

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ADEMILSON RODRIGUES RIBEIRO

**AVALIAÇÃO DO PROCESSO ADOTADO DE REMOÇÃO DO PASSIVO
AMBIENTAL DO TERMINAL AQUAVIÁRIO DE PARANAGUÁ, PARANÁ**

CURITIBA

2011

ADEMILSON RODRIGUES RIBEIRO

**AVALIAÇÃO DO PROCESSO ADOTADO DE REMOÇÃO DO PASSIVO
AMBIENTAL DO TERMINAL AQUAVIÁRIO DE PARANAGUÁ, PARANÁ**

Dissertação apresentada como pré-requisito ao título de Mestre do Programa de Pós-Graduação em Mestrado Profissional em Meio Ambiente Urbano e Industrial do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. PhD. Alvaro Luiz Mathias.
Co-Orientadora: Prof MSc Sandra Mara Pereira de Queiroz.

CURITIBA


2011


TERMO DE APROVAÇÃO


ADEMILSON RODRIGUES RIBEIRO


AVALIAÇÃO DO PROCESSO ADOTADO DE REMOÇÃO DO PASSIVO AMBIENTAL DO TERMINAL AQUAVIÁRIO DE PARANAGUÁ, PARANÁ

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Mestrado Profissional em Meio Ambiente Urbano e Industrial, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná em parceria com SENAI-PR e a *Universität Stuttgart*, Alemanha, pela seguinte banca examinadora:


Orientador: Prof. Dr. ÁLVARO LUIZ MATHIAS
Setor de Tecnologia, UFPR


Coorientadora: Prof.^a. MSc. SANDRA MARA PEREIRA DE QUEIROZ
MAUI, UFPR


Prof. Dr. TOBIAS BLENINGER
Setor de Tecnologia, UFPR


Prof.^a. Dr.^a. REGINA WEINSCHUTZ
Setor de Tecnologia, UFPR

Curitiba, 29 de abril de 2011.

DEDICATÓRIA

A Deus, pelo dom da vida e inestimável amor.

A minha querida esposa que soube tão bem compreender a minha ausência devido a este trabalho, pelo companheirismo, paciência e amor.

Às minhas filhas, por tornarem minha vida muito melhor.

Aos meus pais, que me deram suporte em todos os momentos da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Aos professores orientadores Alvaro Luiz Mathias e Sandra Mara Pereira de Queiroz pela orientação deste trabalho e apoio nos momentos difíceis.

Aos meus colegas de pós-graduação pelos agradáveis momentos de convivência e contribuição na minha formação técnica e humana. Em especial à Matilde de Paula Soares e Werner Kessler.

Aos meus colegas de trabalho Bruna Bertoldi e Marcello Vaz pela valiosa colaboração.

Ao meu coordenador Mario César Timmermann pelo apoio inestimável.

EPÍGRAFE

"Há homens que lutam um dia e são bons.
Há outros que lutam um ano e são melhores.
Há os que lutam muitos anos e são muito bons.
Porém, há os que lutam toda a vida.
Esses são os imprescindíveis."

RESUMO

O Terminal Aquaviário de Paranaguá-TEPAR é resultado da incorporação da TESIA (sistema de armazenamento e distribuição de produtos de petróleo composto pelas empresas TEXACO, ESSO, SHELL, IPIRANGA e ATLANTIC) pela PETROBRAS, a qual passou a ser responsável pelo passivo ambiental. Os principais produtos manipulados tem sido gás liquefeito de petróleo, nafta, querosene de aviação, óleo diesel, óleo combustível marítimo, gasolina, etanol, metanol e metil-terc-butil-éter. O TEPAR está contido no complexo estuarino que compõe a Baía de Paranaguá, Paranaguá, Paraná, Brasil. O TEPAR também está sobre a Unidade Aqüífera Costeira, o que reforça sua importância no ecossistema do litoral paranaense. Com o advento do princípio da responsabilidade ambiental, a PETROBRAS promoveu denúncia espontânea para obtenção de autorização ambiental para o trabalho de remediação da área do TEPAR. A necessidade de remediação foi decidida usando os critérios de possuir indícios de solo contaminado enterrado, apresentar fase livre ou apresentar concentrações de contaminantes acima do valor definido como limite. Como não havia norma ambiental nacional no momento de decisão, o critério foi de usar o valor restritivo mais severo de uma das três normas ambientais disponíveis: da CETESB 2005, EPA 2004/2008 ou Lista Holandesa (VROM, 2000). Os dados utilizados foram obtidos por observação, entrevistas com funcionários do TEPAR e dados dos relatórios da ESSENCIS. O solo e a água subterrânea revelaram quatro zonas de contaminação distintas: desvio ferroviário (Z-1), laboratório (Z-2), entorno do poço de monitoramento PM-50 (Z-3) e casa das bombas (Z-4). Benzeno e MTBE foram observados em todas as zonas, fase livre nas zonas Z-1, Z-2 e Z-3. Naftaleno somente na Z-1 e Z-2 e PAHs somente na Z-2 e Z-3. Os contaminantes observados foram compatíveis com a matriz de produtos químicos manipulados no terminal. Os potenciais riscos destes produtos à saúde humana e ao meio ambiente exigiram a intervenção remediativa. O método utilizado, remoção de solo seguido por substituição por solo isento de contaminação, foi compatível com a abordagem preconizada pela EPA 1998 e possibilitou a operação do terminal durante o processo de remediação. A falta de uma norma nacional provocou a remoção de um volume maior do que se adotasse apenas uma delas. Ainda, o volume de solo removido foi muito superior ao previsto na fase de diagnóstico e foi conseqüência de remoção de uma margem de segurança e da descoberta de necessidades complementares. Com exceção da Z-1, nas demais zonas, as fontes de poluição foram encontradas e corrigidas. A recomposição do solo com material de jazida licenciada garantiu a mitigação do TEPAR. O grupo gestor do processo de remediação foi adequado, o que pode ser comprovado pela operação ininterrupta do TEPAR. Esse grupo era composto pelo gerente do contrato (Gerente de Meio Ambiente), fiscal regional (Coordenador de MA/Sul) e fiscalização local (Profissional de MA), sendo o autor o último componente. Por outro lado, recomenda-se que a contratação do levantamento de contaminação seja independente da contratação do serviço de remediação, o que evitaria conflito de interesse e funcionaria como avaliação externa do levantamento de passivo ambiental.

Palavras-chave: *Gestão ambiental. Passivo ambiental. Indústria petroquímica.*

ABSTRACT

The Waterway Terminal Paranaguá-TEPAR is the result of the annexation of TESIA (storage and distribution system for petroleum products compound by companies TEXACO, ESSO, SHELL, IPIRANGA e ATLANTIC) by PETROBRAS, which became responsible for environmental liabilities. The main products handled have been liquefied petroleum gas, naphtha, jet fuel, diesel oil, marine fuel oil, gasoline, ethanol, methanol and methyl tert-butyl ether. The TEPAR is located in the estuarine complex that makes up the Bay of Paranaguá, Paraná, Brazil. The TEPAR is geologically located on the Unity Coastal Aquifer, what emphasizes the importance of environmental considerations in regards of the ecosystem of the coast of Paraná. PETROBRAS filed a charge against itself for obtaining the environmental permit for the remediation. The need for remediation was determined by discovering above standard contaminant concentrations in the soil, or the free phase. Due to lack of national environmental standards at the moment of decision, the criterion applied was the most restrictive limit value of one of the three environmental standards available: CETESB 2005, EPA 2004/2008 or the Dutch List (VROM, 2000). The data was obtained from field observation, interviews with officials of TEPAR and data's of reports of the contracted environmental consulting company ESSENCIS. The soil and groundwater contamination revealed four distinct zones: rail deviation (Z-1), laboratory (Z-2), surrounding of monitoring well PM-50 (Z-3) and the pump house (Z-4). Benzene and MTBE were observed in all zones, free zone phase in Z-1, Z-2 and Z-3. Naphthalene only in the Z-1 and Z-2 and PAH's only in the Z-2 and Z-3. The contaminants found were compatible with the array of chemicals handled in the terminal. The potential risks of these products to human health and to the environment, required remediation works. The method used, soil removal followed by replacement with soil without contamination, was consistent with the approach of the EPA 1998 and furthermore allowed the continuous operation of the terminal during the remediation process. The missing of a national standard has caused the removal of a greater volume than if using just one standard. Moreover, the volume of soil removed was much higher than expected in the diagnostic monitoring phase and was a consequence of removal of a safety margin and the discovery of complementary needs. With the exception of Z-1, in other areas, the sources of pollution were found and corrected. The replacement with soil of licensed deposit, has assured the correction of the area. The manager group of the remediation process was appropriate, and this may be evidenced by the uninterrupted operation of TEPAR. This group was formed by the contract manager (Environment Manager), regional control (Coordinator of MA/South) and local control (Professional of MA), latter represented by the author. Moreover, it is recommended that the contract for the diagnostic service be performed separately from the service contract for remediation, this would avoid conflict of interest and would work as external evaluation of the diagnostic survey of environmental liabilities.

Work-key: *Environmental Management, Environmental Liability, Petrochemical industry*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 01 -	HIERARQUIA E ATRIBUIÇÕES DO GRUPO DE REMEDIAÇÃO.....	39
FIGURA 02 -	REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DOS ESTÁGIOS DA FASE PRELIMINAR.....	42
FIGURA 03 -	REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DOS ESTÁGIOS DA FASE CONFIRMATÓRIA.....	43
FIGURA 04 -	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	50
FIGURA 05 -	IMAGEM (SATÉLITE) AMPLA DO COMPLEXO ESTUARINO DE PARANAGUÁ.....	51
FIGURA 06 -	CARTA GEOMORFOLÓGICA.....	53
FIGURA 07 -	MAPA CLIMÁTICO DO ESTADO DO PARANÁ.....	56
FIGURA 08 -	PRINCIPAIS UNIDADES GEOLÓGICAS DO ESCUDO.....	58
FIGURA 09 -	OCORRÊNCIA REGIONAL DA UNIDADE AQUÍFERA COSTEIRA.....	62
FIGURA 10 -	VISTA AÉREA DO TERMINAL AQUAVIÁRIO DE PARANAGUÁ – 2007.....	65
FIGURA 11 -	ÁREAS OPERACIONAIS DO TEPAR.....	66
FIGURA 12 -	O SISTEMA DE SEPARAÇÃO A.P.I SITUADO NA ÁREA 35, PRÓXIMO AO PRÉDIO DO ALMOXARIFADO.....	67
FIGURA 13 -	O SISTEMA DE SEPARAÇÃO T.P.I SITUADO NA ÁREA 35, PRÓXIMO AO PRÉDIO DO ALMOXARIFADO.....	67
FIGURA 14 -	ÁREAS DE REMEDIAÇÃO.....	75
FIGURA 15 -	ZONA DE REMEDIAÇÃO 1.....	76
FIGURA 16 -	ZONA DE REMEDIAÇÃO 2.....	86
FIGURA 17 -	DETECÇÃO DA FASE LIVRE NO PM-52.....	87
FIGURA 18 -	CAIXA DE PASSAGEM CONTENDO ÓLEO	87
FIGURA 19 -	ESCAVAÇÃO REALIZADA PARA AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES CONSTRUTIVAS DA CAIXA DE PASSAGEM	88
FIGURA 20 -	PERFIL LITOLÓGICO E CONSTRUTIVO DO POÇO DE BOMBEAMENTO.....	89
FIGURA 21 -	LOCALIZAÇÃO DO POÇO DE BOMBEAMENTO - ZONA DE REMEDIAÇÃO 2.....	90

FIGURA 22 -	DETALHES INTERNOS DO SISTEMA DE BOMBEAMENTO INSTALADO.....	90
FIGURA 23 -	ZONA DE REMEDIAÇÃO 3.....	94
FIGURA 24 -	ZONA DE REMEDIAÇÃO 4.....	96
QUADRO 01	QUADRO RESUMO DA REMEDIAÇÃO.....	100
QUADRO 02 -	AVALIAÇÃO ZONA DE REMEDIAÇÃO 1.....	104
QUADRO 03 -	AVALIAÇÃO ZONA DE REMEDIAÇÃO 2	106
QUADRO 04 -	AVALIAÇÃO ZONA DE REMEDIAÇÃO 3	108
QUADRO 05 -	AVALIAÇÃO ZONA DE REMEDIAÇÃO 4	110

LISTA DE TABELAS

TABELA 01 - ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DA INVESTIGAÇÃO NO TEPAR.....	45
TABELA 02 - PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE COMPOSTOS ORGÂNICOS A 25°C, INCLUINDO TEMPO DE MEIA VIDA E DOSE LETAL-ORAL.....	69
TABELA 03 - PARAMETROS PARA CONTAMINANTES.....	70
TABELA 04 - METODOLOGIAS ANALÍTICAS PARA SOLO E ÁGUA SUBTERRÂNEA.....	73
TABELA 05 - LOCALIZAÇÃO E DELIMITAÇÃO DAS ÁREAS DE CONTAMINAÇÃO.....	74
TABELA 06 - CARACTERÍSTICAS DA CONTAMINAÇÃO NA ZONA DE REMEDIAÇÃO 1.....	77
TABELA 07 - CARACTERÍSTICAS DA CONTAMINAÇÃO NA ZONA DE REMEDIAÇÃO 2.....	92
TABELA 08 - CARACTERÍSTICAS DA CONTAMINAÇÃO NA ZONA DE REMEDIAÇÃO 3.....	95
TABELA 09 - CARACTERÍSTICAS DA CONTAMINAÇÃO NA ZONA DE REMEDIAÇÃO 4 – CASA DE BOMBAS.....	97

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABC Paulista	- Santo André, São Bernardo e São Caetano
AC	- Área Contaminada
A.P.I	- Separador de fases gravitacional do tipo American Petroleum Institute
ATLANTIC	- <i>Atlantic Refining Company of Brazil</i>
BNDES	- Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
BTEX	- Hidrocarbonetos voláteis aromáticos (Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos)
CETESB	- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo
CFC	- Clorofluorcarbono
CONAMA	- Conselho Nacional de Meio Ambiente
CTCI	- Centro de Treinamento e Combate a Incêndios
DDT	- Dicloro-Difenil-Tricloroetano
EA	- <i>Environmental Audit</i>
EL	- <i>Environmental Labelling</i>
EMS	- <i>Environmental Management System</i>
EPA	- <i>Environmental Protection Agency</i>
EPE	- <i>Environmental Performance Evaluation</i>
ESSENCIS	- ESSENCIS Soluções Ambientais
ESSO	- <i>Exxon Mobil Corporation</i>
FOSPAR	- Fospar S.A. Fertilizantes Fosfatados do Paraná
GLP	- Gás Liquefeito de Petróleo
IBAMA	- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IAP	- Instituto Ambiental do Paraná
IPIRANGA	- Companhia Brasileira de Petróleo Ipiranga
ISO	- <i>International Organization for Standardization</i>
ITCG	- Instituto de Terras, Cartografia e Geociências
LCA	- <i>Life Cycle Assessment</i>
MF	- <i>Marine Fuel</i>
MINEROPAR	- Minerais do Paraná SA
MTBE	- metil-terc-butil-Éter
NBR	- Norma Brasileira
OD	- Oxigênio Dissolvido
OLAPA	- Oleoduto Araucária/Paranaguá
ONU	- Organização das Nações Unidas

PAH	- Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos
PB	- Poço de Bombeamento
PETROBRAS	- Petróleo Brasileiro S/A
PM	- Poço de Monitoramento
PNUA	- Programa das Nações Unidas para o Ambiente
SEMA	- Secretaria Especial do Meio Ambiente
SEMED	- Setor Médico
SHELL	- Shell Brasil S/A
SIMEPAR	- Tecnologia e Informações Ambientais – Sistema Meteorológico do Paraná
SISNAMA	- Sistema Nacional de Meio Ambiente
SMS	- Saúde, Meio Ambiente e Segurança
SUDERHSA	- Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental
SVE	- <i>Soil Vapor Extraction</i>
T.P.I	- <i>Tilted Plate Interceptor</i>
TEPAR	- Terminal Aquaviário de Paranaguá
TESIA	- Texaco, Esso, Shell, Ipiranga e Atlantic
TEXACO	- <i>The Texas Company Ltda</i>
TPH	- Hidrocarbonetos Totais de Petróleo
TQ	- Tanque
TRANSPETRO	- Petrobras Transporte S/A
UTM	- <i>Universal Transverse Mercator</i>
VOC	- Compostos Orgânicos Voláteis
VROM	- Ministério de Planejamento Territorial e Meio Ambiente da Holanda
Z	- Zona

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 OBJETIVOS.....	17
1.1.1 Objetivo Geral.....	17
1.1.2 Objetivos Específicos.....	17
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	18
2.1 HISTÓRICO DO DESENVOLVIMENTO DA PREOCUPAÇÃO COM O MEIO AMBIENTE.....	18
2.2 AGENDA 21	22
2.3 CERTIFICAÇÃO ISO	23
2.4 DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL E O MEIO AMBIENTE.....	25
2.4.1 No Brasil.....	26
2.5 PASSIVO AMBIENTAL.....	29
2.5.1 Tratamento de Passivos Ambientais.....	33
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	38
3.1 DIAGNÓSTICO AMBIENTAL	41
3.2 CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA DO SOLO E DA ÁGUA SUBTERRÂNEA	41
3.2.1 Amostragem de água subterrânea.....	45
3.2.2 Medição de parâmetros hidrogequímicos.....	46
3.3 AVALIAÇÃO DE RISCO	46
3.4 PROJETO CONCEITUAL DE REMEDIAÇÃO	47
3.4.1 Estabelecimento das zonas de remediação	47
3.5 PLANO DE REMOÇÃO DE PASSIVOS	48
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	50
4.1 DESCRIÇÃO DO SÍTIO EM ESTUDO	51
4.1.1 Geomorfologia	51
4.1.2 Hidrologia.....	54
4.1.3 Clima e vegetação.....	55
4.1.4 Geologia.....	57
4.1.5. Hidrogeologia.....	60
4.2 HISTÓRICO OPERACIONAL.....	63
4.3 DIAGNÓSTICO AMBIENTAL.....	69
4.3.1 Solo.....	71
4.3.2 Água Subterrânea.....	71
4.3.3 Avaliação de risco.....	72
4.3.4 Métodos Analíticos.....	72
4.4. PROJETO DE REMEDIAÇÃO.....	74

4.4.1. Zona de Remediação 1 – Desvio ferroviário	76
4.4.1.1. Características da contaminação da Zona 1.....	76
4.4.1.2 Seleção das técnicas de remediação	79
4.4.1.2.a Fase livre	79
4.4.1.2.b Fase dissolvida	81
4.4.1.3 Discussão das alternativas	85
4.4.2 Zona de Remediação 2 – Laboratório	86
4.4.3 Zona de remediação 3 – PM-50	94
4.4.4 Zona de Remediação 4 – Casa das bombas	96
4.5. GESTÃO DA REMEDIAÇÃO DO TEPAR	99
5 CONCLUSÃO.....	111
REFERÊNCIAS.....	114

1 INTRODUÇÃO

A área do Terminal Aquaviário de Paranaguá (TEPAR) está inserida no município de mesmo nome, Estado do Paraná. A unidade do TEPAR pertence ao Governo do Estado do Paraná e faz parte das instalações do Porto de Paranaguá.

A área do TEPAR compunha a antiga TESIA; um sistema de armazenamento e distribuição de produtos de petróleo composto por diversas empresas: TEXACO, ESSO, SHELL, IPIRANGA, ATLANTIC. A atual área do TEPAR foi arrendada para a PETROBRAS a partir de 1977, a qual continuou as atividades de armazenamento e distribuição de produtos químicos no terminal e passou a ser responsável pelo passivo ambiental da área (216.000 m²).

A atividade industrial no município de Paranaguá é de apenas 9% do recurso total.¹ Apesar da relativa pequena importância, o potencial de impacto ambiental industrial decorrente de atividades de transporte e manuseio de produtos petroquímicos pode ter sido proporcionalmente grande, uma vez que a logística de transporte de derivados de petróleo contabilizou durante décadas ações de operação adversas à boa prática da prevenção atualmente preconizadas.

Assim, é de se esperar que as áreas contaminadas do TEPAR, originadas no cenário acima mencionado, podem comprometer o bem-estar da população adjacente, nomeadamente da população do bairro Vila Becker, a qualidade de vida dos trabalhadores diretamente envolvidos na operação ou em obras de infraestrutura ou modernização; bem como o ecossistema da entorno do Terminal Aquaviário.

É também importante salientar que o conhecimento ambiental é uma ciência em evolução, filosófica e tecnológica, como mostraremos em nossa revisão de literatura. Assim, há cerca de quatro décadas, não havia as mesmas preocupações ambientais em relação ao tratamento de resíduos, controle nos lançamentos de efluentes, emissões atmosféricas e, até mesmo, em relação à exposição de trabalhadores a riscos durante suas atividades profissionais. Estas situações eram toleradas e não havia objeções legais no Brasil. Assim, atualmente, a nova legislação brasileira trata como ilícito o que, no passado recente, era aceito e omitido na legislação. O fato é que houve mudança de paradigmas da filosofia do cuidado

¹ <http://www.paranagua.pr.gov.br/conteudo/a-cidade/aspectos-economicos>, visitado em 16 de junho de 2010.

sócio-ambiental, o que nos obriga a assumir a responsabilidade de passivos ambientais e a realização de sua remediação, como será apresentado neste trabalho; mais precisamente para o solo e água subterrânea do TEPAR.

A PETROBRAS organizou um programa nacional de remediação de áreas de sua responsabilidade que se apresentem contaminadas. Assim, o sítio do TEPAR foi incluído no projeto de diagnóstico e plano de remoção do passivo ambiental em terminais aquaviários e terrestres. A PETROBRAS apresentou uma proposta para remediação do TEPAR ao órgão ambiental paranaense, o IAP (Instituto Ambiental do Paraná). No caso específico, a escolha da técnica de remediação deveria levar em conta a viabilidade da continuidade operacional. Assim, as operações do terminal não poderiam ser interrompidas ou desviadas em momento algum durante todo o processo de remediação. Ainda, o TEPAR se tratava de um terminal antigo e, possivelmente, com diversas interferências estruturais, o que limitava consideravelmente a atividade de remediação.

Este trabalho consiste em avaliar o gerenciamento de remediação realizado no TEPAR, considerando o cenário histórico-geográfico, os contaminantes orgânicos detectados, as tecnologias de engenharia disponíveis para remediação respeitando a continuidade de operação do TEPAR, bem como propor uma metodologia para trabalhos futuros de remediação de terminais dentro da empresa em áreas de mesma conjuntura.

Assim, é apresentado de modo organizado o diagnóstico ambiental compreendendo as fases de levantamento histórico-operacional, levantamentos geológicos e detecção de contaminação através de amostras de solo e de água em poço de monitoramento. As áreas que apresentaram contaminação, denominadas de zonas (Z), foram remediadas através de remoção do solo; eventualmente, associado a bombeamento para remoção de fase livre. As fontes de contaminação de três das quatro zonas estabelecidas foram identificadas e eliminadas. Os dados possíveis de serem publicados são apresentados a seguir e o modo de gerenciamento de remediação utilizada no TEPAR é avaliado.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar a necessidade e tecnologia de remediação escolhida para sanar o passivo ambiental presente do Terminal Aquaviário de Paranaguá – TEPAR. Analisar as tecnologias de engenharia disponíveis para a execução do trabalho. Avaliar o resultado da descontaminação do solo e das águas subterrâneas.

1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Apresentar as informações históricas e operacionais do TEPAR, do diagnóstico do sítio e as informações do contaminante no solo e água subterrânea;
- b) Acompanhar, comparar e avaliar as técnicas utilizadas com as disponíveis e aplicáveis ao caso.
- c) Analisar os aspectos de gerenciamento do processo de remediação, para fins de aplicação em outros terminais petroquímicos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 HISTÓRICO DO DESENVOLVIMENTO DA PREOCUPAÇÃO COM O MEIO AMBIENTE

De uma forma ou de outra, a atividade humana, desde os tempos mais remotos até os nossos dias, quer seja para a manufatura quer seja para a própria subsistência, deixa seu rastro na forma de impacto no meio ambiente. Os cedros do Líbano, largamente utilizados nas edificações do povo judeu na antiguidade, proporcionavam lindas e poderosas edificações, entretanto, isto não ocorria sem que o passivo ficasse nas florestas libanesas², especificamente na redução da biodiversidade local.

Evidentemente, no decorrer do desenvolvimento da sociedade e por ocasião das descobertas de novos territórios, os avanços foram acompanhados de alterações nas características originais dos cenários encontrados e na redução gradativa da disponibilidade dos recursos naturais. Esse desenvolvimento, com proporcional impacto, perdurou durante séculos ao sabor da velocidade dos passos evolutivos da sociedade, contudo foi brutalmente catapultado pelo advento da Revolução Industrial.

A Revolução Industrial, iniciada na Inglaterra em meados do século XVIII, cravou um marco na história do desenvolvimento econômico e social devido ao grande impacto ambiental negativo no processo produtivo - fato este que deixou para trás a escala produtiva, que nunca mais seria a mesma. Essa transformação foi possível devido a vários fatores, entre eles o liberalismo econômico, a acumulação de capital e a invenção do motor a vapor³. De forma análoga aos cedros do Líbano, evidentemente essa robustez na produção e as mudanças que a sociedade experimentaria teria seu preço na conservação ambiental para a humanidade, embora para aquela sociedade não nos parece que era uma preocupação recorrente.

² “Manda-me também madeiras de cedro, de cipreste, e algumins do Líbano; porque bem sei eu que os teus servos sabem cortar madeira no Líbano; e eis que os meus servos estarão com os teus servos.” II Crônicas 2:8

³ [HOBSBAWM, Eric J. Da revolução industrial Inglesa ao Imperialismo](#). 5a. ed. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 2003.

