada na sondagem SD-08, localizada na área a subestação de energia, foi realizada análise de PCBs, devido a existência do transformador no local e do forte odor de óleo identificado durante a sondagem (Tabela 3).

Tabela 3 – Características das amostras de solo.

Sondagem	Prof. da amostra (m)	Id. da Amostra	Parâmetros Analisados				
			VOC	SVOC	PCBs	TPH <i>fp</i>	Metais*
SD-01	1,40	SD-01	X	X		X	X
SD-02	1,60	SD-02	X	X		X	X
SD-03	1,50	SD-03	X	X		X	X
SD-04	1,80	SD-04	X	X		X	X
SD-05	1,70	SD-05	X	X		X	X
SD-06	1,60	SD-06	X	X		X	X
SD-07	1,60	SD-07	X	X		X	X
SD-08	1,70	SD-08	X	X	X	X	X

Fonte: Apollo Engenharia (2020).

A 2ª alíquota foi acondicionada em sacos plásticos impermeáveis e autoselantes, manualmente quebradas e agitadas, mantidas em repouso por 10 minutos, novamente agitadas e submetidas a medição de VOC com equipamento PID (*Photo Ionization Detector*), conforme preconizado na norma ABNT NBR 16434:2015. As leituras de VOC realizadas nas amostras de solo não indicaram concentrações representativas em nenhuma das profundidades da zona não saturada.

Foram coletadas 01 amostra de solo indeformada e 01 amostra deformadas (norma ABNT NBR 9604:2016) com o objetivo de caracterizar melhor o meio físico local.

A coleta da amostra indeformada foi realizada através de marteleto de inox apropriado para tal finalidade com espaço anelar para inserção do liner. A amostra foi então acondicionada corretamente e enviada ao laboratório. Já o procedimento para amostragem deformada de solo, na zona não saturada, consistiu na coleta de aproximadamente 1,0 kg de solo no horizonte mais representativo da litologia local e posteriormente acondicionado em saco plástico impermeável e autoselantes.

As amostras deformada e indeformada foram submetidas a análise dos seguintes parâmetros: Granulometria, Densidade aparente, Densidade real, Porosidade efetiva, Porosidade total, Umidade Matéria Orgânica e Carbono Orgânico Total – COT (Tabela 4).

Tabela 4 - Características das amostras de solo enviadas para análises físico-químicas.

Amostra	Característica da Amostra	Descrição de Campo	Parâmetros Analisados
SD-06 (1,20m a 1,30m)	Indeformada, zona não saturada	Areia siltosa, de granulometria fina a média e coloração marrom	COT (Carbônico Orgânico Total), Matéria Orgânica, Densidade Aparente, Densidade Real, Porosidade Efetiva e Porosidade Total
SD-06 (1,20m a 1,30m)	Deformada, zona não saturada	Areia siltosa, de granulometria fina a média e coloração marrom	Granulometria

Fonte: Apollo Engenharia (2020).

Como forma de assegurar a rastreabilidade das análises químicas, juntamente com as amostras foram encaminhadas as cadeias de custódia com a identificação da amostra, matriz, data e hora de coleta.

5.2.3 Instalação de Poços de Monitoramento

Após a execução das sondagens, foi realizada a instalação de 08 poços de monitoramento (PM-01 ao PM-08), que tiveram como objetivo a caracterização hidrogeoquímica da área, através de análises químicas da água subterrânea coletada nos poços de monitoramento, estes que foram instalados e desenvolvidos de acordo com o que preconiza as normas ABNT NBR 15.495-1 e ABNT NBR 15.495-2.

Para a instalação dos poços de monitoramento, as sondagens foram revestidas utilizando-se tubos de PVC geomecânicos com 2" de diâmetro, sendo que o conjunto, revestimento e tubo-filtro, foi acoplado um ao outro com auxílio das bolsas internas roscáveis e colocado de forma a evitar esforço até atingir a profundidade desejada.

Nos poços de monitoramento foram utilizados tubos-filtro de 2,0 metros. A altura dos tubos filtro foi definida com o objetivo de minimizar a diluição da amostra de água subterrânea a ser coletada e por consequência definir de forma precisa a caracterização hidrogeoquímica do *site*. Os tubos-filtro possuem aberturas de ranhura de 0,5 mm e são compostos de PVC geomecânico.

Após o procedimento de inserção do tubo geomecânico na sondagem foi adicionado o pré-filtro com granulometria de 1,0 a 2,0 mm, preenchendo o espaço

anular entre a parede de perfuração e o próprio filtro, até aproximadamente 0,20 m acima da ranhura do filtro.

Em seguida os poços foram submetidos ao desenvolvimento hidráulico a fim de estabilizar e assentar a camada de pré-filtro com o auxílio da válvula de pé fabricada em aço inox. A válvula de pé permite que o poço de monitoramento seja desenvolvido pelo método de Pistoneamento (norma ABNT NBR 15.495-2:2008). Através do movimento de pistão retira-se a água do poço causando pouca ou nenhuma turbulência a zona de amostragem, proporcionando o movimento linear da água subterrânea em direção ao poço e sua seção filtrante (tubo filtro).

Após a estabilização do pré-filtro foi adicionado o selo anular de bentonita peletizada e bentonita em calda com o objetivo de vedar o espaço no entorno do tubo de revestimento acima do pré-filtro, evitando a possibilidade de contaminação do poço causada por líquidos percolados pela seção anular. Acima do selo de bentonita foi instalada a proteção sanitária (argamassa de cimento) e a câmara de calçada, a fim de evitar a entrada de águas superficiais.

5.2.4 Amostragem de Água Subterrânea e Medições dos Parâmetros Físico-Químicos

Foi realizada uma campanha de amostragem de água subterrânea em todos os poços de monitoramento instalados na área pelo método de baixa vazão (*low flow*), com metodologia e critérios de amostragem conforme norma ABNT NBR 15.847:2010. Foi utilizada uma bomba de vazão controlável (bomba peristáltica), onde foi causado o rebaixamento mínimo na coluna d'água do poço, fazendo com que a renovação da água ocorra em uma vazão próxima à capacidade de produção do aquífero subsuperficial, permitindo assim a coleta de uma amostra de água representativa, com baixa concentração de sólidos em suspensão e mínima volatilização da amostra.

Durante a purga foram monitorados o nível d'água (NA) e os parâmetros físico-químicos indicadores de qualidade: Condutividade Elétrica (C.E.), Oxigênio Dissolvido (O.D.), Potencial de oxirredução (Eh), Potencial hidrogeniônico (pH) e Temperatura (T°C), com intervalos ajustados ao poço de monitoramento, respeitando a sua condutividade hidráulica e otimizando o fluxo horizontal da água subterrânea no meio,

até que fossem obtidas três leituras consecutivas dentro da faixa de variação aceitável (ABNT 15.847, 2010):

- a) Condutividade: $\pm 5,0\%$ das leituras;
- b) Oxigênio dissolvido: $\pm 10\%$ ou $0,2 \text{ mg/L}$ (o que foi maior);
- c) Potencial de oxirredução: $\pm 20\text{mV}$; e
- d) pH: $\pm 0,2$ unidades; e
- e) Temperatura: $\pm 0,5^\circ\text{C}$.

A estabilização de todos os parâmetros físico-químicos foi utilizada para determinar o momento em que a água da formação foi acessada, eliminando a possibilidade de coletar água estagnada no poço e na região do pré-filtro. Assim, após a estabilização dos parâmetros, foi iniciada a coleta das amostras de água subterrânea, começando pelas frascarias das análises químicas dos mais voláteis para os menos voláteis (Figuras 11 e 12).

Figura 11 – Monitoramento dos parâmetros físico-químicos



Fonte: Apollo Engenharia (2020).

Figura 12 – Coleta de amostra de água subterrânea



Fonte: Apollo Engenharia (2020).

Todas as amostras foram acondicionadas em frascos adequados. Imediatamente após a coleta, as amostras foram armazenadas em isopor com gelo, com intuito de se preservar as amostras na temperatura de 2°C a 4°C, para posterior entrega ao laboratório.

A Tabela 5 resume as características das amostras de água subterrânea medidas *in situ*.

Tabela 5 - Características das amostras de água subterrânea.

Poço	Nível d'água (m)	Parâmetros físico-químicos medidos <i>in situ</i>					Turbidez	Odor	Parâmetros Analíticos
		pH	CE (µs/cm)	T (°C)	OD (mg/L)	ORP (mV)			
PM-01	1,86	7,87	556	25,9	3,14	32,6	Límpida	Não	VOC, SVOC, TPH fp e Metais Totais
PM-02	1,70	7,67	439	25,9	3,35	95,1	Límpida	Não	VOC, SVOC, TPH fp e Metais Totais
PM-03	1,68	7,42	1112	25,8	0,92	22,2	Límpida	Não	VOC, SVOC, TPH fp e Metais Totais
PM-04	1,75	7,98	502	26,2	0,07	-91,8	Límpida	Não	VOC, SVOC, TPH fp e Metais Totais
PM-05	1,70	8,32	196	25,6	0,05	-24,9	Límpida	Não	VOC, SVOC, TPH fp e Metais Totais
PM-06	1,64	8,51	847	25,7	1,25	-32,1	Límpida	Não	VOC, SVOC, TPH fp e Metais Totais
PM-07	1,65	8,32	920	26,6	0,19	-73,2	Límpida	Não	VOC, SVOC, TPH fp e Metais Totais
PM-08	1,77	8,52	1187	26,2	0,18	-132,7	Límpida	Sim, Óleo	VOC, SVOC, PCBs, TPH fp e Metais Totais

Fonte: Apollo Engenharia (2020).

