

**AVALIAÇÃO DE PASSIVO AMBIENTAL EM SOLO E ÁGUA SUBTERRÂNEA EM
ÁREA DE ARMAZENAMENTO DE COMBUSTÍVEIS**

Marilia Offemann Skowronski

Orientador: Prof. Dr. Pablo Heleno Sezerino
Coorientador: Dr. Engº. Márcio Roberto Schneider

2014/2



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AM-
BIENTAL

Marilia Offemann Skowronski

**AVALIAÇÃO DE PASSIVO AMBIENTAL EM SOLO E ÁGUA
SUBTERRÂNEA EM ÁREA DE ARMAZENAMENTO DE
COMBUSTÍVEIS**

Trabalho submetido à Banca Examinadora como parte dos requisitos para a Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental – TCC II

Orientador: Prof. Dr. Pablo Heleno Sezerino
Coorientador: Dr. Engº. Márcio Roberto Schneider

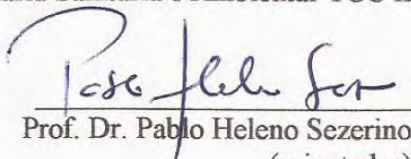
Florianópolis (SC)
2014

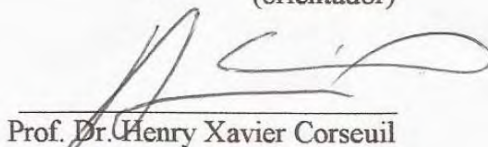
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AM-
BIENTAL

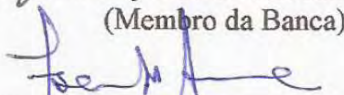
**AVALIAÇÃO DE PASSIVO AMBIENTAL EM SOLO E ÁGUA
SUBTERRÂNEA EM ÁREA DE ARMAZENAMENTO DE
COMBUSTÍVEIS**

MARILIA OFFEMANN SKOWRONSKI

Trabalho submetido à banca examinadora como parte
dos requisitos para Conclusão do Curso em Graduação em
Engenharia Sanitária e Ambiental-TCC II


Prof. Dr. Pablo Heleno Sezerino
(orientador)


Prof. Dr. Henry Xavier Corseuil
(Membro da Banca)


Prof. Dr. Fernando Soares Pinto Sant'anna
(Membro da Banca)

FLORIANÓPOLIS, (SC)
DEZEMBRO/2014

Este trabalho é dedicado à minha família que sempre me apoiou em todas as minhas decisões.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Pablo por ter me aceitado como orientanda e por ser um profissional íntegro e incentivador.

Ao Márcio pela orientação e oportunidade de crescer como profissional.

À Deise e ao Jean pela oportunidade de realizar meu estágio na FUNDUNESP, onde adquiri muito conhecimento profissional. Agradeço também pela amizade e conselhos. Tenho muito orgulho de ter trabalhado com vocês, que são excelentes profissionais.

Ao Prof. Henry que é referência tanto profissional quanto pessoal, por ter aceitado fazer parte da banca.

Ao Prof. Fernando por ser um exemplo de profissional e por ter aceitado fazer parte da banca.

Aos meus amigos e colegas pelo companheirismo e incentivo nos momentos difíceis.

Finalmente, quero agradecer a todos que de alguma forma contribuíram para que a realização deste trabalho fosse possível.

RESUMO

A contaminação do solo e das águas subterrâneas por derramamentos de petróleo e derivados é um problema que vem ganhando grande importância no Brasil nos últimos anos em função do aumento do número de áreas impactadas. Em resposta ao problema, os órgãos de controle ambientais nacionais estão intensificando o foco sobre a contaminação de solos e águas subterrâneas, criando instrumentos legais como as Resoluções CONAMA nº 396/2008 e 420/2009. A partir destas determinações a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) criou uma série de normas a fim de orientar e detalhar o processo de avaliação de passivos ambientais e o gerenciamento de áreas contaminadas. A motivação deste trabalho foi demonstrar a aplicação das normas da ABNT no gerenciamento de uma área contaminada, pois ainda constam poucos trabalhos técnicos que ilustrem e exemplifiquem a utilização das mesmas, principalmente em casos com cenários de contaminação complexos e diversificados, como objeto de estudo deste trabalho que foi um terminal de armazenamento de combustíveis. Realizou-se uma pesquisa bibliográfica dos estudos ambientais pretéritos da área de interesse a fim de obter informações para elaborar o modelo conceitual. Com base neste modelo, estabeleceram-se as estratégias de gerenciamento ambiental para cada uma das 12 subáreas do terminal, tais como avaliação preliminar, investigação confirmatória, investigação detalhada, remediação e monitoramento.

Palavras-chave: Gerenciamento ambiental. Modelo conceitual. Normas técnicas. Passivos ambientais.

ABSTRACT

The contamination of soil and groundwater by oil and oil spills is an issue that has gained great importance in Brazil in the past years due to the increase in the number of impacted areas. In response to the problem, the national environmental control agencies are intensifying the focus on the contamination of soil and groundwater, creating legal instruments as CONAMA Resolutions 396/2008 and 420/2009. From these determinations, the Brazilian Association of Technical Standards (ABNT) created a series of standards to guide and detail the process of evaluation of environmental liabilities and the management of contaminated areas. The motivation of this work was to demonstrate the application of the ABNT standards in managing a contaminated area, since there is only a few technical works that illustrate and exemplify the utilization of the same, especially in cases with complex and diverse contamination scenarios, as the object of study of the present work was a fuel storage terminal. A literature review of past environmental studies of the area of interest was conducted in order to get information to develop the conceptual model. Based on this conceptual model, was determined an environmental management strategies for each of the 12 sub-areas of the terminal, such as preliminary assessment, confirmatory investigation, detailed investigation, remediation and monitoring.

Keywords: Environmental management. Conceptual model. Technical standards. Environmental liabilities.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Área de armazenamento de combustíveis composta por tanques de armazenamento e sistemas de contenção.	18
Figura 2 – Representação esquemática de um derramamento de hidrocarbonetos do petróleo e a migração dos contaminantes no aquífero.	19
Figura 3 - Cenários de contaminação do solo e águas subterrâneas por diversas fontes.	20
Figura 4 - Fluxograma das etapas do gerenciamento de áreas contaminadas.	22
Figura 5 - Fluxograma da sequência dos procedimentos da etapa de avaliação preliminar.	23
Figura 6 - Fluxograma de etapas da investigação confirmatória.	24
Figura 7 - Etapas da avaliação de passivo ambiental.	26
Figura 8 - Fluxograma das etapas da avaliação de risco à saúde humana.	27
Figura 9 – Delimitação das áreas de interesse do terminal.	30
Figura 10 – Fluxograma das etapas de gerenciamento de áreas contaminadas.	32
Figura 11 – Seções hidrogeológicas esquemáticas da área de estudo. ...	40
Figura 12 – Mapa potenciométrico da área de interesse.	41
Figura 13 – Poços de monitoramento com presença de fase livre no ano de 2012.	44
Figura 14 – Ocorrências de resíduos oleosos no solo.	46
Figura 15 – VOC a 0,5 m de profundidade.	47
Figura 16 – VOC a 1,0 m de profundidade.	48
Figura 17 – Ocorrência de hidrocarbonetos no solo.	49
Figura 18 – Ocorrência de metais no solo.	50
Figura 19 – Ocorrência de hidrocarbonetos em água subterrânea.	52
Figura 20 – Ocorrência de metais e/ou parâmetros inorgânicos em água subterrânea.	53
Figura 21 – Modelo conceitual do cenário de exposição da área do terminal.	55
Figura 22 – Fluxograma utilizado para a definição das estratégias de gerenciamento ambiental do terminal.	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Relatórios de estudos realizados na área de interesse no ano de 2007.....	33
Tabela 2 - Relatórios de estudos realizados na área de interesse no ano de 2008.....	34
Tabela 3 - Relatórios de estudos realizados na área de interesse nos anos de 2009 a 2011.....	35
Tabela 4 - Relatórios de estudos realizados na área de interesse nos anos de 2012 e 2013.....	36
Tabela 5 – Estratégias de gerenciamento ambiental para cada subárea do terminal.....	57
Tabela 6 – Definições para as ações de gerenciamento.....	60

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Dados pluviométricos (2007 a 2010) de uma Estação a 4,5 km de distância do terminal.....	42
Gráfico 2 - Dados pluviométricos (2011 a 2014) de uma Estação a 4,5 km de distância do terminal.....	43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
BTEX – Benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
MTBE – Éter metil terc-butílico
NBR – Norma Brasileira
PAH – Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos
TPH – Hidrocarbonetos totais do petróleo
TQ – tanque de armazenamento
VOC – Composto orgânico volátil

SUMÁRIO

RESUMO	VI
1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	15
2.1. OBJETIVO GERAL	15
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1. TERMINAIS DE ARMAZENAMENTO DE COMBUSTÍVEIS	17
3.2. PASSIVOS AMBIENTAIS EM SOLO E ÁGUA SUBTERRÂNEA	17
3.3. GERENCIAMENTO DE ÁREAS CONTAMINADAS	20
3.4. RESOLUÇÃO CONAMA Nº 420/2009	21
3.5. NORMAS TÉCNICAS NACIONAIS	21
3.5.1. ABNT NBR 15.515-1/2007	23
3.5.2. ABNT NBR 15.515-2/2011	23
3.5.3. ABNT NBR 15.515-3/2013	24
3.5.4. ABNT NBR 16.209/2013	25
3.5.5. ABNT NBR 16.2010/2013	27
4. METODOLOGIA	29
4.1. ÁREA DE ESTUDO	29
4.2. PROCEDIMENTOS	31
4.3. HISTÓRICO DAS INVESTIGAÇÕES AMBIENTAIS	31
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
5.1. MODELO CONCEITUAL DA ÁREA DE INTERESSE	37
5.1.1. Substâncias químicas de interesse	37
5.1.2. Caracterização do meio físico	38
5.1.3. Cenário de Contaminação	43
5.1.4. Fontes de contaminação, receptores e bens a proteger	54
5.2. ESTRATÉGIAS DE GERENCIAMENTO AMBIENTAL	56
6. CONCLUSÃO	61
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63

ANEXO A - TABELAS COM OS MONITORAMENTOS DE NÍVEIS DA ÁGUA UTILIZADOS PARA A ELABORAÇÃO DO MAPA POTENCIOMÉTRICO.....	66
ANEXO B – TABELA COM O MONITORAMENTO DE FASE LIVRE (2012).....	70
ANEXO C – TABELAS COM AS CONCENTRAÇÕES DE HIDROCARBONETOS E METAIS EM SOLO ACIMA DOS VALORES ORIENTADORES.....	71
ANEXO D – TABELAS DE POÇOS DE MONITORAMENTO COM CONCENTRAÇÃO DE CONTAMINANTES ACIMA DOS VALORES ORIENTADORES PARA ÁGUA SUBTERRÂNEA.....	73

1. INTRODUÇÃO

A contaminação do solo e das águas subterrâneas por derramamentos de petróleo e derivados é um problema que vem ganhando grande importância no Brasil nos últimos anos em função do aumento do número de áreas impactadas. Os terminais de petróleo e derivados lidam diariamente com a possibilidade de ocorrência de derrames acidentais inerentes às operações de armazenamento de produtos. Na maioria dos casos, os derramamentos têm origem na rede de dutos de distribuição e tanques de armazenamento. O rompimento de dutos que transportam dezenas de metros cúbicos de petróleo por dia, e o vazamento nos tanques de armazenamento em terminais, podem liberar no meio ambiente, quantidades significativas de petróleo e seus derivados, podendo causar a contaminação do solo, água e ar (PEDROZO et al, 2002).

Ao longo dos últimos anos os órgãos de controle ambientais nacionais estão intensificando o foco sobre o problema da contaminação de solos e águas subterrâneas. A Companhia Estadual de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) é um dos órgãos de controle ambiental que dispõe de informações detalhadas sobre áreas impactadas, como resultado da aplicação de um programa efetivo de cadastramento. Levantamentos disponibilizados pela CETESB (2013) indicam que entre os principais grupos de contaminantes de áreas contaminadas, destacam-se os solventes aromáticos, combustíveis líquidos, PAH, metais e solventes halogenados.

Diversos marcos legais importantes tangem direta ou indiretamente o controle da poluição dos solos e das águas subterrâneas no Brasil. O instrumento precursor das diretrizes ambientais no país é a Política Nacional do Meio Ambiente, instituída pela Lei nº 6.938/81 (BRASIL, 1981), a qual estabelece a avaliação de impactos ambientais como um instrumento dessa lei, por meio da Resolução CONAMA nº 001/86 (CONAMA, 1986). Desta forma, todos os empreendimentos potencialmente poluidores, passaram a ter necessidade de obter o licenciamento ambiental para exercer suas atividades. Após a Resolução CONAMA nº 001/86 foi criada a Resolução CONAMA nº237/97 (CONAMA, 1997), a qual revisou e complementou os procedimentos e critérios utilizados para o licenciamento ambiental, definindo as seguintes licenças cabíveis:

-Licença Prévia (LP): concedida na fase preliminar do planejamento do empreendimento aprovando a sua localização e concepção, atestando a viabilidade ambiental e estabelecendo os requisitos básicos e condicionantes a serem atendidos nas próximas fases de sua instalação;

-Licença de Instalação (LI): autoriza a instalação do empreendimento com as especificações constantes nos planos, programas e projetos aprovados, incluindo medidas de controle ambiental e demais condicionante da qual constituem motivo dominante;

-Licença de Operação (LO): autoriza a operação da atividade, após a verificação do efetivo cumprimento do que consta das licenças anteriores, com medidas de controle ambiental e condicionantes determinados para operação.

A Lei Federal nº 9.605/98 de Crimes Ambientais (BRASIL, 1998), regulamentada pelo Decreto nº 3.179/99, relaciona a contaminação ambiental como um crime, intensificando assim a preocupação com o meio ambiente saudável, também disposta no Art.225 da Constituição Federal de 1988, a qual diz que todos têm direito ao meio ambiente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial a sadia qualidade de vida, impondo-se o poder público e a coletividade o dever de defendê-lo para às presentes e futuras gerações (BRASIL, 2012).

Com foco específico sobre o controle da poluição do solo e das águas subterrâneas, foram criadas as Resoluções CONAMA nº 396/2008 e 420/2009. A Resolução CONAMA 396/2008 (CONAMA, 2008) dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas. A Resolução CONAMA 420/2009 (CONAMA, 2009) dispõe sobre critérios e valores orientadores e também sobre diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas. Os órgãos ambientais estão intensificando as exigências sobre a avaliação de passivos ambientais em solos e águas subterrâneas como um requisito para obtenção das licenças LP, LI e LO. A partir destas orientações do CONAMA, nos últimos anos, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) criou uma série de normas a fim de orientar e detalhar o processo de avaliação de passivos ambientais e o gerenciamento de áreas contaminadas.

A motivação deste trabalho foi demonstrar a aplicação das normas da ABNT no gerenciamento de uma área contaminada, pois ainda constam poucos trabalhos técnicos que ilustrem e exemplifiquem a utilização das mesmas, principalmente em casos com cenários de contaminação complexos e diversificados, como objeto de estudo deste trabalho.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Estabelecer estratégias para avaliar o passivo ambiental em uma área de armazenamento de combustíveis e definir ações de gerenciamento da área contaminada para o solo e águas subterrâneas de acordo com as especificações das normas técnicas brasileiras e das diretrizes da Resolução CONAMA nº 420/2009.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1) Com base em dados de investigações ambientais pretéritas, estabelecer o modelo conceitual (ABNT NBR 16.210/2013) para a área objeto do estudo de caso, para definição do problema;
- 2) Aplicação das normas técnicas brasileiras ABNT NBR 15.515-1/2007, 15.515-2/2011, 15.515-3/2013 e 16.210/2013 em uma área complexa, com múltiplos cenários de contaminação diferentes;
- 3) Apresentar as estratégias de gerenciamento ambiental para o controle de poluição da área de interesse, a fim de viabilizar a operação do empreendimento.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. TERMINAIS DE ARMAZENAMENTO DE COMBUSTÍVEIS

A função dos terminais de armazenagem é viabilizar a movimentação de petróleo e seus derivados, e compreende o conjunto de instalações utilizadas para o recebimento, expedição e armazenagem de produtos da indústria de petróleo, podendo ser classificado em marítimo, lacustre, fluvial ou terrestre. (SOARES et al, 2003).

Segundo a Agência Nacional de Petróleo (ANP, 2014), terminal é um conjunto de instalações utilizadas para o recebimento, expedição e armazenagem de produtos da indústria do petróleo. Pode ser classificado como marítimo, fluvial, lacustre ou terrestre.

Os tanques de armazenamento de petróleo e derivados dos terminais são estruturas metálicas cilíndricas verticais, instaladas na superfície do solo, e cercadas por diques de terra compactada que formam uma bacia para contenção de eventuais derramamentos (AMORIM, 2007). Os derramamentos ocorrem devido à rompimentos em tubulações, problemas em válvulas, registros nas áreas de armazenagem, resultando na liberação de combustíveis no solo e na água subterrânea (SCHNEIDER, 2005). A Figura 1 mostra a configuração de uma área de armazenagem de combustíveis e a Figura 2 ilustra um derramamento de hidrocarbonetos do petróleo em um aquífero.

3.2. PASSIVOS AMBIENTAIS EM SOLO E ÁGUA SUBTERRÂNEA

A NBR 15.515-1/2007 (ABNT, 2007) define que passivos ambientais são danos infligidos ao meio natural por uma determinada atividade ou pelo conjunto das ações humanas, que podem ou não ser avaliados economicamente. Já a Companhia ambiental do estado de São Paulo (CETESB, 2014) relata que o passivo ambiental pode ser entendido como o valor monetário necessário para custear a reparação do acúmulo de danos ambientais causados por um empreendimento, ao longo de sua operação. Todavia, o termo passivo ambiental tem sido empregado, com frequência, para conotar, de uma forma mais ampla, não apenas o custo monetário, mas a totalidade dos custos decorrentes do acúmulo de danos ambientais, incluindo os custos financeiros, econômicos e sociais. O passivo ambiental também insere-se no âmbito social por se tratar de uma exigência legal que responsabiliza o autor do dano a reparar ou mitigar prejuízos de cunho social ou privado, provocados direta ou indi-

retamente através das externalidades provocadas no meio ambiente (EPA, 1996). A

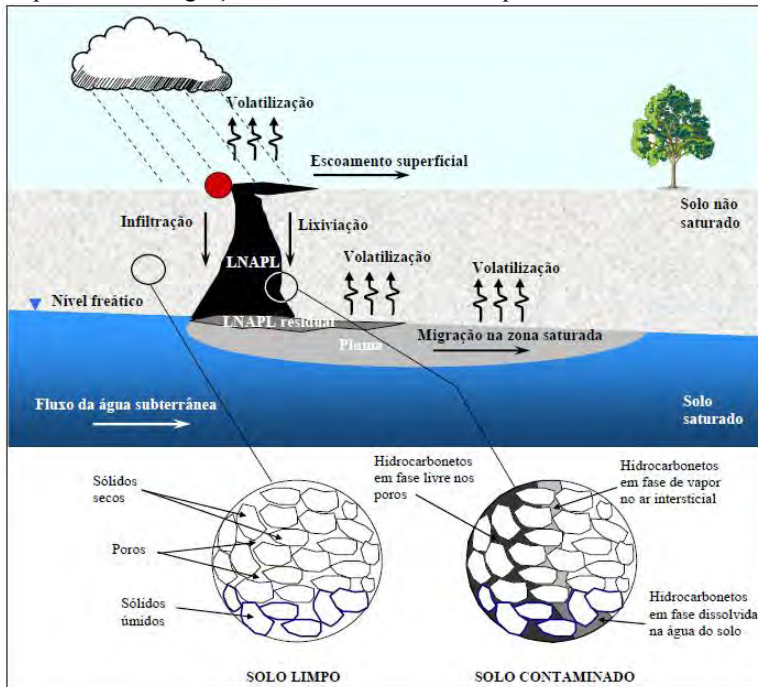
Figura 3 ilustra alguns cenários típicos de contaminação do solo e águas subterrâneas por diversas fontes.