Embora o desenvolvimento da atividade industrial deixasse impactos no meio ambiente desde então – e crescente-se ainda a escalada dos diversos produtos químicos destinados a aumentar a produção agrícola e controle de pragas – esta relação entre atividade antrópica e condição ambiental, desvantajosa a esta última, não havia sido tão bem evidenciada até que em 1962 a zoóloga, bióloga e escritora americana Rachel Louise Carson⁴ (27 de maio de 1907 – 14 de abril de 1964) publicou o livro *Silent Spring* (Primavera Silenciosa)⁵. Rachel Carson evidenciou em seu livro que o DDT (Dicloro-Difenil-Tricloroetano) – o mais poderoso pesticida que a humanidade conheceu – era capaz de entrar na cadeia alimentar e acumular-se no tecido gorduroso, inclusive a do homem, causando câncer e danos genéticos. Por fim, a obra conseguiu chamar a atenção para o fato de que a natureza é vulnerável à intervenção humana.

Notadamente houve, a partir de então, uma mudança da visão sobre a relação que a atividade humana tem com a natureza. Outro passo importante foi a conferência da ONU (Organização das Nações Unidas) em Estocolmo, realizada em 1972, quando líderes de inúmeros países do mundo se reuniram para discutir questões sobre a humanidade e o meio ambiente. Nesta conferência, pela sua resolução 2994 (XXVII) de 15 de dezembro de 1972, a Assembléia Geral designou o 5 de junho como ‘Dia Mundial do Ambiente’, a fim de sensibilizar a opinião pública para a necessidade de proteger e de valorizar o ambiente. Esta data foi escolhida porque recorda o dia de abertura da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Humano (Estocolmo, 1972), que culminou com a criação do PNUA – Programa das Nações para o Ambiente, com sede em Nairóbi, no Quênia.⁶

De 1972, reunião em Estocolmo, até a realização da Rio-92, em 1992, foram realizados diversos eventos e elaborados documentos preparatórios. A nível mundial se pode citar o livro “Nosso Futuro Comum” da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, este publicado em 1987 e baseado principalmente no resultado de audiências públicas.

⁴ CARSON, Rachel. **Primavera silenciosa**. Lisboa: Portico, 1962. 359p.

⁵ *Silent Spring* é um livro escrito por Rachel Carson e publicado pela editora Houghton Mifflin em Setembro de 1962. O livro foi amplamente lido, especialmente após a seleção pelo Book-of-the-Month Club e após a presença na lista de *best-sellers*, tendo inspirado ampla preocupação pública com os pesticidas e poluição do ambiente natural. *Silent Spring* facilitou o banimento do pesticida DDT em 1972 nos Estados Unidos. Mais recentemente, *Silent Spring* foi nomeado um dos 25 maiores livros de ciência de todos os tempos pelos editores da Discover Magazine. Uma sequência, *Beyond Silent Spring*, co-authored by H.F. van Emden and David Peakall, foi publicada em 1996 (Wikipedia, 2011).

⁶ http://www.onu-brasil.org.br/agencias_pnuma.php, visitado em 16 de junho de 2010.

No início da década de 90, a América Latina e Caribe por sua vez apresentaram “Nossa Própria Agenda”⁷. Este documento reflete o pensamento, a análise e o debate registrado para a nossa região. Diferentemente do primeiro documento, este foi subsidiado em observações de especialistas regionais.

Em 1991, o Governo Brasileiro apresentou o relatório do Brasil para a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, intitulado o “Desafio do Desenvolvimento Sustentável”⁸, também discutido com diversos segmentos da sociedade brasileira.

Em 1992, uma nova conferência global, desta vez no Rio de Janeiro (a Rio 92 ou Eco 92), reafirmou a preocupação da humanidade com as questões de conservação ambiental. Como resultado desta conferência foi gerado o documento denominado Agenda 21, o qual será melhor exposto com mais detalhes a seguir.

Em 1997, o Protocolo de um tratado internacional com compromissos para a redução das emissões de gases que agravam o efeito estufa ocorreu em Quioto, no Japão.⁹ Esta preocupação com as condições do meio ambiente reflete preocupação com a própria existência da humanidade, uma vez que todos os recursos que nós utilizamos vêm da natureza e que a indústria mundial está suficientemente aparelhada para, caso não haja limites, esgotar as fontes de tais recursos ou alterar completamente as condições de vida da humanidade.

Após esses eventos, as ações brasileiras foram avaliadas pelo governo federal para orientar nossa direção frente à filosofia de desenvolvimento sustentável. Hoje a exigibilidade do tratamento de passivos ambientais é possível devido à instrumentalização através de ferramentas legais. O Brasil hoje possui um complexo sistema institucional de gestão ambiental que aparelha o Estado (SANCHÉZ, 2008), porém este aparelhamento careceu de desenvolvimento e estruturação.

Sánchez (2008), na descrição da evolução da gestão ambiental no Brasil, apresenta quatro fases principais na política ambiental, que correspondem a diferentes concepções sobre o meio ambiente. Embora elas se sobreponham no plano temporal, cada uma delas tem seu papel nas estratégias de desenvolvimento.

⁷ Comissão de Desenvolvimento e Meio Ambiente da América Latina e do Caribe. **Nossa própria agenda**. New York; Banco Interamericano de Desenvolvimento/PNUD; 1991. 241 p.

⁸ Brasil/CLIMA. *O Desafio do Desenvolvimento Sustentável – Relatório do Brasil para a CNUMAD*. Brasília, Presidência da República, 1991.

⁹ http://www.onu-brasil.org.br/doc_quioto2.php, visitado em 16 de junho de 2010.

Primeira fase, a “Administração de Recursos Naturais”, onde figuram o Código das Águas (1934); Código Florestal (1934); Código de Minas (1934); Decreto-Lei de Proteção ao Patrimônio Histórico, Artístico e Arqueológico (1937); Código de Pesca (1938); Lei sobre Monumentos Arqueológicos e Pré-Históricos (1961); Lei de Proteção à Fauna (1967) e Lei do Sistema Nacional de Conservação (2000).

Segunda fase, o “Controle da Poluição Industrial” com a criação da SEMA, posteriormente o Ministério do Meio Ambiente; e Decreto-Lei – 1.413 Controle da Poluição Industrial (1975).

Terceira fase, o “Planejamento Territorial” através da Lei 6.766/79 – Parcelamento do Solo Urbano; Lei 6.803/80 – Zoneamento Ambiental nas áreas Críticas de Poluição; Lei 7.661/88 – Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro; Lei 10.257/2001 – Estatuto das Cidades e o Decreto 4.297/2002 – Zoneamento Ecológico-Econômico.

Quarta e última fase, a Política Nacional do Meio Ambiente instituída através da Lei 6.938 de 1981.

Sob o ponto de visão de controle ambiental, foi muito importante a instituição da necessidade de licenciamento ambiental instituída pela Lei 6.938, de 31 de agosto de 1981,¹⁰ que disciplinou a Política Nacional de Meio Ambiente através da qual a Administração Pública busca exercer controle sobre as atividades que influenciam nas condições do meio ambiente. Por conta da instituição da necessidade de licenciamento ambiental, as empresas começaram a procedê-lo com a devida atenção visto que sem esta, não poderiam sequer iniciar a construção do empreendimento nem mesmo obter crédito, junto às instituições financeiras, para viabilizar através de créditos, a unidade.

A legislação moderna sobre licenciamento ambiental foi iniciada no Rio de Janeiro, com a criação do Decreto-Lei 134/75 e posteriormente, no âmbito federal através do Decreto 1633/77, que regulamentou o Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras – este modelo foi retomado em 1981.¹¹

Outro passo importante, na evolução para a moderna gestão ambiental, posterior ao licenciamento ambiental, foi a necessidade de se aprimorar a avaliação

¹⁰ <http://www.mma.gov.br>, visitado em 01 de julho de 2010.

¹¹ SANCHEZ, Luis Enrique. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

da atividade industrial, de forma que a operação das unidades causassem o menor impacto ambiental possível – não por questão de proteção do meio ambiente do entorno ou da área afetada e sim para se reduzir ao máximo o custo com tratamento dos efluentes e resíduos.

Mais recentemente, ainda, nos deparamos com a crescente preocupação com o controle das emissões atmosféricas, devido a ampla divulgação dos efeitos nocivos de gases que contribuem para o aquecimento global. E, finalmente, a questão da sustentabilidade na indústria, que não está relacionado tão somente ao tratamento dado às emissões atmosféricas, lançamentos de efluentes líquidos ou resíduos sólidos, mas transcende para a questão do uso dos recursos naturais e sua limitada disponibilização na natureza.

2.2 AGENDA 21

Sobre o desenvolvimento sustentável, cabe ressaltar que na Conferência sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, no Rio de Janeiro em 1992, com representantes de 179 países, foram aprovados, entre outros, o Protocolo de Florestas, a Carta da Terra e a Agenda 21. Este último documento citado preconiza nova forma de desenvolvimento, abrangendo e disciplinando todos os setores ou atividades humanas no sentido de se desenvolver uma sociedade mais condizente com a manutenção da qualidade de vida global. Este documento poderia ser adaptado a qualquer nível de governo, comunidade ou organização.¹²

A Agenda 21 pontuou a necessidade e importância do comprometimento dos governos, entidades privadas, organizações sociais e todos os setores da sociedade em refletir sobre as soluções para os problemas sócio-ambientais.

Especificamente sobre resíduos, em seu texto, o documento recomenda incluir a adoção de tecnologias adequadas para a eliminação de resíduos, fundamentadas em uma avaliação de seus riscos para a saúde humana. E em sua Sessão II “Conservação e Gestão dos Recursos para Desenvolvimento”, o documento prevê em seu item de número 20 a gestão ecologicamente racional dos rejeitos perigosos. Isto implica na melhoria da gestão destes rejeitos desde a sua

¹² OLIVEIRA, José Antonio Puppim de. **Empresas na sociedade: sustentabilidade e responsabilidade social**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.

origem ou no caso dos passivos, desde ao local onde está disposto, até o tratamento final.

Os objetivos dessa área de programa são¹³:

- a) Reduzir, tanto quanto possível, a geração de resíduos perigosos, como parte de um sistema integrado de tecnologias limpas;
- b) Otimizar o uso dos materiais com a utilização, quando factível e ambientalmente saudável, dos resíduos dos processos de produção;
- c) Melhorar os conhecimentos e a informação sobre a economia da prevenção e manejo dos resíduos perigosos.

Segundo Oliveira (2008), a Agenda 21 foi importante para divulgar e popularizar o desenvolvimento sustentável. Vários países, estados, municípios e regiões criaram agendas 21 específicas para cada situação a partir da década de 90.

2.3 CERTIFICAÇÃO ISO

Outro movimento de alcance mundial que alterou a movimentação das ações tomadas pelas empresas em prol da gestão, foi a Certificação ISO (*International Organization for Standardization*). O mercado internacional, num esforço para harmonizar os padrões existentes de Gestão Ambiental, através da *International Organization for Standardization* – ISO¹⁴, entidade privada com sede em Genebra, instalou em 1993 um Comitê Técnico, o TC 207, com o objetivo de normatizações no âmbito dos sistemas de Gestão Ambiental e instrumentos de apoio ao desenvolvimento sustentável. Estas normas publicadas sob a responsabilidade deste Comitê Técnico contam com a participação de 74 países e estão em observação por mais 28 países, incluindo o Brasil.

TC 207, atualmente, subdivide-se em seis subcomitês:

- a) SC1 – Sistema de Gestão Ambiental (EMS).
- b) SC2 – Auditoria Ambiental (EA).

¹³ AGENDA 21, Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. <http://www.ultimaarcadenoe.com/agenprin.htm> acesso 16/02/2010.

¹⁴ <http://www.iso.org> acesso em 16/02/2010

- c) SC3 – Rotulagem Ambiental (EL).
- d) SC4 – Avaliação de Desempenho (EPE).
- e) SC5 – Análise do Ciclo de Vida (LCA).
- f) SC7 – Gestão de Gases de Efeito Estufa e Assuntos Relacionados.

A criação e as nomeações das equipes destes subcomitês são de responsabilidade do Conselho Técnico de Administração que respondem ao Conselho da ISO, cujas funções são definidas no estatuto da organização.

A única norma da série NBR ISO 14000, que é objeto de certificação, trata da Gestão Ambiental da empresa, analogamente ao que ocorre com a NBR ISO 9001 para a Gestão da Qualidade.

A certificação é válida por três anos com auditoria ou acompanhamento, no mínimo uma vez por ano ou a cada seis meses. Este acompanhamento/auditoria é realizado pela entidade certificadora e tem por objetivo garantir que a empresa mantenha um Sistema de Gestão Ambiental e que seu desempenho atenda ou supere os resultados planejados. Também visa verificar se os requisitos da norma aplicável à organização estão sendo atendidos.

Os seguintes elementos são previstos pela norma para o Sistema de Gestão Ambiental:

- a) Política ambiental suportada pela direção da empresa;
- b) Identificação dos aspectos ambientais e dos impactos significativos;
- c) Identificação de requisitos legais e outros requisitos;
- d) Estabelecimento de objetivos e metas que suportem a política ambiental;
- e) Programa de gerenciamento ambiental;
- f) Definição de papéis, responsabilidades e autoridade;
- g) Procedimentos de controle operacional;
- h) Procedimentos para emergência;
- i) Procedimentos para gerenciamento de registros;
- j) Programa de auditorias e ações corretivas;
- k) Procedimento de revisão do sistema pela alta administração.

A certificação de produtos, sistemas ou serviços consiste em um atestado, fornecido por organismos públicos ou privados, de conformidade com um determinado referencial. Especificamente, a certificação da ISO 14001, significa que

o Sistema de Gerenciamento Ambiental da empresa foi avaliado por uma entidade independente e reconhecido por um organismo nacional de avaliação e considerado de acordo com os requisitos da norma ISO 14001.

Hoje a Gestão Ambiental, trazendo consigo as certificações, Agenda 21 e a questão da sustentabilidade, é parte integrante das necessidades da indústria ou de qualquer empresa de serviços – como o se fosse um insumo indispensável à produção. O Banco Mundial, por exemplo, condiciona cada vez mais os seus empréstimos aos impactos causados pelo projeto que financia. Isto porque desde os anos 80, como consequência dos movimentos de proteção ao meio ambiente em países desenvolvidos, que criaram movimentos civis atuantes e não apenas tiveram impactos em políticas dos seus países. Reflexo da força destas atuações, muitos países seguiram essas atitudes e criaram movimentos semelhantes que ganharam proporções mundiais e refletiram em políticas dos organismos internacionais.¹⁵

No Brasil também temos a crescente exigência da licença ambiental como pré-requisito para se obter crédito, como no BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social), que condiciona seus financiamentos à apresentação da licença ambiental, quando cabível.¹⁶

2.4 DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL E O MEIO AMBIENTE

Após a Revolução Industrial, com energia à sua disposição e diversas possibilidades de utilização, barreiras antes intransponíveis, foram ultrapassadas, como o aumento exponencial da produção. Também, a possibilidade de deslocamento de mão-de-obra, de matérias-primas e de produtos acabados para mercados consumidores longínquos.¹⁷

A dinâmica social, devido ao crescimento da atividade produtiva, se alterava também drasticamente. E, com respeito à necessidade de alta produtividade no campo, lamentavelmente esses problemas perpassaram os tempos e acompanham

¹⁵ VALLE, Cyro Eyer do. **Meio ambiente: acidentes, lições, soluções**/Cyro Eyer do Valle, Henrique Lage. 2 ed. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2004.

¹⁶ <http://www.bndes.gov.br> acesso em 21/08/2010;

¹⁷ BAER, Werner. **A economia brasileira** / Werner Baer; tradução de Edite Sciulli. 2 ed. São Paulo: Nobel, 2002.

a sociedade até os nossos dias. O uso abusivo de pesticidas e outros diversos produtos químicos na área rural, provocando contaminação de solos e águas, e também a contaminação dos trabalhadores, ainda são corriqueiros nas atividades agrícolas.¹⁸

Outro aspecto destacado por Oliveira (2008), é que os problemas sócio-ambientais eram vistos como “conseqüências naturais” do desenvolvimento, que era confundido com crescimento econômico. E essa não era a visão encontrada, como pode se supor, somente nos arraiais capitalistas. Nos países comunistas, como a União Soviética, a visão era a mesma – como se pode perceber através da propaganda da época aposta em cartaz: “A fumaça das chaminés é a respiração soviética”. A poluição é mostrada como um aspecto positivo da situação da sociedade – “estamos desenvolvendo”.

Contaminação dos solos e das águas, emissão de particulados, degradação da condição de vida nos núcleos populacionais próximos das áreas fabris e os demais possíveis efeitos adversos sobre a saúde humana e o meio ambiente eram totalmente desconhecidos. Não obstante os acidentes de trabalho ser muito freqüentes e perceptíveis pela sociedade, na fase inicial da industrialização, os impactos e acidentes ambientais, não eram tão evidentes (VALLE, 2004).

2.4.1 No Brasil

De acordo com Baer (2002), os impactos ambientais decorrentes do desenvolvimento econômico brasileiro foram negligenciados tanto pelas autoridades formuladoras da política econômica como pelos acadêmicos. Do ministro do Planejamento do Brasil, João Paulo dos Reis Velloso, do período de 1969-74, registrou-se a seguinte frase quando comentou sobre os planos de investimentos japoneses e seus possíveis impactos negativos sobre o meio ambiente brasileiro: “E por que não? Ainda nos resta muito a ser poluído, a eles não.”

Essas atitudes mudaram substancialmente a partir dos anos 80 quando os movimentos de proteção ao meio ambiente, nascentes nos países desenvolvidos, ganharam os países em desenvolvimento e os organismos oficiais internacionais. A

¹⁸ VALLE, Cyro Eyer do. **Meio ambiente: acidentes, lições, soluções**/Cyro Eyer do Valle, Henrique Lage. 2ed. - São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2004.

partir de então, o desenvolvimento das indústrias e as políticas de condução dos países passaram a ser submetidas a críticas e pressões internacionais para a adequação de produtos, projetos e ações.¹⁹

Mesmo que separado por poucas décadas das descrições dos descasos ambientais com as florestas, a revolução industrial brasileira aconteceu a partir de 1930. Com fortes investimentos por parte do governo na indústria de base e energia. Houve a criação do Conselho Nacional do Petróleo (1938), Companhia Siderúrgica Nacional (1941), Companhia Vale do Rio Doce (1943) e Companhia Hidrelétrica do São Francisco (1945). Esse movimento foi acelerado na década de 50, com estímulos à criação indiscriminada de indústrias, sem nenhum tipo de seletividade sob o ponto de vista de conservação ambiental.

O Brasil, na década de 50, enfrentava grandes problemas para manter o seu desenvolvimento industrial, como a falta de energia elétrica, baixa produção de petróleo e deficiência na rede de comunicação e de transportes.

Do ponto de vista ambiental, simples migração da população da zona rural para os centros industrializados, para fornecimento de mão-de-obra, já traz consigo a necessidade de urbanização de áreas – o que implica no incremento da área impermeabilizada. A quantidade de superfície impermeável pode ser utilizada como indicador da fragilidade da bacia hidrográfica para a ocorrência de degradações severas, uma vez que a velocidade do escoamento pode variar de duas a dezesseis vezes em relação à taxa pré-desenvolvimento.²⁰

Além do movimento migratório, ainda de acordo com Baer (2002), a estrutura do setor industrial passou por mudanças significativas no Brasil nos últimos quarenta anos (1960/2000). Algumas indústrias declinaram como é o caso das indústrias têxteis (de 20,1% em 1949 para 5,25% em 1990), produtos alimentícios (de 19,7% para 11,85% neste período) e uma expansão significativa das indústrias de equipamentos de transporte (de 2,3% para 7,7%), equipamentos elétricos (de 1,7% para 8,64%) e ainda, do grupo dos produtos químicos, farmacêuticos, perfumes, plásticos (de 9,49% para 19,89%).

¹⁹ BAER, Werner. **A economia brasileira** / Werner Baer; tradução de Edite Sciulli. 2 ed. São Paulo: Nobel, 2002.

²⁰ ARAUJO, Gustavo Henrique de Sousa. **Gestão ambiental de áreas degradadas**/Gustavo Henrique de Sousa Araujo, Josimar Ribeiro de Almeida, Antonio José Teixeira Guerra. – 4ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009.

Vale notar que os setores com maior potencial poluidor também foram aqueles com incrementos significativos, como é caso da indústria químico-petroquímica e transporte. Também é importante salientar que no período especificado a indústria nacional brasileira estava então protegida por barreiras do mercado internacional – o que a deixava com uma reserva de mercado interno sem grandes competições com empresas internacionais.

A prática das empresas, em meio à urgente necessidade da produção para atender as demandas de uma população consumidora e carente de desenvolvimento, não se pautava por restrições de cunho ambiental.

O sinal vermelho apareceu no início dos anos 70, quando os recursos naturais, até então abundantes, tornaram-se escassos em várias regiões do mundo, inclusive no Brasil. Sánchez (2008) exemplifica este período com o caso da bacia do alto Tamandateí, no ABC paulista (Santo André, São Bernardo e São Caetano), onde a água estava tão poluída que era imprópria para uso industrial.²¹

Evidentemente o preço do desenvolvimento a qualquer custo estava acenando para a sociedade. Em uma época sem nenhum tipo de controle por parte do Estado sobre as atividades desenvolvidas pelas fábricas, os níveis de poluição estavam elevados e os passivos ambientais já estavam estabelecidos.

Embora o Brasil sinalizasse estar disposto a receber as indústrias poluidoras em prol do crescimento, em 1973 foi criada a Secretaria Especial do Meio Ambiente (SEMA), atual Ministério do Meio Ambiente, vinculada na época ao Ministério do Interior, através do Decreto 73.030. Também introduziu em 1975, através do Decreto-Lei nº 1.413, orientações de políticas voltadas para o controle de poluição industrial (SANCHÉZ, 2008 e Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis-IBAMA, 2010).

Esta política de controle da poluição industrial, de 1975, incluía atribuição de competência à SEMA para estabelecer padrões ambientais; disciplinava sanções em caso de descumprimento da legislação; a criação de áreas críticas de poluição (locais onde o governo reconhecia a existência de problemas graves de poluição); e por fim, atribuía ao governo federal a competência exclusiva para a suspensão da atividade daqueles empreendimentos considerados de alto interesse do desenvolvimento e da segurança nacional (SANCHÉZ, 2008).

²¹ SANCHEZ, Luis Enrique. *Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos*. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

Não obstante a degradação ambiental e o passivo ambiental deixado ao longo das décadas passadas de industrialização do Brasil, estes instrumentos deram início a regulação da atividade industrial, do ponto de vista da proteção ambiental, que se tornaria mais complexa a partir da Política Nacional do Meio Ambiente – que ocorreu em 1981 através da Lei 6.938, com o importantíssimo estabelecimento do CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente) e SISNAMA (Sistema Nacional de Meio Ambiente).

Outro fator relevante a ser destacado com o estabelecimento destes instrumentos foi a mudança de comportamento da indústria a partir de então. A evolução da sociedade, refletida através de seus instrumentos regulatórios, em particular e em foco os de cunho ambiental, impuseram às organizações industriais remodelamento de sua estrutura e comportamento.

Quanto ao passivo ambiental deixado antes destes atos regulatórios, e os passivos ambientais que se seguiram até que os Órgãos Ambientais fossem criados e se estruturassem (nas décadas seguintes), atualmente são alcançados através de legislação que impõe padrões e parâmetros ambientais e obriga à remediação das áreas degradadas ou contaminadas.

Segundo Beaulieu (1998), o mundo industrializado só tomou consciência do enorme aterro industrial e seus efeitos sobre solo e águas subterrâneas no início dos anos 80.²²

2.5 PASSIVO AMBIENTAL

Segundo a EPA- *Environmental Protection Agency* (1996), passivo ambiental é uma obrigação adquirida em decorrência de atividades do passado ou em curso, utilização, liberação, ou ameaças de liberação de uma substância específica, ou de outras atividades que afetaram ou afetam negativamente o meio ambiente ou a terceiros, de forma involuntária ou voluntária. Este passivo deverá ser indenizado

²² 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, v.1, p. 52.

através da entrega de benefícios econômicos ou prestação de serviços em um momento futuro.²³

De acordo com Sánchez (2001), o passivo ambiental representa, em sentido figurado, uma “dívida” para com as gerações futuras. Representa, também, uma externalização de custos, quando um determinado agente econômico imputa a outros agentes custos adicionais, como exemplo pode-se citar os custos adicionais para tratamento de água captada à jusante de uma indústria que lança efluentes líquidos neste corpo hídrico.²⁴

O passivo ambiental pode estar estabelecido, consolidado, e, portanto, fora do alcance de ações preventivas. A descoberta de um passivo, que é significativo problema socioambiental e econômico, provocará respostas por parte das partes envolvidas. O alcance e o resultado desta resposta dependerão da dimensão do problema e da pressão da sociedade para se desenvolver a estratégia de solução, mitigação ou remediação. Segundo Sánchez (2001), em sua descrição das tipologias de políticas de gestão de sítios contaminados, estas podem ser de negligência (não fazer nada e esperar que o problema se manifeste ou não seja descoberto); reativa (ação desarticulada e resposta caso a caso); corretiva (resposta planejada e sistemática, após diagnosticar o problema); preventiva (planejar o fechamento de empreendimentos com atividades potencialmente contaminantes com garantias de desativação adequada) e por fim a proativa (planejamento e gestão ambiental de todas as etapas do ciclo de vida de um empreendimento).

De acordo com a CETESB (2001), área contaminada pode ser definida como uma área, local ou terreno onde há comprovadamente poluição ou contaminação causada pela introdução de quaisquer substâncias ou resíduos que nela tenham sido depositados, acumulados, armazenados, enterrados ou infiltrados de forma planejada, acidental ou até mesmo natural. Esses poluentes podem concentrar-se nos diferentes compartimentos do ambiente, no solo, nos sedimentos, nas rochas, nos materiais utilizados para aterrar os terrenos, nas águas subterrâneas ou, de forma geral, nas zonas não saturadas e saturadas, além de

²³ EPA (US 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.