De modo geral, as amostras de água subterrânea analisadas apresentaram valores normais de temperatura para a região de estudo (valor médio de 25,98°C). Durante as amostragens a temperatura ambiente apresentou-se moderada havendo incidência de chuvas nas 24 horas anteriores à amostragem.

As medidas de pH obtidas indicam predomínio de ambiente neutro (7,42 no PM-03) para alcalino (8,52 no PM-08), o qual favorece a dissolução de sais na água subterrânea.

Em consonância as características da área de estudo e as atividades ali realizadas, a água subterrânea apresentou valores relativamente altos de condutividade elétrica (CE), a qual é determinada pela presença de íons dissolvidos na água subterrânea. As medidas obtidas nos poços de monitoramento foram de 196 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (PM-05) a 1187 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (PM-08). Esses valores não são esperados, em virtude do método de amostragem utilizado, notadamente o método de baixa vazão, que proporciona o movimento linear da água subterrânea. No entanto tais partículas de sólidos podem estar dissolvidas na água subterrânea, o que justifica os valores elevados de condutividade elétrica encontrados.

Os valores de ORP qualificam a existência de agentes oxidantes ou redutores presentes na água subterrânea. Na área de estudo, verifica-se uma porção com ambiente redutor (-24,9mv no PM-05 a -132,7mv no PM-08) e outra porção com ambiente oxidado (22,2mv no PM-03 a 95,1mv no PM-02), entretanto não apresenta uma correlação direta com os valores de pH, porém, podem estar associados as variações de oxigênio no meio, e podem ou não reagir com possíveis contaminantes presentes na água subterrânea.

As concentrações de oxigênio dissolvido estão com valores aceitáveis e usualmente esperados para água subterrânea, tais concentrações variaram de 0,05mg/L no PM-05 a 3,35 mg/L no PM-02. Os resultados abaixo de 1,00 mg/L caracterizam um ambiente com condições praticamente anaeróbias.

Todas as amostras coletadas apresentaram-se límpidas, e apenas a amostra do poço de monitoramento PM-08 (área da subestação) apresentou odor característico de óleo.

5.2.5 Levantamento Topográfico e Medição de Nível d'água

O levantamento topográfico teve como principal objetivo a demarcação precisa dos pontos de sondagem e dos poços de monitoramento, os quais abrangeram a locação em campo e a determinação por DGPS, do cadastramento da área, dos pontos de sondagem e dos poços de monitoramento, além do transporte de coordenadas de bases conhecidas para referenciar os trabalhos sob a forma de mapas. O levantamento dos pontos foi realizado com auxílio de uma estação total, e

as coordenadas foram transportadas com auxílio de rastreador GNSS NAVCON L1/L2, com função RTK/NTRIP.

O sistema de projeção utilizado como forma de representação cartográfica dos dados obtidos foi o UTM (Universal Transversa de Mercator), Zona 23S (South American), datum planimétrico SIRGAS 2000 e datum altimétrico Imbituba-SC.

Foram realizadas as medições dos níveis d'água e verificação de fase livre sobrenadante em todos os poços de monitoramento por meio de um medidor de interface óleo/água eletrônico. Importante salientar que não foi evidenciada fase livre em nenhum dos poços monitorados.

As cotas topográficas obtidas no levantamento topográfico realizado e as profundidades do nível d'água dos poços de monitoramento medidas, foram utilizadas para o cálculo das cargas hidráulicas imprescindível para a elaboração do mapa potenciométrico da área de estudo.

5.2.6 Ensaio de Permeabilidade

Com o intuito de determinar as condutividades hidráulicas da área de estudo, foram realizados 08 ensaios de permeabilidade do tipo *Slug Test*, que consistiu basicamente no lançamento de um tarugo com volume conhecido no poço de monitoramento e a observação do deslocamento do nível d'água e o tempo de recuperação do nível estático inicial.

O registro das informações foi realizado com transdutor de pressão, modelo Levellogger Junior da marca Solinst, e teve como objetivo medir e analisar a taxa com que o volume foi drenado através do aquífero para a obtenção da condutividade hidráulica das litologias que atravessaram a seção filtrante.

Os dados obtidos com o *Slug Test* foram analisados aplicando equações que regem o fluxo da água subterrânea, levando em consideração que o aquífero é homogêneo, isotrópico, infinito e sua espessura se mantém constante durante os

$$k = \frac{r^2 \ln\left(\frac{Le}{R}\right)}{2LeTo}$$

ensaios (Pede, 2004). Durante a realização dos trabalhos de campo, partes destas premissas são observadas, pois o raio de influência dos ensaios é bastante limitado em relação à extensão dos aquíferos. Foi usada a metodologia proposta por Horslev (1951), considerando poços parcialmente ou totalmente penetrantes em aquíferos não confinados, segundo a equação abaixo:

Onde:

k = condutividade hidráulica (m/s²);

r = raio do revestimento (m);

R = raio efetivo do poço - medida do centro do poço até o material componente do aquífero (m);

L_e = comprimento do filtro (m); e

T_o = tempo que leva para o nível d'água cair 37% da posição inicial (s).

Os cálculos para obtenção da condutividade hidráulica foram obtidos com o auxílio do *software* aquifer test versão 2016.1.

Para obtenção da velocidade da água subterrânea (gradientes hidráulicos (i)) na área de estudo, foi utilizada a distância entre o poço de monitoramento PM-01 ao PM-07. A partir da determinação do sentido do fluxo da água subterrânea obtido com a elaboração do mapa potenciométrico e do gradiente hidráulico (i), juntamente com os dados de condutividade hidráulica e o valor obtido de porosidade efetiva para solo saturado, foi calculada a velocidade do fluxo subterrâneo utilizando a equação abaixo:

$$V = \frac{K \cdot i}{n_e}$$

Onde:

V = velocidade do fluxo subterrâneo (m/s);

K = condutividade hidráulica (m/s);

i = gradiente hidráulico; e

n_e = valor de porosidade efetiva (adimensional).

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 AVALIAÇÃO PRELIMINAR

O modelo conceitual para a área de interesse foi elaborado com base na norma NBR 16.210/2013, através das informações obtidas durante a inspeção de campo, entrevistas, fotos aéreas multitemporais, histórico da área e do meio físico bem como o uso e ocupação do solo, onde foram identificadas 08 áreas de interesse ambiental, sendo 07 delas classificadas como área com potencial de contaminação (AP) e 01 como área suspeita (AS), conforme apresentado na Figura 13 e na Tabela 6 e Tabela 7.

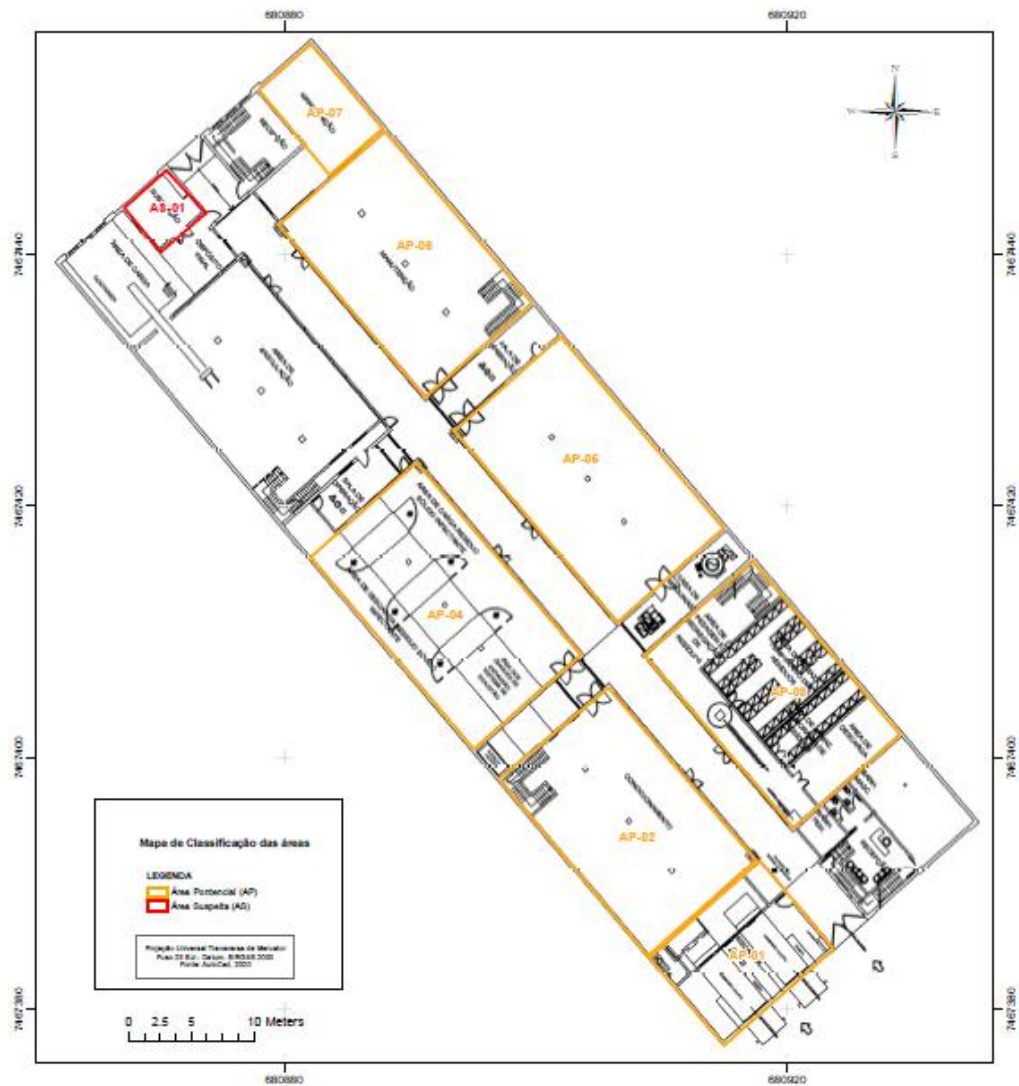
As áreas foram definidas em virtude das atividades que eram executadas em cada local, bem como os resíduos que eram manipulados.