Figura 1 - Área de armazenamento de combustíveis composta por tanques de armazenamento e sistemas de contenção.



Fonte: AMORIM (2007).

Figura 2 – Representação esquemática de um derramamento de hidrocarbonetos do petróleo e a migração dos contaminantes no aquífero.



Fonte: SCHNEIDER (2005).

Figura 3 - Cenários de contaminação do solo e águas subterrâneas por diversas fontes.



Fonte: SCHNEIDER (2005).

3.3. GERENCIAMENTO DE ÁREAS CONTAMINADAS

A NBR 16.210/2013 (ABNT, 2013c) define o gerenciamento de áreas contaminadas como um conjunto de medidas que buscam assegurar o conhecimento das características das áreas contaminadas e dos impactos decorrentes da contaminação, proporcionando os instrumentos necessários à tomada de decisão quanto às formas de intervenção mais adequadas, visando reduzir, para níveis aceitáveis, os riscos a que estão sujeitos à população e o meio ambiente, em decorrência de exposição às substâncias provenientes dessas áreas. Por sua vez, a Companhia ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2001), define o gerenciamento de áreas contaminadas de forma similar à norma NBR 16.2010/2013, citando que esse visa minimizar os riscos a que estão sujeitos a população e o meio ambiente, em virtude da existência das mesmas, por meio

de um conjunto de medidas que assegurem o conhecimento das características dessas áreas e dos impactos por elas causados, proporcionando os instrumentos necessários à tomada de decisão quanto às formas de intervenção mais adequadas. A Figura 4 mostra de forma esquemática a metodologia para o gerenciamento de áreas contaminadas de acordo com CETESB (2001).

3.4. RESOLUÇÃO CONAMA Nº 420/2009

A Resolução CONAMA nº420, regulamentada em 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.

Em seu Artigo 3º, a Resolução define que a proteção do solo deve ser realizada de maneira preventiva, a fim de garantir a manutenção da sua funcionalidade ou, de maneira corretiva, visando restaurar sua qualidade ou recuperá-la de forma compatível com os usos previstos.

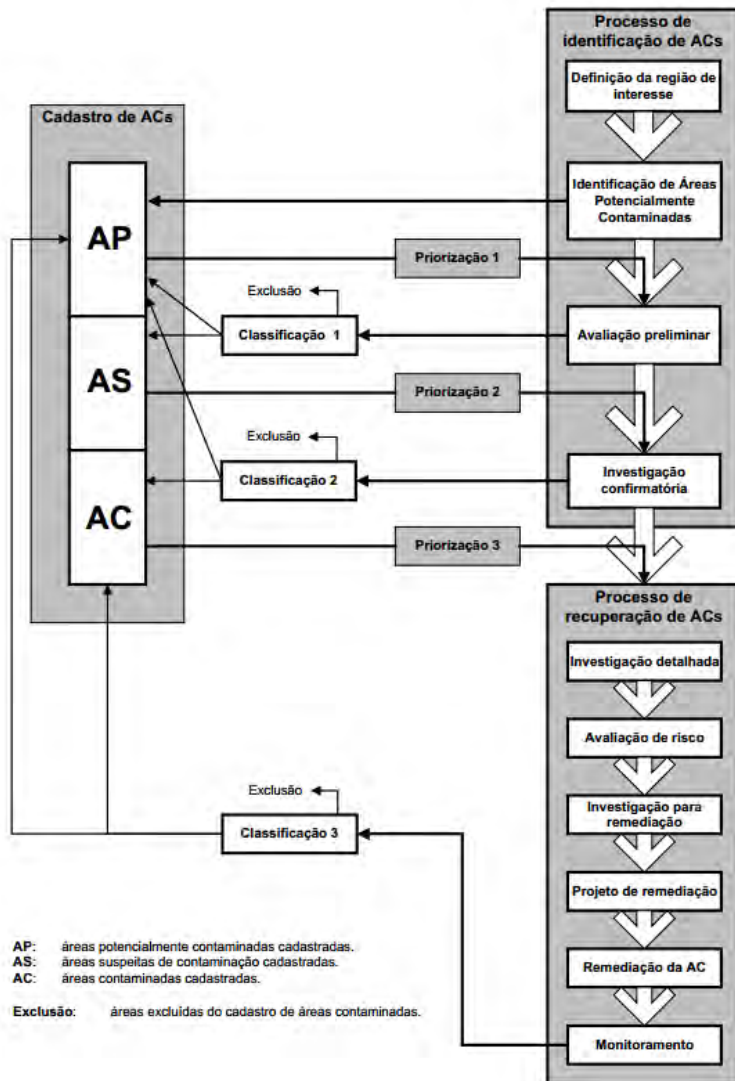
A Resolução também determina em seu Artigo 22º que o gerenciamento de áreas contaminadas deverá conter procedimentos e ações voltadas ao atendimento dos seguintes objetivos:

- I - eliminar o perigo ou reduzir o risco à saúde humana;
- II - eliminar ou minimizar os riscos ao meio ambiente;
- III - evitar danos aos demais bens a proteger;
- IV - evitar danos ao bem estar público durante a execução de ações para reabilitação;
- V - possibilitar o uso declarado ou futuro da área, observando o planejamento de uso e ocupação do solo (CONAMA, 2009).

3.5. NORMAS TÉCNICAS NACIONAIS

A partir das orientações do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), nos últimos anos, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) criou uma série de normas a fim de orientar e detalhar o processo de avaliação de passivos ambientais e o gerenciamento de áreas contaminadas. A seguir são apresentadas as principais normas orientadoras.

Figura 4 - Fluxograma das etapas do gerenciamento de áreas contaminadas.



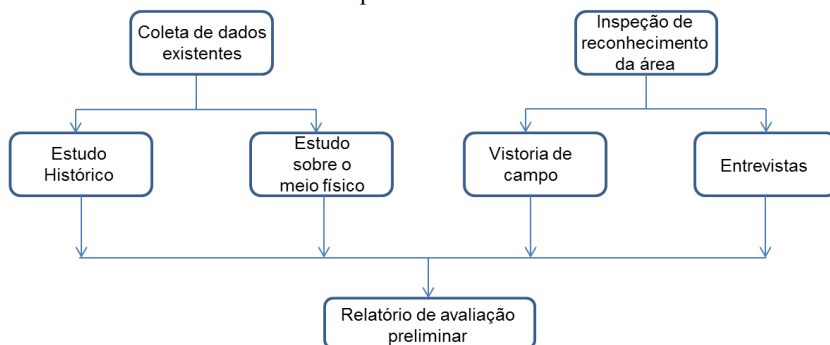
Fonte: CETESB (2001).

3.5.1. ABNT NBR 15.515-1/2007

A norma ABNT NBR 15.515 -1/2007 estabelece os procedimentos mínimos para avaliação preliminar de passivo ambiental, visando à identificação de indícios de contaminação de solo e água subterrânea (ABNT, 2007).

Segundo a ABNT (2007), a avaliação preliminar é a etapa inicial da avaliação de passivo ambiental em solo e água subterrânea, que objetiva encontrar indícios de uma possível contaminação nestes meios, realizada com base nas informações disponíveis, como levantamento histórico, entrevistas, imagens e fotos, e inspeções em campo, visando fundamentar a suspeita de contaminação de uma área. A Figura 5 ilustra o procedimento para a avaliação preliminar.

Figura 5 - Fluxograma da sequência dos procedimentos da etapa de avaliação preliminar.



Fonte: ABNT (2007).

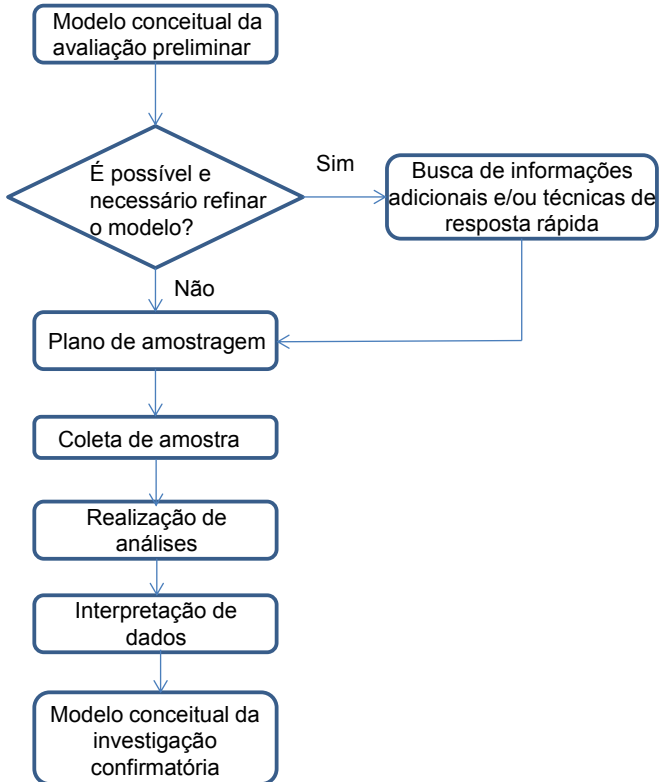
3.5.2. ABNT NBR 15.515-2/2011

A ABNT NBR 15.515 -2/2011, estabelece os requisitos necessários para o desenvolvimento de uma investigação confirmatória em áreas onde foram identificados indícios reais ou potenciais de contaminação de solo e água subterrânea após a realização de uma avaliação preliminar, conforme ABNT NBR 15.515 -1/2007 (ABNT, 2011).

Segundo a ABNT (2011), a confirmação da contaminação em uma área se dá basicamente pela coleta e análises químicas de amostras representativas de solo e/ou água subterrânea para as substâncias de interesse, em pontos suspeitos ou com relevante indício de contaminação. Em determinadas situações, outros meios podem ser amostrados,

como gases do solo, sedimentos, água superficial ou biota. A Figura 6 mostra o processo de investigação confirmatória.

Figura 6 - Fluxograma de etapas da investigação confirmatória.



Fonte: ABNT (2011).

3.5.3. ABNT NBR 15.515-3/2013

A ABNT NBR 15.515 -3/2013 estabelece os procedimentos mínimos para a investigação detalhada de áreas onde foi confirmada contaminação em solo ou água subterrânea com base em série histórica de monitoramento, avaliação preliminar, investigação confirmatória ou estudos ambientais (ABNT, 2013a). A Figura 7 apresenta todas as etapas para a avaliação de passivo ambiental.

Segundo a ABNT (2013a), os principais objetivos da investigação detalhada são:

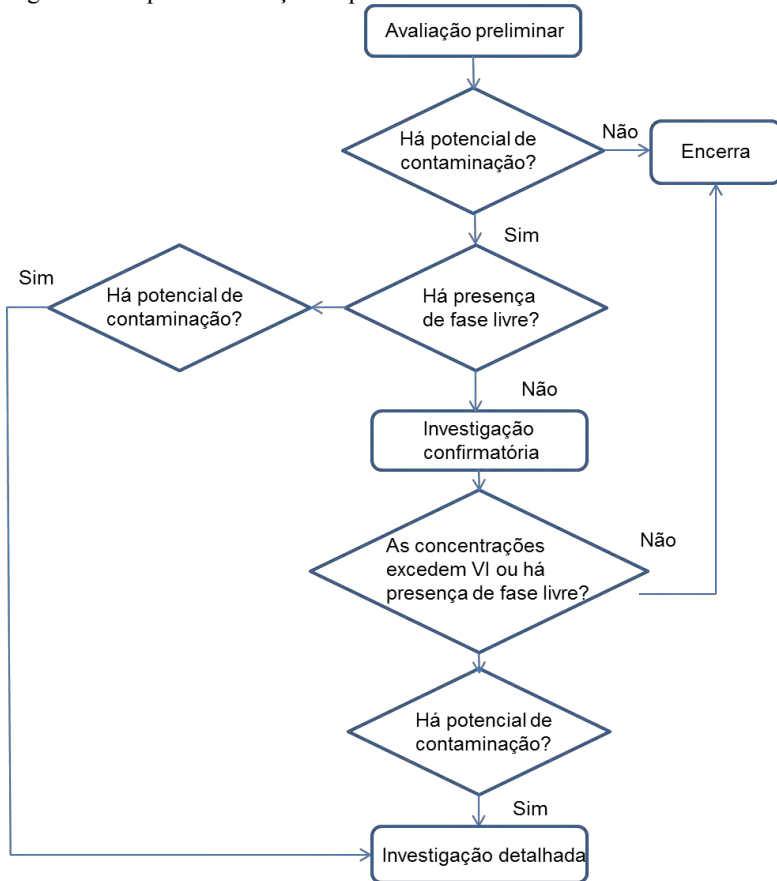
- Mapeamento horizontal e vertical da contaminação por meio da comparação entre as concentrações dos contaminantes e os valores de investigação ou intervenção;
- Caracterização do meio físico e entorno;
- Quantificação da massa de substâncias químicas de interesse no solo e na água subterrânea;
- Identificação e caracterização de outras fontes de contaminação não apontadas nas etapas anteriores; definição das substâncias químicas de interesse para a área;
- Definir a dinâmica de transporte e simular prognósticos da evolução da contaminação;
- Identificar as vias de exposição e receptores para a realização de avaliação de risco à saúde humana;
- Subsidiar plano de ações necessárias.

3.5.4. ABNT NBR 16.209/2013

Esta Norma estabelece os procedimentos de avaliação de risco à saúde humana para fins de gerenciamento de áreas contaminadas em decorrência da exposição a substâncias químicas presentes no meio físico (ABNT, 2013b).

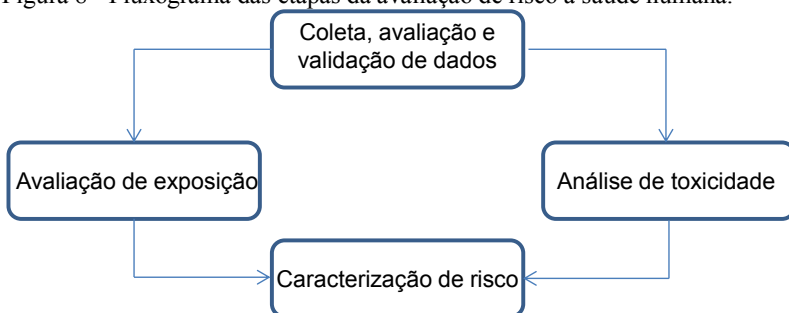
A avaliação de risco é uma etapa do processo de gerenciamento de áreas contaminadas utilizada para estimar o risco à saúde humana, causado pela exposição do homem a uma determinada substância ou grupo de substâncias presente no meio físico (solo, sedimento, água subterrânea, água superficial e ar). A avaliação de risco, também estabelece metas que orientam as medidas de intervenção (ABNT, 2013b). A Figura 8 apresenta o fluxograma das interações entre as diferentes etapas da avaliação de risco, baseado no método da USEPA (1989).

Figura 7 - Etapas da avaliação de passivo ambiental.



Fonte: ABNT (2013a).

Figura 8 - Fluxograma das etapas da avaliação de risco à saúde humana.



Fonte: ABNT (2013b).

3.5.5. ABNT NBR 16.2010/2013

Segundo a ABNT (2013c), um modelo conceitual é a representação escrita ou gráfica de um sistema ambiental e os processos biológicos, químicos e físicos, que determinam o transporte dos contaminantes a partir das fontes, através dos meios, até os receptores envolvidos. As atividades básicas associadas ao desenvolvimento do modelo conceitual para uma área objeto de estudo são:

- Determinação dos limites da área objeto de estudo;
- Resumo das informações históricas de uso e ocupação da área objeto de estudo;
- Identificação, caracterização e localização das potenciais, suspeitas e reais fontes de contaminação;
- Caracterização do meio físico;
- Mecanismos de liberação dos contaminantes; as vias de transporte dos contaminantes (água, ar, solo, sedimento, biota);
- Identificação e caracterização dos receptores e bens a proteger.

A complexidade do modelo conceitual deve ser consistente com a complexidade da área e dos dados disponíveis. O modelo deve ser revisado e refinado sempre que sejam acrescentadas informações adicionais no processo de gerenciamento de áreas contaminadas. O modelo conceitual elaborado ao final de uma determinada etapa do gerenciamento de áreas contaminadas deve conter informações suficientes para desenvolvimento adequado da etapa subsequente.