²⁴ SANCHÉZ, L.E. *Desengenharia: o passivo ambiental na desativação de empreendimentos industriais*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001.

poderem concentrar-se nas paredes, nos pisos e nas estruturas de construções. Os poluentes podem ser transportados e deslocarem-se a partir desses meios, propagando-se por diferentes vias, como o ar, o próprio solo, as águas subterrâneas e superficiais, alterando suas características naturais ou qualidades e determinando impactos negativos e/ou riscos sobre os bens a proteger localizados na própria área ou em seus arredores.²⁵

Ainda, segundo a CETESB (2001) embora existam várias definições diferentes para conceituar “áreas contaminadas”, como por exemplo, na legislação do Reino Unido, Região de Flandes (Bélgica) e Alemanha, uma linha de pensamento em comum que se evidencia é a preocupação em considerar não apenas a presença dos poluentes, mas também a ocorrência de danos ou riscos aos bens a proteger, como a qualidade das águas, dos solos e das águas subterrâneas, a saúde dos indivíduos e do público em geral.

No Brasil, segundo entendimento da CETESB (2001), dentro da Política Nacional de Meio Ambiente, Lei 6.938 de 31 de agosto de 1981, são considerados bens a proteger:

- a) A saúde e o bem-estar da população;
- b) A fauna e a flora;
- c) A qualidade do solo, das águas e do ar;
- d) Os interesses de proteção à natureza/paisagem;
- e) A ordenação territorial e planejamento regional e urbano;
- f) A segurança e a ordem pública.

Com respeito à conceituação de área contaminada, a CETESB (2001) cita que na literatura internacional há vários termos que podem ser considerados sinônimos do termo “área contaminada”, como por exemplo, “sítio contaminado”, “terrenos contaminados”, “solos contaminados” e “solos poluídos”. Outro termo a ser destacado é “degradação” que é mais amplo e engloba “poluição”.

Quanto às fontes de contaminação das águas subterrâneas, Fetter (1999) nos apresenta seis categorias sobre fontes de contaminação. Sobre essas a

²⁵ CETESB, 2001. *Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas/CETESB, GTZ. 2ed.* - São Paulo : CETESB, 2001.

CETESB (2001) acrescenta que as mesmas podem ser consideradas, também, como fontes de contaminação de solo.²⁶ São elas:

- a) Fontes projetadas para descarga de substâncias no subsolo, englobando tanques sépticos e fossas negras (efluentes domésticos e vários tipos de compostos orgânicos e inorgânicos); poços de injeção de substâncias perigosas, águas salgadas de exploração de petróleo, etc. (neste caso a contaminação pode ocorrer devido à má construção do poço ou falhas no projeto); aplicação de efluentes municipais ou industriais no solo, lodos de tratamento de água utilizados como fertilizantes, resíduos oleosos de refinarias (*landfarming*).
- b) Fontes projetadas para armazenar, tratar e/ou dispor substâncias no solo, na qual estão incluídas as áreas de disposição de resíduos (aterros sanitários e industriais, lixões, etc); lagos de armazenamento de resíduos de mineração; tanques aéreos ou subterrâneos de armazenamento de substâncias.
- c) Fontes projetadas para reter substâncias durante o transporte, como oleodutos, tubulações para o transporte de esgoto e efluentes industriais; transporte de substâncias químicas.
- d) Fontes utilizadas para descarregar substâncias como consequência de atividades planejadas, na qual estão incluídas a irrigação ou fertirrigação de lavouras, aplicação de pesticidas e fertilizantes na lavoura; percolação de fertilizantes atmosféricos.
- e) Fontes que funcionam como um caminho preferencial para a entrada de contaminantes no aquífero (poços de petróleo e de monitoramento com falhas de construção e projeto).
- f) Fontes naturais ou fenômenos naturais associados às atividades humanas (interação entre as águas subterrâneas e a superfície contaminada); contaminação do solo e das águas pelos gases de processos produtivos ou outras fontes, como motores; contaminações que infiltram no solo e são carregadas pelas águas da chuva.

²⁶ FETTER, Charles Willard. **Contaminant hidrogeology**. 2ª ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1999. C 1, p. 18-30.

2.5.1 Tratamento de Passivos Ambientais

Por tratamento de uma área contaminada, entendem-se as medidas que visam isolar, conter, minimizar ou eliminar a contaminação, visando restabelecer à área sob intervenção sua utilidade. O tipo de tratamento a ser aplicado no local contaminado dependerá da utilidade futura que se pretende dar para a área, isto é, objetivo da remediação CETESB (2001).

De acordo com a CETESB (2001), o entendimento dos termos utilizados para descrever os processos pelos quais uma área impactada recebe tratamento é fundamental para a indicação do que se pretende alcançar com o tratamento.

Os termos “recuperação” e “restauração”, que podem ser considerados como sinônimos e significam readquirir uma condição (sem oferecer melhoramento àquela condição encontrada anteriormente à contaminação). Nota-se que neste caso, haverá limitação de utilização da área recuperada, uma vez que a área não será restabelecida à condição natural e sim à condição anterior à contaminação. Já o termo “remediação” significa dar remédio, sanear, curar, tornar saudável – isto é, retornar à condição natural do sítio. Este entendimento não aparece na EPA.²⁷

Salienta-se, ainda, que desta ótica, a restauração da área impactada ou contaminada para um uso específico ou com limitações de uso, e não para a condição natural que abrigaria qualquer tipo de utilidade (multifuncionalidade), é muito mais viável técnica e economicamente, tendo em vista a escassez de recursos que é um problema comum à maioria dos países.

A utilização futura da área também dependerá do grau de contaminação que foi removido e o grau remanescente. Esta utilização poderá, ainda, garantir que não existirão vias de transporte de contaminantes. A CETESB (2001) exemplifica esta medida de compatibilização do uso da área contaminada, citando construções de estacionamento com pavimentação impermeabilizante ao invés de edifícios residenciais em local recuperado. Esta compatibilização do uso da área pode ser implementada tendo em vista o risco dos bens a proteger que se encontrem na área de influência.

²⁷ EPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL AGENCY – USEPA.

Ainda, de acordo com a CETESB (2001) as medidas de tratamento das áreas contaminadas podem ser:

- a) Medidas de contenção ou isolamento;
- b) Medidas de tratamento dos meios contaminados, este visando à eliminação ou enquadramento dos níveis de contaminação de acordo com a legislação.

Ambas as medidas podem ser adotadas conjuntamente.

Segundo a EPA (1998), existem três abordagens básicas e dois métodos para remediação.²⁸ As abordagens são as seguintes:

- a) Evitar os riscos através da mudança do uso da área, por exemplo, o reencaminhamento de efluente, etc;
- b) Eliminar os riscos através da remoção ou destruição dos contaminantes;
- c) Controlar os riscos através da redução para níveis aceitáveis de concentração dos contaminantes; ou contendo os contaminantes com instalação de barreiras entre os contaminantes e os receptores em potencial.

A estratégia de reabilitação desenvolvida para um determinado sítio pode combinar todas as três abordagens e os dois diferentes métodos (EPA, 1998) que estão apresentados a seguir:

Método baseado em engenharia civil tais como: escavação, contenção usando os sistemas de cobertura e barreiras verticais, e controles hidrogeológicos. Este método pode ser precursor essencial para a aplicação de um método baseado em processos que envolvem o tratamento *ex situ*. Além disso, os métodos de engenharia civil, tais como barreiras verticais e rebaixamento do lençol freático, podem também ser essenciais para a aplicação de tratamento *in situ*, tais como: extração de vapores do solo. Outras questões importantes a serem abordadas durante a escavação de meios contaminados para posterior tratamento incluem:

- a) Definição do volume de material a ser removido;
- b) Conformidade com as especificações de escavação para garantir que o todo material que deveria ser removido foi efetivamente removido;

²⁸ EPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL AGENCY. *NATO/CCMS Pilot Study – Evaluation of Demonstrated and Emerging Technologies for the Treatment and Clean Up of Contaminated Land and Groundwater. Phase II, Final Report, number 219. EPA 542-R-98-001a*. 1998. NTERNET (www.clu-in.org/download/partner/phase-2.pdf). Acessado em 17 de agosto de 2010

- c) Controle dos impactos ambientais potenciais, tais como emissões para a atmosfera e os movimentos de tráfego;
- d) Suporte de engenharia, tais como: controle dos níveis de água, necessários para proceder a escavação;
- e) Suporte a acessórios, tais como: o tratamento de águas contaminadas;
- f) Instalações necessárias para o armazenamento temporário;
- g) Fonte e especificação de material de substituição limpa, incluindo a composição química; e
- h) Planejamento e permissões, incluindo as autorizações ambientais.

Métodos baseados em processos. Estes métodos podem ser classificados em função dos princípios envolvidos, como térmicos, químicos, biológicos, físicos e de estabilização/solidificação. São eles:

- a) **Métodos *ex situ* para sólidos e líquidos.** Vários métodos estão disponíveis para tratamento *ex situ* de sólidos (por exemplo, solos, sedimentos, lodos) e líquidos (por exemplo, as águas subterrâneas, águas superficiais e águas residuais). O tratamento visa eliminar, destruir ou modificar os contaminantes, tornando-os indisponíveis para potenciais alvos humanos e ambientais. Para ser aplicado, este método depende da natureza e distribuição dos contaminantes, pelas características físico-químicas, e, em alguns casos, das propriedades biológicas dos meios de contaminação a serem tratados. A decisão de tratar no local ou não, depende de uma série de fatores, incluindo disponibilidade e capacidade dos serviços locais, tais como: energia, saneamento, abastecimento de água e custo.
- b) **Método de tratamento *ex situ* de águas subterrâneas e outros líquidos contaminados.** Diversos são os tipos de águas que requerem tratamento, como por exemplo, águas superficiais, águas subterrâneas coletadas durante a remoção por bomba de fase livre, águas subterrâneas removidas durante as escavações ou operações de engenharia, efluentes do pré-tratamento de sólidos, líquidos aquosos extraídos do solo contaminado, lixiviados coletados do depósito de resíduos, etc. Nos processos de descontaminação, os efluentes associados com o tratamento *ex situ* de sólidos tem volumes

relativamente pequenos, entretanto, quando há águas subterrâneas contaminadas podem ser necessários períodos de tempo prolongados para a remoção da fase livre e, conseqüentemente, de um grande volume de água.

- c) Método *in situ* para solos.** Em métodos de tratamento *in situ*, os impactos ambientais acima do solo e os custos associados com a escavação e extração são evitados. Alguns métodos são particularmente atraentes para aplicação em sítios operacionais e outros locais onde os edifícios e estruturas precisam ser preservados. Os métodos *in situ* visam eliminar, destruir ou estabilizar os contaminantes através da introdução de um agente de tratamento na terra, e estes atuam diretamente sobre o solo. Normalmente, o objetivo da remediação *in situ* é tratar as zonas saturadas e não-saturadas, embora alguns sistemas são capazes de tratar ambas. Os métodos de tratamento *in situ* podem ser combinados com o método de bombeia-e-trata para tratamento das águas subterrâneas contaminadas. Lavagem do solo, a biorremediação *in situ*, e extração de vapor do solo podem ser combinadas em um esquema integrado de remediação. O calor pode ser introduzido para auxiliar a biorremediação ou extração de vapor, ou ainda ser usado para melhorar a penetração de produtos químicos ou agentes de estabilização. Um típico sistema *in situ* fornece um agente de tratamento ou agentes em estado líquido, gás, ou em forma de energia, recupera produtos e elimina ou trata produtos, embora o objetivo de muitos métodos seja produzir apenas produtos não-nocivos ou contaminantes seguramente aprisionados.
- d) Método de tratamento *in situ* de águas subterrâneas.** O tratamento *in situ* de águas subterrâneas requer que a água passe por uma zona de tratamento onde sejam injetados agentes na solução (pode ser em estado gasoso) causando a degradação ou promovendo a natural degradação de contaminantes; ou ainda a água passe por uma substância sólida que suporte a separação física dos contaminantes por adsorção, por degradação química ou biológica, ou redução da toxicidade. Estes dois processos podem ser utilizados em combinação. Também pode ser combinado com outros processos, como por exemplo,

operações bombeia-e-trata (geralmente utilizado na remoção de fase livre). As entidades reguladoras devem ser sempre consultadas antes de se aplicar tais métodos, a fim de se obter as permissões pertinentes para a instalação, operação e extração de poços de injeção, e para introdução de agentes químicos no ambiente. O tratamento *in situ* de águas subterrâneas exige compreensão aprofundada da hidrogeologia do local e do entorno, e geralmente requer a remoção prévia ou a contenção de fontes ativas da contaminação e remoção de fase livre. Como para todos os métodos *in situ*, garantir o contato entre o agente contaminante e o tratamento é o grande desafio na prática. Contaminantes podem ser adsorvidos à superfície mineral e mantidos em poros capilares – para que o tratamento seja eficaz em longo prazo, requer-se que os contaminantes sejam liberados em águas subterrâneas. Neste caso, uma variedade de meios podem ser utilizados para promover o movimento do contaminante através do subsolo, como por exemplo, a injeção de vapor, de água quente e/ou de surfactante.

Em geral, a adequação de um método de remediação depende de muitos fatores, incluindo: meios contaminados, contaminantes, os objetivos da remediação, o estado atual do sítio, a localização, tempo disponível para completar o tratamento e a disponibilidade de recursos financeiros para custear o tratamento.

Não obstante aos métodos encontrados na literatura, pode-se concluir que a noção do efeito deletério ao meio ambiente é relativamente recente e que as técnicas de prevenção e recuperação ainda não são unânimes. Pelo contrário, existem legislações que divergem significativamente nos valores dos parâmetros aceitáveis. Nesta mesma situação existe a dúvida sobre os processos ideais de recuperação, por exemplo, do solo contaminado, para se obter o melhor resultado possível técnico e economicamente.

Mesmo a terminologia, por exemplo, remediação, que é empregado neste trabalho, dentro dos termos tecnicamente usados, pode ser discutido, uma vez que a filosofia empregada para este estudo, remoção de solo, não elimina o contaminante, embora diminua sua ação deletéria ao ecossistema delicado.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A unidade do Terminal Aquaviário de Paranaguá (TEPAR) pertence ao Governo do Estado do Paraná, sendo parte das instalações do Porto de Paranaguá, e está arrendado para PETROBRAS.

O TEPAR foi descrito através de observações diretas da área e ilustrada através de fotografias e mapas. A gestão local realizada pelo autor deste trabalho será apresentada através de relatos e conta com a inter-relação com os demais membros participantes da remediação (FIGURA 01). O autor compunha a equipe descrita como “Profissional de Meio Ambiente” auxiliado por dois outros colaboradores que, dentre outras atividades rotineiras, viabilizou a execução do contrato de remediação com reuniões documentadas diárias para tomada de decisão das possibilidades e alternativas para os limites impostos por conta das operações do terminal. Assim, o Profissional de Meio Ambiente – o autor – foi o responsável pelo acompanhamento e controle da remoção do passivo ambiental a fim de viabilizar a remediação dentro das exigências legais e dos parâmetros da licença ambiental, mas sem interromper a operação do TEPAR.

Todos os documentos (estudos, projetos, propostas, planos de execução, etc) eram gerados localmente com os devidos trâmites prescritos nos padrões da empresa contratante (PETROBRAS), e submetidos à aprovação nas instâncias pertinentes conforme a natureza da demanda. Por exemplo, devido às limitações de competência do Profissional de MA para liberações de cunho financeiro extraordinário, esta demanda era remetida ao Coordenador de MA, o qual permitia a ação, ou remetia à Gerência de MA para fazê-la.

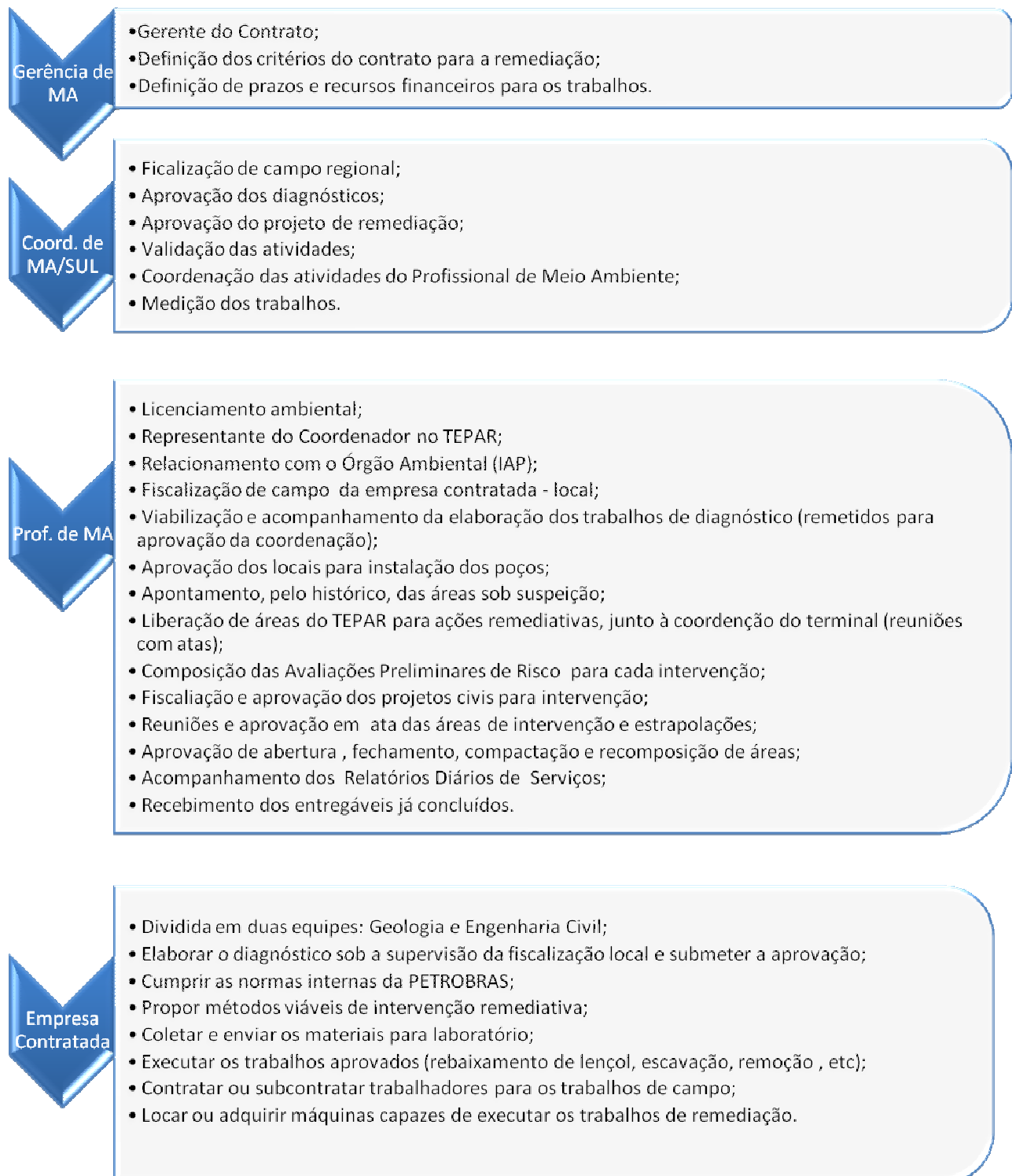


FIGURA 01 – HIERARQUIA E ATRIBUIÇÕES DO GRUPO DE REMEDIAÇÃO

FONTE: O autor.

Nota: O autor era o profissional de meio ambiente (Prof. MA) e tinha as atribuições compostas pelos itens descritos.

O processo de remediação foi proposto dentro de uma expectativa de estudo preliminar e de comum acordo entre PETROBRAS e ESSENCIS Soluções Ambientais, e submetido à aprovação do IAP. Desta última aprovação emanou a licença ambiental autorizando a realização dos trabalhos propostos.

Os mapas apresentados revelam os locais das amostragens de solo e dos poços de monitoramento, representados por S-nn e PM-nn, respectivamente, onde nn é o número do ente. A malha de amostragem foi de 10 por 10 e 15 por 15 para área mais adensada do TEPAR, a qual é o alvo deste estudo. A área menos adensada também foi avaliada, com malha de 20 por 20, por apresentar menor número de instalações operacionais e ser operada mais recentemente e com filosofia prevencionista.

As fotografias apresentadas são ilustrações da etapa inicial do processo de remediação, da etapa final, sendo que uma ou mais fotografias ilustram as operações intermediárias.

As informações complementares utilizadas para descrição do sítio em estudo foram referências técnico-científicas, bem como entrevistas informais com funcionários do TEPAR realizadas pelo autor deste trabalho e/ou sob sua supervisão. Essas entrevistas são particularmente relevantes, pois fotografias e projetos industriais antigos do acervo da empresa revelavam componentes de unidades de operação que não estavam presentes no acervo de relatórios operacionais atuais. Isto pode ser melhor compreendido, lembrando que esta área compunha a TESIA (sistema de armazenamento e distribuição de produtos de petróleo composto pelas empresas TEXACO, ESSO, SHELL, IPIRANGA e ATLANTIC).

O processo de remediação foi composto por vários aspectos. Os aspectos geográficos são agrupados de modo a revelar a importância da remediação em um ecossistema considerado frágil, como é o de mangues. Os resultados dos contaminantes, os quais estão disponíveis nas empresas envolvidas, são sigilosos por obrigação de contrato. Assim, eles são apresentados em tabelas de modo codificado para cumprir essa exigência. As tabelas revelam as unidades de análise com o intuito de revelar o nível de sensibilidade analítica exigida.

3.1 DIAGNÓSTICO AMBIENTAL

O diagnóstico ambiental do solo e água subterrânea (ESSENCIS ETR200903051500MSV - MARÇO/2009), a localização dos pontos de sondagem obedeceu aos critérios do Procedimento para o Gerenciamento de Áreas Contaminadas da CETESB (2007), capítulos 6000, 6300 e 8000. As sondagens basearam-se na norma brasileira ABNT/NBR 15492/2007.

Os trabalhos executados no TEPAR foram iniciados em junho de 2007, com a execução das seguintes etapas até novembro de 2008:

- a) Caracterização da Geomorfologia (Junho de 2007);
- b) Caracterização da Geofísica (Junho de 2007);
- c) Caracterização da Hidrogeologia (Outubro de 2007);
- d) Caracterização da Geoquímica (Agosto de 2008);
- e) Caracterização dos Riscos a Saúde Humana (Novembro de 2008).

Baseado nos pontos principais desses documentos, a metodologia empregada na remediação do TEPAR é descrita a seguir.

3.2 CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA DO SOLO E DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

A caracterização geoquímica do solo e da água subterrânea é apresentada de acordo com o relatório da ESSENCIS (ETR 201105110900MSV – AGOSTO/2008).

Para o desenvolvimento das etapas investigativas foram adotados os aspectos conceituais e de aplicação preconizados da CETESB (2001), observando a priorização das fases preliminar (figura 02), confirmatória (figura 03) e detalhada.

A fase preliminar consistiu basicamente da elaboração de um diagnóstico inicial das áreas potencialmente contaminadas e suspeitas de contaminação, identificadas a partir do seu histórico operacional (evolução da infra-estrutura e das atividades desenvolvidas ou em desenvolvimento), permitindo o planejamento para execução dos métodos iniciais de investigação (diretos e indiretos), demarcando a fase confirmatória.



FIGURA 02 – REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DOS ESTÁGIOS DA FASE PRELIMINAR
FONTE: Adaptado de CETESB (2001)

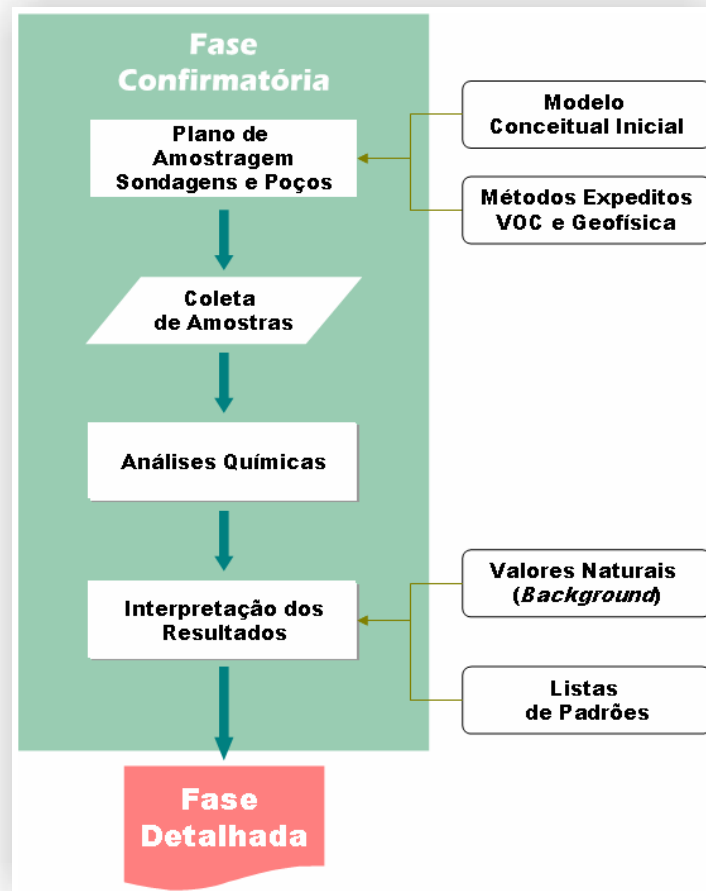


FIGURA 03 – REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DOS ESTÁGIOS DA FASE CONFIRMATÓRIA
 FONTE: Adaptado de CETESB (2001)

Com o objetivo de selecionar áreas potencialmente contaminadas por produtos derivados de petróleo foi executada, inicialmente, uma avaliação da presença de VOC (Compostos Orgânicos Voláteis) no solo subsuperficial (<0,60 metros) pelo método conhecido como *Soil Gas Survey*, que é um método expedito que permite delimitar, a partir da projeção dos resultados obtidos em planta, áreas de interesse para confirmação através de sondagem e amostragem.