Sabe-se que na área funcionava uma unidade de tratamento de resíduos de serviço de saúde grupo A (biológico), B (químico) e E (perfurocortante), e que a planta possuía áreas de manutenção onde eram manipulados resíduos oleosos, bem como áreas de carga e descarga com passagem de caminhões a diesel.

O *site* possui ainda uma área de subestação de energia elétrica em que o gerador continua no local até o momento. Não foi possível obter todas as informações necessárias sobre o histórico desse gerador. Sendo assim, além do TPH *finger print*, foi definida como SQI os PCBs.

É importante destacar que o Modelo Conceitual definido deverá ser continuamente atualizado nas próximas etapas do gerenciamento, caso pertinente.

Figura 13 – Mapa de classificação das AP e AS.



Fonte: adaptado de Apollo Engenharia (2020).

Tabela 6 – Modelo conceitual da Avaliação Preliminar (continua).

Área / Fonte	Produtos químicos possivelmente utilizados	Classificação	SQIs	Mecanismos liberação	Mecanismo de Transporte	Vias de transporte dos contaminantes	Receptores/ Bens a proteger
Área de descarga dos RSS	RSS grupo A (biológico), B (químico) e E (perfurocortante), resíduo oleoso e metais	AP-01	VOC, SVOC TPH e Metais	Vazamento e processo operacional	Infiltração, Lixiviação e Volatilização	Solo (contato dérmico e ingestão em eventual obra civil); Ar (Inalação de vapores); Água subterrânea (ingestão)	Água subterrânea; Saúde Humana: trabalhadores e moradores do entorno; Futuros trabalhadores de obra civis e Futuros ocupantes da área
Área de condicionamento	RSS grupo A (biológico), B (químico) e E (perfurocortante) e metais	AP-02	VOC, SVOC e Metais	Vazamento	Infiltração, Lixiviação e Volatilização	Solo (contato dérmico e ingestão em eventual obra civil); Ar (Inalação de vapores); Água subterrânea (ingestão)	Água subterrânea; Saúde Humana: trabalhadores e moradores do entorno; Futuros trabalhadores de obra civis e Futuros ocupantes da área
Área de armazenamento temporário de resíduos classe I	RSS grupo B (químico), medicamentos vencidos, reagentes de laboratório, resíduos contendo metais pesados, entre outros	AP-03	VOC, SVOC e Metais	Vazamento	Infiltração, Lixiviação e Volatilização	Solo (contato dérmico e ingestão em eventual obra civil); Ar (Inalação de vapores); Água subterrânea (ingestão)	Água subterrânea; Saúde Humana: trabalhadores e moradores do entorno; Futuros trabalhadores de obra civis e Futuros ocupantes da área
Área de carga de resíduos infectantes	RSS grupo A (biológico) e E (perfurocortante) e metais	AP-04	Metais	Vazamento e processo operacional	Infiltração e Lixiviação	Solo (contato dérmico e ingestão em eventual obra civil); Ar (Inalação de vapores); Água subterrânea (ingestão)	Água subterrânea; Saúde Humana: trabalhadores e moradores do entorno; Futuros trabalhadores de obra civis e Futuros ocupantes da área

AP – Área com Potencial de contaminação / AS – Área suspeita de contaminação
 Fonte: adaptado de Apollo Engenharia (2020).

Tabela 7 – Modelo conceitual da Avaliação Preliminar (conclusão).

Área/Fonte	Produtos químicos possivelmente utilizados	Classificação	SQIs	Mecanismos liberação	Mecanismo de Transporte	Vias de transporte dos contaminantes	Receptores/ Bens a proteger
Área de manutenção III	leos combustíveis, óleo lubrificante e metais	AP-05	VOC, SVOC TPH e Metais	Vazamento e processo operacional,	Infiltração, Lixiviação e Volatilização	Solo (contato dérmico e ingestão em eventual obra civil); Ar (Inalação de vapores); Água subterrânea (ingestão)	Água subterrânea; Saúde Humana: trabalhadores e moradores do entorno; Futuros trabalhadores de obra civis e Futuros ocupantes da área
Área de manutenção II	leos combustíveis, óleo lubrificante e metais	AP-06	VOC, SVOC TPH e Metais	Vazamento e processo operacional	Infiltração, Lixiviação e Volatilização	Solo (contato dérmico e ingestão em eventual obra civil); Ar (Inalação de vapores); Água subterrânea (ingestão)	Água subterrânea; Saúde Humana: trabalhadores e moradores do entorno; Futuros trabalhadores de obra civis e Futuros ocupantes da área
Área de manutenção I	Óleos combustíveis, óleo lubrificante e metais	AP-07	VOC, SVOC TPH e Metais	Vazamento e processo operacional	Infiltração, Lixiviação e Volatilização	Solo (contato dérmico e ingestão em eventual obra civil); Ar (Inalação de vapores); Água subterrânea (ingestão)	Água subterrânea; Saúde Humana: trabalhadores e moradores do entorno; Futuros trabalhadores de obra civis e Futuros ocupantes da área
Área da subestação elétrica	Óleo isolante (óleo de transformador), ascarel	AS-01	TPH e PCBs	Vazamento	Infiltração, Lixiviação e Volatilização	Solo (contato dérmico e ingestão em eventual obra civil); Ar (Inalação de vapores); Água subterrânea (ingestão)	Água subterrânea; Saúde Humana: trabalhadores e moradores do entorno; Futuros trabalhadores de obra civis e Futuros ocupantes da área

AP – Área com Potencial de contaminação / AS – Área suspeita de contaminação

Fonte: adaptado de Apollo Engenharia (2020).

6.2 INVESTIGAÇÃO CONFIRMATÓRIA

6.2.1 Sondagem de Investigação

Conforme as descrições das sondagens de investigação que antecederam a instalação dos poços de monitoramento, foram identificados os seguintes horizontes descritos do topo para a base das sondagens:

- a) Piso de concreto:
 - 100% da área investigada é revestida de concreto armado com espessura de aproximadamente 0,15 m.
- b) Aterro:
 - A camada abaixo da cobertura inicial é composta de aterro, com grande quantidade de cascalho seco, de espessura média de 0,45m.
- c) Unidades litológicas:
 - A camada abaixo do aterro é composta de areia pouco siltosa, de granulometria de média a fina, seca, de coloração amarela e espessura média de 0,80 m.
 - A camada seguinte é composta de areia siltosa úmida, de granulometria de fina a média, coloração cinza, e espessura média de 0,80 m.
 - A última camada de solo encontrada durante as sondagens é composta de areia siltosa úmida, de granulometria de fina a média, coloração marrom amarelado, evidenciada até a profundidade da maior sondagem realizada 3,80 (SD-01).

A Tabela 8 e Tabela 9 apresentam os resultados das análises de granulometria, densidade aparente, densidade real, porosidade efetiva e porosidade total, umidade, condutividade hidráulica, matéria orgânica e carbono orgânico total, da amostra SD-06 (1,20m a 1,30m)

Tabela 8 - Resultados dos parâmetros físicos da amostra de solo.

Amostra de solo	Granulometria (g/Kg)			Classificação Textural (USDA, 1975)
	Areia Total (2,00 - 0,062 mm)	Silte (0,062 - 0,00394 mm)	Argila (0,00394 - 0,0002 mm)	
SD-06 (1,20m a 1,30m)	517	367	116	Franco arenoso

Fonte: Apollo Engenharia (2020).

Tabela 9 - Resultados dos parâmetros físico-químicos da amostra de solo.

Amostra de solo	Cond. Hidráulica (cm/hora)	Umidade Natural (%)	Matéria Orgânica (%)	Carbono Orgânico Total - COT (%)	Densidade (g/cm³)		Porosidade (%)	
					Aparente	Real	Efetiva	Total
SD-06 (1,20m a 1,30m)	0,31	30	0,2	0,12	1,54	2,6	2,40	33,70

Fonte: Apollo Engenharia (2020).

A granulometria da zona não saturada (Tabela 9) revela um total de 517 g/Kg de areia e 367 de silte, possuindo como classificação textural um solo franco, corroborando com as descrições dos horizontes litológicos efetuadas em campo durante a realização das sondagens. Verificou-se a ainda a presença de argila, porém em quantidade menor.