4. METODOLOGIA

4.1. ÁREA DE ESTUDO

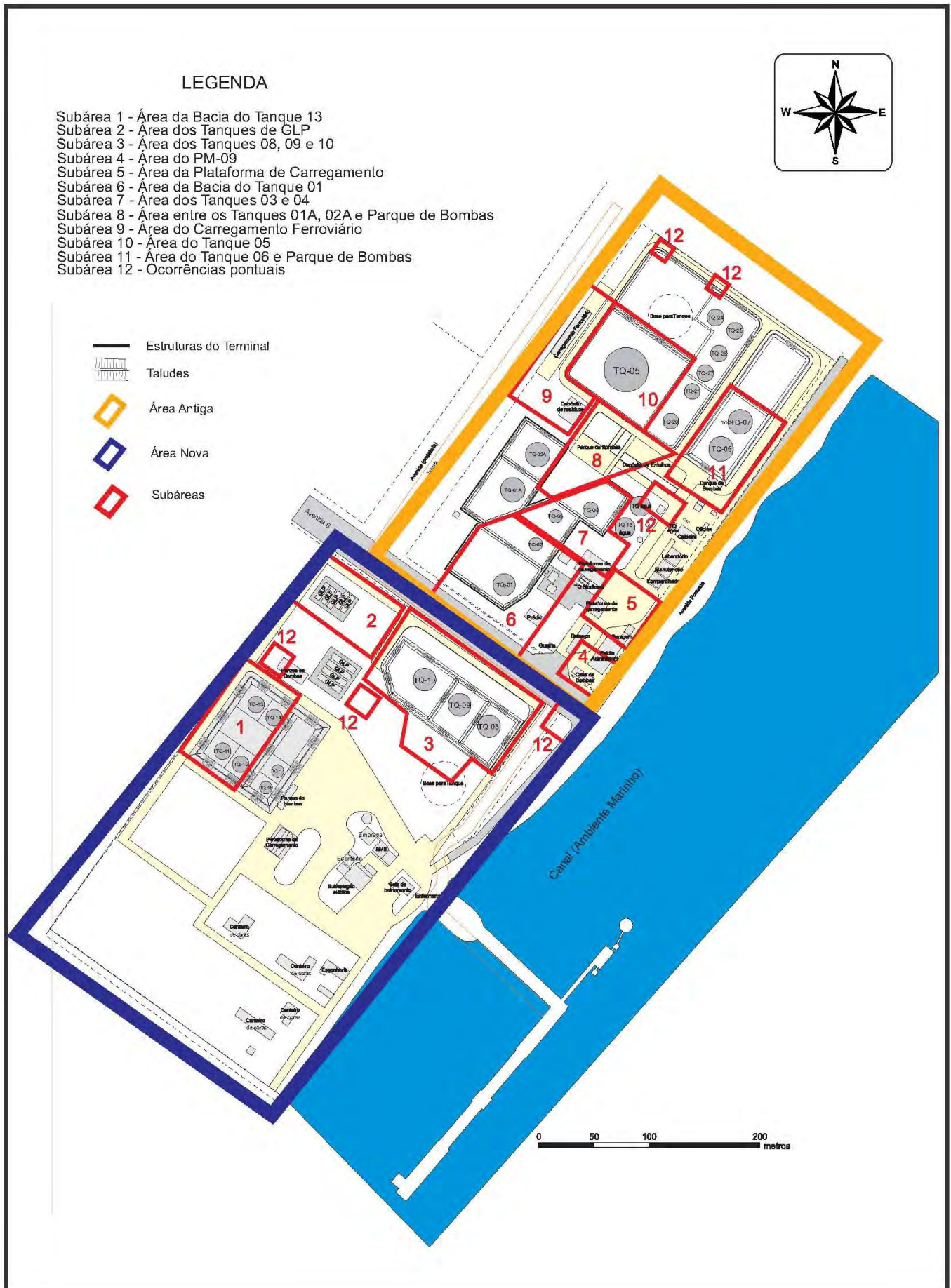
O cenário utilizado para a execução deste trabalho foi um terminal de armazenamento de combustíveis, que por razões de sigilo contratual não será informado o nome do terminal, assim como algumas informações referentes ao mesmo, como localização exata, coordenadas geográficas, empresas responsáveis, dentre outras. A caracterização e definição dos limites da área de interesse visa atender o conteúdo mínimo recomendado pela norma NBR 16.210/2013 para realização do modelo conceitual da área objeto de estudo deste trabalho.

O terminal abrange uma área de aproximadamente 198.000 m² e pode ser dividido em duas grandes áreas: área antiga (área do terminal), localizada no lado nordeste e área nova (área do píer), no lado sudoeste. Os limites da área de interesse abrangem uma região com ocupação predominante de indústrias, em que na direção nordeste há uma área residencial de pescadores e a leste um canal (ambiente marinho).

As instalações da área objeto de estudo, a qual armazena e distribui petróleo e seus derivados, estão divididas em área industrial e operacional/administrativa. A área industrial corresponde às áreas dos tanques de armazenamento, plataformas de abastecimento de caminhões-tanque e vagões-tanque (desvio ferroviário), parque de bombas e oleodutos, além de área de depósito de resíduos. A área operacional e administrativa é constituída por laboratório, prédios administrativos, sala de operação, enfermaria, sala da engenharia, prédio do SMS (Saúde, Meio Ambiente e Segurança), prédio da engenharia, sala de manutenção. Junto à área do terminal encontram-se dois tanques aéreos de armazenamento.

Com base em ocorrências de contaminação identificadas em trabalhos anteriores, o terminal estudado neste trabalho foi dividido em 12 subáreas de interesse, de acordo com a Figura 10.

Figura 9 – Delimitação das áreas de interesse do terminal.



4.2. PROCEDIMENTOS

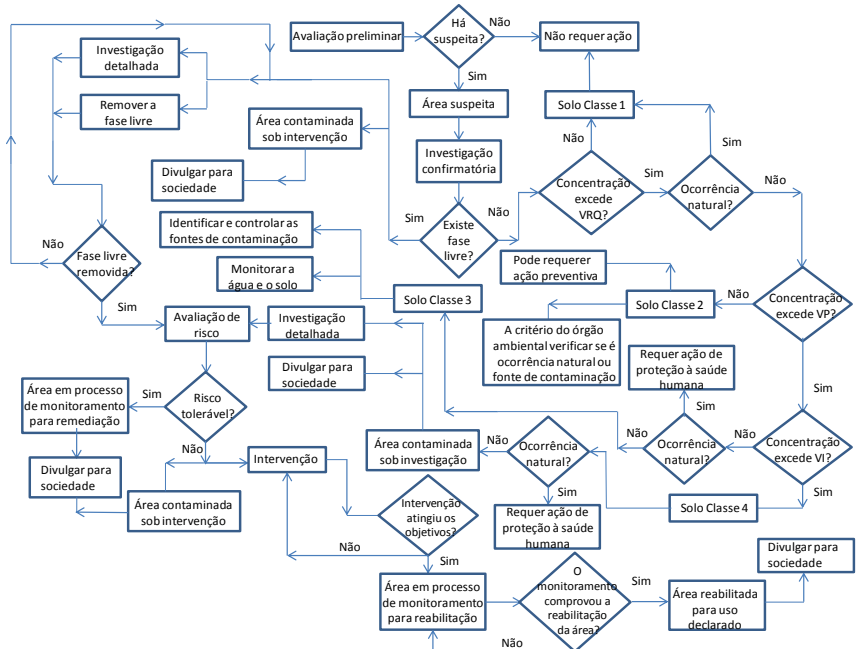
O desenvolvimento deste trabalho teve como base as seguintes etapas:

- a) Análise da legislação, resoluções e de normas técnicas brasileiras pertinentes ao presente trabalho.
- b) Levantamento de dados e obtenção das informações de investigações ambientais já realizadas na área de interesse, através de pesquisa bibliográfica.
- c) Pesquisa e compilação de dados para caracterizar a geologia e hidrogeologia local; pluviometria da região; substâncias químicas de interesse; cenários de contaminação; fontes de contaminação; e receptores e bens a proteger.
- d) Verificação da aplicabilidade das normas técnicas brasileiras ABNT NBR 15.515-1/2007, NBR 15.515-2/2011, NBR 15.515-3/2013 e NBR 16.210/2013.
- e) Definição de estratégias de gerenciamento ambiental de acordo com as normas técnicas da ABNT NBR 15.515-1/2007, NBR 15.515-2/2011, NBR 15.515-3/2013 e com a estrutura do gerenciamento de áreas contaminadas apresentada na Resolução CONAMA nº 420/2009 (Figura 10).

4.3. HISTÓRICO DAS INVESTIGAÇÕES AMBIENTAIS

A fim de elaborar um modelo conceitual para a área de interesse conforme a NBR 16.210/2013, fez-se necessário consultar todos os relatórios de estudos já realizados no terminal. Os resultados destes relatórios são apresentados a seguir (Tabela 1, Tabela 2, Tabela 3 e Tabela 4), visto que os mesmos serviram como base para a definição das estratégias de gerenciamento ambiental da área de interesse.

Figura 10 - Fluxograma das etapas de gerenciamento de áreas contaminadas.



Fonte: CONAMA (2009).

Tabela 1 – Relatórios de estudos realizados na área de interesse no ano de 2007.

ANO	RELATÓRIO	RESUMO
2007	Estudo da geomorfologia	Caracterização geomorfológica local e regional
	Levantamento geofísico	Avaliou o potencial de contaminação por hidrocarbonetos em subsuperfície; Foram localizadas zonas anômalas de ocorrência generalizada na área industrial; Recomendou-se sondagens de investigação confirmatória.
	Relatório de hidrogeologia	Caracterização hidrogeológica da área do terminal; Foram realizadas a execução de sondagens, instalação de poços de monitoramento, medição de VOC no solo, amostragem de solo e água subterrânea, ensaios de permeabilidade e levantamento topográfico dos poços de monitoramento pré-existent; Foi verificada a presença de produto sobrenadante nos poços PM-11 e PM-18, com espessuras de 11 cm e 4 cm, respectivamente.
	Relatório de geoquímica	Campanha de amostragem de solo e água subterrânea, com a realização de sondagens, instalação de poços de monitoramento; As maiores concentrações de VOC foram encontradas na profundidade de 1,0m em áreas próximas ao TQ-16, próximo à plataforma de carregamento, na rua em frente ao TQ-14, entre o TQ-02A e o TQ-04, na bacia do TQ-02 e na bacia do TQ-05; As maiores concentrações de VOC a 0,5 m de profundidade ocorrem na área na bacia do TQ 01 e TQ 02, próximo à nova plataforma de carregamento e próximo à enfermaria. Foram identificadas concentrações acima dos padrões de referência dos compostos TPH e bário no solo e BTEX, TPH, PAH e metais na água subterrânea.

Tabela 2 - Relatórios de estudos realizados na área de interesse no ano de 2008.

ANO	RELATÓRIO	RESUMO
2008	Relatório de geoquímica	Foram efetuadas sondagens manuais, instalados poços de monitoramento, amostragem de solo e água subterrânea; No solo foram não identificadas concentrações de contaminantes acima dos valores orientadores; Na água subterrânea foram verificadas concentrações de metais (ferro, manganês, chumbo e zinco) acima dos valores orientadores.
	Avaliação de potencial de contaminação por hidrocarbonetos em subsuperfície	As zonas anômalas nos resultados mostraram um padrão de alta refletividade acima de uma zona de grande atenuação da onda eletromagnética (zona de sombra, então recomendou-se a realização desta avaliação em áreas que mostraram padrões de reflexão semelhantes ao de contaminantes.
	Plano de investigação complementar	Foi apresentada proposta para investigação direta do solo na área próxima aos tanques de armazenamento de água. Foram estimadas 23 sondagens totalizando 40 m de perfuração. Em 2009 foram realizadas investigações complementares que incluíram a execução de sondagens na área da bacia do Tanque 13. Os resultados foram apresentados no Relatório Unificado de Diagnóstico Ambiental.
	Remoção de fase livre no poço PM-08 (bacia de contenção do TQ-01)	Este documento visou apresentar uma proposta para implementação do sistema de remediação emergencial composto por uma bomba pneumática submersível, denominada Auto Pump, para bombeamento de fase livre do poço de monitoramento PM-08.
	Plano de Investigação Ambiental	Execução de sondagens e instalação de poços de monitoramento na área próxima ao PM-09 (prédio da operação): o objetivo deste plano de trabalho emitido em agosto de 2008 foi apresentar uma proposta baseada em sondagens e instalação de poços de monitoramento para delimitação da fase livre identificada no PM-09 (espessura de 0,71 m) em 01/07/2008 e a existência de um produto verificado em uma caixa de passagem (pluvial ou descarte da caixa separadora) com características semelhantes ao do produto encontrado no PM-09.
	Relatório de Avaliação de Risco	A avaliação de risco realizada em setembro de 2008 envolveu todo o terminal, e foi fundamentada nos resultados analíticos das amostras de solo e de água subterrânea, coletadas durante a investigação ambiental. Para a área do terminal (antiga) foi verificado potencial risco tóxico para o caminho de inalação em ambientes fechados proveniente da concentração de mercúrio na amostra de água subterrânea do poço PM-23, assim como também do PM-24, ambos localizados na bacia de contenção dos Tanques TQ-06 e 07. Já para área do pier os riscos totais e os índices de perigo para os meios avaliados foram inferiores aos critérios de riscos aceitáveis.
	Relatório da Bacia do Tanque 01	Os resultados analíticos de solo indicaram concentrações acima dos valores de intervenção considerados somente para o Arsênio, em duas amostras. Em relação à água subterrânea os resultados analíticos indicaram concentrações acima dos valores de intervenção considerados para os compostos: benzeno, xilenos, naftaleno, TPH, alumínio, boro, ferro, e chumbo. A Análise de Risco Tier 1, realizada para um cenário atual, indicou que nenhuma das vias de exposição consideradas (inalação e contato dérmico) apresentava risco de toxicidade e carcinogênico para os receptores considerados.

Tabela 3 - Relatórios de estudos realizados na área de interesse nos anos de 2009 a 2011.

ANO	RELATÓRIO	RESUMO
2009	Relatório Unificado de Diagnóstico Ambiental	Este estudo recomendou: a delimitação da fase livre identificada no PM-103 e a implantação e operação imediata de um sistema de bombeamento contemplando toda a área afetada; a execução de sondagens até a profundidade de 5 m nas bacias dos Tanques 01, 02, 03 e 04 para confirmação dos dados geofísicos e a remoção dos produtos oleosos presentes nos solos superficial das áreas já mapeadas; a realização de nova amostragem de água subterrânea nos poços existentes na área antiga, visando à confirmação da concentração de benzeno no PM-33.
2010	Plano de Remoção de Passivos	Teve como objetivo estabelecer os procedimentos e metodologias para a remoção do solo contaminado na área do terminal, cancelando e substituindo os planos enviados anteriormente, em razão das alterações dos cenários de remediação em decorrência da investigação complementar realizada. Foi utilizado como base o Relatório Unificado de Diagnóstico Ambiental de 2009. Foram identificadas as seguintes áreas contaminadas no terminal: área dos tanques 01, 02 e 03; área entre os tanques 01A e 02A e parque de bombas; área do carregamento ferroviário e tanque 05; área dos tanques 08, 09, 10; área dos tanques de GLP; área jusante da plataforma de carregamento; área do tanque 06 e parque de bombas; área montante do tanque 24; e área nova, esquina com a avenida B e a avenida portuária.
2011	Relatório final de serviços	Apresentou a situação dos serviços de remediação realizados em 2010 no terminal; foram apresentadas áreas definidas para escavação e características do sistema de extração multifásica implantado na área dos tanques 13 e 14; e delimitação de fase livre no PM-103. Recomendou-se: realização de uma campanha de monitoramento ambiental completa, antes de ser dado início aos projetos de remediação; a finalização da delimitação de fase livre em torno do PM-103; e a instalação de um sistema de bombeamento de fase livre na área do tanque 01.
	Projeto básico de remediação para a área do tanque 13	Apresentou a seleção da alternativa tecnológica e a configuração básica do sistema de remediação composto por sistema de extração multifásica. A técnica foi selecionada para remoção dos contaminantes em fase dissolvida de BTEX, Naftaleno e TPH detectados nos resultados analíticos de janeiro e fevereiro de 2009. Para delimitação da pluma de contaminantes em fase dissolvida foi recomendada a realização de investigação complementar com a instalação de poços de monitoramento.

Tabela 4 - Relatórios de estudos realizados na área de interesse nos anos de 2012 e 2013.

ANO	RELATÓRIO	RESUMO
2012	Monitoramento das águas subterrâneas	De acordo com os resultados das campanhas executadas foi verificado que os poços PM-08 e PM-18 apresentaram contaminação constante de BTEX. Os poços PM-09, PM-02 e PM-14 também apresentaram concentrações acima dos valores de intervenção para este parâmetro, mas nas duas últimas amostragens não foram identificadas concentrações acima do permitido. Além disso, foram identificadas anomalias de TPH em diversos poços. Foi constada a presença de chumbo com concentrações acima do valor de intervenção em grande parte dos poços monitorados. Foram identificadas também ocorrências de sulfeto na área, porém, foi ressaltado que o sulfeto ocorre naturalmente em águas subterrâneas.
	Projeto de teste piloto da bacia do tanque 13	Apresentou o projeto de teste piloto para determinação do raio de influência e condutividade hidráulica na área da bacia do tanque 13. A execução deste projeto tem como objetivo obter parâmetros para subsidiar a elaboração do Projeto Detalhado de Remediação. De acordo com este documento, na área da Bacia do Tanque 13 está em operação um sistema de remediação emergencial utilizando a técnica de extração multifásica, composto por 28 poços de extração. A operação do MPE teve início em 2011 e ocorrerá até a instalação do sistema de remediação definitivo.
2013	Plano de intervenção da área do tanque 01	Tendo em vista a presença de fase livre detectada nos monitoramentos recentes nos poços localizados na bacia do Tanque 01 (PM-08, PM-103, PM-111, PM-113, PM-114 e PM-S/N-01) foi elaborado este plano, o qual apresentou as ações de intervenção, propostas em caráter emergencial. As medidas de remediação foram propostas com o objetivo principal de recuperação do produto em fase livre. Para tanto foi proposta a técnica de extração multifásica. Para delimitação das ocorrências de fase livre nos poços de monitoramento foi proposta a instalação de pelo menos 12 poços de monitoramento complementares, a fim de delimitar vertical e horizontalmente a pluma de contaminação.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. MODELO CONCEITUAL DA ÁREA DE INTERESSE

O modelo conceitual para a área de interesse foi elaborado com base na norma NBR 16.210/2013, utilizando-se dados fornecidos sobre a caracterização da área de interesse e identificação dos limites locais. Foi realizado o resumo de todas as investigações ambientais já realizadas no terminal e com base nessas informações identificaram-se as substâncias químicas de interesse no solo e água subterrânea, bem como as fontes potenciais de transporte de contaminantes e cenários de contaminação.

Para identificar os receptores expostos ou potencialmente expostos, foi considerada a área de interesse e seu entorno com a ocupação atual e possível cenário futuro. Também foram identificadas as vias completas e incompletas de exposição.

Os bens a proteger foram considerados segundo a Política Nacional do Meio Ambiente (BRASIL, 1981), na qual constam os seguintes bens:

- Saúde e bem-estar da população;
- Fauna e flora;
- Qualidade do solo, das águas e do ar;
- Interesses de proteção à natureza/paisagem;
- Ordenação territorial e planejamento regional e urbano;
- Segurança e ordem pública.

5.1.1. Substâncias químicas de interesse

As substâncias químicas de interesse devem ser identificadas segundo a NBR 16.210/2013 (ABNT, 2013c) e também a possibilidade de ocorrência natural dessas substâncias. Com base no histórico das investigações ambientais realizadas na área, as substâncias químicas de interesse para cada meio, foram definidas a seguir:

- Água subterrânea: MTBE, benzeno, xilenos, tolueno, etilbenzeno, TPH, naftaleno, alumínio, boro, chumbo, cobalto, ferro, manganês, mercúrio, níquel, prata, vanádio, zinco, nitrogênio amoniacal e sulfeto.
- Solo: MTBE, benzeno, tolueno, etilbenzeno, xilenos, TPH, benzo(a)pireno, benzo(b)fluoranteno, dibenzo(a,h)antraceno, PAH, bário, cádmio, chumbo, cobalto, cobre, níquel e vanádio.

O sulfeto que foi identificado em diversas ocorrências está presente naturalmente nas águas subterrâneas, devido ao arraste de depósitos minerais contendo enxofre, resultado da decomposição da matéria orgânica, da redução de sulfatos por atividade bacteriana ou podendo estar relacionado a outros metais.