Nesta fase inicial também foram empregados métodos geofísicos de imageamento subterrâneo (GPR ou Medição eletromagnética e Eletroresistividade), com o objetivo de identificar e analisar a existência de anomalias resultantes de eventual presença de substâncias liberadas e/ou depositadas no solo local, em superfície ou subsuperfície. Parte deste levantamento foi realizado concomitante com a execução de sondagem e instalação de poços de monitoramento (fases confirmatória e detalhada), servindo como subsídio complementar para indicação de áreas de interesse.

Na fase confirmatória foi feita uma amostragem inicial do solo e da água subterrânea. Nesta amostragem foram feitas análises químicas nos locais de interesse, que foram indicados pelos resultados obtidos na fase inicial (campanha de VOC e geofísica), indicados como suspeitos a partir do histórico operacional e locais que foram destacados com evidências de impacto, onde os indícios de liberação de substâncias foram diretamente observados em campo.

Adicionalmente, foi realizada uma extensa campanha de sondagens até a interceptação do nível d'água subterrâneo, especificamente para mapeamento de resíduos oleosos depositados em subsuperfície.

A avaliação detalhada consistiu na execução de sondagens e poços de monitoramento nos locais de presença confirmada de contaminantes, conforme resultados da fase confirmatória. Esta etapa tinha como objetivo a quantificação da área impactada através da delimitação de sua extensão (limites da pluma), profundidade e níveis de concentrações existentes.

Também foram executadas nesta fase sondagens mais profundas, especificamente para reconhecimento geológico-hidrogeológico, conforme descrito no relatório da ESSENCIS (2007).

A fase detalhada contou ainda com campanha complementar (sondagem/poço), realizada a partir do conhecimento ou incorporação, ainda que tardia, de novas informações ou fatos acerca de áreas suspeitas e/ou potencialmente contaminadas, mas não abrangidas pela malha de amostragem executada.

Na tabela 01, é apresentada a seqüência de desenvolvimento e características das fases de investigação realizadas.

TABELA 01 – ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DA INVESTIGAÇÃO NO TEPAR

Fase Investigativa	Atividades Executadas	Métodos	Objetivos	Período de Execução
Preliminar	Estudo histórico e reconhecimento de campo (parcial) ¹	Indireto	Definir modelo conceitual inicial	Ago a Out (2006)
	Medição de VOC no solo subsuperficial ²	Indireto	Identificar indícios de contaminação	Set a Out (2006)
	Geofísica (subsuperfície)	Indireto	Identificar indícios de contaminação	Nov a Dez (2006)
Confirmatória	Sondagens e poços de monitoramento	Direto	Amostragem para confirmação dos indícios (VOC e geofísica) e instalação de poços mapeamento de borra	Set a Mai (2006 e 2007)
Detalhada	Sondagens e poços de monitoramento	Direto	Delimitação de áreas impactadas, reconhecimento geológico e amostragem	Mai, Jun e Nov (2008)

FONTE:Relatório ESSENCIS (ETR200903051500MSV) – Diagnóstico Ambiental

NOTA: ¹Parcial – Esta atividade foi sendo realizada a medida em que o conhecimento da área e o relacionamento com os setores do TEPAR foram ganhando afinidade.

²Medição de VOC – Sondagens para medição de compostos orgânicos voláteis no solo subsuperficial (< 0,60 metros).

Para os propósitos de caracterização geoquímica do TEPAR, foi executado um plano de amostragem elaborado com base nas hipóteses de contaminação definidas a partir das informações do histórico operacional existente na ocasião de sua execução, da posição das fontes potenciais atualmente existentes e de áreas potencialmente suspeitas. Com isto foi adotada uma malha de geometria quadrada com espaçamento variando de 10x10 a 15x15 metros nos setores do TEPAR com maior densidade de ocupação operacional (áreas 31, 32, 33, 50 e 60). Nos demais setores, de acordo com o histórico disponível, o espaçamento da malha foi expandido para 20x20 metros. Esta abordagem garantiu probabilidade mínima de detecção de focos de contaminação superior a 75%.

3.2.1 Amostragem de água subterrânea

Foi realizada uma campanha de amostragem de água do lençol freático nas sondagens onde foram instalados os poços de monitoramento. O procedimento de

amostragem de água baseou-se no Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas da CETESB (2001).

3.2.2 Medição de parâmetros hidrogeoquímicos

Nos poços de monitoramento do lençol freático, foi realizada uma campanha de medição dos parâmetros hidrogeoquímicos da água subterrânea, onde foram monitorados os parâmetros: pH, temperatura, oxigênio dissolvido (OD), condutividade e turbidez, em tempo real, durante a purga de poços de monitoramento amostrados pelo Método de Baixa-Vazão, que consiste na remoção da água com um bombeamento lento (EPA, 1996).

3.3 AVALIAÇÃO DE RISCO

O objetivo da avaliação de risco é verificar se há necessidade de ações de remediação para a área e, se houver, quais serão os teores seguros que deverão ser atingidos. A metodologia utilizada seguiu o proposto em ASTM E2081-00 (2004) - *Standard Guide for Risk-Based Corrective Action*, complementado pelo ASTM E1739 - 95 (2002) - *Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Release Sites e pelo Risk Assessment Guidance for Superfund – Volume I Human Health Evaluation Manual – Part A*, EPA, 1989, (RAGS) e utiliza a modelagem proposta no programa RBCA *TOOL KIT for Chemical Releases* versão 2.01 da *GroundWater Software* e complementado pelo Manual de Áreas Contaminadas (CETESB, 2001) e pelo texto preliminar do projeto de norma brasileira para avaliações de risco.

Tendo em vista os usos do solo e das águas subterrâneas e superficiais no entorno da área, os cenários razoáveis de exposição são (ESSENCIS ETR 200810251800CJB - NOVEMBRO/2008):

- a) Inalação de vapores em ambientes internos por parte dos trabalhadores locais;
- b) Inalação de vapores em ambientes externos por trabalhadores;

- c) Contato dérmico de trabalhadores locais e de obras com solo contaminado;
- d) Inalação de frações suspensas do solo contaminado por parte de trabalhadores locais e trabalhadores em obras
- e) Lixiviação de solo contaminado para águas subterrâneas;
- f) Ingestão de água por parte de moradores locais;
- g) Inalação de vapores em ambientes internos dos moradores locais;
- h) Inalação de vapores/solo contaminado em ambientes externos por moradores.

3.4 PROJETO CONCEITUAL DE REMEDIAÇÃO

O objetivo do projeto conceitual foi estabelecer as medidas institucionais e de engenharia necessárias para que o risco existente seja mitigado (ESSENCIS ETR 200901260900CBJ DE JANEIRO/2009). A metodologia para desenvolvimento do projeto seguiu o proposto no Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas (CETESB, 2001), em particular o proposto no Capítulo X.

Em remediação de água e solo, sempre haverá incertezas quanto à distribuição dos contaminantes e às características do meio físico. Quanto menores estas incertezas, maiores as chances de sucesso da remediação e menores os custos de implantação e operação do sistema, considerando o ciclo de vida do processo. Por outro lado, a diminuição destas incertezas implica na coleta de novos dados e, por conseguinte, eleva os custos.

3.4.1 Estabelecimento das zonas de remediação

Com base nos resultados da avaliação de risco (Relatório de Análise de Risco; ESSENCIS – ETR 200810251800CJB, Novembro/2008) e informações sobre fase livre e solo contaminado com hidrocarbonetos de petróleo existentes no Relatório de Geoquímica (ESSENCIS – ETR 200809161040MSV) no Relatório do Mapeamento de Áreas Impactadas por Deposição de Resíduos Oleosos (ESSENCIS - ETR200806091500AN, 2008), foram determinadas as áreas a serem remediadas

no TEPAR (FIGURA 14). Estas áreas foram definidas como aquelas Áreas Fontes de Contaminação que ao final da avaliação geoquímica e de risco podem ser classificadas como áreas contaminadas. Para efeito de definição de necessidade de ação remediativa, os critérios foram os seguintes:

- a) Estar acima das concentrações limite;
- b) Apresentar fase livre; ou
- c) Possuir indícios de solo contaminado enterrado.

3.5 PLANO DE REMOÇÃO DE PASSIVOS AMBIENTAIS

Para a realização do trabalho de remoção de material contaminado, iniciou-se com a locação das áreas a serem removidas pela equipe de topografia da ESSENCIS, isolamento das áreas com tela tapume na cor vermelha e confecção de gabarito em madeira (ESSENCIS ETR0801071600EA de JUNHO/2008).

Os serviços de remoção foram manuais e mecanizados, com acompanhamento de técnico de segurança e iniciados após autorização do departamento de SMS (Saúde, Meio Ambiente e Segurança) da TRANSPETRO e do Coordenador do TEPAR mediante programação prévia das atividades.

Os serviços de escavação e carga dos resíduos contaminados com hidrocarbonetos foram manuais até a identificação e localização das interferências, após isto se tornou mecanizada, utilizando-se uma escavadeira de pequeno porte. Quando necessário foi utilizado escoramento em pranchas de madeira, para valas com profundidade superior a 1,25 metros.

Foram construídas passarelas de madeira para transpor os obstáculos existentes entre a frente de escavação e o local de transbordo/carregamento, com o objetivo de proporcionar segurança e agilidade na movimentação de material proveniente da escavação.

Avaliações visuais das laterais e do fundo da cava foram realizadas concomitantes com o decorrer da escavação, tendo como objetivo verificar as características do solo com relação à presença ou não de resíduos oleosos e/ou outro material contaminante.

Como critério de parada (da remoção), foram utilizados comparativamente os indicadores de qualidade natural como a cor, odor, textura e granulometria.

Foi realizada uma recomposição da área com material importado de jazida devidamente licenciada, compactando-se com o uso de equipamento de pequeno porte (rolo compactador, prancha vibratória ou compactador manual tipo "sapo") para evitar danos estruturais aos equipamentos do TEPAR.

Após o final do reaterro, foi retirado o sistema de rebaixamento do lençol freático e liberada a área pela ESSENCIS para que a TRANSPETRO reinstalasse os equipamentos necessários.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O sítio em estudo é descrito de modo a caracterizá-lo sob aspectos fisiográficos, operacionais e de diagnóstico ambiental.

O Terminal Aquaviário de Paranaguá (TEPAR), possui área total aproximada de 216.000 m², sendo delimitado pelas coordenadas UTM (*Universal Transverse Mercator*): 747.427 km E e 747.861 km E, 7.176.445 km N e 7.176.879 km N. A localização da área em estudo pode ser observada na figura 04.



FIGURA 04 – LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

FONTE: Relatório da ESSENCIS - ETR200903051500MSV – Diagnóstico Ambiental 2009

O local de estudo situa-se no município de Paranaguá, o qual se encontra no extremo leste do Estado do Paraná, na parte média de seu litoral, e distante cerca de 91 km de Curitiba, a capital do Estado.

O acesso ao TEPAR a partir de Curitiba se faz pela rodovia BR-277 sentido litoral do Paraná, zona urbana do município pelo bairro Emboguaçú, seguindo pela Avenida Bento Rocha até a Avenida Coronel Santa Rita.

4.1 DESCRIÇÃO DO SÍTIO EM ESTUDO

4.1.1 Geomorfologia

O Complexo Estuarino de Paranaguá (figura 05) localiza-se na parte central do litoral paranaense. Possui um eixo de direção leste-oeste formado pelas baías de Antonina e de Paranaguá com comprimento de 45 km, largura máxima de 7 km. Outro eixo é de direção norte-sul constituído pela Baía de Laranjeiras de comprimento em torno de 30 km e largura máxima de 13 km. De acordo com Angulo (1992), sua extensão perimetral é de aproximadamente 815 km. A bacia hidrográfica deste estuário tem aproximadamente 3.882 km².²⁹



FIGURA 05 - IMAGEM (SATÉLITE) AMPLA DO COMPLEXO ESTUARINO DE PARANAGUÁ
 FONTE: Relatório ESSENCIS (ETR200903051500MSV) – Diagnóstico Ambiental
 NOTA: Escala aproximada: 1:250000

Segundo Maack (2002), em seus estudos para a revisão do Mapa Geológico da América do Sul, na década de 40, a Serra do Mar do Paraná, com seu complicado tectonismo de falhas e zonas de maiores elevações das rochas

²⁹ ANGULO, R. J. Sedimentos paleoestuarinos da planície costeira do Estado do Paraná. Boletim Paranaense de Geociências. Editora da UFPR. Curitiba: UFPR, 1992. n. 40, p.115-135.

cristalinas, forma uma serra marginal, que sobrepuja os planos de nível do planalto do interior, ou planalto de Curitiba.³⁰

Ainda, segundo o mesmo autor, a Serra do Mar não representa no Paraná apenas o degrau entre o planalto do interior e o litoral, mas constitui uma serra marginal bem marcada que se eleva de 500 a 1.000 m sobre o nível geral do primeiro planalto. Ela é repartida, por conjuntos de blocos altos e baixos, em maciços diversos, os quais receberam denominações regionais especiais. A carta Geomorfológica da região pode ser visualizada na figura 06.

³⁰ MAACK, R. **Geografia física do estado do Paraná**. Curitiba: Imprensa Oficial, 2002.

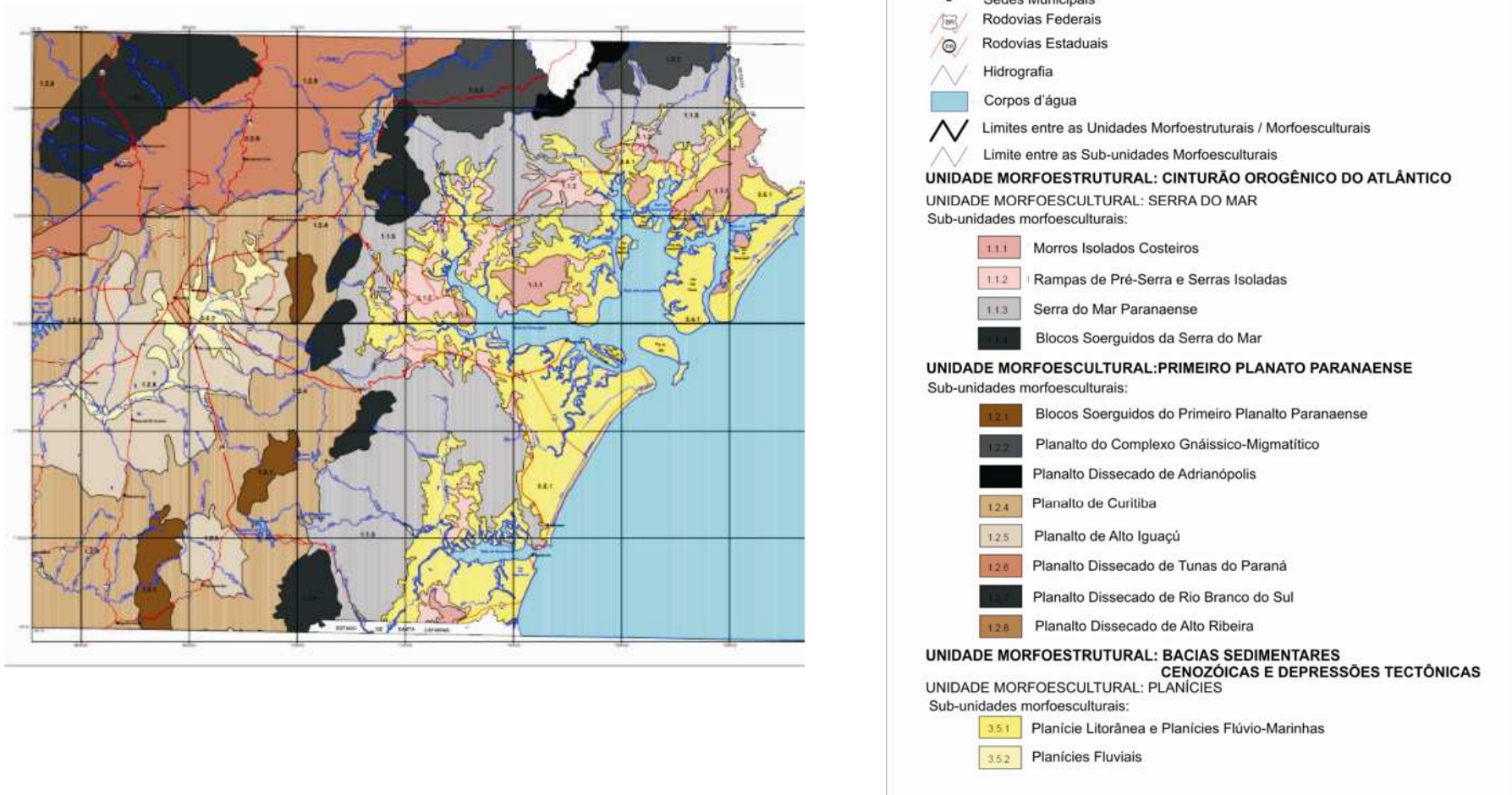


FIGURA 06 – CARTA GEOMORFOLÓGICA
 FONTE: Adaptado de Mineropar Curitiba – 2010a. ³¹

³¹ MINEROPAR. Mapas geomorfológicos – Minérios do Paraná – www.mineropar.pr.gov.br – 2010b. Acesso em 21/08/2010.

A dinâmica geomorfológica da área do TEPAR está relacionada diretamente aos processos erosivos e deposicionais que, por sua vez, se associam tanto ao regime pluviométrico anual da região (principal agente climático) quanto ao comportamento das marés.

As planícies de maré com mangues são ambientes de sedimentação argilo-arenosa, com teores variáveis de matéria orgânica, freqüentemente inundadas pelas marés de preamar e baixa-mar e pela ação dos canais fluviais meandrantés.

As planícies de maré possuem baixo declive, ocorrendo na divisa leste do TEPAR na forma de planície argilo-arenosa e bancos arenosos, seguida de vegetação de mangue.

Os fundos rasos correspondem a áreas com pouca espessura de lâmina d'água, cujas profundidades não ultrapassam 2 metros em relação ao nível do mar podendo ficar exposta durante a baixa-mar. Seus limites com áreas mais profundas podem ser tanto transicionais quanto abruptos.

Na área próxima ao píer do TEPAR, os baixios se formam no interior da Baía em sombras das correntes de maré vazante e principalmente na desembocadura do Rio Emboguaçu. Também ocorrem, principalmente, na margem esquerda do mesmo rio formando depósitos arenosos de barras de pontal (margem convexa).

A principal característica desta feição geomorfológica resulta da dinâmica imposta pela variação da maré, em seus ciclos de cheia e vazante, constituindo um importante elemento do comportamento da hidrografia local, uma vez que pode determinar influxos nos canais rasos e reversão no sistema de fluxo da água subterrânea local (ESSENCIS - ETR200903051500MSV – Diagnóstico Ambiental 2009).

4.1.2 Hidrologia

A Serra do Mar e a Planície Costeira representam as formas de relevo que mais caracterizam a região do TEPAR.

O primeiro domínio, a Serra do Mar paranaense, caracterizado pela presença de escarpas e cristas íngremes, com topos aguçados e convexos,

revelando altitudes médias entre 800 e 1000 metros, separa as planícies costeiras dos planaltos do interior do estado.³²

Esta barreira geográfica, que constitui importante fator climático local, condiciona os índices de precipitação e os padrões do sistema de drenagem da região, resultando em bacias hidrográficas marcadas por padrões de escoamento no geral dendrítico, ou seja, caracterizado por uma grande quantidade de afluentes e subafluentes, adaptado às direções dos lineamentos estruturais da Serra. Padrões em treliça com trechos retilíneos e incisões em ângulos agudos também aparecem secundariamente, condicionados pela característica do solo.

A Serra do Mar constitui também um divisor topográfico do escoamento fluvial regional, definindo como exorrêicas (dirigem-se para o mar), bacias e sub-bacias hidrográficas existentes. O curso d'água principal nestas bacias, com nascentes nas porções altas da Serra, drena as escarpas e vertentes para as planícies, meandrando por estas até o seu deságüe no mar (baías). Na planície, sofrem comumente influência das marés, muitas vezes adentrando vários quilômetros acima da foz (ESSENCIS - ETR200903051500MSV – Diagnóstico Ambiental 2009).

4.1.3 Clima e vegetação

Os índices de precipitação que caracterizam a região do TEPAR representam importante aspecto para o contexto hidrogeológico local, uma vez que, pela constituição predominantemente arenosa dos sedimentos costeiros, exercem uma maior influência nas taxas de recarga e descarga dos aquíferos locais.

Conforme revela o Mapa Climático do Estado do Paraná do ITCG/SIMEPAR (2008), figura 07, a região do TEPAR é influenciada pela presença da Serra do Mar e proximidade do oceano, apresenta clima subtropical úmido (Cfa) a superúmido (Af), com média do mês mais quente acima de 22°C e do mês mais frio superior a 18°C, sem estação seca e isento de geadas.³³

³² MINEROPAR. **Mapas geomorfológicos – Minérios do Paraná** – www.mineropar.pr.gov.br – 2010a. Acesso em 21/08/2010.

³³ ITCG/SIMEPAR. **Mapa Climático do Estado do Paraná – 1.2000.000**. Instituto de Terras Cartografia e Geodésia – www.itcg.pr.gov.br – 2010. Acesso em 21/08/2010.

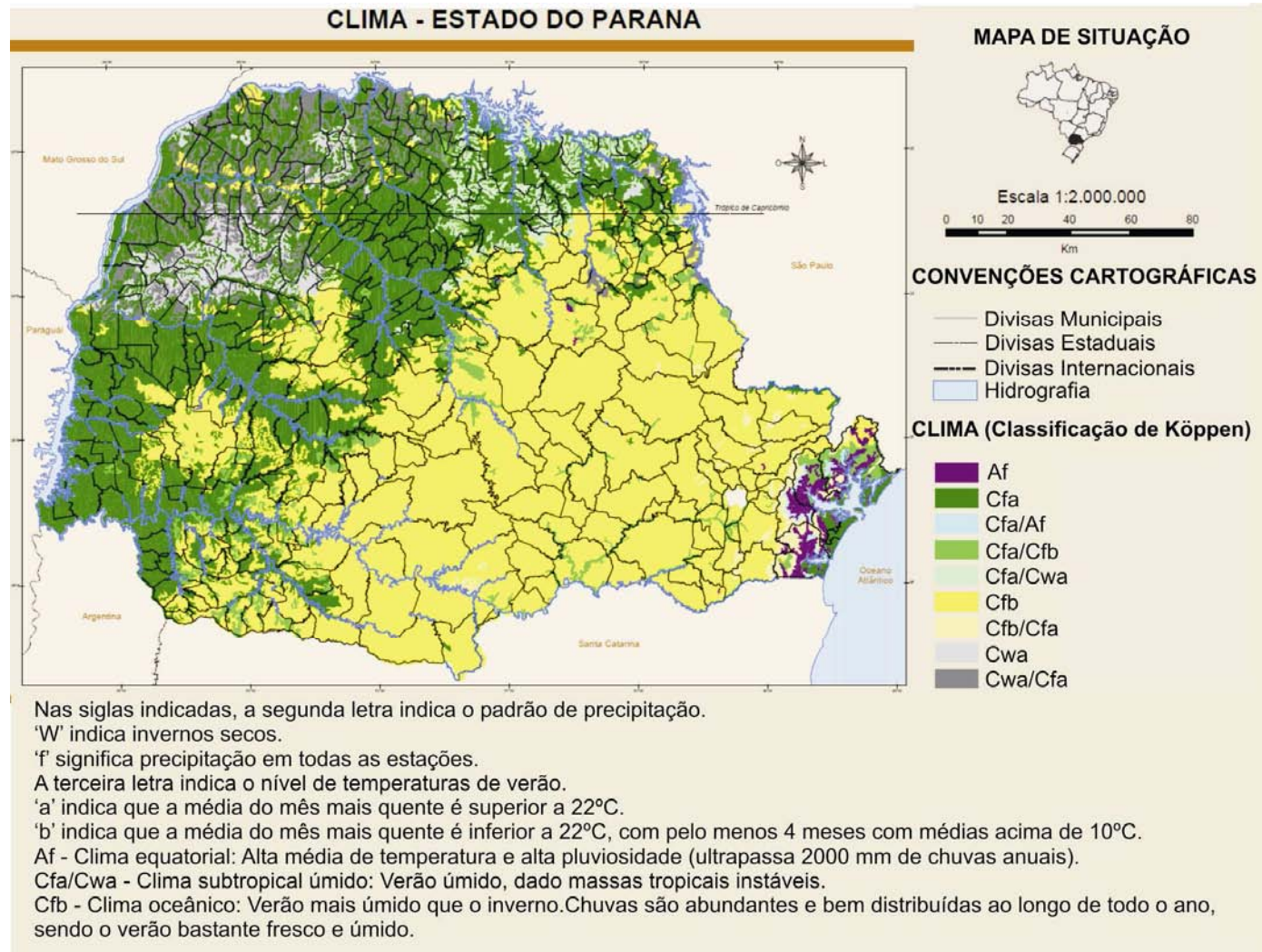


FIGURA 07 – MAPA CLIMÁTICO DO ESTADO DO PARANÁ
 FONTE: Adaptado de ITCG/Simepar

Conforme a mesma fonte, os índices de precipitação são fortemente controlados pelo relevo e cobertura vegetal associada. Na Serra, no patamar de altitudes próximas de 150m, as chuvas ultrapassam 2.300mm por ano, decrescendo, gradativamente, até 900m de altura, onde atingem o mínimo de 1.700mm. Acima deste patamar, há uma tendência de aumento das precipitações. Na planície, entretanto, as precipitações atingem patamares superiores, verificando-se em Paranaguá, máximas anuais de 2.293mm e 2.429mm.