Com base nos resultados acima e nas descrições realizadas em campo é possível afirmar que a hidrogeologia local consiste em um aquífero livre, composto por substratos franco arenosos, com nível d'água variando de 1,64 m (PM-06) a 1,86 m (PM-01), conforme dados obtidos durante o monitoramento e descritos na Tabela 10.

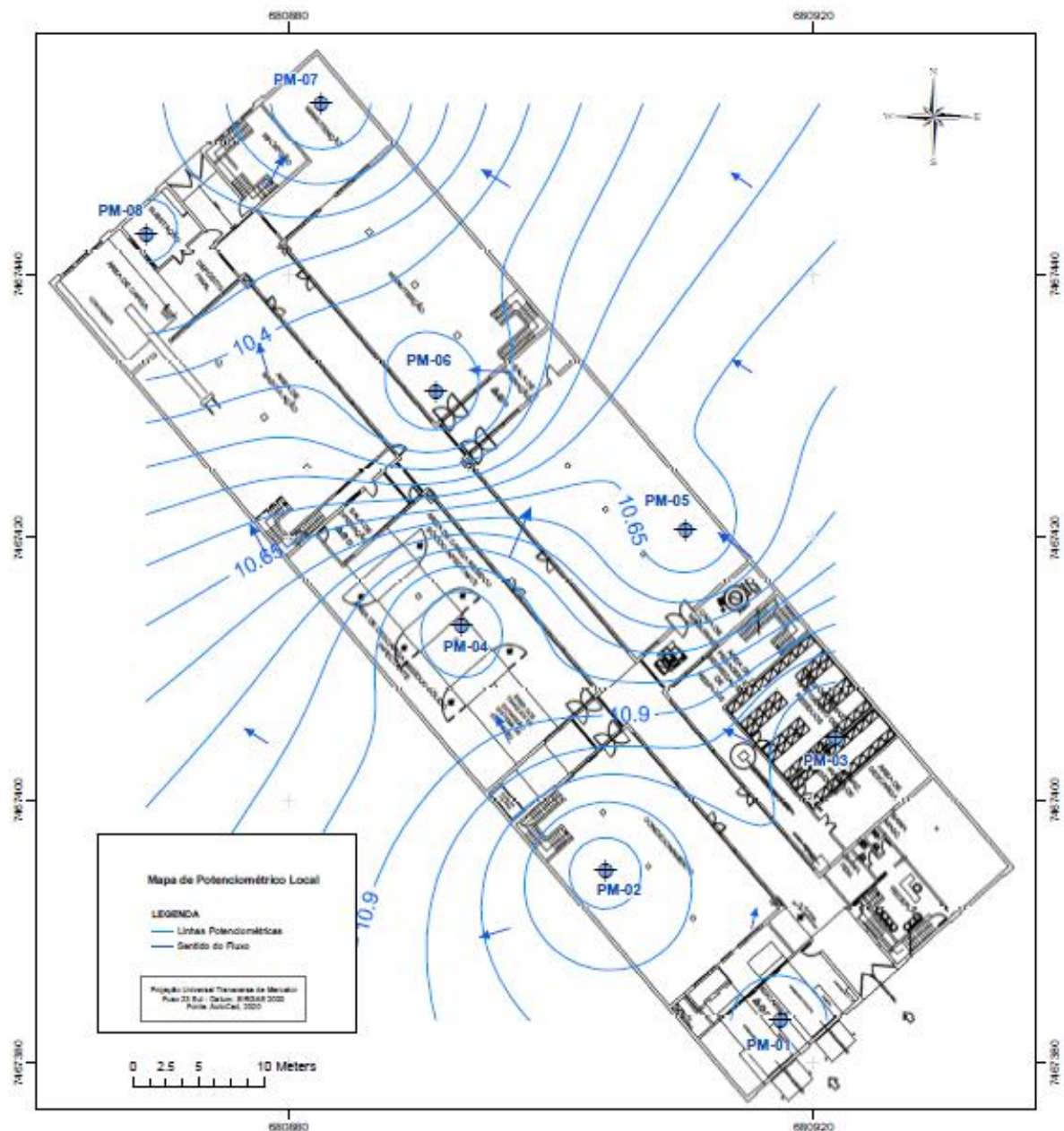
Tabela 10 - Cotas topográficas, N.A, Profundidade e Cargas Hidráulicas dos poços.

Poço	Cota topográfica (m)	Prof. (m)	NA (m)	CH (m)
PM-01	12,829	3,94	1,86	11,059
PM-02	12,767	3,89	1,70	11,117
PM-03	12,678	3,99	1,68	11,038
PM-04	12,624	3,92	1,75	10,924
PM-05	12,373	2,81	1,70	10,623
PM-06	12,049	3,38	1,64	10,369
PM-07	11,872	3,35	1,65	10,172
PM-08	12,156	3,54	1,77	10,296

Fonte: Apollo Engenharia (2020).

Para a elaboração do mapa potenciométrico local foi realizada a interpolação dos valores de carga hidráulica da área, o qual ilustra que o sentido preferencial do fluxo subterrâneo é de Sul (S) para Norte (N) em direção aos poços de monitoramento PM-07 e PM-08, que apresentaram menor carga hidráulica. Fluxo compatível com a região, visto que a Baía de Guanabara está situada a Norte e Leste da área de estudo, distando aproximadamente 2.200 metros (Figura 14).

Figura 14 – Mapa potenciométrico local.



Fonte: adaptado de Apollo Engenharia (2020).

Quanto aos ensaios de permeabilidade, a Tabela 11 apresenta os valores de condutividade hidráulica (K) obtidos para os poços de monitoramento ensaiados.

Tabela 11 - Condutividade hidráulica obtida nos poços de monitoramento.

Poço	Litologia na Seção Filtrante	N.A. Durante os Ensaios (m)	Condutividade Hidráulica (cm/s)
PM-01	areia siltosa úmida fina a média	1,48	3,97E-04
PM-02	areia siltosa úmida fina a média	1,68	9,25E-04
PM-03	areia siltosa úmida fina a média	1,77	4,17E-04
PM-04	areia siltosa úmida fina a média	1,65	1,41E-03
PM-05	areia siltosa úmida fina a média	1,75	1,68E-03
PM-06	areia siltosa úmida fina a média	1,71	1,60E-03
PM-07	areia siltosa úmida fina a média	1,73	3,81E-04
PM-08	areia siltosa úmida fina a média	1,82	1,42E-03

Fonte: Apollo Engenharia (2020).

A média da condutividade hidráulica (K) obtida para o aquífero nos poços ensaiados foi de 1,03E-03 cm/s. Esse valor é coerente com as litologias observadas em campo durante as sondagens, notadamente areia siltosa.

A Tabela 12 apresenta os dados da condutividade hidráulica e as velocidades de fluxo da água subterrânea estimadas para o local

Tabela 12 - Velocidade do fluxo da água subterrânea.

K média (cm/s)	i (PM-01 p/ PM-07)	ne (%)	V (m/s)	V (cm/dia)
1,03E-03	0,011	2,40%	4,79E-04	41,39

Fonte: Apollo Engenharia (2020).

De acordo com os cálculos, a velocidade de fluxo da água subterrânea calculada foi 41.39 cm/dia do PM-01 ao PM-07. No entanto o fluxo e a velocidade da água subterrânea estão diretamente associados à transmissividade do meio, o que pode influenciar diretamente na dispersão de possíveis contaminantes.

Importante frisar que essas velocidades de deslocamento foram calculadas para a água subterrânea. A velocidade depende diretamente das propriedades do fluido (densidade e viscosidade) e das propriedades dos processos de transporte de contaminantes (atenuação natural, advecção, difusão, dispersão, adsorção e

decaimento), sendo assim, uma pluma de fase dissolvida, por exemplo, pode apresentar uma velocidade diferente da velocidade da água subterrânea.

6.2.2 Resultados Analíticos de Solo

Os resultados analíticos obtidos para Bifenilas Policloradas – PCBs (Tabela 13), Compostos Orgânicos Voláteis – VOC (Tabela 14) e Compostos Orgânicos Semi-Voláteis – SVOC (Tabela 15) em solo, não indicaram concentrações acima dos valores orientadores de investigação industrial estabelecidos pela Resolução CONAMA 420/2009.

Para TPH *Finger Print*, os resultados analíticos também não indicaram concentrações acima do estabelecido pela Lista Holandesa, que estabelece o valor de intervenção de 5.000 mg/Kg. Entretanto a sondagem SD-08 apresentou a concentração de 3.050,6 mg/Kg, abaixo do valor de intervenção da Lista Holandesa, mas acima do valor de alerta da mesma, notadamente 2525,0 mg/Kg (Tabela 16). Importante ressaltar que a SD-08 encontra-se na área da subestação que possui um transformador em desuso, e durante as sondagens foi contatado forte odor de óleo neste ponto.

Para os metais em solo, nenhuma das amostras analisadas apresentaram concentrações acima dos valores orientadores de investigação industrial estabelecidos pela Resolução CONAMA 420/2009 (Tabela 17). No entanto foram identificadas altas concentrações de Alumínio e Ferro em todas as amostras de solo. As ocorrências desses metais podem ser justificadas pela presença desses compostos no solo de origem, encontrados nos solos brasileiros.

Há de saber que, os resultados de solo são pontuais e podem não representar a área como um todo, devendo ser observados os resultados em água subterrânea para a conclusão da qualidade do solo e água subterrânea da área.