5.1.2. Caracterização do meio físico

5.1.2.1. Geologia e Hidrogeologia local

A partir do Relatório Unificado de Diagnóstico Ambiental realizado em 2009, foi descrita a geologia local de acordo com os perfis de sondagens executados até 4,5 m de profundidade. Estes perfis revelaram, de modo geral, um horizonte inicial constituído de areia fina amarelada, variando de 0,0 a 1,5 m de profundidade, sobreposto a um pacote de areia fina cinza, por vezes, com lentes de areia fina argilosa cinza, variando de 1,0 m a 4,5 m. Com base nos perfis de solo das sondagens, nas medições de nível d'água e relevo local, foram elaboradas seções hidrogeológicas esquemáticas da área de estudo, conforme observadas na Figura 11.

Nas Tabelas do Anexo A, são apresentados os dados de nível d'água medidos em maio de 2007 nos poços do terminal e carga hidráulica, utilizados para elaboração do mapa potenciométrico apresentado na Figura 11, de acordo com Relatório Unificado de Diagnóstico Ambiental de 2009. Também são indicados na referida tabela dados do monitoramento das águas subterrâneas realizado em novembro de 2012, o nível d'água verificado nos poços neste período é entre 0,60 m (PM-64) e 3,80 m (PM-109) de profundidade. De acordo com o mapa potenciométrico (Figura 12) o sentido predominante do fluxo subterrâneo na Área

Antiga é noroeste-sudeste, e na Área Nova, sentido de nordeste-sudoeste, ambos em direção ao canal.

Através do Relatório Unificado de Diagnóstico Ambiental de 2009, determinou-se a condutividade hidráulica média determinada para o terminal é de $2,25 \times 10^{-3}$ cm/s, com mínima de $5,93 \times 10^{-4}$ cm/s no PM-25 e máxima de $7,66 \times 10^{-3}$ cm/s no PM-56. E também o gradiente hidráulico médio e a porosidade efetiva para o terminal foram estimadas em 0,62% e 33%, respectivamente. Para estimativa da velocidade do escoamento subterrâneo, foi considerado valor da condutividade hidráulica igual a $2,25 \times 10^{-3}$ cm/s. Com isso, a velocidade média estimada foi de 13,3 m/ano.

Figura 11 – Seções hidrogeológicas esquemáticas da área de estudo.

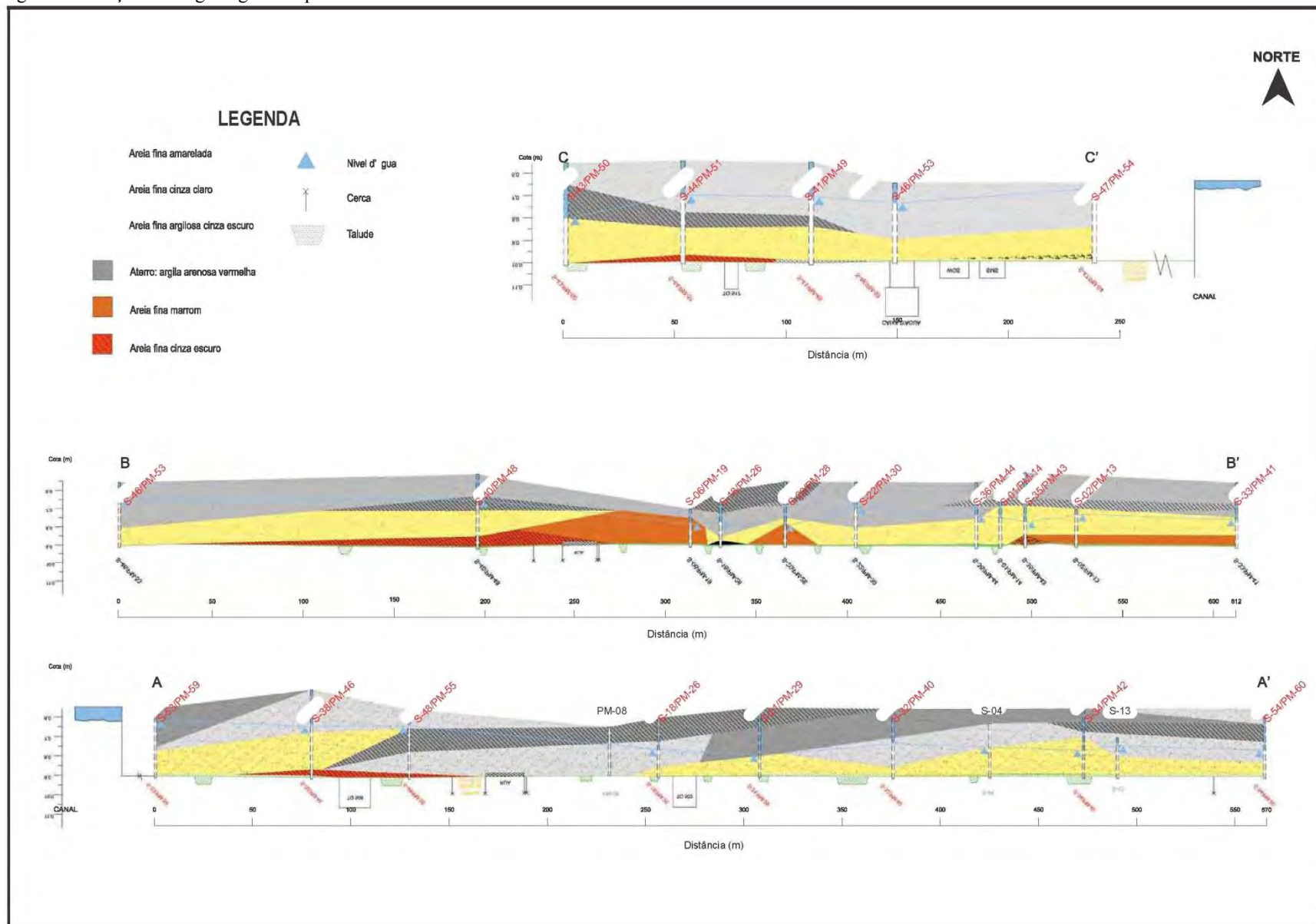
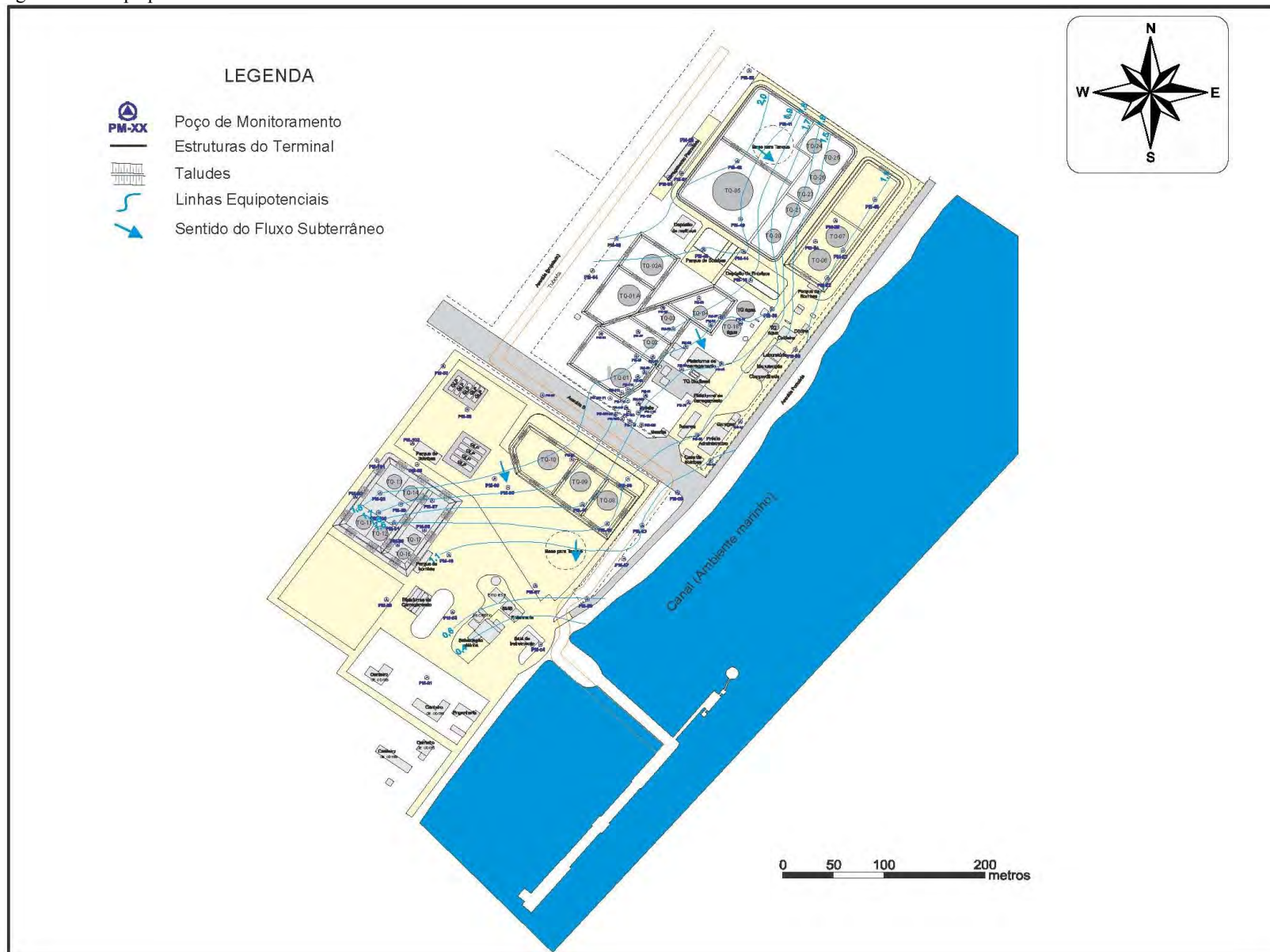


Figura 12 – Mapa potenciométrico da área de interesse.

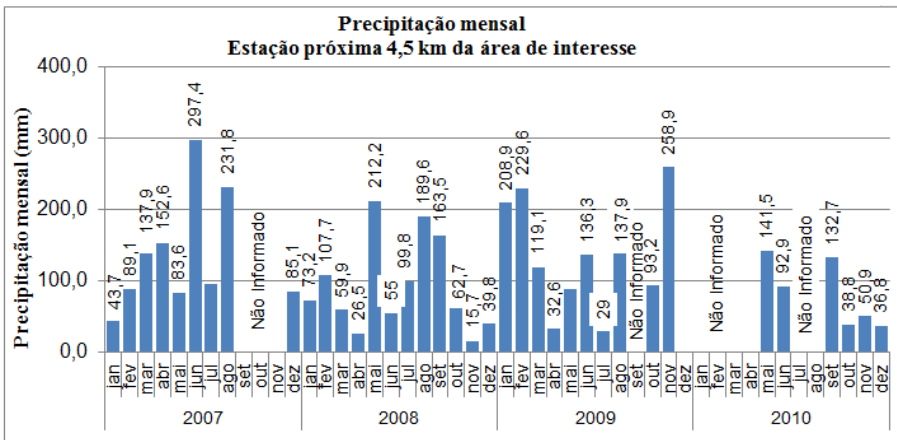


5.1.2.2. Pluviometria

Os dados históricos de precipitação total mensal dos anos de 2007 a 2014 para a área de interesse são apresentados no Gráfico 1 e Gráfico 2. As informações de precipitação foram obtidas no sistema de informações hidrológicas da Agência Nacional de Águas (ANA) para uma estação localizada a aproximadamente a 4,5 km de distância do terminal. A área de interesse apresenta pluviometria média mensal de janeiro de 2007 a junho de 2014 de 93,8 mm e média anual para os anos de 2007 a 2013 de aproximadamente 1.100,0 mm por ano, com tendência a maiores volumes de chuva no final do verão e períodos mais secos nos meses de outubro e novembro.

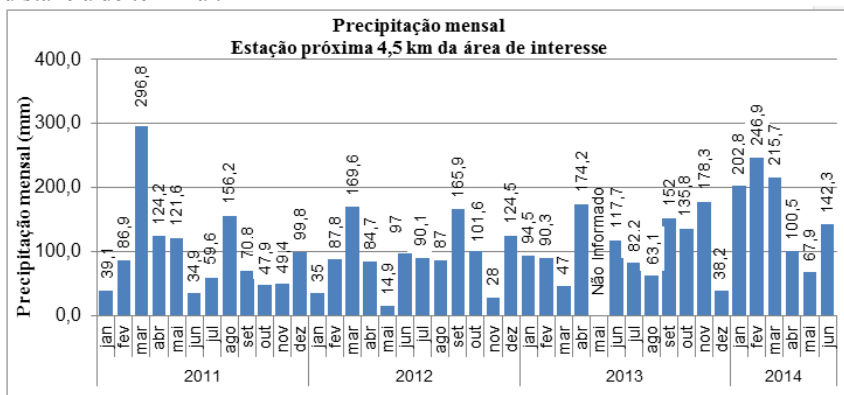
As variações do nível d'água do aquífero estão diretamente associadas à pluviometria, o que influencia também no comportamento da contaminação em fase livre e dissolvida, podendo alterar as espessuras de produto nos poços de monitoramento e as concentrações dos contaminantes em água subterrânea. Por este motivo é importante a apresentação dos índices pluviométricos, pois estes auxiliam na interpretação do comportamento dos contaminantes.

Gráfico 1 - Dados pluviométricos (2007 a 2010) de uma Estação a 4,5 km de distância do terminal.



Fonte: Adaptado de ANA (2014).

Gráfico 2 - Dados pluviométricos (2011 a 2014) de uma Estação a 4,5 km de distância do terminal.



Fonte: Adaptado de ANA (2014).

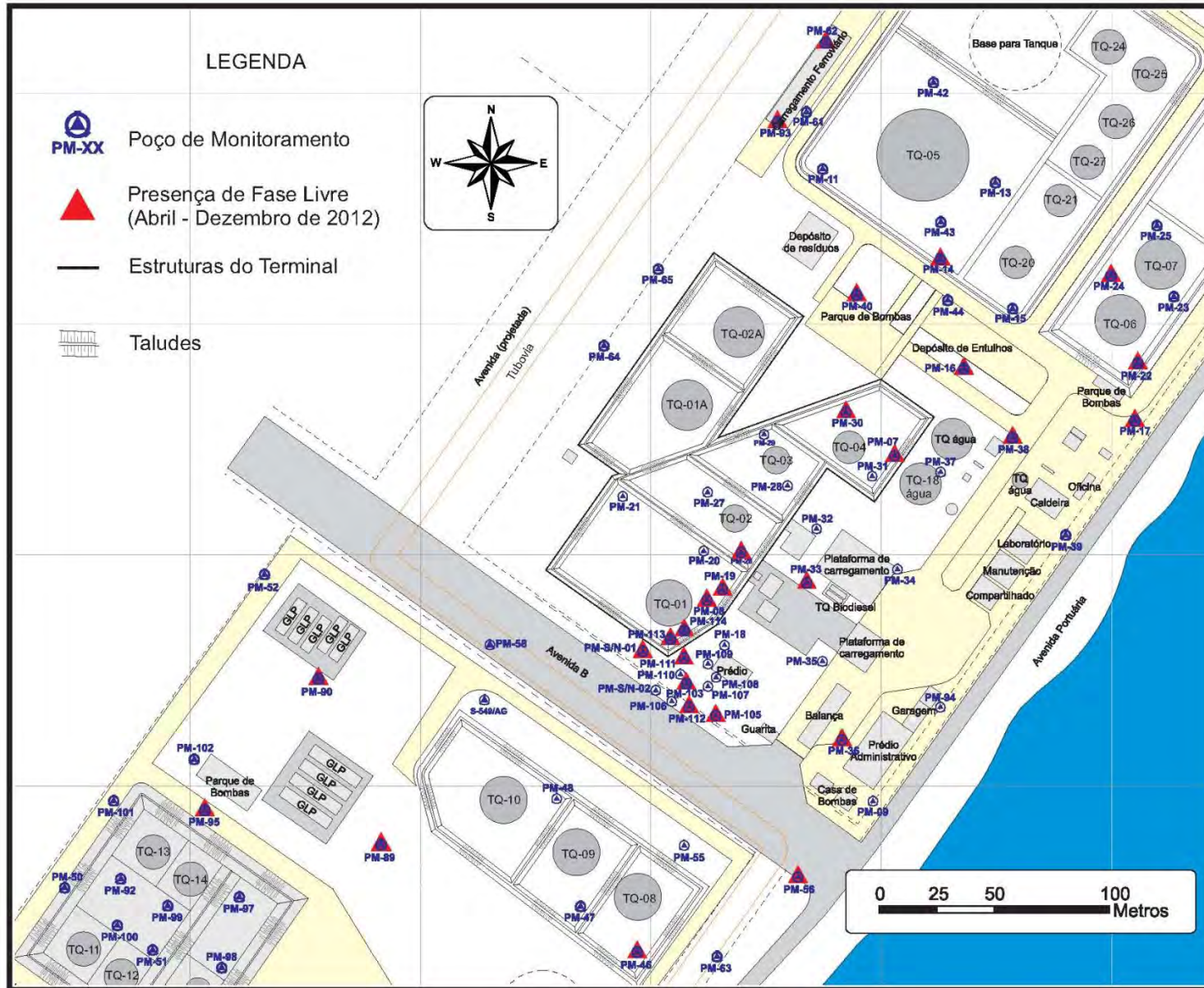
5.1.3. Cenário de Contaminação

De acordo com as investigações ambientais realizadas na área de interesse, será apresentado a seguir o cenário de contaminação, o qual compreende passivos ambientais em solo e água subterrânea. A definição deste cenário de contaminação servirá de base para elaborar ações de gerenciamento ambiental das áreas contaminadas do local.

5.1.3.1. Fase livre

No ano de 2012, foram realizados monitoramentos de fase livre na área de interesse do terminal e identificou-se 28 poços de monitoramento com presença de fase livre. Na Tabela do Anexo B consta o monitoramento da fase livre no período de abril a dezembro de 2012. Na Figura 13 é mostrada a localização dos poços de monitoramento com presença de fase livre no período de abril a dezembro de 2012.

Figura 13 – Poços de monitoramento com presença de fase livre no ano de 2012.



5.1.3.2. Resíduos oleosos no solo

Com base nas campanhas de investigação realizadas foram mapeadas as seguintes áreas com presença de resíduo oleoso:

- 03 focos de resíduo oleoso nas bacias dos tanques 01, 02 e 03;
- Existência de produtos oleosos na área limitada pelo tanque 04, tanques 01A, 02A e parque de bombas;
- 04 focos de resíduo oleoso no entorno do tanque 05;
- Existência de resíduo oleoso na sondagem S-484, localizada ao lado do tanque de água;
- Presença de material oleoso nas proximidades dos tanques de GLP; e
- Nas bacias dos tanques 08, 09 e 10 foi mapeado um nível de areia cinza a preta com produtos sólidos secos.