Na planície, a vegetação de restinga e os manguezais, ocupando bordas dos cursos d'água, ilhas rasas e bancos arenosos, inundáveis na preamar e emersas na baixa-mar quando próximo ao mar, mantém a geometria e estabilização das margens destes canais, contribuindo também para atenuação de processos denudacionais.³⁴

Para o interior da planície, a presença de vegetação, através de seu enraizamento, atua como fixador de sedimento, limitando sua remoção e carreamento, situação que favorece a infiltração e recarga do manancial de água subterrânea.

4.1.4 Geologia

Dois domínios distintos representam a geologia que caracteriza a região da área do TEPAR: o Escudo Paranaense (figura 08), constituído predominantemente por rochas cristalinas do arqueano e proterozóico, mais antigas, e a Planície Costeira, constituída pela cobertura sedimentar cenozóica, mais recente (MINEROPAR,2010b).³⁵

³⁴ Os processos denudacionais são definidos como processos de remoção da superfície de uma região por efeito erosivo.

³⁵ MINEROPAR. Principais unidades geológicas do Escudo – Minérios do Paraná – www.mineropar.pr.gov.br – 2010b. Acesso em 21/08/2010.

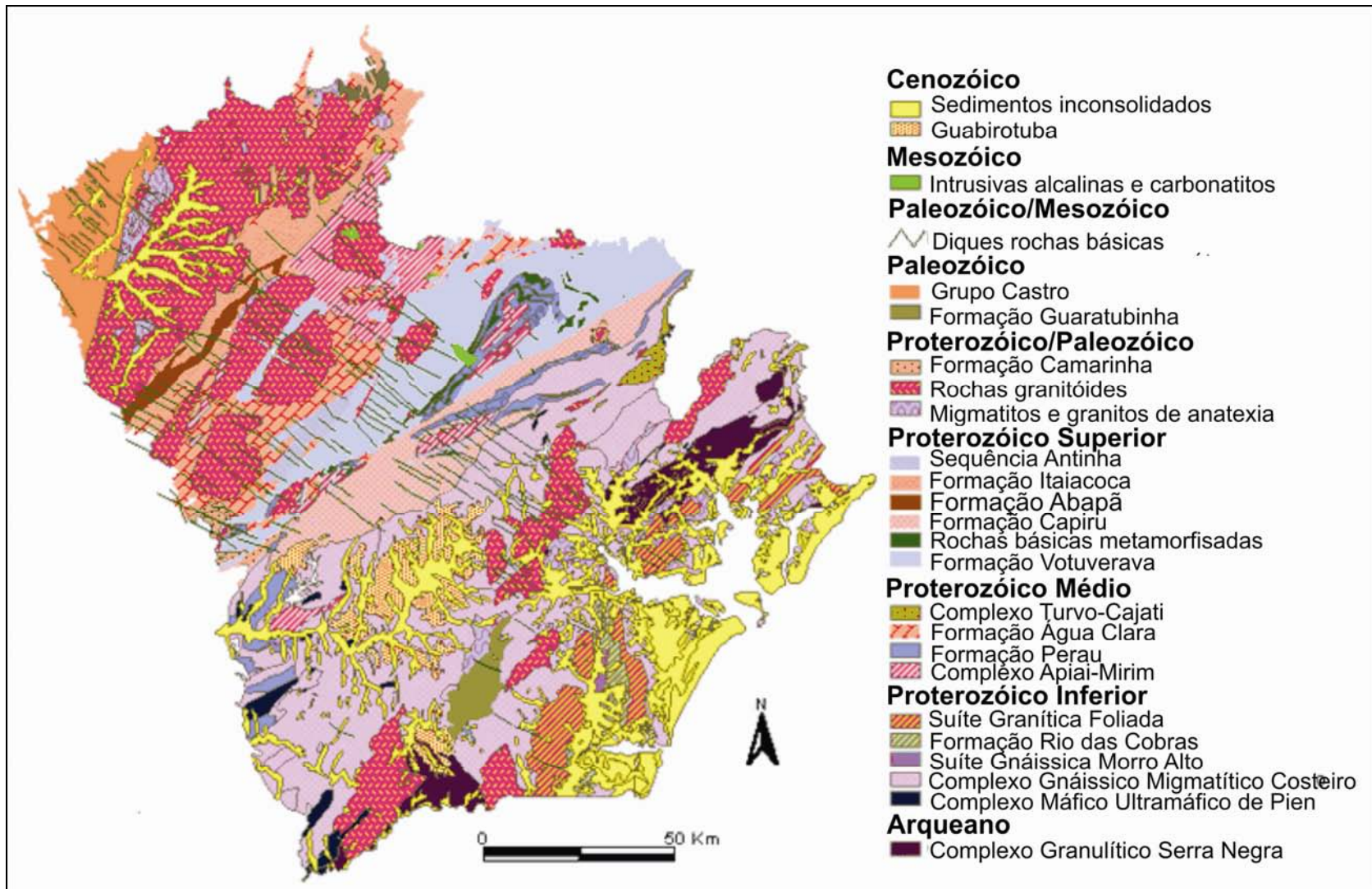


FIGURA 08 – PRINCIPAIS UNIDADES GEOLÓGICAS DO ESCUDO

FONTE: Adaptado de Mineropar

Representado na região pela Serra do Mar, o Escudo Cristalino contorna toda a Planície Costeira, apresentando-se como uma faixa que vai do nordeste até o sudoeste de Paranaguá. Caracteriza-se, nesta região, predominantemente pela diversidade de terrenos do Complexo Gnáissico-Migmatítico, representados por gnaisses ocelares, fitados e xisto feldspáticos (API_{mga}), migmatitos estromáticos em geral (API_{mge}) e suíte granítica foliada, granitos metassomáticos ou de anatexia (API_{sgf}), com idades do arqueano ao proterozóico superior, entrecortadas por intrusivas básicas jurássico-cretáceas (JK) de orientação geral NW-SE (MINEROPAR, 2010a).

A Planície Costeira está situada predominantemente em toda a porção sudeste e sul da região do TEPAR, abrangendo os municípios de Paranaguá e Pontal do Paraná, mais a sudeste (MINEROPAR, 2010a).

Caracterizando as feições mais marcantes do litoral são constituídas principalmente por sedimentos recentes de origem flúvio-marinha, no geral areias finas a muito finas, relacionados às oscilações transgressivas e regressivas do nível do mar durante o Quaternário.³⁶

Estes sedimentos estão dispostos em depósitos inconsolidados com espessura de até 30m, cercados por altos do embasamento, próximo a Paranaguá. A profundidade do embasamento tende a aumentar para leste ao longo do estuário e é provável que, próximo ao Pontal do Sul, esta profundidade até exceda os 30 metros (LESSA *et al*, 1998).³⁷

De acordo com os perfis de sondagens e de poços de monitoramento executados na área do TEPAR, a geologia caracteriza-se, em subsuperfície, pelo horizonte inicial constituído de aterro areno-argiloso marrom avermelhado, variando de 0,3 a 0,9 m de profundidade, sobreposto a um horizonte de areia fina homogênea, coloração bege, fofa, descontínuo, espessura irregular, variando de 0,4 a 1,5 m.

O terceiro horizonte, também irregular, porém, com maior persistência lateral, constituído por areia fina, raramente média, elevada maturidade textural, homogênea, cinza escuro gradando para claro, fofa, presença ocasional de conchas

³⁶ Na escala de tempo geológico, o Quaternário é o período da era Cenozóica do éon Fanerozóico que congregava as épocas Pleistocena e Holocena.

³⁷ LESSA, G. C.; MEYERS, S. R.; MARONE, E. *Holocene stratigraphy in the Paranaguá bay estuary, southern Brazil*. *Journal of Sedimentary Research*, 1998. 68(6): p. 1060-1076.

(bivalves), grãos sub-centimétricos de feldspato e mica (< 5%), completa o perfil até a profundidade investigada (aprox. 4,5 m).

4.1.5 Hidrogeologia

O município de Paranaguá e região encontram-se situados na unidade aquífera Costeira, conforme Política Estadual de Recursos Hídricos (SUDERHSA, 1998).³⁸

Atualmente, de acordo com esta Política, o Estado do Paraná está subdividido em onze unidades aquíferas, denominadas Pré-Cambriana, Karst, Paleozóica Inferior, Paleozóica Média-Superior, Paleozóica Superior, Aquífero Guarani, Serra Geral Norte, Serra Geral Sul, Caiuá, Guabirota e Costeira.

A divisão baseou-se, dentre outros aspectos da Política Estadual de Recursos Hídricos, fundamentalmente na configuração geral das unidades que compõem a geologia do Estado, no âmbito de suas relações de origem e evolução (cronostratigrafia). Para os propósitos desta caracterização, serão abordadas a Unidade Pré-Cambriana (Escudo Cristalino) e Costeira (Sedimentos inconsolidados).

Na unidade Pré-Cambriana, o armazenamento e movimentação da água subterrânea se dão predominantemente através de sistema de fraturas e fissuras que afetam estas rochas, condicionados ao seu maior ou menor desenvolvimento.

Ainda segundo a SUDERHSA (1998), este sistema aquífero encontra-se em geral recoberto por um manto de intemperismo de espessura variável, em geral entre 5 e 20 m, que lhe confere, localmente, características confinantes ou semi-confinantes, favorecendo, por outro lado, condições para uma recarga contínua através da drenagem vertical descendente (infiltração superficial).

A profundidade de ocorrência de água subterrânea nesta unidade é variável, dependendo da profundidade em que a rocha inalterada é encontrada, do tipo de fratura e o grau de interconectividade da mesma (SUDERHSA, 1998).

³⁸ SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL – SUDERHSA. 1998. *Atlas de recursos hídricos do Estado do Paraná*. Disponível em: < <http://www.pr.gov.br/meioambiente/baciahidrog.shtml>>. Acesso em: 19 jun 2007.

Por sua própria natureza, não oferece condições de armazenamento de volumes consideráveis de água subterrânea, muito embora, em situações favoráveis (zonas de fraturas desenvolvidas e abertas) seja possível obter vazões significativas.

A unidade aquífera Costeira (figura 09), com área aproximada de 2.000 km², abrangendo os municípios de Guaraqueçaba, Antonina, Morretes, Paranaguá, Pontal do Paraná, Matinhos e Guaratuba, é quase que totalmente recoberta por depósitos cenozóicos areno-argilosos de origem continental ou costeira. De modo geral, trata-se de sedimentos altamente porosos e permeáveis (SUDERHSA, 1998).

O fluxo subterrâneo é na direção dos rios e do mar. Levando-se em conta as altas taxas de precipitação pluviométrica observadas na região (média de 1.900 mm/ano) tais depósitos representam verdadeiros reservatórios de água a serem convenientemente explorados, porém a exploração de aquíferos em regiões costeiras reveste-se de complexidade, levando-se em conta a influência da cunha salina nas captações subterrâneas (SUDERHSA, 1998). O bombeamento de água subterrânea pode forçar a intrusão de água do mar no aquífero local.

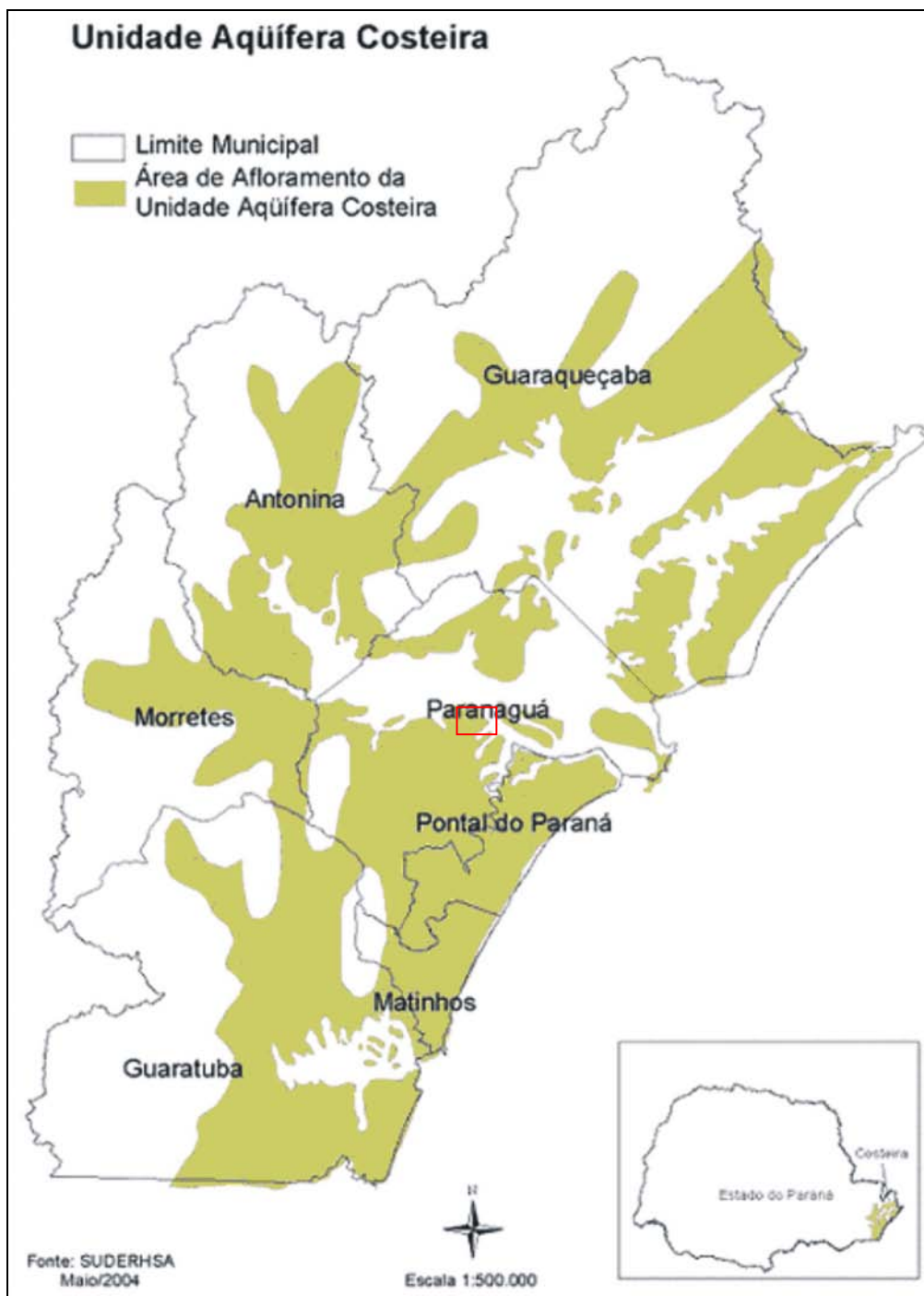


FIGURA 09 – OCORRÊNCIA REGIONAL DA UNIDADE AQUÍFERA COSTEIRA
 FONTE: Relatório ESSENCIS (ETR200903051500MSV) – Diagnóstico Ambiental 2009
 NOTA: No destaque (retângulo), a localização da cidade de Paranaguá.

O aquífero freático é altamente susceptível à influência de contaminação por fossas domésticas, pelo chorume proveniente dos depósitos de resíduos sólidos e substâncias diversas oriundas de processos produtivos industriais instalados no Município (SUDERHSA, 1998).

O TEPAR encontra-se situado na Unidade Aqüífera Costeira, representada localmente pelos sedimentos arenosos das planícies com cordões litorâneos e sedimentos flúvio-marinhos associados a manguezais.

A marcante característica do padrão de relevo que configura o Complexo Estuarino, tendo a planície costeira bordejada pelas altas altitudes dos picos e escarpas da Serra do Mar, revela e condiciona o modo como a precipitação pluviométrica é distribuída, definindo as zonas de recarga e descarga regionais dos aqüíferos existentes.

Em geral, em função de sua ampla área de exposição, a recarga ocorrida diretamente sobre os sedimentos da planície, a partir da infiltração direta da precipitação, tem importância maior, constituindo-se na principal zona de reposição dos mananciais subterrâneos.

Nos sistemas costeiros, o nível da água subterrânea encontra-se sujeito a oscilações por influência das marés. A variação dessas oscilações depende, dentre outros fatores, da conexão hidráulica entre o aqüífero e o mar, bem como da distância entre o ponto de observação e a linha da costa.

A qualidade da água subterrânea é, em geral, controlada por vários fatores como a qualidade da recarga, litologias percoladas e cunha de intrusão salina. Além disso, pelas características hidrogeológicas que os caracterizam (aquífero livre, poroso, zona vadosa normalmente pobre em argilo-minerais e matéria orgânica, nível freático raso, dentre outras), tornam estes aqüíferos vulneráveis à contaminação, de modo que o gerenciamento inadequado das ações antrópicas coloca em risco a qualidade de suas águas. (ESSENCIS - ETR200903051500MSV – Diagnóstico Ambiental 2009).

A importância da remoção do passivo ambiental do TEPAR é facilmente justificada em função de sua localização em área sujeita à inundação, sob influência de maré, com presença de mangues e lençol freático aflorado; sendo, portanto, um sistema ecológico rico e frágil sob o ponto de vista de conservação ambiental.

4.2 HISTÓRICO OPERACIONAL

As informações acerca do histórico operacional do Terminal Aquaviário de Paranaguá (TEPAR) foram obtidas através de entrevista informal com funcionários

responsáveis pelo Setor de Operação do Terminal. O TEPAR iniciou suas atividades de recebimento, armazenagem e distribuição de hidrocarbonetos derivados de petróleo em 1977. Anteriormente, entre os anos 40 e 50, havia um *pool* de armazenagem e distribuição de produtos de petróleo pertencente às companhias distribuidoras TEXACO, ESSO, SHELL, IPIRANGA e ATLANTIC (TESIA).

Em 1977, a PETROBRAS arrendou a área denominando-a de Terminal Aquaviário de Paranaguá (TEPAR) que atuou no desenvolvimento de atividades de importação e exportação no setor de derivados de petróleo, destacando os seguintes produtos: GLP (Gás Liquefeito de Petróleo), nafta petroquímica, querosene de aviação, óleo diesel, óleo combustível marítimo – MF (*Marine Fuel*), gasolina, álcool, metanol, MTBE, dentre outros.

O uso e ocupação da área do TEPAR podem ser divididos em duas etapas. A mais antiga, representadas pelas áreas 31 a 35 e 40 (esferas de GLP), e outra mais recente, caracterizadas pelas áreas 50 e 60 conforme FIGURA 11. A primeira apresenta elevada densidade de ocupação operacional, resultante da incorporação das instalações do antigo *pool* TESSIA (*pool* de armazenagem e distribuição de produtos de petróleo pertencente às companhias distribuidoras TEXACO, ESSO, SHELL, IPIRANGA e ATLANTIC) e de sua expansão operacional, que ocorreu no sentido das áreas 40, 50 e 60, como decorrência da disponibilidade de espaço físico.

A mais importante modificação de sua infra-estrutura operacional se deu com relação às plataformas rodoferroviárias de carregamento e descarregamento de produtos. Até ao final da década de 70, o TEPAR operava com seis plataformas ferroviárias e doze plataformas rodoviárias, distribuídas pelas atuais áreas 33, 34 e 35. Atualmente, uma plataforma ferroviária principal, situada na área 33 (paralela a Rua B), e uma plataforma rodoviária, situada na área 34, movimentam óleo combustível marítimo (*marine fuel* – MF), tratando-se das únicas plataformas em operação.

A segunda plataforma situava-se paralela a atual Rua 34 (área 34), com seu ramal entrecortando parcialmente onde atualmente se encontra o prédio da Operação.

O TEPAR é interligado à Refinaria de Araucária através do Oleoduto Araucária/Paranaguá (OLAPA) com 12 polegadas de diâmetro e aproximadamente 97,6 km, o qual opera em ambos os sentidos.

Atualmente, o TEPAR possui dois atracadouros distintos: o píer principal, também denominado Cais de Inflamáveis, e o secundário, conhecido também como Píer de Barcaças. Ambos podem ser operados pela TRANSPETRO, mas fazem parte do complexo portuário, ou Porto Organizado de Paranaguá.

Esses dois píeres se situam: um a leste e o outro a oeste, tendo como referencial a passarela central que lhes dá acesso, de onde também se origina o terceiro píer, denominado Píer da Cattalini, que se prolonga em direção a noroeste, mas que não faz parte das instalações do TEPAR. O quarto píer, pertencente e operado pela FOSPAR, encontra-se no setor oeste do TEPAR.

O píer principal, com seu berço externo de atracação e o seu berço interno, é utilizado tanto para carga quanto para descarga de derivados “claros” e “escuros” de petróleo, além de metanol. O píer secundário é usado apenas para abastecimento de rebocadores ou carregamento de barcaças.

Sua infra-estrutura operacional interna conta com um parque de armazenagem constituído por tanques cilíndricos metálicos verticais de superfície e três esferas para gás liquefeito de petróleo (GLP), permitindo a movimentação de cerca de 189.000m³ de derivados de petróleo. Os tanques da área 31 são destinados à movimentação de produtos do grupo dos “escuros” (principalmente o óleo combustível marítimo) e os demais para produtos do grupo dos “claros” (diesel, gasolina, nafta, metanol), conforme figuras 10 e 11.



FIGURA 10 – VISTA AÉREA DO TERMINAL AQUAVIÁRIO DE PARANAGUÁ – 2007
 FONTE: Relatório da ESSENCIS - ETR200903051500MSV – Diagnóstico Ambiental 2009
 NOTA: Estágio de instalação do tanque 60212 na área 60, ainda sem pintura.

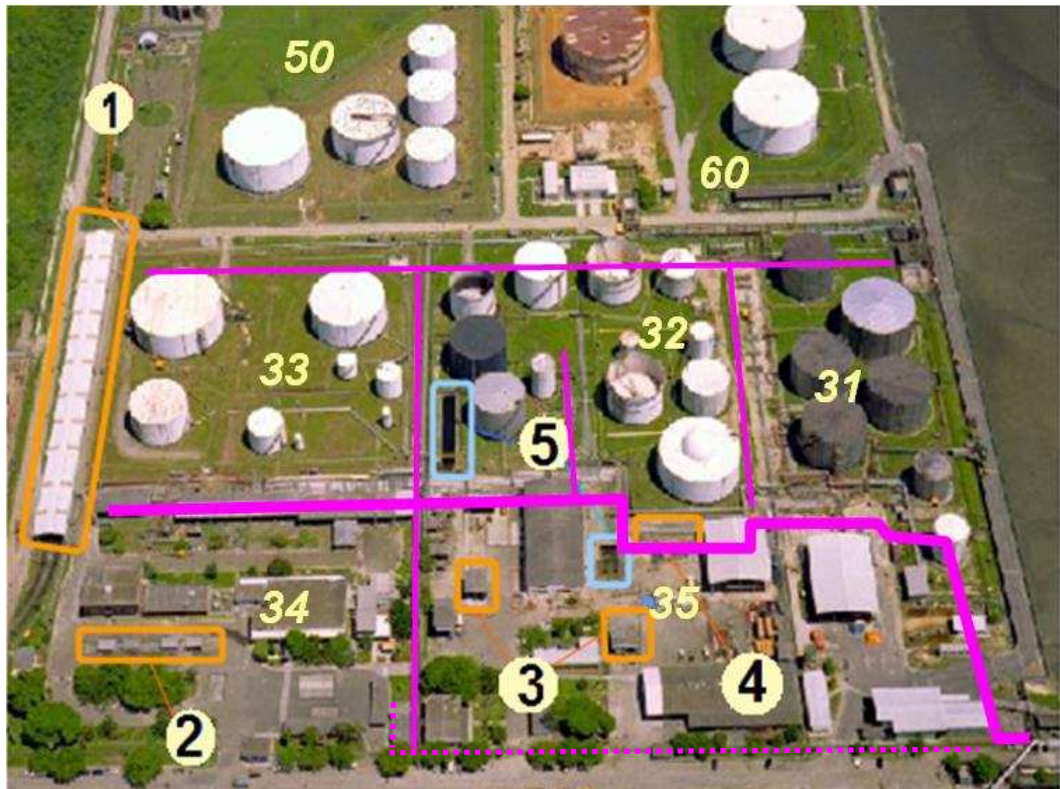


FIGURA 11 – ÁREAS OPERACIONAIS DO TEPAR: (1) PLATAFORMA DE VAGÕES, (2) PLATAFORMA DE CAMINHÕES-TANQUE, (3) E (4) ANTIGAS PLATAFORMAS DE CAMINHÕES (DESATIVADAS), (5) SISTEMAS DE SEPARAÇÃO DE FASES (ÁGUA E HIDROCARBONETOS LÍQUIDOS).

FONTE: Relatório da ESSENCIS - ETR200903051500MSV – Diagnóstico Ambiental 2009

NOTA: Em destaque (rosa), a tubovia e seus ramais secundários (linha tracejada indica segmento em subsuperfície).

A maioria dos tanques possui ano de fabricação variando de 1949 a 1986, com exceção do tanque 60212, instalado na área 60 em 2007. O TEPAR conta ainda com área de tancagem auxiliar, de menor porte, constituído por tanques de armazenagem subterrâneos (*sump tanks*) e suspensos (caldeiras e sistema GLP).

As instalações contam também com dois sistemas passivos de separação de fases (água e hidrocarbonetos líquidos) denominados A.P.I – gravitacional (área 32) e T.P.I – *tilted plate interceptor* (área 35) (figuras 12 e 13) e caldeiras recentemente instaladas na área 60.