Tabela 13- Resultados de PCBs em solo (mg/Kg).

PCBs	SD-08 (1,70m)	CONAMA 420 ¹ (mg/Kg)
PCB's Totais	< 0,00013	0.12

¹ Valor orientador para cenário de investigação industrial para solo da resolução CONAMA 420/09..

Tabela 14 - Resultados de VOC em solo (mg/Kg).

VOC	SD-01 (1,40)	SD-02 (1,60m)	SD-03 (1,50m)	SD-04 (1,80m)	SD-05 (1,70m)	SD-06 (1,60m)	SD-07 (1,60m)	SD-08 (1,70m)	CONAMA 420 ¹ (mg/Kg)
Cloreto de Vinila	< 0,0030	< 0,0028	< 0,0028	< 0,0030	< 0,0032	< 0,0032	< 0,0032	< 0,0032	0,008
Clorobenzeno	< 0,012	< 0,011	< 0,011	< 0,012	< 0,013	< 0,013	< 0,013	< 0,013	120
Benzeno	< 0,0061	< 0,0055	< 0,0056	< 0,0061	< 0,0064	< 0,0065	< 0,0064	< 0,0064	0,15
Estireno	< 0,012	< 0,011	< 0,011	< 0,012	< 0,013	< 0,013	< 0,013	< 0,013	80
Tolueno	< 0,0061	< 0,0055	< 0,0056	< 0,0061	< 0,0064	< 0,0065	< 0,0064	< 0,0064	75
Etilbenzeno	< 0,0061	< 0,0055	< 0,0056	< 0,0061	< 0,0064	< 0,0065	< 0,0064	< 0,0064	95
Xilenos	< 0,012	< 0,011	< 0,011	< 0,012	< 0,013	< 0,013	< 0,013	< 0,013	70
Tricloroeteno	< 0,0061	< 0,0055	< 0,0056	< 0,0061	< 0,0064	< 0,0065	< 0,0064	< 0,0064	22
Tetracloroeteno	< 0,012	< 0,011	< 0,011	< 0,012	< 0,013	< 0,013	< 0,013	< 0,013	13
Trans-1,2-Dicloroeteno	< 0,012	< 0,011	< 0,011	< 0,012	< 0,013	< 0,013	< 0,013	< 0,013	11
Tetracloroeto de Carbono	< 0,0061	< 0,0055	< 0,0056	< 0,0061	< 0,0064	< 0,0065	< 0,0064	< 0,0064	1,3
Clorofórmio	< 0,012	< 0,011	< 0,011	< 0,012	< 0,013	< 0,013	< 0,013	< 0,013	8,5

¹ Valor orientador para cenário de investigação industrial para solo da resolução CONAMA 420/09.

Fonte: Apollo Engenharia (2020).

Tabela 15 - Resultados de SVOC em solo (mg/Kg).

SVOC	SD-01 (1,40)	SD-02 (1,60m)	SD-03 (1,50m)	SD-04 (1,80m)	SD-05 (1,70m)	SD-06 (1,60m)	SD-07 (1,60m)	SD-08 (1,70m)	CONAMA 420 ¹ (mg/Kg)
Fenantreno	< 0,00060	0,0077	< 0,00054	0,0036	0,0023	< 0,00065	< 0,00063	0,082	40
Antraceno	< 0,00060	0,0018	< 0,00054	0,0035	< 0,00062	< 0,00065	< 0,00063	0,033	N.R.
Benzo(a)antraceno	< 0,00060	0,0054	< 0,00054	0,011	0,0039	< 0,00065	< 0,00063	0,055	20
Criseno	< 0,00060	0,0049	< 0,00054	0,0081	0,0025	< 0,00065	< 0,00063	0,036	N.R.
Benzo(k)fluoranteno	< 0,00060	0,0021	< 0,00054	0,0054	0,0020	0,0023	< 0,00063	0,016	N.R.
Benzo(a)pireno	< 0,00060	0,0029	< 0,00054	0,0088	0,0025	0,0030	< 0,00063	0,034	1,5
Indeno(123,cd)pireno	< 0,00060	< 0,00055	< 0,00054	< 0,00060	< 0,00062	< 0,00065	< 0,00063	< 0,0032	25
Dibenzo(a,h)antraceno	< 0,00060	< 0,00055	< 0,00054	0,0016	< 0,00062	< 0,00065	< 0,00063	0,0043	0,6
Benzo(g,h,i)perileno	< 0,00060	< 0,00055	< 0,00054	0,0080	< 0,00062	< 0,00065	< 0,00063	0,018	N.R.
Fenol	< 0,0012	< 0,0011	< 0,0011	< 0,0012	< 0,0012	< 0,0013	< 0,0013	< 0,0064	10
Pentaclorofenol	< 0,0060	< 0,0055	< 0,0054	< 0,0060	< 0,0062	< 0,0065	< 0,0063	< 0,032	1,3

¹ Valor orientador para cenário de investigação industrial para solo da resolução CONAMA 420/09.

N.R. – Não Regulamentado.

Fonte: Apollo Engenharia (2020).

Tabela 16 - Resultados de TPH *finger print* em solo (mg/Kg).

TPH	SD-01 (1,40)	SD-02 (1,60m)	SD-03 (1,50m)	SD-04 (1,80m)	SD-05 (1,70m)	SD-06 (1,60m)	SD-07 (1,60m)	SD-08 (1,70m)	Lista Holandesa ¹ (mg/Kg)	Lista Holandesa ² (mg/Kg)
TPH <i>Finger Print</i> (C8-C11)	< 36,0	< 33,0	< 32,4	< 36,1	< 37,1	< 38,7	< 37,6	945,7	-	-
TPH <i>Finger Print</i> (>C11-C14)	< 36,0	< 33,0	< 32,4	< 36,1	< 37,1	< 38,7	< 37,6	1939,5	-	-
TPH <i>Finger Print</i> (>C14-C20)	< 36,0	< 33,0	< 32,4	< 36,1	< 37,1	< 38,7	< 37,6	141,3	-	-
TPH <i>Finger Print</i> (>C20-C40)	< 36,0	< 33,0	< 32,4	< 36,1	< 37,1	64,1	< 37,6	< 38,2	-	-
TPH <i>Finger Print</i> Total	< 36,0	< 33,0	< 32,4	< 36,1	< 37,1	67,0	< 37,6	3050,6	5000,0	2525,0
HPR (Hidrocarbonetos Resolvidos de Petróleo)	< 36,0	< 33,0	< 32,4	< 36,1	< 37,1	< 38,7	< 37,6	908,3	N.R.	N.R.
MCNR (Mistura Complexa Não Resolvida)	< 36,0	< 33,0	< 32,4	< 36,1	< 37,1	57,1	< 37,6	2142,3	N.R.	N.R.
Ftano	< 0,12	< 0,11	< 0,11	< 0,12	< 0,12	< 0,13	< 0,13	< 0,13	N.R.	N.R.
Pristano	< 0,12	< 0,11	< 0,11	< 0,12	< 0,12	< 0,13	< 0,13	< 0,13	N.R.	N.R.

¹ Valor de intervenção (I) da Lista Holandesa para solo em mg/Kg, considerando teor de argila de 25% e de matéria orgânica de 10%.

² Valor de alerta (T) da Lista Holandesa para solo em mg/Kg, considerando teor de argila de 25% e de matéria orgânica de 10%.

N.R. – Não Regulamentado.

Fonte: Apollo Engenharia (2020).

Tabela 17 - Resultados de metais totais em solo (mg/Kg).

Metais Totais	SD-01 (1,40)	SD-02 (1,60m)	SD-03 (1,50m)	SD-04 (1,80m)	SD-05 (1,70m)	SD-06 (1,60m)	SD-07 (1,60m)	SD-08 (1,70m)	CONAMA 420 ¹ (mg/Kg)
Alumínio	40323,50	870,13	2517,80	8454,29	4855,94	19815,84	12239,81	29236,92	N.R.
Antimônio	< 0,63	< 0,56	< 0,57	< 0,65	< 0,73	< 0,66	< 0,74	< 0,70	25
Arsênio	< 0,06	< 0,06	< 0,06	< 0,06	< 0,06	< 0,06	< 0,06	< 0,06	150
Bário	46,36	11,14	5,82	43,71	44,34	133,31	40,87	69,73	750
Boro	5,64	< 0,56	< 0,57	< 0,65	< 0,73	< 0,66	< 0,74	< 0,70	N.R.
Cádmio	< 0,06	< 0,06	< 0,06	< 0,06	< 0,07	< 0,07	< 0,07	< 0,07	20
Chumbo	51,59	29,24	< 0,57	78,76	12,67	4,08	< 0,74	12,17	900
Cobalto	< 0,63	< 0,56	< 0,57	< 0,65	< 0,73	8,30	< 0,74	< 0,70	90
Cobre	< 0,63	< 0,56	< 0,57	31,70	< 0,73	13,83	7,22	6,19	600
Cromo	24,24	9,03	< 0,57	2,58	< 0,73	43,65	26,22	24,07	400
Ferro	11037,23	1518,84	4248,62	10381,16	4710,34	21033,76	16791,07	20265,30	N.R.
Manganês	37,00	50,35	14,03	145,26	574,41	96,78	52,73	96,40	N.R.
Mercurio	< 0,06	< 0,06	< 0,06	< 0,06	< 0,06	< 0,06	< 0,06	< 0,06	70
Molibdênio	< 0,63	< 0,56	< 0,57	< 0,65	< 0,73	< 0,66	< 0,74	< 0,70	120
Níquel	< 0,63	2,57	< 0,57	< 0,65	< 0,73	13,10	4,71	< 0,70	130
Prata	< 0,63	< 0,56	< 0,57	< 0,65	< 0,73	< 0,66	< 0,74	< 0,70	100
Selênio	< 0,06	< 0,06	< 0,06	< 0,06	< 0,036	< 0,06	< 0,06	< 0,06	N.R.
Vanádio	73,91	48,84	< 0,57	17,04	95,37	56,22	44,48	66,43	1000
Zinco	7,80	6,96	< 0,57	23,69	3,79	34,56	13,33	< 0,70	2000

¹ Valor orientador para cenário de investigação industrial para solo da resolução CONAMA 420/09.