Na Figura 14 são apresentadas as ocorrências de resíduos oleosos no solo.

5.1.3.3. Resultados analíticos no solo

As maiores concentrações de VOC a 0,5 m de profundidade ocorreram: na área na bacia do TQ 01 e TQ 02; próximo à plataforma de carregamento; e próximo à enfermaria, conforme ilustrado na Figura 15. Já as principais áreas impactadas com VOC a 1,0 m de profundidade, podem ser visualizadas na Figura 16, localizam-se próximo ao TQ 16, próximo à plataforma de carregamento, na rua em frente ao TQ 14, entre o TQ 02A e o TQ 04, na bacia do TQ 02 e na bacia do TQ 05.

Nas Tabelas do Anexo C são apresentadas para cada etapa de monitoramento as sondagens nas quais foram verificadas concentrações acima dos valores de orientadores da legislação. Na Figura 17 (hidrocarbonetos) e na Figura 18 (metais) são apresentadas a distribuição das concentrações detectadas no solo acima dos valores de orientadores nas etapas analíticas.

Figura 14 – Ocorrências de resíduos oleosos no solo.



Figura 15 – VOC a 0,5 m de profundidade.

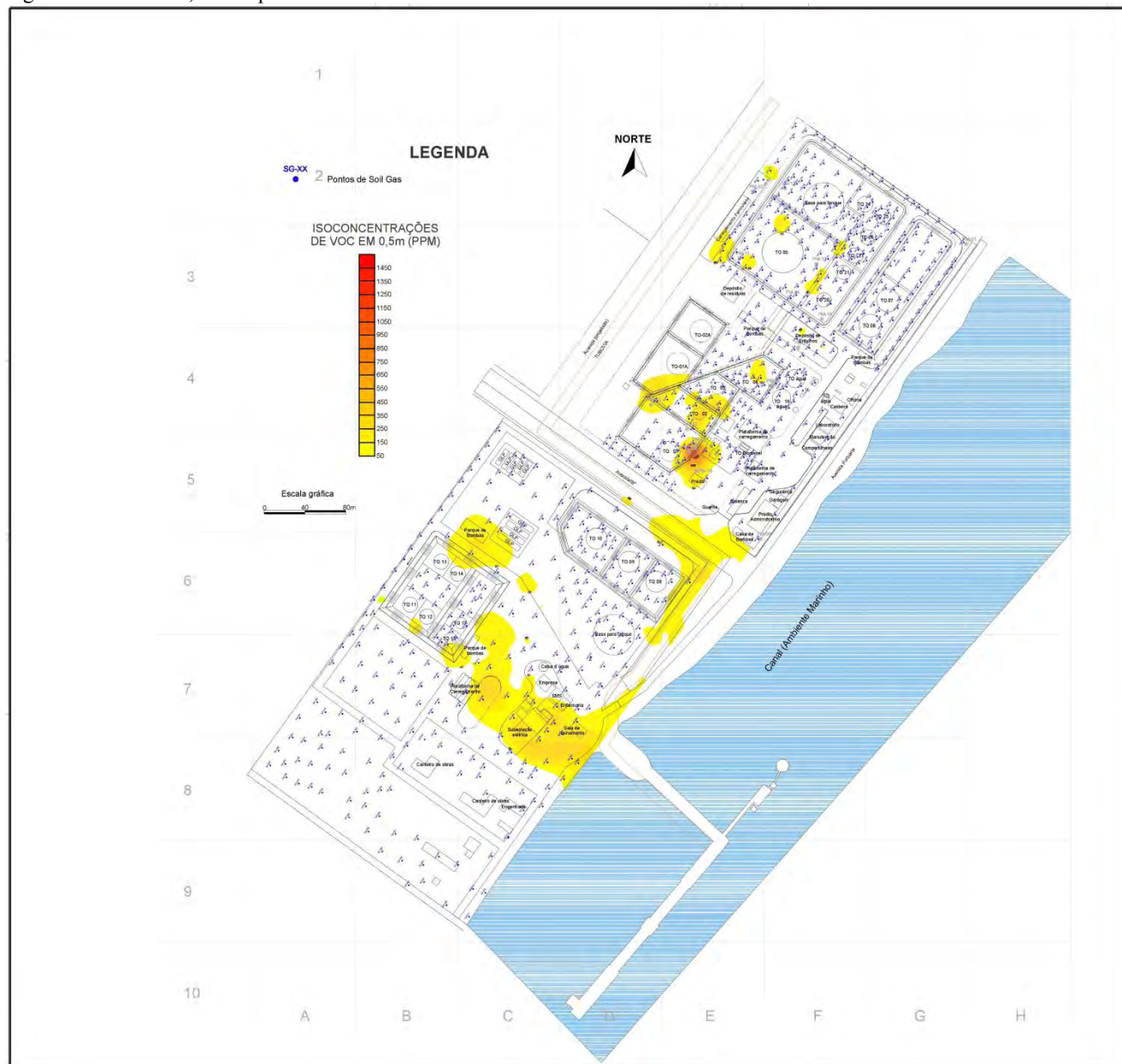


Figura 16 – VOC a 1,0 m de profundidade.

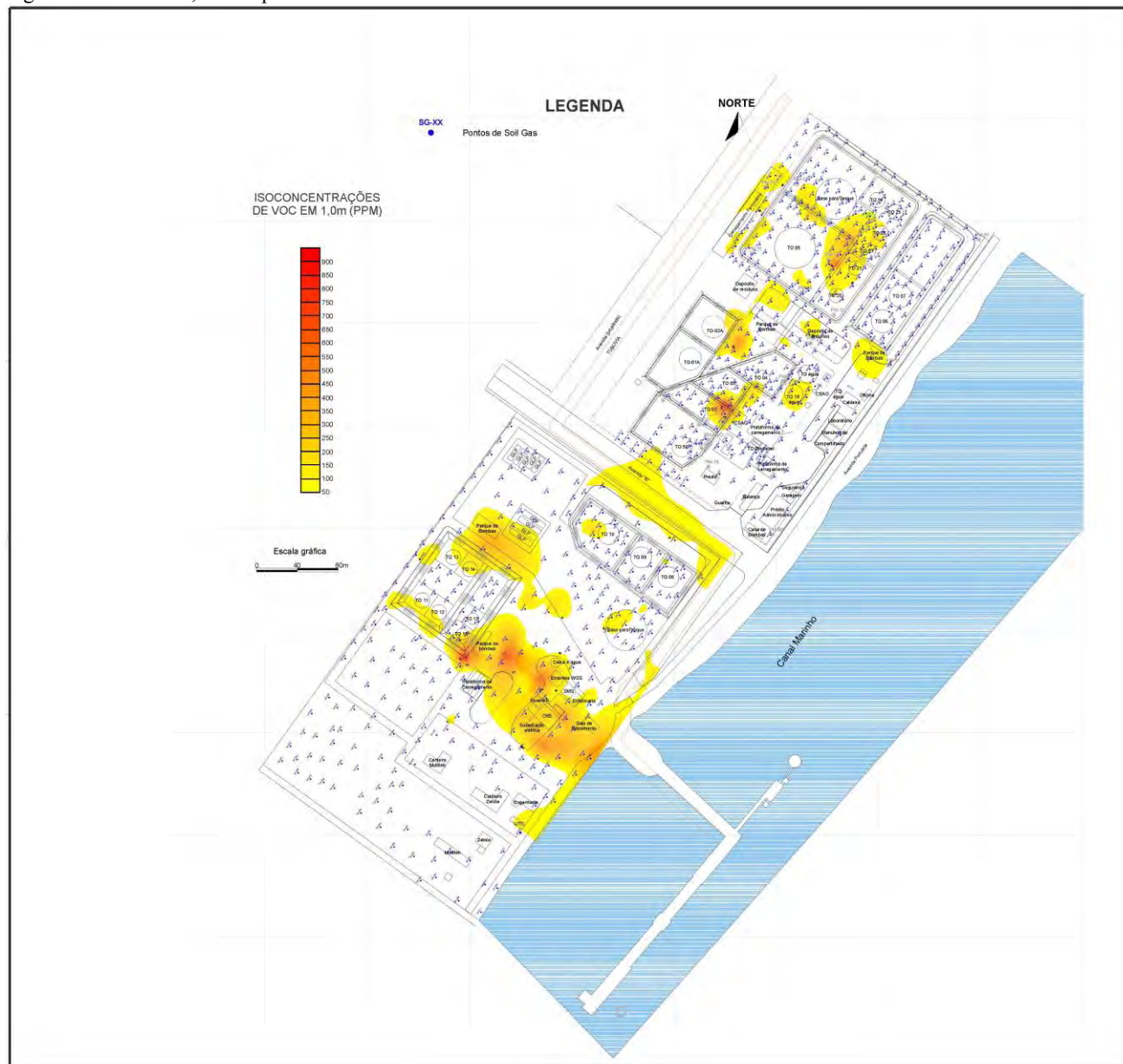


Figura 17 – Ocorrência de hidrocarbonetos no solo.

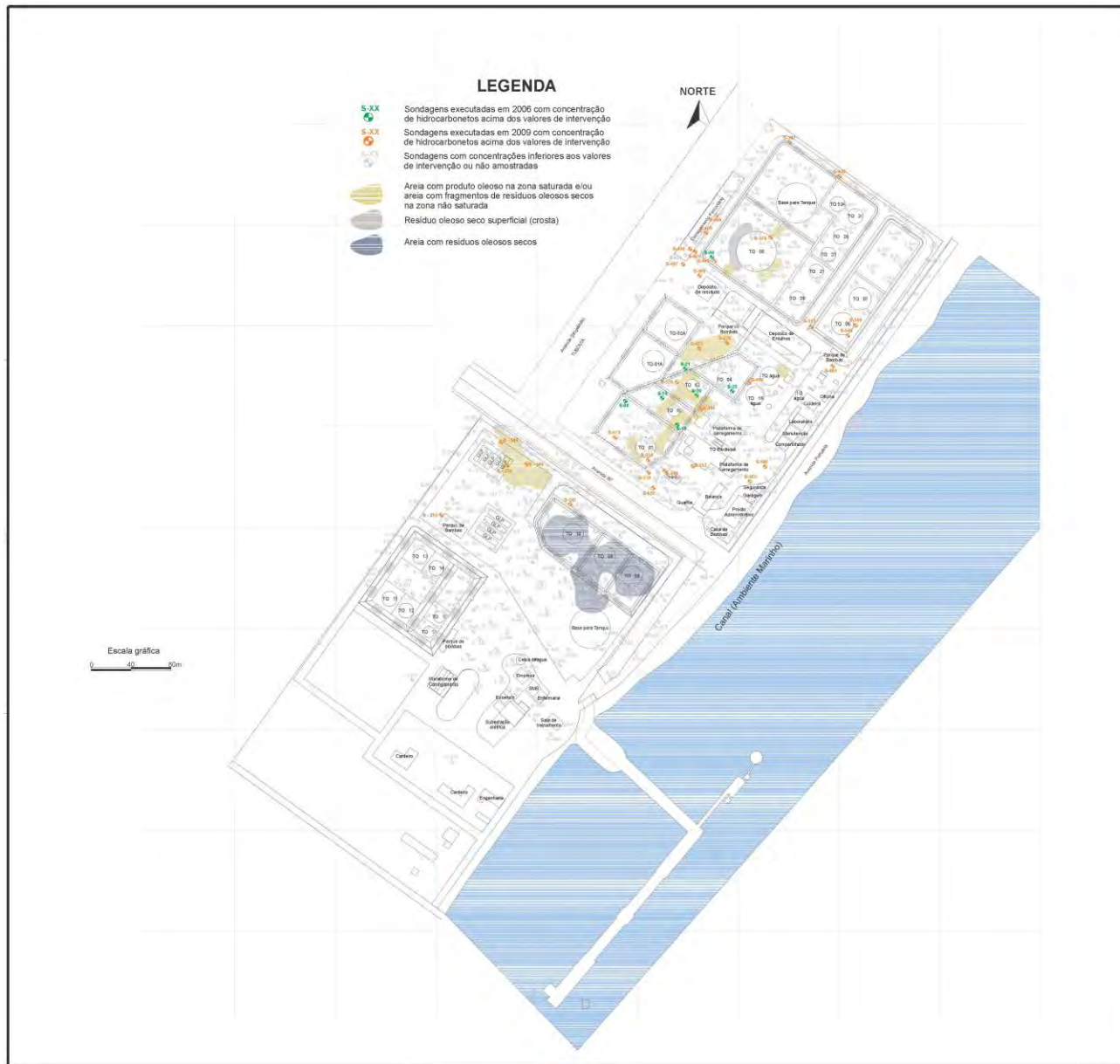
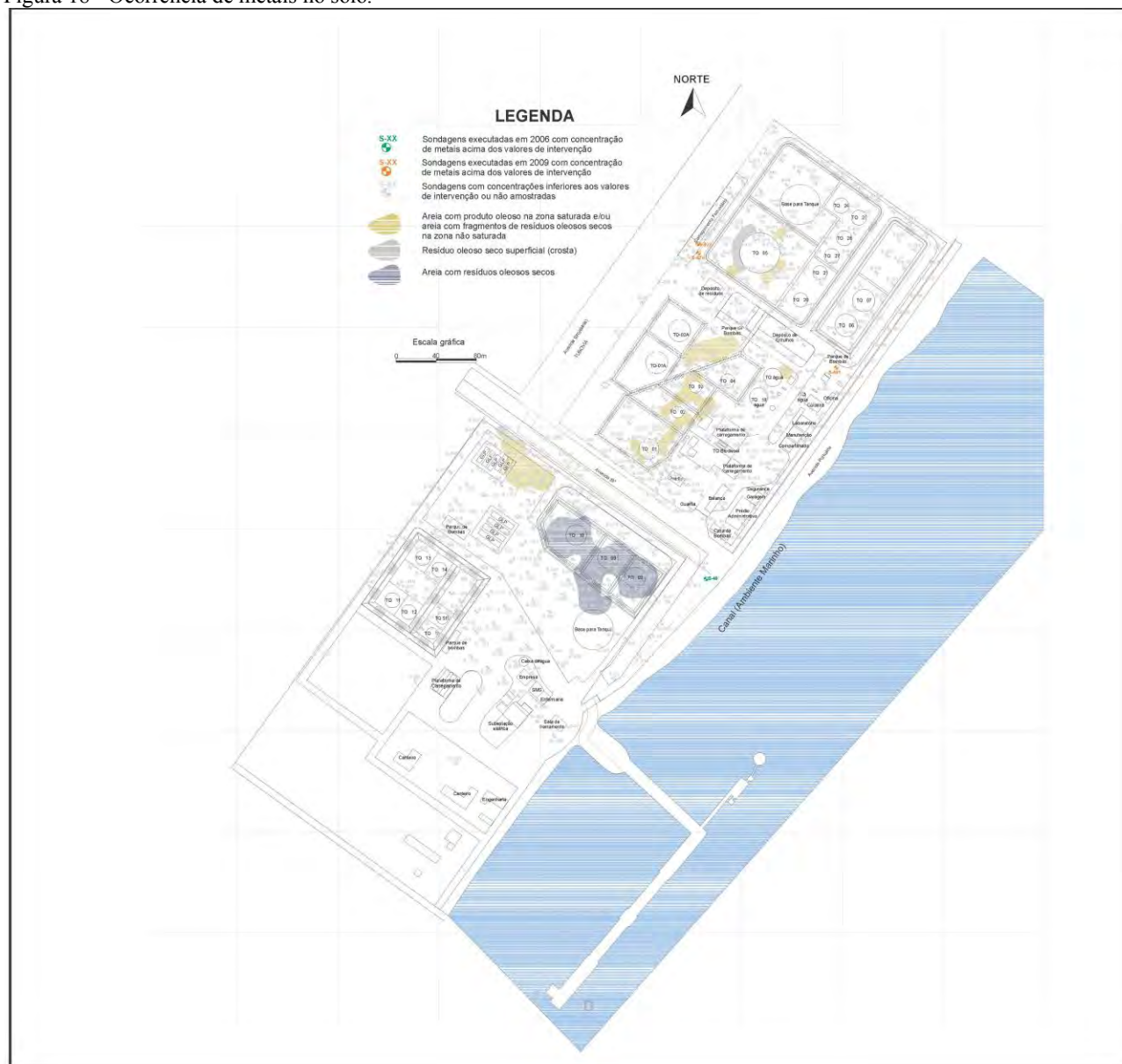


Figura 18 - Ocorrência de metais no solo.



5.1.3.4. Resultados analíticos em água subterrânea

O monitoramento analítico mais recente de água subterrânea, realizado em outubro de 2011 não contemplou todos os poços localizados no terminal. Desta forma, para contemplar todos os poços monitorados, o cenário de contaminação em água subterrânea foi caracterizado por meio da unificação dos seguintes monitoramentos analíticos:

- 1ª campanha de monitoramento em 2006, em que foram coletadas 58 amostras de água subterrânea. As análises químicas compreenderam os parâmetros MTBE, BTEX, TPH, PAH, índice de fenóis e metais;
- 2ª campanha de monitoramento de fase dissolvida efetuada em 2007, que compreendeu a coleta de 21 amostras para análise de MTBE, 30 amostras para BTEX, 19 para PAH, 24 para TPH, 55 para metais, 14 amostras para índice de fenóis e 34 amostras para o grupo dos fenóis;
- 3ª campanha de amostragem de água subterrânea realizada em 2009. Os trabalhos consistiram em 19 amostras para análises de MTBE, BTEX, TPH, PAH e metais, além de 09 amostras para os parâmetros hexano, índice de fenóis e grupo dos fenóis; e
- Amostragem realizada em outubro de 2011 em 13 poços que fazem parte da rede de monitoramento do terminal.

As Tabelas do Anexo D trazem a relação das ocorrências e concentrações acima dos valores de orientadores. Ressalta-se que nesta tabela são apresentados os resultados analíticos mais recentes de cada poço. A localização destes poços é mostrada na Figura 19 (hidrocarbonetos) e na Figura 20 (metais e parâmetros inorgânicos).

Figura 19 – Ocorrência de hidrocarbonetos em água subterrânea.