FIGURA 12 – O SISTEMA DE SEPARAÇÃO A.P.I SITUADO NA ÁREA 35, PRÓXIMO AO PRÉDIO DO ALMOXARIFADO

FONTE: O autor (2010)



FIGURA 13 –O SISTEMA DE SEPARAÇÃO T.P.I SITUADO NA ÁREA 35, PRÓXIMO AO PRÉDIO DO ALMOXARIFADO

FONTE: O autor (2010)

A movimentação interna de produtos se dá a partir de uma rede de tubulação de variados diâmetros denominada tubovia, constituída por um ramal principal, que interliga as plataformas de carregamento/descarregamento e bombas de transferência ao píer de inflamáveis, e por ramais secundários, interligando os tanques e bombas auxiliares ao ramal principal. A movimentação de produtos no TEPAR ocorre diariamente, com destaque para a plataforma de vagões e oleoduto OLAPA. A plataforma de caminhões é operada eventualmente, quando necessário para suprir situação de maior demanda.

O TEPAR possui pátio de armazenamento temporário de resíduos, situado na área 35 e um centro de treinamento e combate a incêndios (CTCI), situado ao fundo da área 60. O pátio de resíduos apresenta base de contenção em concreto espesso, dotado de cobertura e restrição de acesso. O CTCI também possui impermeabilização em concreto e sistema periférico de drenagem oleosa, interligado a um separador de fases local.

Como parte de sua infra-estrutura de operação, o TEPAR conta com laboratório, instalado na área 34, que executa ensaios analíticos e testes de bancadas para avaliação e controle de qualidade dos produtos movimentados pela operação. Há ainda uma casa de controle situada também na área 34, próximo às bombas dos navios, utilizada para manuseio de amostras dos produtos movimentados.

Há dois depósitos provisórios de ferragens, tubulações, sucatas metálicas em geral e resíduos de alvenaria, situados próximo ao CTCl e ao fundo da área 40, atrás das esferas, ambos a céu aberto e isentos de impermeabilização.

Os arruamentos do Terminal, em sua maioria, não apresentam pavimentação, sendo constituídos de areia compactada pelo tráfego de veículos. Existem segmentos menores (ruas de acesso secundário) revestidos com paralelepípedos. O único segmento com pavimentação asfáltica (Rua F) situa-se na lateral da área 31, paralela ao limite com o mar (Baía), tratando-se de um elevado construído sobre a mesma.

Completando a descrição de sua infra-estrutura básica, existe, ao longo dos arruamentos laterais situados nos limites da área (Ruas B, D e E), um sistema periférico de canaletas em concreto destinadas a captação e drenagem dos excedentes de precipitação pluvial.

Os terminais aquaviários da PETROBRAS, que atuam no armazenamento e transportes de combustíveis líquidos derivados de hidrocarbonetos, possuem indícios históricos de acidentes ambientais e procedimentos operacionais ambientalmente incorretos, que indicavam haver extensas áreas com presença de passivos ambientais.

Esses dados foram obtidos pela equipe de remediação, e sob acompanhamento do autor através das entrevistas com funcionários, projetos civis anteriores a situação atual e fotografias antigas. As fotografias, de forma geral, apresentavam imagens de estruturas e equipamentos que não se tinham conhecimento pelos profissionais que operam o TEPAR atualmente.

O reconhecimento sobre os potenciais danos decorrentes do contacto de compostos orgânicos com o homem e/ou com o ambiente, que foi relatada por Rachel Carson (1962, citado por) fez mudar a filosofia de operação industrial. Bem como, a crescente conscientização da responsabilidade ambiental, decorrente de reuniões políticas, como Estocolmo 1972, Rio 1992, Tratado de Quioto, tem alterado a administração e gerenciamento industrial.

Assim, as empresas de processos industriais mudaram sua forma de se relacionar com o meio ambiente; em decorrência da evolução das políticas de controle da poluição industrial, iniciadas no Brasil a partir de 1975, e com a aprovação de normas legais cada vez mais restritivas nos anos subseqüentes. Estes fatos associados ao advento da certificação ISO 14001, a qual preconiza o

cumprimento dos requisitos legais aplicáveis, fez com que a PETROBRAS apresentasse uma “denúncia espontânea” ao Órgão Ambiental Estadual. Assim, ela cumpriria os requisitos da ISO, bem como justificaria suas ações de remediação do passivo perante o mercado de capitais. Deste modo, o Instituto Ambiental do Paraná emitiu “Licença Ambiental” autorizando os trabalhos de diagnóstico e remediação das áreas contaminadas.

Em função destes cenários a empresa Petróleo Brasileiro S. A. – PETROBRAS contratou a ESSENCIS Soluções Ambientais S.A. para efetuar serviços de Diagnóstico Ambiental de Áreas Impactadas e de Tratamento de Resíduos nas unidades operacionais gerenciadas por sua procuradora, Petrobras Transporte S.A. – TRANSPETRO.

4.3 DIAGNÓSTICO AMBIENTAL

Uma campanha de amostragem foi feita para avaliar os possíveis compostos orgânicos relacionados com os produtos movimentados: MTBE (metil-terc-butil-éter), BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos), PAH (Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos), TPH (hidrocarbonetos totais do petróleo) e fenóis. As propriedades físico-químicas dos principais compostos orgânicos observados neste estudo são apresentados na tabela 02.

TABELA 02 – PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE COMPOSTOS ORGÂNICOS A 25°C, INCLUINDO TEMPO DE MEIA VIDA E DOSE LETAL-ORAL

nome	Solubilidade em água (g/m ³)	Log K _{ow}	Pressão de vapor (Pa)	Tempo de meia vida (h)				DL ₅₀ (mg/kg) rato por via oral
				Ar	Água	Solo	Sedimento	
Benzeno ^{#1}	1780	2,13	12700	17	170	550	1700	930
Tolueno ^{#1}	515	2,69	3800	17	550	1700	5500	5000
p-Xileno ^{#1}	214,9	3,18	1170	17	550	1700	5500	4300
Naftaleno ^{#1}	31	3,37	10,4	17	170	1700	5500	2400
MTBE ^{#2}	51260	1,24	32663	ne	ne	ne	ne	1600

ne = não encontrado

Fonte: ^{#1} MACKAY, D. Multimedia environmental models: fugacity approach. 2.ed. Boca Raton: T&F Group. P.261. ^{#2} EPA – Chemical Summary for Methyl-Tert-Butyl Ether, 749-F-94-017a (EPA, 1994)

Não foi detectado fenóis em todas as amostras analisadas. Esse produto pode ter sido naturalmente dispersado no meio ambiente ou sofrido decomposição. O diagnóstico ambiental foi feito para os demais parâmetros. Como não havia uma norma recomendada a nível nacional, os valores analisados foram comparados aos valores das normas CETESB 2005, EPA 2004 e 2008 e Lista Holandesa (VROM, 2000). O manual da CETESB apresenta valores orientadores para o solo e a água subterrânea para o estado de São Paulo. A EPA é uma agência americana de notoriedade para proteção ambiental. A Lista Holandesa (VROM, 2000), citada pela CETESB, é também uma fonte de informação respeitada sobre meio ambiente (Ministério da Habitação, Ordenamento do Território e Ambiente). Por recomendação da ESSENCIS no projeto de remediação, o valor utilizado para decisão de remediação foi o mais restritivo dentre os três. Segue abaixo a tabela 03, onde são relacionados os valores dos parâmetros utilizados como referência no estudo do diagnóstico ambiental.

TABELA 03 - PARAMETROS PARA CONTAMINANTES

grupo	contaminante	Parâmetros para Intervenção					
		Solo			Água		
		CETESB* mg/kg seco	LH** mg/kg seco	EPA*** mg/kg seco	CETESB* mg/l	LH** mg/l	EPA 2008 mg/l
MTBE	MTBE	-	100	70 ****	-	9,2	0,012
BTEX	Benzeno	0,15	1,00	5,6	0,005	0,03	0,00041
TPH	TPH	1000	5000	-	0,6	0,6	-
PAH	Acenafteno	-	-	33000	-	-	2,2
	Benzo(α)antraceno	65	-	2,1	0,00175	0,0005	0,000029
	Benzo(α)pireno	3,5	-	0,21	0,0007	0,00005	0,000029
	Fluoreno	-	-	22000	-	-	1,5
	Naftaleno	90	-	20	0,14	0,07	0,00014

FONTE: Laboratório Analytical Solutions SA.

NOTA: * CETESB - valores orientadores para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo - industriais (CETESB, 2005); para TPH utilizou-se o valor fixado no documento Sistemas de Licenciamento de Postos (CETESB,2007).

** Lista Holandesa. Nível de intervenção (VROM, 2000)

*** EPA – Regional Screening Levels for Chemical Contaminants at Superfund Site – Uso Industrial (EPA, 2008)

**** EPA – Screening Levels for Chemical Contaminants. 2004 (EPA, 2004)

4.3.1 Solo

A caracterização geoquímica do solo foi realizada por meio de análises químicas de amostras obtidas na área global do TEPAR. Somente as concentrações de benzeno estavam acima dos limites de intervenção CETESB (2005).³⁹

A comparação dos mesmos resultados com os valores definidos pelas tabelas de referência internacional da EPA Região IX (EPA, 2008)⁴⁰, mostrou que as concentrações de acenafteno, benzo(α)antraceno e benzo(α)pireno ultrapassaram os limites de intervenção estipulados. Já na tabela de referência da Lista Holandesa (VROM, 2000)⁴¹, não se verificou citados valores de referência.

As concentrações de MTBE, que não é referenciado pela CETESB, ultrapassou os limites de concentração da EPA e Lista Holandesa (VROM, 2000).

4.3.2 Água Subterrânea

Para a caracterização de contaminantes foram coletadas amostras nos poços de monitoramento (cujas localizações serão apresentadas a seguir, em detalhes por zonas de remediação) instalados dentro do TEPAR. Esta campanha de monitoramento mostrou a presença de compostos orgânicos na água subterrânea destacando: benzeno e naftaleno, os quais apresentaram em alguns pontos concentrações acima dos valores de intervenção (CETESB, 2005).

A comparação dos resultados de água com os valores de referência da EPA (2004) revelaram que alguns compostos orgânicos (benzeno, naftaleno, benzo(α)antraceno) estavam acima dos valores de intervenção estabelecidos pela EPA – Região IX.

³⁹ CETESB, 2005. **Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo**. Decisão de Diretoria N° 195-2005-E, de 23 de Novembro de 2005. Publicado no DOE em 17/12/2005.

⁴⁰ UNITED STATES ENVIRONMENTAL AGENCY. Regional Screening Levels for Chemical Contaminants at Superfund Site. 2008. NTERNET (<http://www.epa.gov/region9/superfund/prg/files/04prgtable.pdf>).

⁴¹ <http://international.vrom.nl> - MINISTRY OF HOUSING, PHYSICAL PLANNING AND ENVIRONMENT. Acessado em 01/09/2010. Disponível também na CETESB: http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/areas_contaminadas/anexos/download/6530.pdf.

Já a comparação dos resultados com a Lista Holandesa (VROM, 2000) mostrou concentrações de benzeno, naftaleno e benzo(α)antraceno acima dos valores de referência adotados.

Como no solo, as concentrações de MTBE, ultrapassaram os limites estabelecidos pela EPA e Lista Holandesa (VROM, 2000).

4.3.3 Avaliação de risco

A avaliação de risco à saúde humana realizada para a área do TEPAR, considerando a contaminação no solo e água subterrânea, indicou riscos à saúde humana, considerando as concentrações dos compostos orgânicos: acenafteno, benzeno, benzo(α)antraceno, benzo(α)pireno, MTBE e naftaleno.

Destacam-se as vias de ingresso através da ingestão de água subterrânea, ingestão acidental de solo contaminado e inalação de vapores em ambientes abertos e fechados provenientes do solo e água subterrânea.

Com base nos resultados da análise de risco e a presença de fase livre na área, conclui-se que há necessidade de uma ação remediativa focada na remoção de fase livre e de fase dissolvida, esta ação deve focar os parâmetros acenafteno, benzeno, MTBE e naftaleno presentes na água subterrânea e dos parâmetros acenafteno, benzeno, benzo(α)antraceno, benzo(α)pireno, fluoreno, MTBE, naftaleno e pireno, presentes no solo local.

Ressalta-se que para os compostos orgânicos a ação de remediação deverá ser direcionada apenas às áreas onde a concentração no meio (solo ou água) estiver acima da concentração limite.

4.3.4 Métodos Analíticos

Conforme relatório de Diagnóstico Ambiental da empresa de prestação de serviços, ESSENCIS, (ETR200903051500MSV), as descrições dos procedimentos e métodos utilizados foram colhidas através de entrevistas informais com responsáveis técnicos da ANALYTICAL SOLUTIONS, laboratório responsável pelas análises químicas.

As metodologias utilizadas para as análises químicas do solo e água subterrânea, embora não sejam o escopo deste trabalho, encontram-se na Tabela 04 para consulta em trabalhos subseqüentes.

TABELA 04 – METODOLOGIAS ANALÍTICAS PARA CONTAMINANTES DE SOLO E ÁGUA SUBTERRÂNEA

Parâmetro	Metodologia
BTEX/MTBE	Método Interno*: PE-4.9-128 Método Externo**: EPA 5021A, EPA 8015D, EPA 8021B
PAH	Método Interno*: PE-4.9-104 Método Externo**: EPA 8270C
TPH e TPH fingerprint	Método Interno*: PE-4.9-105 Método Externo**: EPA 8015

FONTE: Tabela adaptada do relatório ESSENCIS (ETR200903051500MSV) 2009

NOTA: * Método normalizado, adaptado e validado. **Método utilizado como referência direta nos ensaios;

4.4 PROJETO DE REMEDIAÇÃO

Com base nos resultados da avaliação de risco (Relatório de Análise de Risco da ESSENCIS – Relatório ETR200810251800CJB, Novembro/2008) e informações sobre fase livre e solo contaminado com hidrocarbonetos de petróleo existentes no Relatório de Geoquímica (ESSENCIS – ETR 200809161040MSV), e no Relatório do Mapeamento de Áreas Impactadas por Deposição de Resíduos Oleosos (ESSENCIS - ETR200806091500AN, 2008) foram determinadas as áreas a serem remediadas no TEPAR (Tabela 05). Estas áreas foram estruturadas como aquelas áreas fontes de contaminação que ao final da avaliação geoquímica e de risco podem ser classificadas como AC (áreas contaminadas).

Para efeito de definição de necessidade de ação remediativa, os critérios foram os seguintes: 1) estar acima das concentrações limite; 2) apresentar fase livre; ou 3) possuir indícios de solo contaminado enterrado. A Tabela abaixo mostra estas áreas e os critérios que as classificam como tal.

TABELA 05 - LOCALIZAÇÃO E DELIMITAÇÃO DAS ÁREAS DE CONTAMINAÇÃO

Áreas	Poços de Monitoramento	Sondagens	Contaminantes
Zona de Remediação 1 - Desvio Ferroviário	PM-01, PM-13, PM-14, PM-35, PM-36, PM-45, PM-53 e PM-55	S-15, S-27, S-28, S-49, S-50, S-215, S-281 e S-303	Benzeno, MTBE, Naftaleno, Fase Livre
Zona de Remediação 2 – Laboratório	PM-29, PM-30, PM-52, PM-56, PM-57, PM-58	S-43, S-44, S-280, S-304, S-305, S-306	Benzeno, MTBE, PAHs solo, Fase Livre
Zona de Remediação 3 - PM-50	PM-19, PM-31, PM-49, PM-50 E PM-51	S-33, S-45, S-219, S-278 e S-279	Benzeno, MTBE, PAHs, Fase livre
Zona de Remediação 4 – Casa de Bombas	PM-10; PM-40, PM-54	S-24, S-54, S-289	Benzeno, MTBE

FONTE: Relatório ESSENCIS (ETR200903051500MSV) – Diagnóstico Ambiental 2009



FIGURA 14 – ÁREAS DE REMEDIAÇÃO

FONTE: Relatório ESSENCIS (ETR 200901260900CBJ) – Projeto Conceitual de Remediação

4.4.1 Zona de Remediação 1 – Desvio ferroviário

4.4.1.1 Características da contaminação da Zona 1

Esta área é composta pelos poços de monitoramento PM-01, PM-13, PM-14, PM-35, PM-36, PM-45, PM-53 e PM-55; e pontos de sondagens no solo S-15, S-27, S-28, S-49, S-50, S-215, S-281 e S-303 (figura 15). No poço de monitoramento PM-53 foi detectada fase livre de produto oleoso.



FIGURA 15 – ZONA DE REMEDIAÇÃO 1

FONTE: Adaptado do Relatório ESSENCIS (ETR 200901260900CBJ) – Projeto Conceitual de Remediação

O monitoramento de fase livre no poço PM-53 (Rua 34) ocorreu no período de 30/07 a 25/08 de 2008 (Relatório de Geoquímica ESSENCIS – RELATÓRIO ETR 200809161040MSV, 2008). Foram registradas espessuras variando de zero a 3 cm no interior do poço.

Esta zona de remediação encontra-se limitada pela plataforma ferroviária principal, situada no setor 33 (paralela a Rua B) e pelas Bombas Principais, situada no setor 34 onde sempre foi alvo de grande movimentação de óleo combustível marítimo (*marine fuel* – MF) e, tratando-se da única

plataforma ferroviária atualmente em operação (Relatório de Geoquímica ESSENCIS – RELATÓRIO ETR 200809161040MSV, 2008).

Não foi identificada a presença de fase livre nos demais poços de monitoramento existentes no entorno da área do PM-53 (PM-55, PM-14, PM-13, PM-36 e PM-45).

A Tabela 06 apresenta os resultados obtidos nas análises de solo e água subterrânea para os pontos situados nesta Zona de Remediação.

TABELA 06 - CARACTERÍSTICAS DA CONTAMINAÇÃO NA ZONA DE REMEDIAÇÃO 1

Sondagem / Poço de Monitoramento	Unid.	S-15 PM-01	S-27 PM-13	S-28 PM-14	S-49 PM-35	S-50 PM-36	S-215 PM-45	S-281 PM-53	S-303 PM-55
Profund. amostra solo	m	0,5	1,0	0,7	0,7	0,8	0,8	1,0	0,5
Nível d'água (18/11/08)	m	0,60	0,70	0,79	0,73	0,62	0,75	0,31	0,02
Benzeno solo	mg/kg								
Benzeno água	µg/L								
TPH solo	mg/kg								
TPH água	µg/L								
Naftaleno solo	mg/kg								
Naftaleno água	µg/L								
MTBE solo	mg/kg								
MTBE água	µg/L								
PAHs totais solo	mg/kg								
PAHs totais água	µg/L								

FONTE: Tabela adaptada do - Relatório ESSENCIS (ETR 200901260900CBJ) Projeto Conceitual de Remediação 2009

NOTA: Células vermelhas = valores de parâmetros acima da concentração limite.

Células amarelas = valores de parâmetros abaixo da concentração limite.

Célula azul = não analisado

Células verdes = valores abaixo do limite de quantificação do método.

Conforme Tabela 04- Metodologias Analíticas para Solo e Água Subterrânea

Três poços apresentaram valores acima da concentração limite para o benzeno na água. No PM-35 foi observado valor muito acima do valor de referência da norma mais exigente. Não haveria necessidade de remediação do solo em relação ao teor de benzeno. Deve-se notar que em somente cinco pontos a coleta de solo foi realizada na zona saturada, mesmo assim se verificou que há correlação entre os teores detectados de benzeno no solo e na água. Isto sugeriu que os poços estão próximos a área fonte de contaminação por benzeno.

Altos teores de TPH em dois poços para água subterrânea (onde os valores ultrapassam os limites de Intervenção da Lista Holandesa (VROM, 2000) para este composto que é de 600 µg/L) são observados. O TPH no solo se mostrou em concentrações anômalas em três pontos: S-27/PM-13, S-28/PM-14 e S-50/PM-36 (este último ainda apresentou valor abaixo da concentração limite), com as concentrações moderadamente altas, entretanto não ultrapassando os limites de intervenção da Lista Holandesa (VROM, 2000) que é de 5.000 mg/kg. Os dados de TPH no solo mostram que a contaminação está entre 0,6 a 1m de profundidade e nas proximidades do PM-13 e PM-14.

A única amostra de água aonde foi detectado o naftaleno foi no PM-53, onde correspondeu a 100% dos PAHs,⁴² entretanto abaixo do limite da concentração limite. No solo, o naftaleno corresponde a 39% do PAH total detectado. Segundo o relatório da empresa contrata, o naftaleno foi encontrado com uma maior concentração na água do que no solo.

O MTBE foi detectado na água do PM-35 e apresentou valor acima da concentração de intervenção. No solo, ele foi detectado no PM-55 de modo a exigir remediação. Embora se tenha detectado uma boa correlação com MTBE na água e no solo, no ponto de maior concentração na água, não se coletou solo abaixo do nível d'água. Há forte correlação entre o teor de benzeno e o de MTBE na água, o que sugere que as origens são comuns e as plumas coincidem.

A profundidade do nível d'água dos poços desta Zona de Remediação varia entre 0,02m e 0,79m, com média de 0,565m. Ao longo do ano o nível da água variou em média de 1m. Os mapas potenciométricos⁴³ elaborados indicaram a presença de um baixo potencial hidráulico no entorno do PM-53. Isto poderia ser indicativo de uma região mais impermeabilizada (Relatório de Hidrogeologia - ESSENCIS – ETR 200710111446AN, 2007). Esta condição

⁴² Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos (PAH's).

⁴³ De acordo com a **ABGE – Associação Brasileira de Geologia e Engenharia Ambiental**, disponível no site <http://www.abge.com.br> (acessado em 01/09/2010), a definição de mapa potenciométrico é a seguinte: Representação cartográfica também conhecida como mapa piezométrico, que consiste na distribuição dos potenciais hidráulicos (cotas do nível d'água) de um aquífero, permitindo caracterizar a configuração das linhas piezométricas ou equipotenciais (igual potencial hidráulico). Esse estudo fornece informações hidrogeotécnicas para subsidiar medidas e ações, preventivas ou corretivas, de problemas ambientais. Dentre as informações possíveis de ser obtidas no mapa piezométrico tem-se os potenciais hidráulicos em diferentes pontos, a geometria do fluxo subterrâneo, a inter-relação entre aquíferos, as zonas de recarga e descarga dos aquíferos e as áreas de ocorrência de drenanças.

especial observada nesta área pode ter contribuído para o aparecimento e acúmulo da fase livre no PM-53, o que poderia ter vazado da área de bombas, que fica próxima. Esta hipótese foi levantada, e o autor considerou possível como fonte provável. Entretanto, há também a possibilidade de haver uma outra fonte sob o prédio, por exemplo um tanque de resíduo oleoso enterrado inativo.

4.4.1.2 Seleção das técnicas de remediação

Na Zona de Remediação 1 – Desvio Ferroviário, conforme as concentrações dos parâmetros indicadas na Tabela 06, as substâncias contaminantes são: benzeno, MTBE, naftaleno e produto em fase livre. Não foram obtidas informações para que pudessem ser afirmado que eram transportados por trem, mas essa hipótese não está descartada. De qualquer modo, a remediação se faz necessária.

4.4.1.2.a Fase livre

Não há informações a respeito da origem da contaminação, bem como sobre o tipo de produto presente tendo em vista que há uma estação de bombeamento de óleo combustível marítimo próxima ao PM-53, mas supõe-se que ali esteja a origem e que o produto seria este. Outra possibilidade é um *sump-tank* que ficou sob a edificação do prédio da Operação do Terminal.

Com base nas informações existentes, foi inferida uma área de fase livre com 172 m². Simulando a fase livre com um modelo matemático (não fornecido pela empresa ESSENCIS), a espessura máxima aparente (área da pluma/volume de produto) na formação seria de 0,3 cm de produto não recuperável por bombeamento.

Considerando que a região da matriz que contém o produto está próxima ao nível de água, esta área contaminada estaria em média entre zero e 1 metro de profundidade. Como não há possibilidade de se remover o

produto por bombeamento, há as seguintes alternativas possíveis: escavação, extração de vapores⁴⁴ ou *bioventing*⁴⁵, ou ainda coletores passivos.

Alternativas de Remediação para Fase Livre

i) Escavação

Segundo Hyman (2001)⁴⁶, uma limitação para a escavação do solo com fase livre é que a contaminação esteja a menos de 7 metros de profundidade. Nesta Zona, a fase livre está a menos de 1,0 metro, ou seja, seria viável. Por outro lado, a sua limitação seria a existência de várias interferências, como tubulações e edificações.

ii) Tratamento via *Bioventing*

Outra opção seria o *bioventing*, isto é, estimular a degradação *in situ* dos compostos aerobicamente. A limitação é que o nível de água está a menos de 1,0 metro de profundidade e o produto, supondo que seja óleo marítimo OC-4 tem poucas frações voláteis e é de difícil biodegradação. Logo, não seria eficiente o efeito de biodegradação sobre o produto adsorvido.

iii) Coletores passivos

Sendo confirmado que o produto é mesmo OC-4 e que a espessura máxima seria de 0,3 cm no poço, a fase livre seria praticamente imóvel e, portanto, não ofereceria maiores riscos. Neste caso, se recomendaria como forma de remoção o uso de mantas absorventes ou *skimmers*⁴⁷, mas sua ação seria de longo prazo, pois o produto é muito pouco móvel.

Dentro do exposto, a escavação é técnica mais adequada.

⁴⁴ Técnica que promove a extração de vapores à vácuo dos contaminantes voláteis presentes na área não saturada do solo.

⁴⁵ A "bioventing" se baseia no estímulo da degradação *in situ* de qualquer composto degradável aerobicamente, através do fornecimento de oxigênio aos microorganismos presentes no solo.

⁴⁶ HYMAN, M. Dupont R.R. **Groundwater and Soil Remediation – Process Design and Cost Estimation of Proven Technologies**, ASCE Press, EUA.2001.

⁴⁷ Equipamento utilizado para a remoção mecânica de um líquido ou partículas de um líquido que flutua sobre outro líquido. Comumente utilizado na remoção de petróleo que flutua sobre a água.