N.R. – Não Regulamentado.

Fonte: Apollo Engenharia (2020).

6.2.3 Resultados Analíticos de Água Subterrânea

Os resultados analíticos obtidos nas amostras de água subterrânea para PCBs (Tabela 18), VOC (Tabela 19) e SVOC (Tabela 20), não apresentaram concentrações acima dos valores orientadores de investigação para água subterrânea estabelecidos pela Resolução CONAMA 420/2009.

Já para TPH Finger Print, o poço de monitoramento PM-08 apresentou a concentração de 1.072,35 µg/L, acima do valor de intervenção (VI) estabelecido pela Lista Holandesa de 600 µg/L (Tabela 21). Também sobre TPH, o poço de monitoramento PM-04 apresentou a concentração de 500,74 µg/L abaixo do valor de intervenção da Lista Holandesa, mas acima do valor de alerta da mesma, notadamente 325 µg/L.

Para os compostos inorgânicos, a Tabela 22 indica que os compostos Alumínio (PM-02 e PM-04), Ferro (PM-02, PM-03 e PM-04), Manganês (PM-01, PM-03, PM-04, PM-05, PM-06, PM-07 e PM-08) e Níquel (PM-02 e PM-05), ultrapassaram os valores orientadores de investigação para água subterrânea estabelecidos pela Resolução CONAMA 420/2009.

Tabela 18- Resultados de PCBs em água subterrânea (µg/L).

PCBs	SD-08 (1,70m)	CONAMA 420 ¹ (µg/L)
PCB's Totais	< 0,00013	0,12

¹ Valor para cenário de investigação para água subterrânea da resolução CONAMA 420/09.
Fonte: Apollo Engenharia (2020).

Tabela 19 - Resultados de VOC em água subterrânea (µg/L).

VOC	PM-01	PM-02	PM-03	PM-04	PM-05	PM-06	PM-07	PM-08	CONAMA 420 ¹ (µg/L)
Benzeno	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	5
Cloreto de Vinila	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50	5
Monoclorobenzeno	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2,00	700
Clorofórmio	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2,00	200
Diclorometano (Cloreto de Metileno)	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2,00	20
Estireno	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2,00	20
Etilbenzeno	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	300
Naftaleno	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2,00	140
Tetracloroeto de Carbono	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	2
Tetracloroeteno	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2,00	40
Tolueno	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	700
Xilenos Totais	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2,00	500
Tricloroeteno	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	70
1,2-Dicloroeteno (Cis + Trans)	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2,00	50
Triclorobenzenos (1,2,3 + 1,2,4 + 1,3,5)	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2,00	20

¹ Valor para cenário de investigação para água subterrânea da resolução CONAMA 420/09.

Fonte: Apollo Engenharia (2020).

Tabela 20 - Resultados de SVOC em água subterrânea (µg/L).

SVOC	PM-01	PM-02	PM-03	PM-04	PM-05	PM-06	PM-07	PM-08	CONAMA 420 ¹ (µg/L)
Acenafteno	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	N.R.
Acenaftileno	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	N.R.
Antraceno	< 0,005	0,050	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	N.R.
Benzo(a)antraceno	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	1,75
Benzo(a)pireno	< 0,005	0,130	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,7
Benzo(b)fluoranteno	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	N.R.
Benzo(k)fluoranteno	< 0,005	0,058	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	N.R.
Benzo(g,h,i)perileno	< 0,005	0,053	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	N.R.
Criseno	< 0,005	0,134	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	N.R.
Dibenzo(a,h)antraceno	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,18
Fenantreno	< 0,005	0,167	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,029	140
Fluoranteno	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	N.R.
Fluoreno	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	N.R.
Indeno[1,2,3-cd]pireno	< 0,005	0,064	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,17
Pireno	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	N.R.

¹ Valor para cenário de investigação para água subterrânea da resolução CONAMA 420/09

N.R. – Não Regulamentado.

Fonte: Apollo Engenharia (2020).

Tabela 21 - Resultados de TPH *Finger Print* em água subterrânea (µg/L).

TPH	PM-01	PM-02	PM-03	PM-04	PM-05	PM-06	PM-07	PM-08	Lista Holandesa ¹ (µg/L)	Lista Holandesa ² (µg/L)
TPH <i>Finger Print</i> (C8-C11)	< 300,00	< 300,00	< 300,00	< 300,00	< 300,00	< 300,00	< 300,00	< 300,00	-	-
TPH <i>Finger Print</i> (>C11-C14)	< 300,00	< 300,00	< 300,00	< 300,00	< 300,00	< 300,00	< 300,00	359,96	-	-
TPH <i>Finger Print</i> (>C14-C20)	< 300,00	< 300,00	< 300,00	< 300,00	< 300,00	< 300,00	< 300,00	< 300,00	-	-
TPH <i>Finger Print</i> (>C20-C40)	< 300,00	< 300,00	< 300,00	390,20	< 300,00	< 300,00	< 300,00	362,54	-	-
TPH <i>Finger Print</i> Total	< 300,00	< 300,00	< 300,00	500,74	< 300,00	< 300,00	< 300,00	1072,35	600	325
HPR (Hidrocarbonetos Resolvidos de Petróleo)	< 300,00	< 300,00	< 300,00	< 300,00	< 300,00	< 300,00	< 300,00	< 300,00	N.R.	N.R.
MCNR (Mistura Complexa Não Resolvida)	< 300,00	< 300,00	< 300,00	362,48	< 300,00	< 300,00	< 300,00	917,54	N.R.	N.R.
Ftano	< 1,0000	< 1,0000	< 1,0000	< 1,0000	< 1,0000	< 1,0000	< 1,0000	< 1,0000	N.R.	N.R.
Pristano	< 1,0000	< 1,0000	< 1,0000	< 1,0000	< 1,0000	< 1,0000	< 1,0000	< 1,0000	N.R.	N.R.

¹ Valor de intervenção (I) da Lista Holandesa para água subterrânea em µg/L, considerando teor de argila de 25% e de matéria orgânica de 10%.

² Valor de alerta (A) da Lista Holandesa para água subterrânea em µg/L, considerando teor de argila de 25% e de matéria orgânica de 10%.

N.R. – Não Regulamentado.

Fonte: Apollo Engenharia (2020).

Tabela 22 - Resultados de Metais Totais em água subterrânea (µg/L).

Metais Totais	PM-01	PM-02	PM-03	PM-04	PM-05	PM-06	PM-07	PM-08	CONAMA 420 ¹ (µg/L)
Alumínio	209,4	6858,6	1689,7	4085,7	560,0	364,8	376,8	301,9	3500
Antimônio	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	5
Arsênio	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	10
Bário	169,0	96,0	163,5	177,8	21,1	116,8	262,7	243,6	700
Boro	253,8	< 10,0	126,2	17,1	< 10,0	98,3	34,6	137,7	500
Cádmio	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	5
Chumbo	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	10
Cobalto	< 3,0	< 3,0	< 3,0	< 3,0	< 3,0	< 3,0	< 3,0	< 3,0	70
Cobre	< 9,0	39,4	< 9,0	< 9,0	16,0	< 9,0	22,0	< 9,0	2000
Cromo	< 10,0	< 10,0	21,0	< 10,0	< 10,0	19,8	< 10,0	16,8	50
Ferro	616,3	4356,6	7305,7	47260,0	524,9	395,3	2069,6	1878,0	2450
Manganês	875,0	154,3	1975,9	11800,5	407,6	1098,5	1698,4	630,6	400
Mercurio	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	1
Molibdênio	< 10,0	< 10,0	40,3	< 10,0	< 10,0	< 10,0	59,3	< 10,0	70
Níquel	< 10,0	68,5	< 10,0	< 10,0	36,8	< 10,0	< 10,0	< 10,0	20
Prata	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	50
Selênio	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	10
Vanádio	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	N.R.
Zinco	< 9,0	< 9,0	< 9,0	19,1	< 9,0	< 9,0	< 9,0	< 9,0	1050

¹ Valor para cenário de investigação para água subterrânea da resolução CONAMA 420/09

N.R. – Não Regulamentado.

Fonte: Apollo Engenharia (2020).

Em virtude dos resultados apresentados, do acompanhamento da hidrodinâmica e hidrogeoquímica no local, bem como as características hidrogeológicas, verificou-se elevadas concentrações do composto orgânico TPH acima do valor de intervenção (I) estabelecido pela Lista Holandesa, e dos compostos inorgânicos alumínio total, ferro total, manganês total e níquel total.