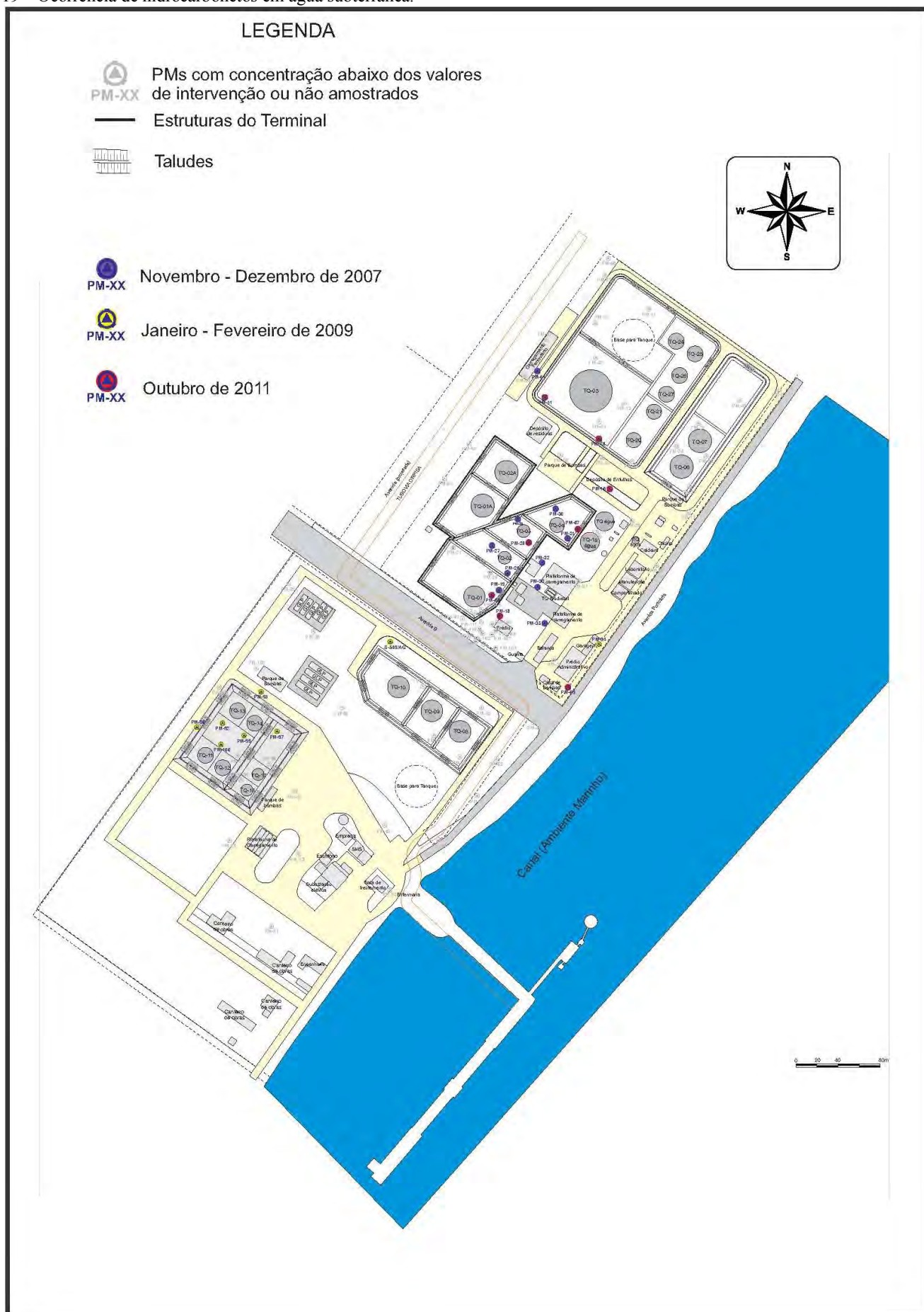
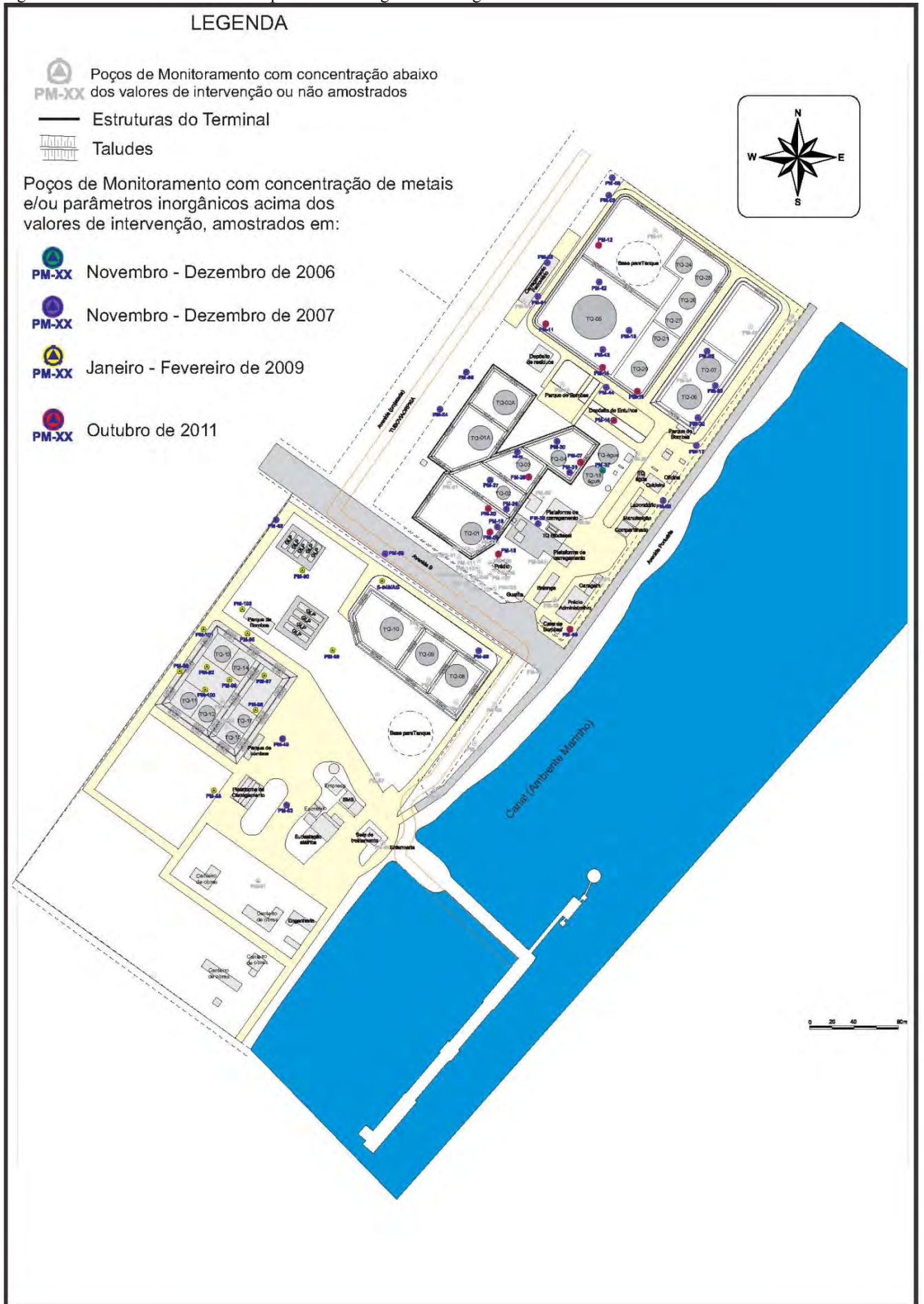


Figura 20 - Ocorrência de metais e/ou parâmetros inorgânicos em água subterrânea.



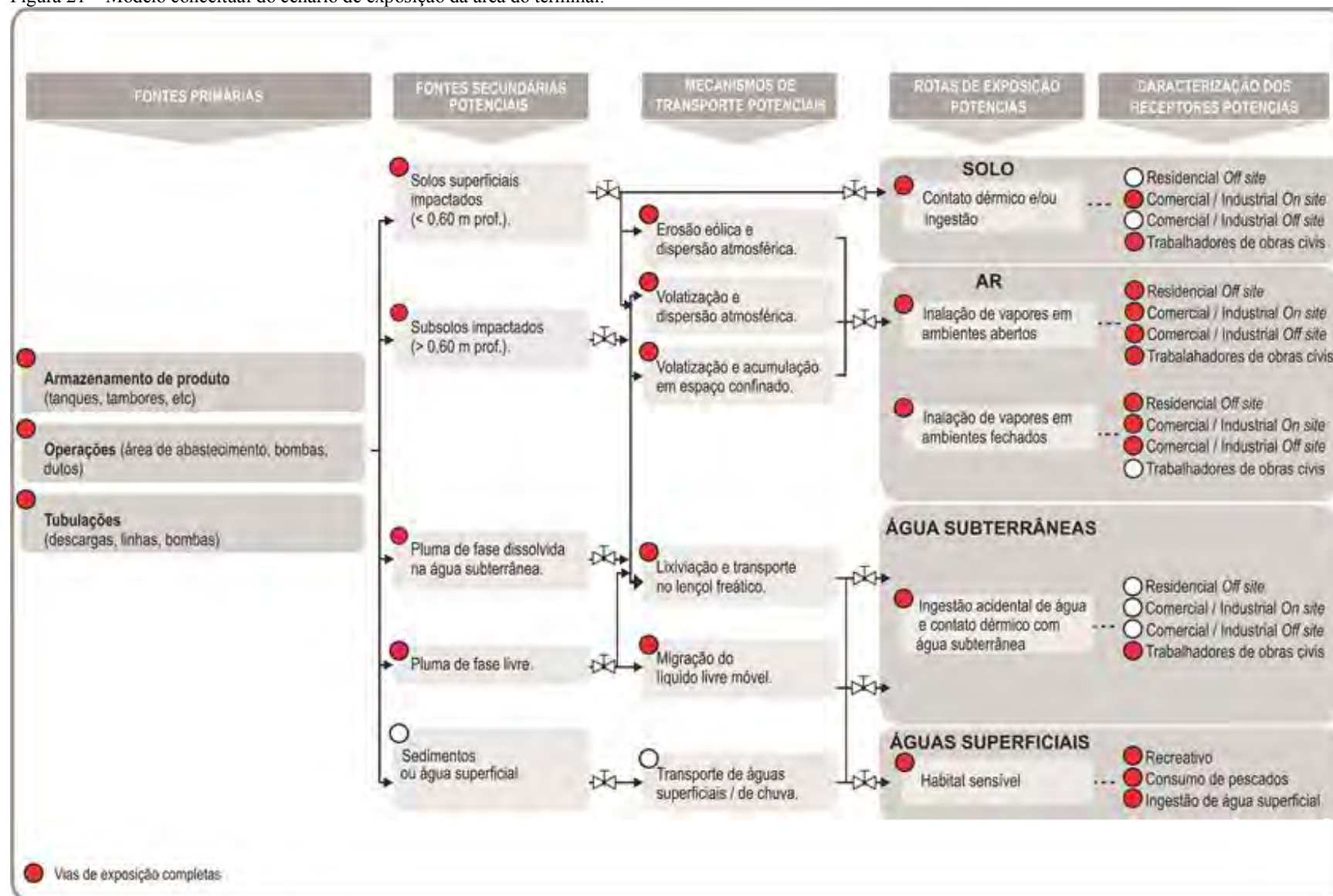
5.1.4. Fontes de contaminação, receptores e bens a proteger

O terminal é pavimentado com bloquetes de concreto nas proximidades do píer, com paralelepípedo nas áreas dos prédios administrativos e área de balança, concreto nas plataformas de carregamento e é sem pavimentação na área nova próximo aos limites do terreno e nas bacias de contenção dos tanques. Nos locais desprovidos de pavimento é possível o contato direto dos trabalhadores com o solo.

A presença de contaminação em solo superficial e subsuperficial por material oleoso bem como a presença de fases livre e dissolvida representam riscos aos trabalhadores comerciais/industriais que circulam na área, e aos trabalhadores de obras civis que venham a realizar obras de escavação na área. Cabe salientar que a via de exposição pela ingestão de água subterrânea não foi incluída no cenário de exposição, considerando que o abastecimento de água para da área objeto de estudo é proveniente de rede pública e, também, que os poços de captação identificados no entorno estão situados a 550 m do terminal, a montante deste. A Figura 21 sintetiza o modelo conceitual para as fontes de contaminação, mecanismos de transporte, rotas de exposição e receptores para a área do terminal. São considerados como principais bens a proteger:

- Trabalhadores comerciais/industriais do terminal;
- Trabalhadores de obras civis, que venham a executar escavações na área;
- Trabalhadores comerciais/industriais de outras empresas vizinhas;
- Moradores da área residencial de pescadores, que são considerados conservadoramente, pois, estão localizados à montante do terminal. Esta área residencial está localizada a aproximadamente 300 m a nordeste do terminal; e
- Canal (ambiente marinho).

Figura 21 – Modelo conceitual do cenário de exposição da área do terminal.



5.2. ESTRATÉGIAS DE GERENCIAMENTO AMBIENTAL

O objetivo do gerenciamento ambiental no terminal foi de gerar estratégias de ações corretivas para reduzir o risco potencial aos receptores presentes no local e no entorno como resposta aos possíveis cenários de exposição a compostos químicos presentes no meio ambiente. Dentro deste propósito identificaram-se as subáreas dentro do terminal em que as concentrações dos contaminantes ultrapassaram os valores orientadores para áreas de uso industrial e recomendaram-se alternativas para compatibilizar as condições do solo e águas subterrâneas com o uso pretendido para o local.

Devido à área estudo de caso do terminal ser uma área complexa e com múltiplos cenários de contaminação distintos, fez-se necessária a divisão da mesma em subáreas, e conforme o modelo conceitual proposto baseado nas informações obtidas pelo modelo conceitual da NBR 16.210/2013, esta síntese é apresentada pelo fluxograma da Figura 22 e as estratégias de gerenciamento ambiental definidas para o terminal são apresentadas na Tabela 5 para cada subárea. Na Tabela 6 constam as definições para cada ação de gerenciamento.

Figura 22 – Fluxograma utilizado para a definição das estratégias de gerenciamento ambiental do terminal.

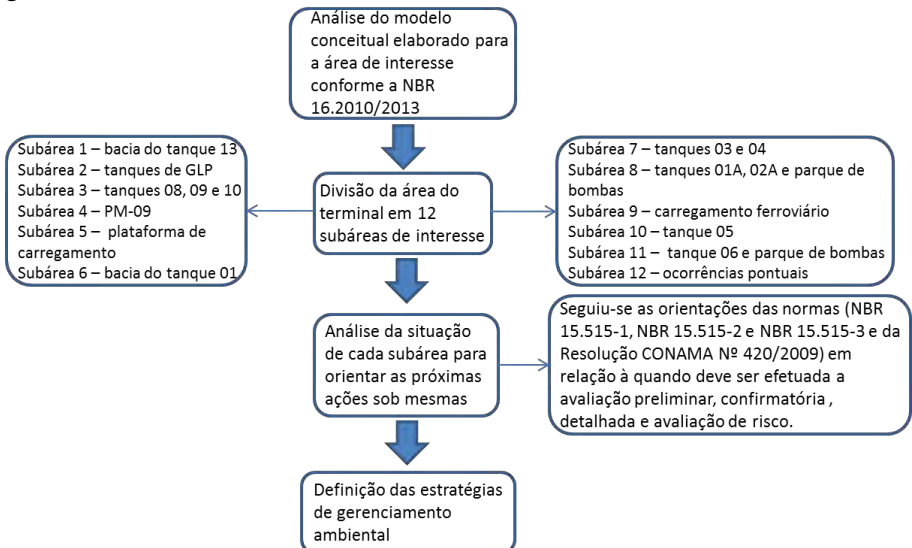


Tabela 5 – Estratégias de gerenciamento ambiental para cada subárea do terminal.

Subárea	Situação da subárea	Estratégias de gerenciamento ambiental	Norma a ser seguida
1 - bacia do tanque 13	Há um sistema de extração multifásica para remediação instalado na área, porém esse deverá ser reavaliado, devido a atualização do cenário de contaminação em 2012.	Elaborar um projeto detalhado de remediação;	não há norma
		Monitoramento periódico do sistema de remediação proposto	não há norma
2- tanques GLP	Foi verificada a presença de produto oleoso no solo em 2009.	Investigação confirmatória para o produto oleoso no solo.	NBR 15.515-2
	Histórico de contaminação da água subterrânea nos estudos realizados em 2007, 2009 e 2012.	Investigação detalhada para água subterrânea	NBR 15.515-3
		Avaliar a necessidade de realizar a avaliação de risco à saúde humana	NBR 16.209
3 - tanques 08, 09 e 10	Foi verificada a presença de produto oleoso no solo em 2009.	Investigação confirmatória para o produto oleoso no solo	NBR 15.515-2
	Fase livre identificada em 2012 em um poço.	Projeto básico de remediação para remoção da fase livre em água subterrânea	não há norma
		Avaliar a necessidade de realizar avaliação de risco	NBR 16.209
4 - PM-09	Histórico de contaminação do solo e da água subterrânea em 2009, 2011 e 2012. Fase livre identificada em 2012.	Investigação detalhada para solo e água subterrânea	NBR 15.515-3
		Se confirmada a fase livre com potencial de contaminação, elaborar projeto básico de remediação ou plano de intervenção	não há norma
		Avaliar a necessidade de realizar avaliação de risco	NBR 16.209

Tabela 5 - Estratégias de gerenciamento ambiental para cada subárea do terminal (continuação).

Subárea	Situação da subárea	Estratégias de gerenciamento ambiental	Norma a ser seguida
5 - plataforma de carregamento	Histórico de contaminação na água subterrânea e no solo em 2007 e 2009 respectivamente	Investigação detalhada para água subterrânea e solo	NBR 15.515-3
		Avaliar a necessidade de avaliação de risco	NBR 16.209
6 - tanque 01	Presença de fase livre no monitoramento realizado em dezembro de 2012 nos poços localizados a jusante e na bacia do tanque 01. Histórico de contaminação no solo por produto oleoso em 2009.	Implantação e operação do sistema emergencial de remediação, acompanhado dos monitoramentos periódicos da eficiência do sistema	não há norma
		Investigação confirmatória para o produto oleoso no solo	NBR 15.515-2
		Avaliar a necessidade de realizar avaliação de risco	NBR 16.209
		Se confirmada a contaminação no solo, elaborar o projeto de remediação para remoção do solo	não há norma
7 - tanques 03 e 04	Foi verificado produto oleoso no solo em 2009. Histórico de contaminação da água subterrânea em 2007, 2011 e 2012.	Investigação confirmatória para o produto oleoso no solo	NBR 15.515-2
		Investigação detalhada para água subterrânea	NBR 15.515-3
		Se confirmada a contaminação no solo, elaborar o projeto de remediação para remoção	não há norma
		Avaliar a necessidade de realizar avaliação de risco	NBR 16.209
8 - tanques 01A, 02A e parque de bombas	Foi verificado produto oleoso no solo em 2009. Histórico de contaminação da água subterrânea em 2007, 2011 e 2012.	Investigação confirmatória para o produto oleoso no solo	NBR 15.515-2
		Investigação detalhada para água subterrânea	NBR 15.515-3
		Se confirmada a contaminação no solo, elaborar o projeto de remediação para remoção do solo	não há norma
		Avaliar a necessidade de realizar avaliação de risco	NBR 16.209

Tabela 5 - Estratégias de gerenciamento ambiental para cada subárea do terminal (continuação).