4.4.1.2.b Fase dissolvida

A massa total de contaminante, dissolvida na água subterrânea e absorvida/adsorvida na massa de solo foi calculada considerando que a concentração medida nos PM's está em equilíbrio com a que está absorvida/adsorvida, para este estudo foi utilizado um modelo matemático que também não foi informado pela empresa ESSENCIS.

Não foi realizada a perfilagem vertical da pluma, desta forma haverá necessidade de se estimar a espessura da mesma. A variação do nível de água é de 1,0 metro, como a velocidade da água é grande, ou seja, há aprofundamento pequeno, sendo assim a empresa supõe que a espessura média seja inferior a 1,0 metro.

Com base, nas características químicas dos contaminantes as alternativas de remediação seriam:

Ex Situ (remoção e tratamento):

- a) Bombeamento e tratamento da água;
- b) Escavação e destinação do solo;
- c) Extração multifásica⁴⁸ e tratamento dos vapores e da água;

Tratamento *in Situ*:

- d) *Air sparging*⁴⁹ / Sistema de Extração de Vapores;
- e) Oxidação *in-situ*⁵⁰.

⁴⁸ Utiliza sistema de extração a vácuo que capta as fases: líquida, vapor e dissolvida presentes no solo e água subterrânea.

⁴⁹ Esta técnica consiste em insuflar ar ou oxigênio na zona saturada do solo com o objetivo de promover um desprendimento dos compostos orgânicos voláteis para serem capturados por um Sistema de Extração de Vapores na superfície.

⁵⁰ Técnica que utiliza compostos químicos altamente oxidantes, como Peróxido de Hidrogênio, Permanganato de Potássio entre outros. A sua aplicação no solo e água subterrânea promove reação química de oxi-redução dos composto orgânicos transformando-os em água, gás carbonico e sais.

Alternativas de Remediação para Fase Dissolvida

a) Bombeamento e tratamento da água

O bombeamento sem a aplicação de vácuo é uma das técnicas mais empregadas na remediação de áreas contaminadas, e por isto mesmo é também uma das técnicas com maior número de informações sobre sua aplicabilidade. Do ponto de vista das condições hidrogeológicas o local é favorável, pois, possui alta condutividade hidráulica e nível de água alto, o que significa alta capacidade de bombeamento e facilidade de instalação de poços. Além disso, tendo em vista a alta velocidade de escoamento, o bombeamento poderia atuar como barreira hidráulica, evitando que a pluma disperse além do sítio. A limitação é que por estar a maior parte da contaminação adsorvida no solo, o processo é limitado pela transferência de massa do solo para a água, o que implica em tempo de remoção muito longo, sendo que para o naftaleno o processo será mais ineficiente ainda, dado sua relativa baixa solubilidade em água. Haverá necessidade de se ter um sistema para tratar a água bombeada.

b) Escavação e destinação do solo

Segundo Hyman (2001)⁵¹, uma condição favorável para a escavação é a contaminação estar a menos de 7 m, o que é o caso. A utilização desta técnica removeria o solo aonde se encontra a maior massa de contaminantes, eliminando em curto espaço de tempo todos os contaminantes de interesse (benzeno, MTBE e naftaleno).

A maior dificuldade é a existência de interferências como tubulações e que a atividade poderá afetar as operações do terminal. Por outro lado, as áreas com maiores concentrações desta zona estão na bacia do tanque de nafta TQ-33206, área

⁵¹ HYMAN, M. Dupont R.R. *Groundwater and Soil Remediation – Process Design and Cost Estimation of Proven Technologies*, ASCE Press, EUA.2001.

sem grandes dificuldades para escavação. Outra área, junto ao PM56, é uma área com presença de borra e, portanto passível de escavação. Neste caso, o solo deveria ser destinado adequadamente externamente ou tratado no local e devolvido à cava.

Como destinação externa, pela existência de unidades relativamente próximas (Curitiba), há duas possibilidades: uma em aterros para resíduos perigosos e a outra como *blend* em fornos de cimento. Esta última tem a vantagem de se evitar responsabilidade de longo prazo (o que não ocorre em um aterro). Caso se opte por tratamento no local, a opção seria construir uma biopilha no Terminal, decompor eletroliticamente os contaminantes do solo e devolve-lo à cava.

c) Extração multifásica e tratamento dos vapores e da água

Esta técnica consiste em aplicar vácuo ao bombeamento de água subterrânea, aumentando a vazão de bombeamento possível. Com esta técnica é possível extrair simultaneamente contaminantes em fase líquida, dissolvida e vapores do solo. Por utilizar vácuo tem sido aplicada com sucesso para :

- Melhorar o bombeamento de contaminantes principalmente em formações de baixa condutividade hidráulica;
- Remover ao mesmo tempo contaminantes em diferentes fases;
- Desaguar coluna de solo contaminado (remover a água) e com o uso do vácuo remover contaminantes absorvidos atuando como um sistema de extração de vapores.

Esta última aplicação removeria o benzeno e o MTBE adsorvidos no solo, mas seria pouco eficiente na remoção do naftaleno. Do ponto de vista hidrogeológico, o local é favorável, com as mesmas considerações feitas para o bombeamento sem vácuo. Neste caso, como há necessidade de se tratar água e vapor, a opção

seria remover os contaminantes (benzeno e MTBE) por *stripping*⁵² e incineração dos gases. Como o naftaleno permaneceria na fase líquida e não seria removido por *stripping*, haveria necessidade de se tratar o efluente. Neste caso, o Carvão Ativo Granulado seria eficaz (Relatório da ESSENCIS - ETR200903051500MSV – Diagnóstico Ambiental 2009).

d) *Air sparging* / Sistema de Extração de Vapores

Neste processo, os contaminantes são removidos de três formas: por volatilização da fase dissolvida, volatilização do contaminante do solo, seguido por biodegradação. Mas existe limitação importante, que é o nível do lençol freático. Pois em média está a 0,6 m e varia cerca de 1m ao longo do ano, ou seja, em épocas chuvosas há o risco da espessura da zona vadosa (zona seca superficial do solo) ser nula. Isto inviabiliza o uso de Sistemas de Extração de Vapores, o que torna muito difícil a coleta do benzeno volatilizado pelo sistema de *air sparging*. A alternativa seria o uso de um sistema de *biosparging*⁵³, onde o foco é o uso do ar para biodegradar os contaminantes presentes eliminando a necessidade da coleta de vapores, porém o nível do lençol freático também seria grande limitador.

e) Oxidação *in-situ*

Este processo consiste na injeção de reagentes na zona saturada com o objetivo de oxidar os contaminantes presentes. Como oxidantes, utiliza-se o permanganato de sódio ou de potássio, o reagente de Fenton (peróxido de hidrogênio na presença de Ferro II) ou o ozônio. Tem a vantagem de eliminar rapidamente uma grande massa de contaminantes, inexistência de resíduos ou efluentes a serem tratados, custos reduzidos de pós-

⁵² Técnica de remoção de contaminantes em que a água contaminada é introduzida no topo da coluna e o ar injetado por baixo em contracorrente para "lavar" os gases dissolvidos na água. A eficiência depende da temperatura e da vazão de ar.

⁵³ *Biosparging* é uma técnica de remediação na qual ocorre injeção de ar na zona não saturada a fim de produzir oxigenação à biota.

monitoramento, mínima interferência com as operações do local. Como desvantagens, têm-se: grande custo inicial, geração de grandes volumes de gases em pouco tempo (como reagente de Fenton), possibilidade de recombinação de compostos, o material do aquífero pode consumir quantidades significativas de reagente dificultando sua atuação sobre os contaminantes, normalmente não são capazes de levar os contaminantes a teores muito baixos. Para EPA (2004), o uso de ozônio ou permanganato para eliminar contaminação por MTBE não é recomendada, desta forma o reagente recomendado seria o Fenton, que oxidaria também o benzeno e o naftaleno. O grande problema seria a possibilidade do tratamento gerar grandes volumes de oxigênio em uma área ativa de manuseio de produtos de petróleo. Além disso, o peróxido poderia reagir com as tubulações enterradas, principalmente neste caso com o nível de água tão próximo à superfície.

4.4.1.3 Discussão das alternativas

Para a fase livre, a única alternativa possível é a escavação, já para a fase dissolvida há outras possibilidades. Das alternativas avaliadas, a oxidação tem limitações de segurança claras, devido ao volume de oxigênio gerado e da possível reação com as tubulações enterradas no local. O *air sparging* também apresenta limitações devido à necessidade de coleta de gases para a queima e a limitação da zona vadosa em épocas de chuva – o que inviabiliza totalmente a utilização desta técnica.

A principal alternativa para tratamento da fase dissolvida envolve técnicas de bombeamento como *pump & treat* (bombeamento e tratamento) ou extração multifásica. A mais simples e com resultados mais rápidos é a escavação, onde durante a execução das atividades seria instalado um sistema de rebaixamento e tratamento da água contaminada em fase dissolvida.

As demais alternativas são mais demoradas no que diz respeito a resultados e não são tão eficientes para todos os contaminantes de interesse

como é a escavação. Com a escavação o solo poderá ser tratado internamente ou enviado para aterro ou co-processamento.

Conforme o relatório Projeto Conceitual de Remediação (ESSENCIS ETR 200901260900CBJ) e com base nas informações expostas acima, para a remediação desta Zona ficou definido:

- a) Definição e instalação de um poço de sentinela dentro desta zona;
- b) Escavação de solo contaminado, incluindo parte da zona saturada e fase livre.

Estudos complementares:

- a) Delimitação horizontal e vertical no entorno do poço com fase livre (PM-53);
- b) Definição da forma de destinação do solo removido.

4.4.2 Zona de Remediação 2 – Laboratório

Esta área é composta pelos poços de monitoramento PM-29, PM-30, PM-52, PM-56, PM-57 e PM-58; e pontos de sondagens no solo S-43, S-44, S-280, S-304, S-305 e S-306, somente no poço de monitoramento PM-52 foi detectada fase livre de produto oleoso sobrenadante (figura 16).

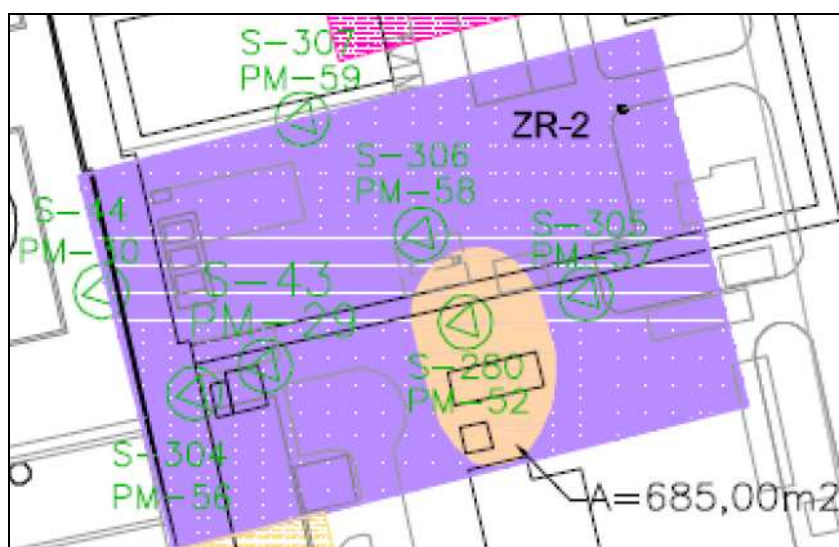


FIGURA 16– ZONA DE REMEDIAÇÃO 2

FONTE: Adaptado do Relatório ESSENCIS (ETR 200901260900CBJ) – Projeto Conceitual de Remediação ESSENCIS, 2009.

A constatação inicial de fase livre no poço PM-52 (figura 17) ocorreu em Junho de 2007 durante a instalação do poço (ESSENCIS – Relatório ETR 200809161040MSV, 2008). Foram registradas espessuras variando de 2 cm a 1,45 m de fase livre no interior do poço durante o período de monitoramento de junho/2007 a Agosto/2008.



FIGURA 17– DETECÇÃO DA FASE LIVRE NO PM-52

FONTE: Relatório ESSENCIS (ETR 200901260900CBJ) – Projeto Conceitual de Remediação



FIGURA 18– CAIXA DE PASSAGEM CONTENDO ÓLEO

FONTE: Relatório ESSENCIS (ETR 200901260900CBJ) – Projeto Conceitual de Remediação

Esta zona de remediação encontra-se, localizada próximo à Tubovia e Laboratório, situada no limite do setor 34 e 35. No relatório de Hidrogeologia da empresa ESSENCIS, estudos investigativos complementares nesta área indicaram que a possível área fonte da fase livre detectada no PM-52 seria uma caixa de passagem (figuras 18 e 19) situada atrás do Laboratório, proveniente dos produtos oleosos do Laboratório, onde foi constatado produto sobrenadante de mesma consistência do produto encontrado no poço de monitoramento.



FIGURA 19– ESCAVAÇÃO REALIZADA PARA AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES CONSTRUTIVAS DA CAIXA DE PASSAGEM

FONTE: Relatório ESSENCIS (ETR 200901260900CBJ) – Projeto Conceitual de Remediação

Em 07 de dezembro de 2007, foi instalado um sistema de bombeamento emergencial próximo ao PM-52 devido à grande espessura de produto em fase livre detectada neste ponto. O sistema foi instalado no poço de bombeamento PB-01, distante cerca de 3m do PM52. O PB01 tem de diâmetro de 4" e profundidade total de 3,5m. A bomba instalada é do tipo bexiga modelo Autopump short AP4TL da Clean Environment com separador coalescente (por gravidade), acionada por compressor de ar. A vazão máxima é de 34 L/min, (Relatório de Implantação do Sistema de Bombeamento Emergencial na Área 34 – Laboratório, ESSENCIS Relatório – ETR2008214095AN, 2008), conforme as figuras 20, 21 e 22.

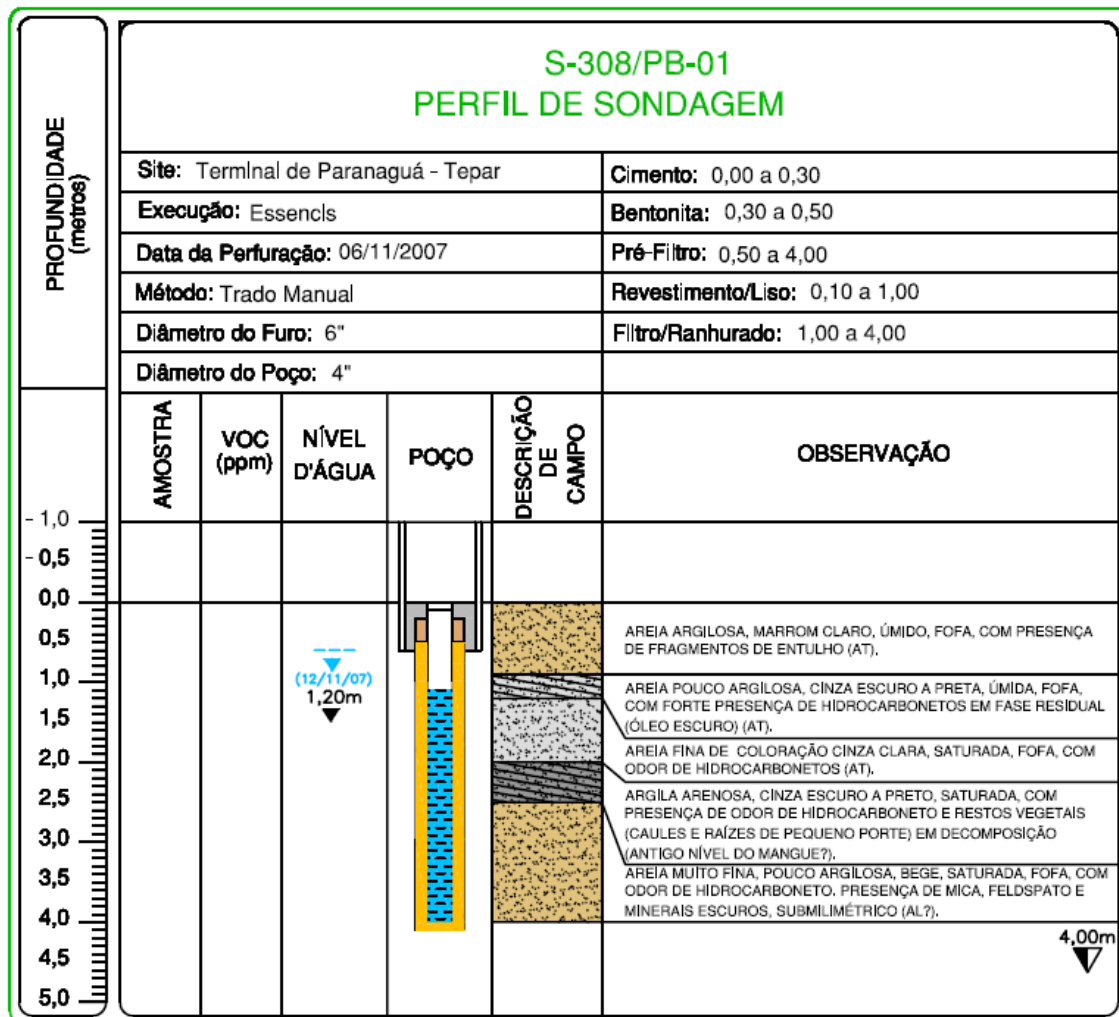


FIGURA 20 – PERFIL LITOLÓGICO E CONSTRUTIVO DO POÇO DE BOMBEAMENTO
 FONTE: Relatório ESSENCIS (ETR 200901260900CBJ) – Projeto Conceitual de Remediação

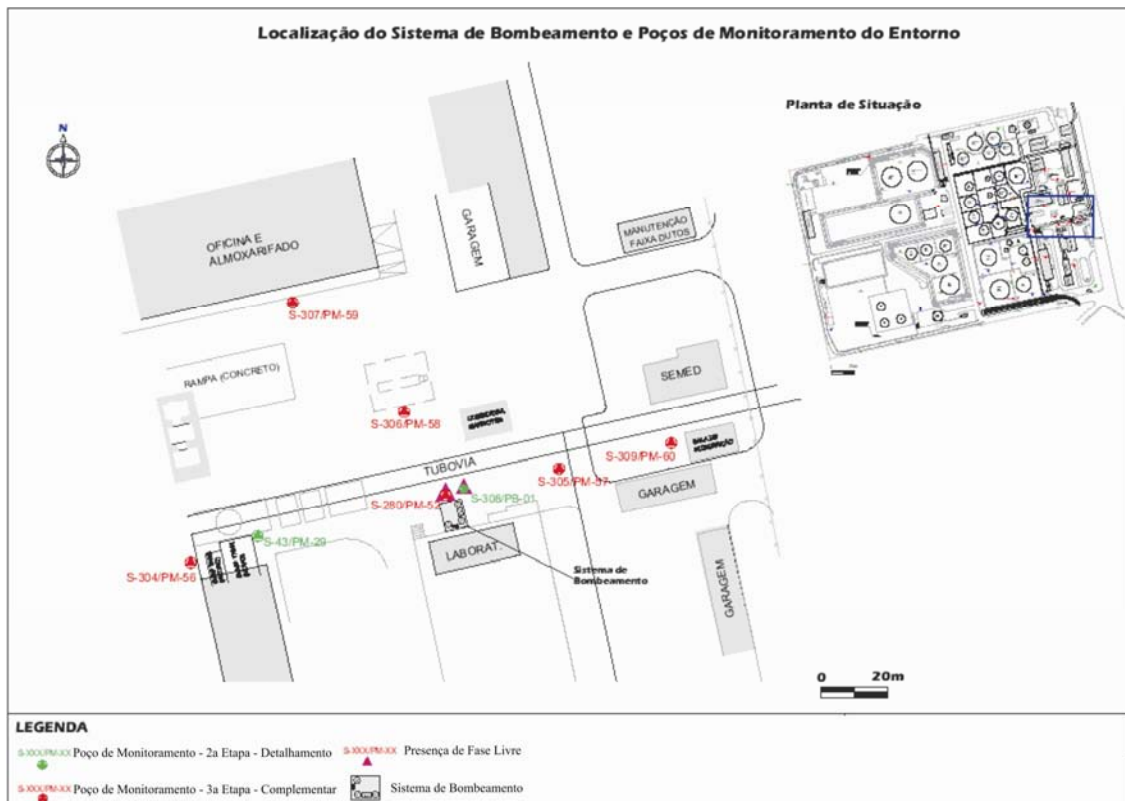


FIGURA 21 – LOCALIZAÇÃO DO POÇO DE BOMBEAMENTO - ZONA DE REMEDIAÇÃO 2
 FONTE: Relatório ESSENCIS (ETR 200901260900CBJ) – Projeto Conceitual de Remediação 2009



FIGURA 22 - DETALHES INTERNOS DO SISTEMA DE BOMBEAMENTO INSTALADO:
 PAINEL DE COMANDO DE FORÇA E DEMAIS EQUIPAMENTOS; ABRIGO
 ONDE OS TAMBORES E POÇO DE ESGOTAMENTO SE ENCONTRAM.
 FONTE: Relatório ESSENCIS (ETR 200901260900CBJ) – Projeto Conceitual de Remediação 2009

Não foi identificada a presença de fase livre nos demais poços de monitoramento existentes no entorno da área do PM-53 (PM-56, PM-57, PM-29 e PM-58) (ESSENCIS – RELATÓRIO ETR 200809161040MSV, 2008).

A profundidade do nível d'água dos poços desta zona variou entre 0,20 m e 1,51 m, com média de 1,0 m. Não há dados do volume bombeado de produto em fase livre e fase dissolvida retirada após a implantação do sistema de bombeamento, somente do nível de produto nos poços das sondagens S-308 (PB-01), S-311(PB-02), S-312 (PB-03), S-316 (PB-04), S-317 (PB-05) e S-325 (PB-06). Somente foi instalada bomba no PB-01. O monitoramento (7/12/2007 a 24/10/2008) indicou espessura máxima de 0,15 m no PB-01. Nos demais o máximo observado foi de 0,08m no PB-04.

A Tabela 07 apresenta os valores obtidos nas análises de solo e água subterrânea para os pontos situados nesta Zona de Remediação.

TABELA 07– CARACTERÍSTICAS DA CONTAMINAÇÃO NA ZONA DE REMEDIAÇÃO 2

Sondagem / Poço de Monitoramento	Unidade	S-43 PM-29	S-44 PM-30	S-280 PM-52	S-304 PM-56	S-305 PM-57	S-306 PM-58
Profundidade amostra	m	1,20	0,50	0,80	0,50	1,00	1,00
Nível d'Água	m	1,37	1,14	1,18	0,20	1,51	0,62
Benzeno solo	mg/kg						
Benzeno água	µg/L						
TPH total solo	mg/kg						
TPH total água	µg/L						
MTBE solo	mg/kg						
MTBE água	µg/L						
Naftaleno solo	mg/kg						
Naftaleno água	µg/L						
Acenafteno solo	mg/kg						
Acenafteno água	µg/L						
Benzo-β-fluoranteno solo	mg/kg						
Benzo-β-fluoranteno água	µg/L						
Benzo-α-antraceno solo	mg/kg						
Benzo-α-antraceno água	µg/L						
Benzo-α-pireno solo	mg/kg						
Benzo-α-pireno água	µg/L						
Fluoreno solo	mg/kg						
Fluoreno água	µg/L						
Fluoranteno solo	mg/kg						
Fluoranteno água	µg/L						
Pireno solo	mg/kg						
Pireno água	µg/L						
PAH Total solo	mg/kg						
PAH Total água	µg/L						

FONTE: Adaptado do Relatório ESSENCIS (ETR 200901260900CBJ) – Projeto Conceitual de Remediação

NOTA: Células vermelhas = valores de parâmetros acima da concentração limite.
 Células amarelas = valores de parâmetros abaixo da concentração limite.
 Células azuis = não analisado
 Células verdes = valores abaixo do limite de quantificação do método.
 Conforme Tabela 04

Benzeno na água subterrânea foi detectado em alto teor no PM-56 (Relatório de Análise de Risco; ESSENCIS, Nov.2008 – ETR 200810251800CBJ). No solo, não foram detectados valores acima do valor de referência.

Altos teores de TPH na água subterrânea foram observados em dois pontos, onde. No solo, foi observado apenas em um ponto.

O MTBE na água subterrânea foi detectado em concentrações altas em dois pontos. No solo, o MTBE estava abaixo da concentração limite.

No solo, vários parâmetros da lista dos PAH's foram detectados acima da concentração limite: naftaleno nos pontos S-43, S-280 e S-305; acenafteno nos pontos S-43, S-44, S-280 e S-305, benzo- α -antraceno nos pontos S-43, S-44 e S-280, benzo- α -pireno no S-43 e fluoreno no ponto S-280; indicando pontos importantes na Avaliação de Risco para estes pontos (Relatório de Análise de Risco; ESSENCIS, Nov.2008 – ETR 200810251800CBJ).

Na água subterrânea, foi observado alto teor de naftaleno para o PM-58 (Relatório de Análise de Risco; ESSENCIS, Nov.2008 – ETR 200810251800CBJ). Em média nas amostras de água, o naftaleno correspondeu a 98% dos PAH's. No solo, correspondeu a 39% do PAH total detectado. O acenafteno foi alto em quatro amostras de solo. O benzo- α -pireno foi alta apenas na S-43. O benzo- α -antraceno excedeu o limite em três amostras de solo analisadas. O fluoreno excedeu somente em uma amostra.

Das seis amostras de solo, quatro tem um ou mais compostos acima da concentração limite e possuem uma grande variação de concentração de um ponto para o outro. Estas amostras vão até uma profundidade de 1,2m. Este fato pode ser atribuído à área do TEPAR ser resultado de um aterro sobre o mangue com material heterogêneo.

A profundidade do nível d'água dos poços desta Zona de Remediação variou entre 0,2 m e 1,37 m, com média de 1,0 m (ETR 200710111446AN - ESSENCIS, 2007).