O Alumínio, Ferro e Manganês são metais abundantes na crosta terrestre, encontrados nos solos tropicais brasileiros e rochas com muita ocorrência, e são facilmente solubilizados. Sendo assim pode-se entender essa anomalia como não antropogênica.

A mobilidade do Ferro em ambientes naturais está ligada prioritariamente às condições de oxirredução do meio. Qualquer alteração nestas condições pode ser determinante nos teores em uma amostra de água.

A profundidade do lençol freático influencia o estado de oxidação do ferro no sistema. Se a água coletada se encontra em uma profundidade menor, ou seja, em uma maior proximidade com a superfície, há uma maior tendência de oxidação do Ferro, o que o torna menos solúvel, induzindo uma diminuição dos teores na água. Mas se a água coletada se encontrar em uma profundidade maior, o Ferro tende a se manter no estado Fe^{++} , mais solúvel em água. A profundidade do lençol freático está intimamente associada ao grau de precipitação pluviométrica. Logo, as condições atmosféricas prévias aos períodos de amostragem contribuem para os teores de Fe que se observa nas águas subterrâneas.

O procedimento de coleta da água (*low flow*) pode induzir alterações nas condições redox da água, influenciando a mobilidade do Ferro. O bombeamento permite o contato da água com o ar, que também pode ocorrer devido ao acondicionamento e manejo inadequado das amostras *in situ* ou em laboratório. Estes aspectos podem alterar as condições naturais da amostra e pode repercutir em dados analíticos não representativos. Isto se intensifica quando a análise da água é feita sem filtração como no presente caso, já que os filtros e pré-filtros que integram o revestimento geomecânico do poço, podem muitas vezes permitir a passagem de material particulado contaminado.

O Manganês tende a apresentar um comportamento similar ao do Ferro, dada a grande afinidade geoquímica entre estes dois metais. Logo, a natureza geoquímica do meio e os procedimentos analíticos tenderão a influenciar os teores de Manganês também.

Os elementos detectados nos poços mostram muitos metais solubilizados nas águas do aquífero. A ausência de histórico de atividades com potencial de contaminação por estes parâmetros reforça a hipótese de serem estes parâmetros componentes hidrogeoquímicos naturais das águas do aquífero. Entretanto se faz necessária a realização de um novo monitoramento para metais totais e metais dissolvidos com filtragem em campo, a fim de confirmar ou não a contaminação por estes compostos e, caso confirmado, incluí-los na próxima etapa do gerenciamento de áreas contaminadas, a investigação detalhada.

Para compreender a amplitude das concentrações detectadas acima dos valores orientadores, foram elaboradas plumas de contaminação para o composto TPH *finger print* total e Níquel total.

Referente ao composto orgânico TPH *finger print* total, foi verificada uma pluma de contaminação abrangendo o PM-08 na área da subestação, onde existe um transformador em desuso que, segundo Takayanagi et al. (2003) estão sujeitos a vazamento de óleo durante falhas na operação ou manutenção. Tal concentração de TPH acima do valor de intervenção da Lista Holandesa pode indicar hidrocarbonetos em estado de degradação (identificados como MCNR (mistura complexa não resolvida) nos resultados), associado a combustíveis e óleos derivados de petróleo.

Também foi realizada uma pluma de TPH no PM-04, visto que o mesmo apresentou concentração abaixo do valor de intervenção (I) mas acima do valor de alerta (T) da Lista Holandesa. Importante mencionar que o PM-04 está localizado na antiga área de carga e descarga de resíduos infectante e a jusante da antiga área dos tanques de expansão do sistema de exaustão, conforme apresenta a Figura 18.

A Figura 15 também apresenta as plumas do composto inorgânico Níquel total, no qual compreende a área do PM-02 que encontra-se localizado a antiga área de condicionamento, e a área do PM-05 que situa-se na antiga área de manutenção a jusante da antiga casa de máquinas do tanque e suas adjacências.

As plumas de TPH, bem como as de chumbo total não foram delimitadas em todas as direções.

Figura 15 – Pluma de contaminação por TPH e Níquel total.



Fonte: adaptado de Apollo Engenharia (2020).

6.2.4 Revisão do Modelo Conceitual

Em virtude da constatação de concentrações acima dos valores orientadores, se fez necessária a atualização do modelo conceitual da Avaliação Preliminar. A área da subestação de energia que era classificada como área suspeita de contaminação (AS), foi caracterizada como área contaminada sob investigação (AI), segundo a classificação descrita na Resolução CONAMA nº 420 de 2009, assim como mais outras 03 áreas descritas na Tabela 23 que apresenta o modelo conceitual atualizado.

Tabela 23 – Modelo conceitual atualizado.

Área/Fonte	Produtos químicos possivelmente	Classificação	SQLs	Mecanismos liberação	Mecanismo de Transporte	Vias de transporte dos contaminantes	Receptores/ Bens a proteger
Área da subestação	Óleo isolante (óleo de transformador)	AI -01 (antiga AS-01)	TPH	Vazamento	Infiltração, Lixiviação	Solo (contato dérmico e ingestão em eventual obra civil); Água subterrânea (ingestão)	Água subterrânea; Saúde Humana: trabalhadores e moradores do entorno; Futuros trabalhadores de obra civil e Futuros ocupantes da área
Antiga área de condicionamento	RSS grupo A (biológico), B (químico) e E (perfurocortante) e metais	AI-02 (antiga AP-02)	Metais (chumbo)	Vazamento e processo operacional	Infiltração, Lixiviação	Solo (contato dérmico e ingestão em eventual obra civil); Água subterrânea (ingestão)	Água subterrânea; Saúde Humana: trabalhadores e moradores do entorno; Futuros trabalhadores de obra civil e Futuros ocupantes da área
Antiga área de carga de resíduos infectantes (a jusante da antiga área dos tanques de expansão do sistema de exaustão)	RSS grupo A (biológico), E (perfurocortante) e metais	AI-02 (antiga AP-04)	TPH	Vazamento e processo operacional	Infiltração, Lixiviação	Solo (contato dérmico e ingestão em eventual obra civil); Água subterrânea (ingestão)	Água subterrânea; Saúde Humana: trabalhadores e moradores do entorno; Futuros trabalhadores de obra civil e Futuros ocupantes da área
Antiga área de manutenção (a jusante da antiga casa de máquinas).	Resíduo oleoso e metais	AI-03 (antiga AP-05)	Metais (chumbo)	Vazamento	Infiltração, Lixiviação	Solo (contato dérmico e ingestão em eventual obra civil); Água subterrânea (ingestão)	Água subterrânea; Saúde Humana: trabalhadores e moradores do entorno; Futuros trabalhadores de obra civil e Futuros ocupantes da área

AP – Área com Potencial de contaminação / AS – Área suspeita de contaminação / AC – Área contaminada / AI - Área contaminada sob investigação

Fonte: adaptado de Apollo Engenharia (2020).

7 CONCLUSÕES

Baseado nos resultados obtidos através da avaliação preliminar, pode-se concluir que na área de estudo foram identificadas 08 áreas que pudessem sugerir uma possível contaminação no solo e água subterrânea, sendo 01 área suspeita (AS) e 07 áreas com potencial de contaminação (AP).

Na etapa de investigação confirmatória foram realizadas 08 sondagens de investigação e instalados 08 poços de monitoramento a fim de caracterizar a qualidade do solo e água subterrânea. Foram coletadas amostras de solo e de água subterrânea para análise de VOC, SVOC, TPH *finger print* e Metais totais lista CONAMA 420/09 e em 01 ponto para PCBs (SD-08/PM-08), área da subestação de energia elétrica.

Foram realizados 08 ensaios de permeabilidade do tipo *slug test* nos poços de monitoramento onde observou-se a condutividade hidráulica média da água subterrânea de $1,03\text{E-}03\text{m/s}$, valor coerente com as litologias observadas em campo durante as sondagens, notadamente areia siltosa.

O escoamento natural do fluxo subterrâneo na área de estudo apresentou sentido preferencial de Sul (S) para Norte (N) em direção aos PM-07 e PM-08, que apresentaram menor carga hidráulica. Fluxo compatível com a região, visto que a Baía de Guanabara está situada a Norte e Leste da área de estudo, distando aproximadamente 2.200 metros

As análises de PCBs, VOC e SVOC em solo não indicaram concentrações acima dos valores orientadores de investigação industrial estabelecidos pela Resolução CONAMA 420/2009. Já para TPH *Finger Print*, os resultados analíticos também não indicaram concentrações acima do estabelecido pela Lista Holandesa. Entretanto a sondagem SD-08 (área da subestação) apresentou concentração abaixo do valor de intervenção (I) da Lista Holandesa, mas acima do valor de alerta (T) da mesma.

Para os metais em solo, nenhuma das amostras analisadas apresentaram concentrações acima dos valores orientadores de investigação industrial estabelecidos pela Resolução CONAMA 420/2009, no entanto foram identificadas

altas concentrações de Alumínio e Ferro em todas as amostras de solo. As ocorrências desses metais podem ser justificadas pela presença desses compostos no solo de origem, encontrados nos solos brasileiros.