Subárea	Situação da subárea	Estratégias de gerenciamento ambiental	Norma a ser seguida
9 - carregamento ferroviário	Indícios da presença de fase livre em outubro de 2012 em 2 poços, porém estes não foram mais monitorados.	Avaliação preliminar para fase livre	NBR 15.515-1
		Se confirmada a ocorrência de fase livre com potencial de contaminação, elaborar projeto básico de remediação ou plano de intervenção	não há norma
		Avaliar a necessidade de realizar avaliação de risco	NBR 16.209
10 - tanque 05	Em 2006 foi constatada a presença de produto oleoso no solo. Histórico de contaminação em água subterrânea em 2007, 2011 e 2012.	Investigação confirmatória para o produto oleoso no solo	NBR 15.515-2
		Investigação detalhada para água subterrânea	NBR 15.515-3
		Se confirmada a contaminação no solo, elaborar o projeto de remediação para remoção do solo	não há norma
		Avaliar a necessidade de realizar avaliação de risco	NBR 16.209
11 - tanque 06 e parque de bombas	Indícios da presença de fase livre em maio e outubro de 2012 em 3 poços, porém estes não foram mais monitorados.	Avaliação preliminar para fase livre	NBR 15.515-1
		Se confirmada a ocorrência de fase livre com potencial de contaminação, elaborar projeto básico de remediação ou plano de intervenção	não há norma
		Avaliar a necessidade de realizar avaliação de risco	NBR 16.209
12 - ocorrências pontuais	Contaminação por produto oleoso em 2009.	Investigação confirmatória para produto oleoso no solo	NBR 15.515-2
	Indícios da presença de fase livre em abril e maio de 2012 em 3 poços, porém estes não foram mais monitorados.	Avaliação preliminar para fase livre	NBR 15.515-1
		Se confirmada a ocorrência de fase livre com potencial de contaminação, elaborar projeto básico de remediação ou plano de intervenção	não há norma
		Avaliar a necessidade de realizar avaliação de risco	NBR 16.209

Tabela 6 – Definições para as ações de gerenciamento.

Ação de gerenciamento	Definição segundo CONAMA (2009)	Definição segundo a norma pertinente
Avaliação preliminar	Avaliação inicial, realizada com base nas informações históricas disponíveis e inspeção do local, com o objetivo principal de encontrar evidências, indícios ou fatos que permitam suspeitar da existência de contaminação na área.	Etapa inicial da avaliação de passivo ambiental, em solo e água subterrânea, que objetiva encontrar indícios de uma possível contaminação nestes meios, realizada com base nas informações disponíveis, como levantamento histórico, entrevistas, imagens e fotos, e inspeções em campo, visando fundamentar a suspeita de contaminação de uma área (ABNT, 2007).
Investigação confirmatória	Etapa do processo de identificação de áreas contaminadas que tem como objetivo principal confirmar ou não a existência de substâncias de origem antrópica nas áreas suspeitas, no solo ou nas águas subterrâneas, em concentrações acima dos valores de investigação.	Etapa do processo de gerenciamento de áreas contaminadas, que tem como objetivo principal confirmar ou não a existência de substâncias de origem antrópica nas áreas suspeitas, no solo ou nas águas subterrâneas, em concentrações acima dos valores de investigação (ABNT, 2011).
Investigação detalhada	Etapa do processo de gerenciamento de áreas contaminadas, que consiste na aquisição e interpretação de dados em área contaminada sob investigação, a fim de entender a dinâmica da contaminação nos meios físicos afetados e a identificação dos cenários específicos de uso e ocupação do solo, dos receptores de risco existentes, dos caminhos de exposição e das vias de ingresso.	Etapa do processo de gerenciamento de áreas contaminadas, que consiste na aquisição e interpretação de dados em área contaminada sob investigação, a fim de entender a dinâmica da contaminação nos meios físicos afetados e a identificação dos cenários específicos de uso e ocupação do solo, dos receptores de risco existentes, dos caminhos de exposição e das vias de ingresso (ABNT, 2013a).
Avaliação de risco	Processo pelo qual são identificados, avaliados e quantificados os riscos à saúde humana ou a bem de relevante interesse ambiental a ser protegido.	Etapa do processo de gerenciamento de áreas contaminadas por meio da qual determina-se quantitativa e/ou qualitativamente as chances de ocorrência de efeitos adversos à saúde, decorrentes da exposição humana a áreas contaminadas por substâncias perigosas (ABNT, 2013b).

6. CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo estabelecer estratégias para avaliar o passivo ambiental, tendo como objeto de estudo um terminal de armazenamento de combustíveis, definiu-se ações de gerenciamento da área contaminada para o solo e águas subterrâneas de acordo com as orientações das normas técnicas brasileiras e das diretrizes da Resolução CONAMA nº 420/2009.

Com a aplicação da norma técnica NBR 16.210/2013, foi estabelecido o modelo conceitual da área de interesse para definir os próximos passos da estratégia de avaliação de passivos ambientais em solo e água subterrânea em uma área de armazenamento de combustíveis, tomado como estudo de caso. A NBR 16.210/2013 estabelece orientações claras e precisas, mas não foi possível obter todas as informações necessárias para elaborar o modelo conceitual, uma vez que os relatórios elaborados pelas empresas de consultoria estavam incompletos. Por exemplo, alguns relatórios como o de escavação de trincheiras nos tanques 02, 03 e 05, relatório preliminar de investigação complementar não apresentaram os perfis de sondagens. Como o modelo conceitual proposto pela NBR 16210/2013 independe da etapa de gerenciamento ambiental em que a área se encontra o conteúdo mínimo a ser contemplado na elaboração do modelo conceitual pode sofrer alterações devido à ausência de informações completas, o que irá interferir na definição das ações de gerenciamento ambiental subsequentes.

Após a elaboração do modelo conceitual da área do Terminal, foram definidas as ações de gerenciamento ambiental seguindo as orientações das normas técnicas NBR 15.515-1/2007, 15.515-2/2011 e 15.515-3/2013. As normas apresentam orientações detalhadas, porém, no estudo de caso, os estudos realizados por empresas de consultoria, os quais deveriam subsidiar o gerenciamento das áreas contaminadas, não contemplaram adequadamente todas as informações ambientais necessárias. Exemplos disso são as medições incompletas de parâmetros do solo e águas subterrâneas, lacunas no processo de monitoramento ambiental, problemas em análises químicas executadas fora dos padrões, entre outros problemas. Portanto, é de suma importância que no memorial descritivo de especificação de serviços a serem executados pelas empresas de consultoria ambiental, conste a necessidade de se seguir estas normas técnicas. Apesar das lacunas que dificultaram a definição de ações de gerenciamento da área de interesse, foram apresentadas recomendações de ações para suprir as lacunas encontradas nos diagnósticos ambientais. Desta forma, as estratégias de gerenciamento ambiental

apresentadas para a área de interesse irão viabilizar a operação do terminal, uma vez que os riscos da contaminação existente serão minimizados por meio de ações intervenção, remediação e monitoramento, específicos a cada subárea do terminal.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Banco de dados das estações pluviométricas**. Disponível em: <<http://www.hidroweb.ana.gov.br>>. Acessado em: 24 out. 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIO-COMBUSTÍVEIS. **Glossário**. Brasil, 2014. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/?id=582#t>>. Acesso em: 18 nov. 2014.

AMORIM Jr, Carlos José. **Avaliação dos Critérios de Impermeabilização de Bacias de Contenção da Norma ABNT NBR 17505-2/2006 para Terminais de Armazenamento de Petróleo e Derivados**. Florianópolis, 2007. 114p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Tecnológico. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.515-1: 2007**. Passivo ambiental em solo e água subterrânea – Parte 1: Avaliação Preliminar. Rio de Janeiro, RJ, 2007. 47p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.515-2: 2011**. Passivo ambiental em solo e água subterrânea – Parte 2: Investigação Confirmatória. Rio de Janeiro, RJ, 2011. 19p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.515-3: 2013**. Passivo ambiental em solo e água subterrânea – Parte 3: Investigação Detalhada. Rio de Janeiro, RJ, 2013a. 18p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16209: 2013**. Avaliação de risco à saúde humana para fins de gerenciamento de áreas contaminadas. Rio de Janeiro, RJ, 2013b. 40p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16210: 2013**. Modelo conceitual no gerenciamento de áreas contaminadas - Procedimento. Rio de Janeiro, RJ, 2013c. 4p.

BRASIL. Lei Nº 6,938, de 31 de agosto de 1981. **Política Nacional do Meio Ambiente**. Brasil, 1981. Disponível em:

<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938compilada.htm>. Acesso em 29 set. 2014.

BRASIL. Lei Nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. **Lei de Crimes Ambientais**. Brasil, 1998. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19605.htm>. Acesso em: 29 set. 2014.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**: texto constitucional promulgado em 5 de outubro de 1988, com as alterações adotadas pelas Emendas Constitucionais nos 1/1992 a 68/2011, pelo Decreto Legislativo nº 186/2008 e pelas Emendas Constitucionais de Revisão nos 1 a 6/1994. 35 ed. Brasil, 2012. 454p.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas**. 2.ed. São Paulo, 2001. 389p.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Diretoria de Controle e Licenciamento Ambiental. **Relação de áreas Contaminadas e Reabilitadas no Estado de São Paulo**. São Paulo, dezembro de 2013. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/areas-contaminadas/2013/texto-explicativo.pdf>>. Acesso em: 29 set. 2014.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Glossário**. São Paulo, 2014. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/institucional/institucional/70-glossario#P>>. Acesso em: 18 nov. 2014.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução Nº 001, de 23 de janeiro de 1986**. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. Brasil, 1986.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução Nº 237, de 19 de dezembro de 1997**. Dispõe sobre a revisão e complementação dos procedimentos e critérios utilizados para o licenciamento ambiental Brasil, 1997.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução Nº 396, de 3 de abril de 2008**. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambien-

tais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Brasil, 2008.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução N° 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. Brasil, 2009.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Valuing potential environmental liabilities for managerial decision-marking: a review of available techniques**. Publication 742-R-96-003; Washington DC: EPA, 1996.

PEDROZO, M.F.M.; BARBOSA, E.M.; CORSEUIL, H.X.; SCHNEIDER, M.R.; LINHARES, M.M. **Ecotoxicologia e Avaliação de Risco do Petróleo**. Salvador, Bahia: CRA – Centro de Recursos Ambientais, 2002. 229 p.

SCHNEIDER, Márcio Roberto. **Intemperismo de Fontes de Contaminação em Aquíferos Impactados por Derramamentos de Gasolina e Álcool e a Influência sobre o Risco à Saúde Humana**. Florianópolis, 2005. 192p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Tecnológico. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental.

SOARES, A.C; LEAL, J.E; AZEVEDO, I.R. **Diagnóstico da rede de distribuição de derivados de petróleo no Brasil e sua representação em um SIG**. XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção – Outro Preto, Minas Gerais, outubro de 2003. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2003_TR0112_0640.pdf>. Acesso em: 27 set. 2014.

ANEXO A - Tabelas com os monitoramentos de níveis da água utilizados para a elaboração do mapa potenciométrico.

POÇO	COTA DO TUBO (m)	NÍVEL D'ÁGUA Maio/2007 (m)	CARGA HIDRAULICA Maio/2007 (m)	*NÍVEL D'ÁGUA Nov/2012 (m)	CARGA HIDRAULICA Nov/2012 (m)
PM-03	3,141	0,59	2,551	0,775	2,366
PM-04	2,801	1,24	1,561	1,481	1,32
PM-07	3,04	1,146	1,894	1,015	2,025
PM-08	2,611	0,023	2,588	1,034	1,577
PM-09	3,336	1,553	1,783	2,082	1,254
PM-11	3,061	1,128	1,933	1,586	1,475
PM-12	3,001	1,239	1,762	1,592	1,409
PM-13	2,791	1,294	1,497	-	-
PM-14	3,073	1,09	1,983	1,59	1,483
PM-15	2,954	1,28	1,674	1,801	1,153
PM-16	3,351	1,5	1,851	2,041	1,31
PM-17	2,991	2,25	0,741	2,642	0,349
PM-18	3,164	1,479	1,685	1,899	1,265
PM-19	2,501	0,789	1,712	1,167	1,334
PM-20	2,372	0,518	1,854	-	-
PM-21	2,288	0,412	1,876	1,125	1,163
PM-22	3,289	2,203	1,086	2,685	0,604
PM-23	3,223	2,084	1,139	2,515	0,708
PM-24	3,348	2,019	1,329	2,436	0,912
PM-25	3,185	1,923	1,262	2,1	1,085
PM-26	2,882	0,862	2,02	1,51	1,372
PM-27	2,682	0,582	2,1	1,205	1,477
PM-28	2,64	0,584	2,056	1,205	1,435
PM-29	2,655	0,578	2,077	1,18	1,475
PM-30	2,76	0,879	1,881	1,373	1,387
PM-31	2,869	0,879	1,99	1,37	1,499
PM-32	3,042	1,52	1,522	1,475	1,567
PM-33	3,117	1,514	1,603	1,94	1,177
PM-34	3,137	1,549	1,588	1,5	1,637
PM-35	3,406	1,592	1,814	2,19	1,216
PM-36	3,224	1,681	1,543	2,115	1,109
PM-37	3,332	1,206	2,126	1,593	1,739
PM-38	3,338	1,65	1,688	2,105	1,233
PM-39	3,257	1,806	1,451	2,602	0,655

POÇO	COTA DO TUBO (m)	NÍVEL D'ÁGUA Maio/2007 (m)	CARGA HIDRÁULICA Maio/2007 (m)	*NÍVEL D'ÁGUA Nov/2012 (m)	CARGA HIDRÁULICA Nov/2012 (m)
PM-40	3,143	1,218	1,925	1,621	1,522
PM-41	3,0294	1,039	1,99	2,575	0,454
PM-42	2,951	0,929	2,022	1,417	1,534
PM-43	2,755	0,809	1,946	1,435	1,32
PM-44	3,089	1,174	1,915	1,83	1,259
PM-45	3,035	1,868	1,167	2,368	0,667
PM-46	3,576	2,127	1,1449	2,483	1,093
PM-47	3,545	1,963	1,582	2,262	1,283
PM-48	4,109	2,151	1,958	2,34	1,769
PM-49	3,549	2,497	1,052	2,105	1,444
PM-50	3,785	1,586	2,199	2,749	1,036
PM-51	2,969	2,457	0,512	2,665	0,304
PM-51B	-	-	-	2,98	-
PM-52	3,939	1,659	2,28	2,095	1,844
PM-53	2,971	2,088	0,883	2,235	0,736
PM-54	2,911	2,726	0,185	3,015	-
PM-55	3,548	2,041	1,507	2,34	1,208
PM-56	3,371	2,28	1,091	2,895	0,476
PM-57	3,609	2,099	1,51	2,035	1,574
PM-58	2,996	1,304	1,692	2,39	0,606
PM-59	2,967	2,382	0,585	1,853	1,114
PM-60	2,992	0,866	2,126	1,38	1,612
PM-61	3,18	1,027	2,153	1,595	1,585
PM-62	3,149	1,018	2,131	1,55	1,599
PM-63	2,871	1,716	1,155	2,372	0,499
PM-64	2,533	0,685	1,848	0,6	1,933
PM-65	2,889	0,835	2,054	0,87	2,019
PM-87	10,638	2,17	8,468	2,14	8,498
PM-88	10,966	2,28	8,686	2,28	8,686
PM-89	10,758	2,21	8,548	2,274	8,484
PM-90	10,789	2,11	8,679	2,135	8,654
PM-91	10,707	2,06	8,647	2,093	8,614
PM-92	11,138	2	9,138	2,418	8,72
PM-92B	-	-	-	2,67	-
PM-93	9,765	0,61	9,155	1,162	8,603
PM-94	9,806	1,57	8,236	1,403	8,403

POÇO	COTA DO TUBO (m)	NÍVEL D'ÁGUA Maio/2007 (m)	CARGA HIDRAULICA Maio/2007 (m)	*NÍVEL D'ÁGUA Nov/2012 (m)	CARGA HIDRAULICA Nov/2012 (m)
PM-95	10,582	1,84	8,742	1,776	8,806
PM-95B	-	-	-	2,078	-
PM-96	11,21	2,71	8,5	2,686	8,524
PM-97	11,077	2,64	8,437	2,64	8,437
PM-97B	-	-	-	2,845	-
PM-98	11,118	2,73	8,388	2,715	8,403
PM-98B	-	-	-	3,081	-
PM-99	11,129	2,63	8,499	2,658	8,471
PM-99B	-	-	-	2,915	-
PM-100	11,168	2,58	8,588	2,6	8,568
PM-100B	-	-	-	2,831	-
PM-101	11,455	2,46	8,995	2,527	8,928
PM-102	11,258	2,48	8,778	2,505	8,753
PM-103	10,075	2,22	7,855	1,943	8,132
PM-105	-	-	-	1,55	-
PM-106	-	-	-	1,63	-
PM-107	-	-	-	1,61	-
PM-108	-	-	-	1,58	-
PM-109	-	-	-	3,8	-
PM-110	-	-	-	3,2	-
PM-111	-	-	-	1,308	-
PM-112	-	-	-	1,645	-
PM-113	-	-	-	1,507	-
PM-114	-	-	-	1,525	-
PM-115	-	-	-	2,475	-
PM-115B	-	-	-	2,45	-
PM-116	-	-	-	2,16	-
PM-116B	-	-	-	1,822	-
PM-117	-	-	-	2,002	-
PM-118	-	-	-	2,17	-
PM-119	-	-	-	2,451	-
PM-120	-	-	-	2,065	-
PM-121	-	-	-	2,112	-
PM-122	-	-	-	2,1	-
PM-123	-	-	-	2,245	-
PM-124	-	-	-	2,965	-

POÇO	COTA DO TUBO (m)	NÍVEL D'ÁGUA Maio/2007 (m)	CARGA HIDRAULICA Maio/2007 (m)	*NÍVEL D'ÁGUA Nov/2012 (m)	CARGA HIDRÁULICA Nov/2012 (m)
PM-125	-	-	-	2,485	-
PM-126	-	-	-	2,658	-
PM-127	-	-	-	2,825	-
PM-127B	-	-	-	2,792	-
PM-128	-	-	-	2,95	-
PM-128B	-	-	-	2,887	-
PM-129	-	-	-	2,695	-
PM-129B	-	-	-	2,761	-
PM-130	-	-	-	2,72	-
PM-130B	-	-	-	2,72	-
PM-131	-	-	-	2,664	-
PM-131B	-	-	-	2,643	-
PM S/N	-	-	-	1,34	-
PM S/N	-	-	-	2,39	-
PM-S/N-01	-	-	-	-	-
PM-S/N-02	-	-	-	-	-
PM S/N-111	-	-	-	1,308	-
PE-TP-01	-	-	-	2,422	-
PO-01	-	-	-	2,37	-
PO-02	-	-	-	2,444	-
PO-03	-	-	-	2,355	-
PIEZOMETRO	-	-	-	3,07	-
S-549/AG	-	-	-	-	-

ANEXO B – Tabela com o monitoramento de fase livre (2012).