Os resultados analíticos obtidos nas amostras de água subterrânea para PCBs, VOC e SVOC, não apresentaram concentrações acima dos valores orientadores de investigação para água subterrânea estabelecidos pela Resolução CONAMA 420/2009. Já para TPH Finger Print, o poço de monitoramento PM-08 apresentou acima do valor de intervenção (I) estabelecido pela Lista Holandesa e o poço de monitoramento PM-04 apresentou a concentração acima do valor de alerta (T) da mesma. Sendo assim, se faz necessária a realização da investigação detalhada com a execução de novas sondagens para a delimitação das substâncias observadas acima dos valores orientadores, bem como a delimitação das plumas de contaminação bi e tridimensionalmente com a instalação de poços de monitoramento e poços multiníveis para a caracterização hidrogeológica e hidrogeoquímica em profundidade, seguindo as orientações preconizadas na norma ABNT NBR 15.515-3, bem como a realização da etapa de Análise de Risco à Saúde Humana (ABNT NBR 16.209)", para a definição dos níveis aceitáveis de risco dos compostos químicos de interesse.

Os compostos inorgânicos, Alumínio (PM-02 e PM-04), Ferro (PM-02, PM-03 e PM-04), Manganês (PM-01, PM-03, PM-04, PM-05, PM-06, PM-07 e PM-08) e Níquel (PM-02 e PM-05), ultrapassaram os valores orientadores de investigação para água subterrânea estabelecidos pela Resolução CONAMA 420/2009.

Os elementos detectados nos poços mostram muitos metais solubilizados nas águas do aquífero. A ausência de histórico de atividades com potencial de contaminação por estes parâmetros reforça a hipótese de serem estes parâmetros componentes hidrogeoquímicos naturais das águas do aquífero. Entretanto é recomendado que seja realizado um novo monitoramento para metais totais e metais dissolvidos com filtragem em campo, a fim de confirmar ou não a contaminação por estes compostos e, caso confirmado, incluí-los na próxima etapa do gerenciamento da área, a investigação detalhada.

Com a revisão do modelo conceitual, as áreas antes descritas como AP ou AS, foram classificadas como AI (área contaminada sob investigação), segundo a

classificação descrita na Resolução CONAMA nº 420 de 2009, visto que foi constatada contaminação com concentrações de substâncias na água subterrânea acima dos valores de investigação.

Cabe frisar que todos os estudos ambientais possuem incertezas, as quais podem ser minimizadas a partir do conhecimento e controle das mesmas. O processo de gerenciamento de áreas contaminadas é formado por várias etapas e as incertezas podem, usualmente, estar associadas a todas elas.

Diante do exposto, pode-se concluir que as metodologias descritas nas Normas ABNT NBR 15515 parte 1 e parte 2, estabelecem orientações claras e precisas e apresentam orientações satisfatórias para execução das etapas de gerenciamento de áreas contaminadas. No desenvolvimento destas etapas, foi possível utilizar diversas outras normas técnicas para avaliação e investigação de passivo ambiental, visando diagnosticar e quantificar a contaminação existente na área de estudo, e possibilitando o embasamento para tomadas de decisão futuras, referente às etapas de detalhamento e, se necessária, intervenção.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 9604 - Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas — Procedimento. 2016

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15.847 - Amostragem de Água Subterrânea em Poços de Monitoramento - Métodos de Purga. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 16.209 - Avaliação de risco à saúde humana para fins de gerenciamento de áreas contaminadas. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15.515-1 - Passivo Ambiental em Solo e Água Subterrânea Parte 1: Avaliação Preliminar. versão corrigida – 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15.515-2 - Passivo Ambiental em Solo e Água Subterrânea - Parte 2: Investigação Confirmatória. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15.515-3 - Passivo ambiental em solo e água subterrânea – Parte 3: Investigação Detalhada. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 16.210 - Modelo conceitual no gerenciamento de áreas contaminadas - procedimento. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15.495-1 Poços de Monitoramento de Águas Subterrâneas em Aquíferos Granulados - Parte 1: Projeto e Construção. 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15.495-2 Poços de Monitoramento de Águas Subterrâneas em Aquíferos Granulados - Parte 2: Desenvolvimento. 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15492 Sondagem de reconhecimento para fins de qualidade ambiental - Procedimento. 2007.

ARÊAS, J. et al. Avaliação do gerenciamento de áreas contaminadas do estado do rio de janeiro no período de 2013 a 2015. 6º Simpósio de Gestão Ambiental e Biodiversidade. Rio de Janeiro, junho 2017.

ASTM E1527-05. Standard Practice for Environmental Site Assessments: Phase I Environmental Site Assessment Process. ASTM International. Philadelphia, PA, 2005.

ASTM D6771-18, Standard Practice for Low-Flow Purging and Sampling for Wells and Devices Used for Ground-Water Quality Investigations, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2018.

BEAULIEU, M. The use of risk assessment and risk management in the revitalization of brownfields in North America: a controlled opening. In: CONTAMINATED SOIL'98, Edinburgh, 1998. Proceedings. London, The Reserch Center Karlsruhe (FZK), Netherlands Organization for Applied Scientific Research TNO and Scottish Enterprise, 1998.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Áreas Contaminadas. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/>>. Acesso 06/06/2020.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Projeto CETESB – GTZ. 6530 – Lista Holandesa de valores de qualidade do solo e da água subterrânea – Valores STI, julho de 1999. Disponível em: <<http://www.casaverdeambiental.com.br/imagens/pdf/legislacao-05.pdf>>. Acesso 06/06/2020.

CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (CONEMA). 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. 2012.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução 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. Diário Oficial da União, nº 249, 2009.

CPRM- Serviço Geológico do Brasil. Geologia do Estado do Rio de Janeiro: texto explicativo do mapa geológico do Estado do Rio de Janeiro. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. 2ª edição, Brasília, 2001.

Decreto-lei nº 134, de 16 de junho de 1975. Dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente no Estado do Rio de Janeiro e dá outras providências.

Decreto-lei nº 1.633, de 21 de dezembro de 1977 - Regulamenta em parte o Decreto-lei nº 134, de 16 de junho de 1975 e institui o Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras.

Decreto nº 42.159 de 02 de dezembro de 2009. Dispõe sobre o Sistema de Licenciamento Ambiental -SLAM e dá outras providências. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=158541>> Acesso em: 07/06/2020.

Decreto nº 44.820 de 02 de junho de 2014. Dispõe sobre o Sistema de Licenciamento Ambiental - SLAM e dá outras providências. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=270983>> Acesso em: 07/06/2020.

HENDGES, A. S. O que é Passivo Ambiental. EcoDebate, 2013. Disponível em: <<https://www.ecodebate.com.br/2013/09/23/o-que-e-passivo-ambiental-artigo-de-antonio-silvio-hendges/>> Acesso em: 07/06/2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/residuos/areas-contaminadas/banco-de-dados-nacional-sobre-areas-contaminadas-bdnac>> Acessado em: 08/06/2020.

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE (INEA). Gerenciamento de Áreas Contaminadas do Estado do Rio de Janeiro. Cadastro de Áreas Contaminadas e Reabilitadas – 3ª Edição, dezembro, 2015.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). Guia de elaboração de planos de intervenção para o gerenciamento de áreas contaminadas. 1ª edição revisada, São Paulo, 2014.

JACCOUD, C.; Perspectivas Normativas para o Licenciamento Ambiental no Brasil sob o viés dos Projetos de Lei apresentados no Congresso Nacional e de Sistemas de Licenciamento no Âmbito dos Estados. Disponível em: <<http://www.ambientelegal.com.br/licenca-ambiental-e-os-projetos-em-curso-no-congresso-nacional/>>. Acessado em: 06/06/2020.

MATTIASO, D. P. Nova Fase para Gestão de Solos Contaminados. Revista Meio Ambiente Subterrâneo ABAS), São Paulo, 2010, v. 3, p. 18-19, 2010.

ROCCA, A.C.C. Os passivos ambientais e a contaminação do solo e das águas subterrâneas. In: VILELA JR., A. DEMAJOROVIC, J. (Org.). Modelos e ferramentas de gestão ambiental: desafios e perspectivas para as organizações. São Paulo: Editora Senac, 2006.

RODRIGUES JR., J. J. Proposta metodológica para gerenciamento de áreas contaminadas: uma aplicação no estado do Rio de Janeiro. Dissertação (Mestrado) – PPE/COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 2003.

SANCHEZ, L. E. Desengenharia: o passivo ambiental na desativação de empreendimentos industriais. Edusp, São Paulo, 2001.

SILVA, R.F.G.DA.; Gestão de Áreas Contaminadas e Conflitos Ambientais: O Caso da Cidade dos Meninos. Dissertação - UFRJ/COPPE. Rio de Janeiro. 2007.

TAKAYANAGI, H. et al. Mitigação das Causas da Queima de Transformadores de Distribuição – Ciclo II. Anais do II Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica, p. 1113 – 1115. 2003.

USDA. Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. Soil Survey Staff, Coord., Soil Conservation Service. Agriculture Handbook 436, US Department of Agriculture, Washington DC, 1975. 754p. Disponível em: <

https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051856.pdf>

Acessado em: 06/06/2020.

U.S. Environmental Protection Agency (U.S.EPA.). Risk assessment guidance for Superfund, Volume I, Human Health Evaluation Manual (Part A), Interim Final. EPA/540/1-89/002. Washington, D.C.: USEPA, 1989. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/rags_a.pdf>

Acessado em: 06/06/2020.