POÇO	Espessura de Fase Livre (m)				
	Abril	Maio	Outubro	Novembro	Dezembro
PM-07	ND	0,002	ND	ND	NM
PM-08	ND	ND	ND	ND	Película
PM-14	ND	0,048	ND	ND	NM
PM-16	ND	0,002	ND	ND	NM
PM-17	ND	0,002	ND	ND	NM
PM-19	ND	0,002	ND	ND	NM
PM-22	ND	0,002	0,002	ND	NM
PM-24	ND	0,002	0,117	ND	NM
PM-26	ND	0,002	ND	ND	NM
PM-30	ND	0,002	ND	ND	NM
PM-33	ND	0,002	ND	ND	NM
PM-36	0,001	ND	ND	ND	NM
PM-38	ND	0,002	ND	ND	NM
PM-40	ND	0,003	ND	ND	NM
PM-46	ND	0,002	ND	ND	NM
PM-56	ND	0,002	ND	ND	NM
PM-62	ND	ND	0,02	ND	NM
PM-89	0,002	ND	ND	ND	NM
PM-90	0,002	ND	ND	ND	NM
PM-93	ND	ND	0,002	ND	NM
PM-95	0,002	NM	ND	ND	NM
PM-103	0,194	0,69	0,098	0,031	0,07
PM-105	0,002	NM	ND	ND	ND
PM-111	NM	NM	NM	ND	Película
PM-112	NM	NM	0,05	ND	ND
PM-113	NM	NM	0,023	0,006	0,027
PM-114	NM	NM	0,015	0,2	0,213
PM-S/N-01	-	-	-	-	0,39

NM- Não monitorado; ND – Não detectado; (-) informação não disponível.

ANEXO C – Tabelas com as concentrações de hidrocarbonetos e metais em solo acima dos valores orientadores.

SONDAGEM	OCORRÊNCIA	PROFUNDIDADE (m)	CONCENTRAÇÃO (mg/kg)	VALOR DE INTERVENÇÃO (mg/kg)
Período: setembro a dezembro/2006				
S-04	TPH Total	1	11.612,07	1.000 ⁽⁴⁾
S-08	TPH Total	0,5	1.132,37	1.000 ⁽⁴⁾
S-18	TPH Total	0,5	10.468,02	1.000 ⁽⁴⁾
S-19	TPH Total	0,5	2.246,12	1.000 ⁽⁴⁾
S-20	TPH Total	0,5	4.426,05	1.000 ⁽⁴⁾
S-21	TPH Total	0,5	1.561,61	1.000 ⁽⁴⁾
S-23	TPH Total	0,5	4.740,13	1.000 ⁽⁴⁾
S-49	Bário	1,5	5.047,05	750 ⁽¹⁾
Período: janeiro a maio/2009				
S-315	Benzo(b)fluoranteno	2	14,832	2,1 ⁽⁴⁾
	Benzo(a)pireno		16,017	3,5 ⁽¹⁾
	Dibenzo(a,h)antropeno		1,747	1,3 ⁽¹⁾
S-336	PAH Total	2	88,957	40 ⁽⁴⁾
S-344	PAH Total	1	42,667	40 ⁽⁴⁾
S-349	TPH Total	1,7	7,266	1.000 ⁽⁴⁾
S-392	TPH Total	0,9	1.828,80	1.000 ⁽⁴⁾
S-398	TPH Total	0,8	4.790,52	1.000 ⁽⁴⁾
S-404	TPH Total	1	3.825,70	1.000 ⁽⁴⁾
S-405	TPH Total	0,5	2.308,26	1.000 ⁽⁴⁾
S-406	TPH Total	0,5	4.511,48	1.000 ⁽⁴⁾
S-407	TPH Total	0,5	5.025,97	1.000 ⁽⁴⁾
S-411	TPH Total	0,6	2.709,51	1.000 ⁽⁴⁾
S-426	TPH Total	0,8	1.833,83	1.000 ⁽⁴⁾
S-461	TPH Total	0,5	1.056,64	1.000 ⁽⁴⁾
	Bário		1.422,35	750 ⁽¹⁾
	Chumbo		95.871,40	900 ⁽¹⁾
	Cobre		7.650,32	600 ⁽¹⁾
	Níquel		164,85	130 ⁽¹⁾
	Vanádio		4.244,83	1.000 ⁽¹⁾
S-473	TPH Total	1	1.565,90	1.000 ⁽⁴⁾
S-476	TPH Total	0,5	3.640,73	1.000 ⁽⁴⁾
S-483	PAH Total	0,5	82,503	40 ⁽⁴⁾
S-495	PAH Total	1	57,668	40 ⁽⁴⁾
	TPH Total		8.163,93	1.000 ⁽⁴⁾

(1) CONAMA 420 (2009). (2) CETESB (2006). (3) VROM (2009). (4) USEPA (2012).

SONDAGEM	OCORRÊNCIA	PROFUNDIDADE (m)	CONCENTRAÇÃO (mg/kg)	VALOR DE INTERVENÇÃO (mg/kg)
Período: janeiro a maio/2009				
S-499	TPH Total	1	1.198,84	1.000 ⁽⁴⁾
S-508	TPH Total	1,8	11.504,56	1.000 ⁽⁴⁾
S-509	Benzeno	1,8	0,374	0,15 ⁽¹⁾
	TPH Total		7.330,48	1.000 ⁽⁴⁾
S-512	TPH Total	1,2	2.126,68	1.000 ⁽⁴⁾
S-513	TPH Total	1,2	5.949,81	1.000 ⁽⁴⁾
S-516	PAH Total	1,2	49,66	40 ⁽⁴⁾
	TPH Total		16.564,41	1.000 ⁽⁴⁾
S-519	TPH Total	0,7	1.925,85	1.000 ⁽⁴⁾
S-524	TPH Total	0,6	4.111,37	1.000 ⁽⁴⁾
S-525	TPH Total	0,9	11.997,77	1.000 ⁽⁴⁾
S-547	MTBE	1,2	411,538	220 ⁽²⁾
	Benzeno		274,648	0,15 ⁽¹⁾
	Tolueno		242,914	75 ⁽¹⁾
	Etilbenzeno		421,089	95 ⁽¹⁾
	Xilenos		3.59,643	70 ⁽¹⁾
	TPH Total		9.650,86	1.000 ⁽⁴⁾
S-552	TPH Total	1	5.090,07	1.000 ⁽⁴⁾
S-560	TPH Total	2	7.120,18	1.000 ⁽⁴⁾
S-563	TPH Total	2,8	1.615,50	1.000 ⁽⁴⁾
S-574	PAH Total	0,5	56,822	40 ⁽⁴⁾
	TPH Total		13.096,89	1.000 ⁽⁴⁾
S-621	TPH Total	1	1.038,91	1.000 ⁽⁴⁾
	Cádmio		26,6	20 ⁽¹⁾
S-622	Cádmio	0,5	111,06	20 ⁽¹⁾
	Cobalto		110,64	90 ⁽¹⁾

⁽¹⁾ CONAMA 420 (2009). ⁽²⁾ CETESB (2006). ⁽³⁾ VROM (2009). ⁽⁴⁾ USEPA (2012).

ANEXO D — Tabelas de poços de monitoramento com concentração de contaminantes acima dos valores orientadores para água subterrânea.

POÇO	OCORRÊNCIA	CONCENTRAÇÃO (ug/L)	VALORES DE INTERVENÇÃO (ug/L)
Período: novembro a dezembro/2006			
PM-37	Mercúrio	1,8	1 ⁽¹⁾
Período: novembro a dezembro/2007			
PM-03	Ferro Total	12.113	2.450 ⁽¹⁾
PM-13	Ferro Total	3.001	2.450 ⁽¹⁾
PM-17	Alumínio	34.296	3.500 ⁽¹⁾
	Chumbo	109	10 ⁽¹⁾
	Ferro Total	49.428	2.450 ⁽¹⁾
	Vanádio	965	78 ⁽⁴⁾
PM-19	MTBE	216	12 ⁽⁴⁾
	Benzeno	36,1	5 ⁽¹⁾
	Xilenos	1.841	500 ⁽¹⁾
	TPH Total	1.098,85	600 ⁽²⁾
PM-22	Ferro Total	11.132	2.450 ⁽¹⁾
	Alumínio	10.686	3.500 ⁽¹⁾
PM-23	Ferro Total	8.788	2.450 ⁽¹⁾
	Alumínio	9.169	3.500 ⁽¹⁾
PM-25	Ferro Total	12.287	2.450 ⁽¹⁾
	Ferro Total	13.790	2.450 ⁽¹⁾
PM-26	TPH Total	3.289,10	600 ⁽²⁾
	Ferro Total	7.910	2.450 ⁽¹⁾
PM-27	TPH Total	3.844,76	600 ⁽²⁾
	Chumbo	23	10 ⁽¹⁾
	Ferro Total	7.470	2.450 ⁽¹⁾
PM-29	TPH Total	2.971,58	600 ⁽²⁾
	Chumbo	14	10 ⁽¹⁾
	Ferro Total	21.620	2.450 ⁽¹⁾
PM-30	TPH Total	1.058,79	600 ⁽²⁾
	Ferro Total	27.080	2.450 ⁽¹⁾
PM-31	Benzeno	7	5 ⁽¹⁾
	TPH Total	731	600 ⁽²⁾
	Ferro Total	10.260	2.450 ⁽¹⁾
PM-32	MTBE	34,7	12 ⁽⁴⁾
	TPH Total	4.222,87	600 ⁽²⁾

⁽¹⁾ CONAMA (2009). ⁽²⁾ CETESB (2006). ⁽³⁾ VMP do Art. 39 – Portaria MS N° 2914 de 2011.

⁽⁴⁾ USEPA (2012)

POÇO	OCORRENCIA	CONCENTRAÇÃO (µg/L)	VALORES DE INTERVENÇÃO (µg/L)
Período: novembro a dezembro/2007			
PM-33	MTBE	201,1	12 ⁽⁴⁾
	Benzeno	35.827,40	5 ⁽¹⁾
	Tolueno	2.704,10	700 ⁽¹⁾
	Etilbenzeno	2.970,90	300 ⁽¹⁾
	Xilenos	1.005	500 ⁽¹⁾
	TPH Total	6.773,73	600 ⁽⁴⁾
	Ferro Total	7.062	2.450 ⁽¹⁾
PM-35	TPH Total	1.401,46	600 ⁽⁴⁾
PM-39	Vanádio	194	78 ⁽⁴⁾
PM-42	Ferro Total	11.019	2.450 ⁽¹⁾
	Manganês	761	400 ⁽¹⁾
	Vanádio	81	78 ⁽⁴⁾
PM-43	Ferro Total	19.203	2.450 ⁽¹⁾
	Manganês	1.013	400 ⁽¹⁾
PM-44	Vanádio	164	78 ⁽⁴⁾
PM-49	Ferro Total	4.991	2.450 ⁽¹⁾
	Manganês	594	400 ⁽¹⁾
PM-52	Chumbo	22	10 ⁽¹⁾
	Ferro Total	41.743	2.450 ⁽¹⁾
	Manganês	1.563	400 ⁽¹⁾
PM-53	Prata	923	50 ⁽¹⁾
PM-55	Chumbo	19	10 ⁽¹⁾
	Ferro Total	6.926	2.450 ⁽¹⁾
PM-58	Alumínio	8.251	3.500 ⁽¹⁾
	Ferro Total	4.831	2.450 ⁽¹⁾
PM-60	Alumínio	4.598	3.500 ⁽¹⁾
	Ferro Total	6.350	2.450 ⁽¹⁾
PM-61	Benzeno	7,4	5 ⁽¹⁾
	TPH Total	5.952,96	600 ⁽⁴⁾
	Ferro Total	2.980	2.450 ⁽¹⁾
PM-62	Alumínio	7.648	3.500 ⁽¹⁾
	Ferro Total	18.460	2.450 ⁽¹⁾
	Manganês	1.672	400 ⁽¹⁾
PM-64	Boro	717	500 ⁽¹⁾
	Ferro Total	4.398	2.450 ⁽¹⁾

⁽¹⁾ CONAMA (2009). ⁽²⁾ CETESB (2006). ⁽³⁾ VMP do Art. 39 – Portaria MS Nº 2914 de 2011.

⁽⁴⁾ USEPA (2012)

POÇO	OCORRENCIA	CONCENTRAÇÃO (µg/L)	VALORES DE INTERVENÇÃO (µg/L)
Período: novembro a dezembro/2007			
PM-65	Alumínio	9.040	3.500 ⁽¹⁾
	Boro	526	500 ⁽¹⁾
	Ferro Total	3.558	2.450 ⁽¹⁾
	Manganês	689	400 ⁽¹⁾
	Vanádio	107	78 ⁽⁴⁾
Período: janeiro a fevereiro/2009			
PM-50	TPH Total	681,18	600 ⁽²⁾
	Ferro Total	9.129	2.450 ⁽¹⁾
PM-88	Níquel	23	20 ⁽¹⁾
PM-89	Chumbo	17	10 ⁽¹⁾
	Manganês	556	400 ⁽¹⁾
	Vanádio	220	78 ⁽⁴⁾
PM-90	Chumbo	18	10 ⁽¹⁾
	Cobalto	200	70 ⁽¹⁾
	Manganês	601	400 ⁽¹⁾
PM-92	MTBE	70.201	12 ⁽⁴⁾
	Benzeno	20.597	5 ⁽¹⁾
	Tolueno	83.429	700 ⁽¹⁾
	Etilbenzeno	13.110,10	300 ⁽¹⁾
	Xilenos	36.207,60	500 ⁽¹⁾
	Naftaleno	225,34	140 ⁽¹⁾
	TPH Total	11.084,23	600 ⁽²⁾
	Chumbo	13	10 ⁽¹⁾
	Ferro Total	11.259	2.450 ⁽¹⁾
PM-94	TPH Total	16.574,78	600 ⁽²⁾
	Manganês	953	400 ⁽¹⁾
PM-95	MTBE	194	12 ⁽⁴⁾
	Benzeno	6.901,20	5 ⁽¹⁾
	Tolueno	50.993	700 ⁽¹⁾
	Etilbenzeno	16.801,20	300 ⁽¹⁾
	Xilenos	31.438,40	500 ⁽¹⁾
	TPH Total	12.803,16	600 ⁽²⁾
	Ferro Total	2.860	2.450 ⁽¹⁾
	Manganês	689	400 ⁽¹⁾
PM-97	MTBE	826,6	12 ⁽⁴⁾
	Alumínio	9.707	3.500 ⁽¹⁾
	Ferro Total	11.489	2.450 ⁽¹⁾

⁽¹⁾ CONAMA (2009). ⁽²⁾ CETESB (2006). ⁽³⁾ VMP do Art. 39 – Portaria MS N° 2914 de 2011.

⁽⁴⁾ USEPA (2012)

POÇO	OCORRENCIA	CONCENTRAÇÃO (µg/L)	VALORES DE INTERVENÇÃO (µg/L)
Período: janeiro a fevereiro/2009			
PM-98	Alumínio	5.030	3.500 ⁽¹⁾
	Ferro Total	4.523	2.450 ⁽¹⁾
	Manganês	765	400 ⁽¹⁾
PM-99	Benzeno	10.599,90	5 ⁽¹⁾
	Tolueno	32.739,90	700 ⁽¹⁾
	Etilbenzeno	15.092	300 ⁽¹⁾
	Xilenos	16.313,80	500 ⁽¹⁾
	Naftaleno	320,82	140 ⁽¹⁾
	TPH	3.192,28	600 ⁽²⁾
	Alumínio	7.452	3.500 ⁽¹⁾
	Ferro Total	8.145	2.450 ⁽¹⁾
	Manganês	988	400 ⁽¹⁾
PM-100	TPH Total	815,2	600 ⁽²⁾
	Ferro Total	5.188	2.450 ⁽¹⁾
PM-101	Chumbo	17	10 ⁽¹⁾
	Ferro Total	3.224	2.450 ⁽¹⁾
	Manganês	1.454	400 ⁽¹⁾
	Níquel	21	20 ⁽¹⁾
PM-102	Alumínio	5.203	3.500 ⁽¹⁾
	Chumbo	98	10 ⁽¹⁾
	Ferro Total	9.002	2.450 ⁽¹⁾
	Manganês	1.041	400 ⁽¹⁾
S-549/AG	TPH Total	759,32	600 ⁽²⁾
	Ferro Total	6.255	2.450 ⁽¹⁾
Período: outubro de 2011			
PM-07	TPH Total	2.200	600 ⁽²⁾
	Chumbo	24,9	10 ⁽¹⁾
	Sulfeto	6.500	100 ⁽⁴⁾
PM-08	Benzeno	303,1	5 ⁽¹⁾
	Tolueno	1.440,30	700 ⁽¹⁾
	Etilbenzeno	327,4	300 ⁽¹⁾
	Xilenos	1.189,70	500 ⁽¹⁾
	TPH Total	12.000	600 ⁽²⁾
	Chumbo	109,5	10 ⁽¹⁾
	Manganês	412,8	400 ⁽¹⁾
PM-09	Sulfeto	260	100 ⁽⁴⁾
	TPH Total	49.000	600 ⁽²⁾
	Sulfeto	2.800	100 ⁽⁴⁾

⁽¹⁾ CONAMA (2009). ⁽²⁾ CETESB (2006). ⁽³⁾ VMP do Art. 39 – Portaria MS N° 2914 de 2011.

⁽⁴⁾ USEPA (2012)

POÇO	OCORRENCIA	CONCENTRAÇÃO (µg/L)	VALORES DE INTERVENÇÃO (µg/L)
Período: outubro de 2011			
PM-11	TPH Total	11.000	600 ⁽²⁾
	Chumbo	10,2	10 ⁽¹⁾
	Manganês	557,2	400 ⁽¹⁾
	Sulfeto	1.600	100 ⁽⁴⁾
PM-12	Manganês	459,9	400 ⁽¹⁾
PM-14	TPH Total	680	600 ⁽²⁾
	Sulfeto	110	100 ⁽⁴⁾
PM-15	Sulfeto	60	100 ⁽⁴⁾
PM-16	TPH Total	2.600	600 ⁽²⁾
	Sulfeto	210	100 ⁽⁴⁾
PM-18	Benzeno	1.514	5 ⁽¹⁾
	Tolueno	13.162,10	700 ⁽¹⁾
	Etilbenzeno	1.350,10	300 ⁽¹⁾
	Xilenos	1.873,50	500 ⁽¹⁾
	TPH Total	23.000	600 ⁽²⁾
	Fenol	370	140 ⁽¹⁾
	Chumbo	26	10 ⁽¹⁾
	Manganês	433,5	400 ⁽¹⁾
PM-20	Sulfeto	2.900	100 ⁽⁴⁾
	Chumbo	21,7	10 ⁽¹⁾
PM-28	Sulfeto	2.100	50 ⁽⁴⁾
	TPH Total	37.000	600 ⁽²⁾
	Chumbo	66,9	10 ⁽¹⁾
	Manganês	905,6	400 ⁽¹⁾
	Nitrogênio Amoniacal	2.370	1.500 ⁽⁴⁾
	Zinco	11.700	1.050 ⁽¹⁾

⁽¹⁾ CONAMA (2009). ⁽²⁾ CETESB (2006). ⁽³⁾ VMP do Art. 39 – Portaria MS N° 2914 de 2011.

⁽⁴⁾ USEPA (2012)