A seleção das técnicas de remediação seguiu a mesma filosofia da Zona 1. O resultado de escolha foi o mesmo devido à similaridade de condições.

4.4.3 Zona de Remediação 3 – PM-50

Esta área é composta pelos poços de monitoramento PM-19, PM-31, PM-49; PM-50 e PM-51 e pontos de sondagens no solo S-33, S-45, S-219, S-278 e S-279 (figura 23).



FIGURA 23 – ZONA DE REMEDIAÇÃO 3

FONTE: Adaptado do Relatório ESSENCIS (ETR 200901260900CBJ) – Projeto Conceitual de Remediação

Segundo o Relatório de Caracterização Geoquímica do Solo e Água subterrânea (ESSENCIS, Ago.2008 – ETR 200810241207AN), o monitoramento de fase livre no poço PM-50 ocorreu inicialmente em junho de 2007 quando o poço foi instalado. Foram registradas espessuras variando de 0 a 5 cm no interior do poço.

Esta zona de remediação situa-se no setor 35, próximo a ela, há uma área de separação de fases água-óleo (TPI) e uma antiga plataforma rodoviária de carregamento / descarregamento de diesel e querosene desativada; na frente do prédio de Serviços Gerais (antiga oficina e armazém) e Sub-Estação (Caracterização Geoquímica do Solo e Água Subterrânea - ESSENCIS, Ago/2008 – ETR 200810241207AN).

Segundo o relatório citado, não foi identificada a presença de fase livre nos demais poços de monitoramento existentes no entorno da área do PM-50 (PM-51, PM-49, PM-19 e PM-31).

Posteriormente foi realizada remoção do solo contaminado do PM-50 onde foi constatada a presença de antigas tubulações desativadas, com indício de

vazamento. Essas tubulações antigas e abandonadas no subsolo, que continham produtos em seu interior, foram removidas, eliminando as fontes ativas desta área.

A Tabela 08 apresenta os valores obtidos nas análises de solo e água subterrânea para os pontos situados nesta Zona de Remediação.

TABELA 08 - CARACTERÍSTICAS DA CONTAMINAÇÃO NA ZONA DE REMEDIAÇÃO 3

	Unid.	S-33 PM-19	S-45 PM-31	S-219 PM-49	S-278 PM-50	S-279 PM-51
Profundidade amostra	m	1,1	1,1	1	0,5	0,9
Nível d'Água	m	1,44	1,33	1,22	0,68	1,21
Benzeno solo	mg/kg					
Benzeno água	µg/L					
TPH total solo	mg/kg					
TPH total água	µg/L					
MTBE solo	mg/kg					
MTBE água	µg/L					
Naftaleno solo	mg/kg					
Naftaleno água	µg/L					
Acenafteno solo	mg/kg					
Acenafteno água	µg/L					
Fluoreno solo	mg/kg					
Fluoreno água	µg/L					
PAH Total solo	mg/kg					
PAH Total água	µg/L					

FONTE: Relatório ESSENCIS (ETR 200901260900CBJ) – Projeto Conceitual de Remediação

NOTA: Células vermelhas = valores de parâmetros acima da concentração limite.

Células amarelas = valores de parâmetros abaixo da concentração limite.

Células verdes = valores abaixo do limite de quantificação do método.

Conforme Tabela 04

Os dados da Tabela 08 mostram concentrações anômalas de benzeno para solo e água, TPH total para o solo, MTBE para o solo, acenafteno para o solo e fluoreno para o solo; ultrapassando o limite de concentração. Nenhuma amostra do solo foi coletada abaixo do nível de água.

A seleção das técnicas de remediação seguiu a mesma filosofia da Zona 1, mas exigiu apenas a remoção de solo. Pois, esta técnica, por si só, dispensava o uso de sistema de bombeamento. A retirada do solo remediava a área de modo cabal.

4.4.4 Zona de Remediação 4 – Casa das bombas

Esta área é composta pelos poços de monitoramento PM-10; PM-40 e PM-54 e pontos de sondagens no solo S-24, S-54 e S-289.

Esta zona de remediação situa-se nos limites dos setores 31 e 60 (figura 24), próximo à Casa de Bombas e ao ramal principal da Tubovia (Rua A) (Caracterização Geoquímica do Solo e Água subterrânea - ESSENCIS, Ago/2008 – ETR 200810241207AN).

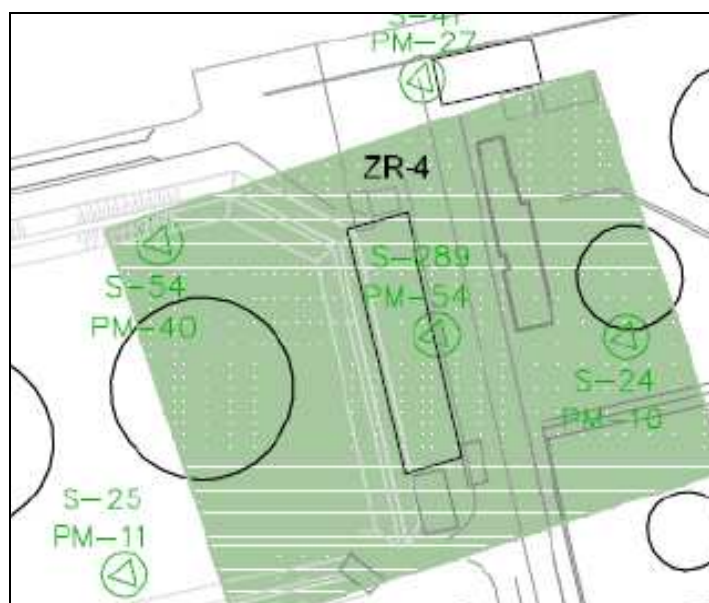


FIGURA 24 – ZONA DE REMEDIAÇÃO 4

FONTE: Adaptado do Relatório ESSENCIS (ETR 200901260900CBJ) – Projeto Conceitual de Remediação

A Tabela 09 apresenta os valores obtidos nas análises de solo e água subterrânea para os pontos situados nesta Zona de Remediação.

TABELA 09 – CARACTERÍSTICAS DA CONTAMINAÇÃO NA ZONA DE REMEDIAÇÃO 4 – CASA DE BOMBAS

Parâmetros	Unid.	S-24/PM-10	S-54/PM-40	S-289/PM-54
Profundidade amostra	m	0,6	1,2	1,2
Nível d'Água	m	0,47	1,52	0,96
Benzeno água	µg/L			
Benzeno solo	mg/kg			
TPH total solo	mg/kg			
TPH total água	µg/L			
MTBE solo	mg/kg			
MTBE água	µg/L			
Naftaleno solo	mg/kg			
Naftaleno água	µg/L			
PAH Total solo	mg/kg			
PAH Total água	µg/L			

FONTE: Adaptado do Relatório ESSENCIS (ETR 200901260900CBJ) – Projeto Conceitual de Remediação

NOTA: Células vermelhas = valores de parâmetros acima da concentração limite.
Células amarelas = valores de parâmetros abaixo da concentração limite.
Células verdes = valores abaixo do limite de quantificação do método.
Conforme Tabela 04

A profundidade do nível d'água dos poços desta Zona de Remediação varia entre 0,47 m e 1,52 m, com média de 0,98 m. Os *slug-tests* realizados nos poços desta área indicaram uma condutividade hidráulica média de $6,09 \times 10^{-2}$ cm/s, dentro das características do sítio. De acordo com o Relatório de Hidrogeologia da empresa ESSENCIS, o PM-54 encontra-se dentro de uma zona de maior condutividade, formando uma faixa em torno de 150m que vai deste o prédio da SEMED na área 35 até o poço de monitoramento PM-48 na área 60 (Relatório de Hidrogeologia - ESSENCIS, Out. 2007 – ETR 200710111446AN).

Em relação às características físicas do solo desta Zona, a análise de granulometria do ponto S-208, ponto mais próximo desta Zona, localizado no setor 60, apresentou média granulométrica de 4 a 7% de argila e 70 a 94% de areia fina.

O teor de benzeno na água subterrânea excedeu o limite da concentração em apenas um poço, enquanto que no solo não excedeu o limite.

O MTBE excedeu o limite em dois pontos de amostragem para água subterrânea e um para o solo.

Quanto aos PAH's, as concentrações observadas não ultrapassaram os limites de concentração limite no solo ou na água.

Não houve detecção de fase livre nesta zona.

A remediação foi escolhida com a mesma filosofia apresentada na Zona 1. Por outro lado, somente foi feita a remoção de solo. Coincidentemente, havia uma escavação programada para manutenção de equipamentos e tubulações. Para conciliar as atividades, optou-se pela escavação da zona seca e saturada, o que dispensou o sistema de bombeamento.

4.5 GESTÃO DA REMEDIAÇÃO DO TEPAR

Seguindo as atribuições delegadas no organograma simplificado da hierarquia (FIGURA 01) deste projeto de remediação, as ações foram tomadas no sentido de se garantir a maior eficiência possível.

Para a viabilização da fase preliminar, que envolvia entrevistas e levantamento do histórico das atividades do TEPAR, foram apontados os funcionários com maior tempo de trabalho e com envolvimento direto com a área de operação. Além desses funcionários indicarem as atividades passadas que poderiam ter deixado um passivo, também foram obtidos projetos e fotografias das antigas estruturas, o que viabilizou localizar a maioria dos elementos industriais. Infelizmente, não foi possível levantar toda a atividade pretérita devido a insuficiência de informações. Por outro lado, esta ação norteou de forma substancial o trabalho de investigação.

Cerca de um mês após o início do levantamento dos dados preliminares, as medições de VOC em campo foram iniciadas em paralelo, sendo conduzido pela equipe de geologia da empresa contratada. E, três meses após o início da fase preliminar das investigações, o imageamento da subsuperfície, a fim de confirmar os indícios da contaminação. Os trabalhos nesta fase do projeto seguiam em paralelo umas às outras; entretanto, eram apresentadas de forma distintas para a fiscalização do contrato.

Para a fase confirmatória, que consistia em instalações de poços de monitoramento, foram apresentados para a fiscalização os croquis locacionais para a autorização e viabilização desses poços. Não somente no caso dos poços de monitoramento, mas também de qualquer alteração ou instalação na área do TEPAR, a fiscalização do contrato deveria solicitar autorização da coordenação de operação do terminal – que detém a tutela da área.

As zonas foram divididas para facilitar o controle da execução dos trabalhos, uma vez que o contrato previa pagamento por medição de trabalhos executados, entregáveis e pessoal trabalhando em campo (homem hora). Esta divisão por zonas ocorreu na fase do detalhamento do projeto, também em paralelo com as instalações de poços complementares.

O solo e a água subterrânea revelaram quatro zonas de contaminação, ver quadro abaixo: desvio ferroviário (Z-1), laboratório (Z-2), entorno do poço de

monitoramento PM-50 (Z-3) e casa das bombas (Z-4). Benzeno e MTBE foram observados em todas as zonas, fase livre nas zonas Z-1, Z-2 e Z-3. Naftaleno somente na Z-1 e Z-2 e PAHs somente na Z-2 e Z-3. Os riscos desses compostos à saúde humana e ao meio ambiente exigem um tratamento do solo.

Quadro Resumo da Remediação			
Zona de Remediação	Contaminantes	Sistemas de Remediação	Avaliação do Autor
Zona de Remediação 1 – Desvio Ferroviário	- Benzeno - MTBE - Naftaleno - Fase Livre	- Definição e Instalação de poços de sentinela; - Escavação de solo contaminado, incluindo parte da zona saturada e fase livre .	Fonte da contaminação não identificada e necessita de trabalho complementar.
Zona de Remediação 2 - Laboratório	-Fase Livre -Benzeno -MTBE -Naftaleno -Benzo(a)antraceno -Benzo(a)pireno -Acenafteno -Fluoreno	- Definição e Instalação de poços de sentinela; -Escavação de solo contaminado, incluindo parte da zona saturada e fase livre.	Fonte identificada e corrigida.
Zona de Remediação 3 PM-50	-Fase Livre -Benzeno -MTBE -Acenafteno -Fluoreno	- Escavação de solo contaminado, incluindo parte da zona saturada e fase livre.	Fonte identificada e corrigida.
Zona de Remediação 4 – Casa de bombas	-Benzeno -MTBE	- Escavação de solo contaminado, incluindo parte da zona saturada.	Fonte identificada e corrigida.

QUADRO 01 - QUADRO RESUMO DA REMEDIAÇÃO
FONTE: O autor (2011)

Para a intervenção nas áreas, após a aprovação do método remediativo, foram realizadas reuniões com a participação do autor, com os representantes do departamento de manutenção do terminal (elétrica e caldeiraria), da coordenação de operação do terminal, segurança do trabalho, da engenharia e de outras partes interessadas que pudesse de alguma forma ser afetadas com os trabalhos. Nessas reuniões eram expostas as ações e reunidas às recomendações de cada área envolvida, que poderia propor mudanças ou até mesmo paralisar o processo na área ou local de interesse.

Outra ação de cunho participativo foram as liberações diárias em campo realizadas pela equipe de segurança do trabalho que avaliavam os procedimentos e aprovavam ou rejeitavam a execução. Em se tratando de obra de engenharia, todas elas deveriam apresentar projeto executivo prévio para aprovação.

Houve muita dificuldade para se trabalhar em áreas próximas aos tanques e também quando envolvia a remoção de uma interferência (telefone, cabeamento subterrâneo, calçada, envelopes com cabos lógicos, *pipe rack's*, etc). Neste caso, a coordenação de operação do terminal analisava os riscos que envolviam a intervenção em detrimento da integridade do terminal. Especificamente no caso das remoções realizadas dentro das bacias dos tanques, os cuidados eram tomados no sentido de não se correr o risco de um desalinhamento da estrutura do tanque. Para o caso das tubulações, essas poderiam alterar e danificar as bombas, se ocorresse um deslocamento do centro do eixo.

Para a destinação do solo contaminado, as licenças ambientais dos terceiros e subcontratados, foram lançadas em sistema informatizado de controle de licenças ambientais para não se perder o controle dos vencimentos. Os manifestos de transporte de resíduos não poderiam ser emitidos sem que as licenças estivessem válidas e os caminhões dos transportadores devidamente documentados e identificados.

Durante o processo de recolocação do solo, houve questionamentos por parte da coordenação de operação do terminal com respeito às práticas de compactação que não estavam obedecendo às proposições apresentadas nos projetos civis. Neste documento, o compromisso era de uma compactação em camadas com equipamentos especificados, entretanto estavam sendo realizadas com as conchas das retroescavadeiras. O pleito era pertinente e o problema foi corrigido nos trabalhos seguintes com os devidos cuidados. Foram utilizados rolos compressores de pequeno porte e compactadores manuais.

A gestão dos trabalhos de remediação do TEPAR garantiu que não houvesse em nenhum momento paralisação das operações em detrimento das atividades de diagnóstico, bombeamento de fase livre ou remoção dos passivos ambientais. Este trabalho de gestão mostrou-se eficiente em diversas áreas, sendo as principais:

- Correta instrução do processo para solicitação de licenciamento ambiental para a os trabalhos;

- Acompanhamento criterioso do levantamento de dados para o diagnóstico;
- Acompanhamento da busca por jazida licenciada fornecedora de material não contaminado;
- Fiscalização e acompanhamento da busca por empresas transportadoras licenciadas e capacitadas para o trabalho;
- Acompanhamento das extrapolações das áreas demarcadas para remediação;
- Acompanhamento da recolocação do material não contaminado no reaterro;
- Intensa fiscalização na correta compactação do reaterro (que deve ser previsto em projeto anterior);
- Recolocação dos equipamentos removidos por conta da remediação e recomposição paisagística do local sanado.

Apresentamos a seguir evidências fotográficas dos trabalhos de remediação nas áreas apresentadas nesta dissertação. Salienta-se, ainda, que de acordo com os resultados, as áreas mapeadas totalizaram aproximadamente 5.000 m², implicando em um volume de cerca de 30.000 m³, já considerada uma taxa de empolamento (excesso retirado das bordas da cava) em torno de 25%.

No TEPAR foram bombeadas aproximadamente 14.570 m³ de água contaminada com hidrocarbonetos e deste montante foram separados 415 litros de produto em fase livre. Esse volume de bombeamento contempla os sistemas de rebaixamento e tratamento para subestação (Zona 3) e os sistemas de bombeamento de fase livre no desvio ferroviário (Zona 1) e laboratório (Zona 2).

Na Zona 1 (QUADRO 02), foi instalado um poço de bombeamento para se remover a fase livre. Essa ação foi paliativa por dois motivos: primeiro porque o produto em fase livre apresentava uma fina espessura, não recuperável; segundo porque se optou pela escavação como técnica de remediação. Entretanto, como já citado, a fonte da contaminação não foi identificada e o poço de bombeamento assumiu papel de controle da fase livre.

Também durante as escavações nas bacias dos tanques, houve uma grande preocupação com a proximidade das estruturas dos tanques. O passivo que foi

removido estava a uma profundidade tal, que praticamente obrigou a uma postura precavida quanto aos trabalhos nas proximidades das estruturas.

Importante salientar que por não haver interferências sob o solo, esse trabalho foi realizado de forma mecanizada.

Por não haver sido identificada a fonte da fase livre, esta Zona deverá ser alvo de novas investigações. Até essa identificação, o sistema de bombeamento deverá permanecer no local.

AVALIAÇÃO ZONA DE REMEDIAÇÃO 01

Situação inicial da remediação



Imagem 01 - Início das atividades de remediação da Z-1.



Imagem 02 - Poço de bombeamento utilizado na remediação da Z-1.

Situação durante a remediação



Imagem 03 - Visualização da escavação e remoção do solo contaminado com substâncias derivadas do petróleo (borra oleosa).

Situação após a remediação



Imagem 04 - Processo de fechamento da cava com solo novo.



Imagem 05 - Visualização da área remediada, já com a cava totalmente fechada.



Imagem 06 – Recomposição da área remediada.

QUADRO 02 - AVALIAÇÃO ZONA DE REMEDIAÇÃO 1
FONTE: O autor (2010)

Na Zona 2, onde foi constatado o maior volume de fase livre no poço de monitoramento, os trabalhos demoraram a iniciar por vários fatores. O principal deles foi o fato de haver três árvores exatamente sobre a área que seria interferida, e necessitavam de licença para corte. Também o vão a ser trabalhado era muito estreito e estava entre a estrutura do laboratório e a tubovia (tubulações que ligam o terminal aos navios para carregamento e descarregamento).

A fim de remover a fase livre, em caráter emergencial, foi instalado um sistema de bombeamento que permaneceu em funcionamento até que o local pudesse ser escavado. A identificação da fonte ativa, que era uma caixa de inspeção da saída do laboratório, que estava rompida e com vazamento na parte inferior, trouxe um caráter conclusivo aos trabalhos realizados.

As escavações alcançaram uma profundidade inesperada, conforme QUADRO 03, o que demandou projeto da equipe de engenharia da empresa contratada (submetida a aprovação da equipe de segurança do TEPAR), no sentido de se garantir uma estrutura de escoramento capaz de suportar a pressão lateral.

Os trabalhos neste local também demandaram cuidados quanto à proximidade com as estruturas de sustentação da tubovia. Essa demanda foi alvo de diversas reuniões com a coordenação de operação do terminal, uma vez que a movimentação acidental das tubulações poderia acarretar na descentralização dos eixos das bombas. Não foi registrada nenhuma ocorrência desta natureza.

O solo contaminado foi removido e recomposto, e a fonte ativa sanada. No local ainda existe um poço de sentinela que permanecerá como fonte de material para análise visando o acompanhamento.

AVALIAÇÃO ZONA DE REMEDIAÇÃO 02

Situação inicial da remediação



Imagem 01 - Caixa de inspeção na saída do laboratório com a tubulação rompida.



Imagem 02 - Início das atividades de retirada do solo. Como pode ser visto nas fotos é uma área com diversas interferências obrigando que a remoção do solo seja manual.



Situação durante a remediação

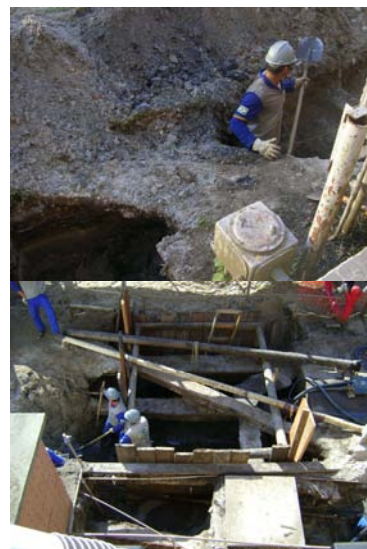


Imagem 03 - Visualização do processo de remediação manual, devido às interferências como cabos ópticos, de energia e telefone, além de tubulações diversas. Trabalhos constantemente acompanhados para evitar acidentes.

Situação após a remediação



Imagem 04 - Zona recebendo o solo novo para o fechamento das cavas.



Imagem 05 - Área remediada já com cobertura vegetal.

Na Zona 3, houve a detecção de fase livre, entretanto optou-se por não instalar poço de bombeamento. O local, sem movimentação de produto ou equipamentos responsáveis pela operação do terminal, era favorável a um trabalho mecanizado para se alcançar rápidos resultados.

Uma plataforma de distribuição de diesel desativada, como pode ser visto no QUADRO 04, foi removida e sob a laje encontrados diversas tubulações e válvulas desativadas, entretanto com produtos em seu interior.

Nas proximidades desta plataforma, em frente ao prédio da Manutenção, dentro desta Zona 3, também foi removida uma grande laje que abrigava outros equipamentos e tubulações para transferência de produtos. A maioria destes tubos apresentava algum tipo de resíduos de produto em seu interior. Também foram encontradas estruturas ferroviárias (dormentes e trilhos), que faziam parte das estruturas da TESIA. As lajes foram fragmentadas com rompedor e removidas com retroescavadeiras. As estruturas metálicas foram removidas com retroescavadeira e caminhão munck.

Para realização deste trabalho, áreas menores foram delimitadas para rebaixamento do lençol freático. Desta forma não houve dificuldade de se realizar a remoção. As águas, oriundas do rebaixamento foram tratadas em um sistema composto por separador água e óleo, aeração, coluna de carvão ativado, análise e descarte.

Houve alguma dificuldade com respeito aos trabalhos nesta zona devido ao ruído produzido que prejudicava a equipe de manutenção (engenheiros, eletricitas e mecânicos). Também as vibrações causaram desconforto nas instalações próximas ao local.

As tubulações com produtos, que representavam a fonte da contaminação, foram removidas. O solo foi recomposto, compactado e pavimentado como foi encontrado originalmente. Neste local ficaram os poços para acompanhamento futuro das condições do solo e da água.

AVALIAÇÃO ZONA DE REMEDIAÇÃO 03

Situação inicial da remediação



Imagem 01 - Área a ser remediada. Antiga plataforma de distribuição de diesel (desativada).



Imagem 02 - O pátio de concreto sendo removido.

Situação durante a remediação



Imagem 03 - O solo sendo removido.



Imagem 04 - Visualização do solo com indicativo de contaminação.



Imagem 05 - Tubulação desativada contendo produtos e causando contaminação.

Situação após a remediação



Imagem 06 - Área recuperada. Além da remediação a empresa retirou antiga plataforma de distribuição de diesel.



A Zona 4, cujas imagens estão apresentadas no QUADRO 05, foi o local com as melhores condições de trabalho. Este local está distante dos prédios de trabalho das equipes do TEPAR, e também não está em área de grande circulação de pessoas, o que favoreceu o trabalho, pois não houve interrupções significativas das atividades.

Este local não apresentava fase livre e a escavação já fazia parte do cronograma dos trabalhos do terminal para manutenção das tubulações que estão na área. Desta forma, a opção pela escavação não representava exatamente uma alternativa.

O único ponto de atenção nos trabalhos de remediação desta zona estava por conta da proximidade com o mar, fator contornável uma vez que não havia sistema de bombeamento e o rebaixamento do lençol abrangeeria uma área bem menor do que as zonas anteriores.

Durante os trabalhos de escavação, em vistoria das laterais da cava, observou-se um avanço em direção às bombas. Os trabalhos de escavação avançaram para o interior das instalações das bombas e a uma profundidade que exigiu projeto de engenharia para escoramento, conforme pode ser visualizado na imagem 02 do QUADRO 05.

O material encontrado nesta zona era produto de descarte de borra, uma prática aceita em tempo pretérito, e possíveis vazamentos antigos das válvulas das instalações das bombas.

A área foi recomposta com cuidadosa compactação, e recoberta com pó de pedra seguindo a condição original encontrada.

O Relatório das Atividades Realizadas no TEPAR (ETR1101141020EVF, 2011), cujo conteúdo detalha todos os trabalhos, foi entregue à PETROBRAS que procedeu o devido encaminhamento ao Instituto Ambiental do Paraná - IAP, visto que é uma condicionante da licença que autorizou a remoção do passivo.

AVALIAÇÃO ZONA DE REMEDIAÇÃO 04

Situação inicial da remediação



Imagem 01 - Preparo e demarcação da área a ser remediada. Devido às interferências, torna-se necessário uma escavação manual.

Situação durante a remediação



Imagem 02 - Visualização da área já escavada.

Situação após a remediação



Imagem 03 - A cava sendo recomposta com solo sem contaminantes.



Imagem 04 - Solo recuperado já com cobertura vegetal.

QUADRO 05 - AVALIAÇÃO ZONA DE REMEDIAÇÃO 4
 FONTE: O autor (2010)

5 CONCLUSÃO

A conscientização do efeito deletério de produtos industrializados, as novas filosofias prevencionistas e de mitigação decorrente de reuniões internacionais e as exigências decorrente de normas de certificação tem exigido que as empresas criem ações para preservar e mitigar o meio ambiente. Essa mudança de política industrial fez com que a PETROBRAS fizesse uma denúncia espontânea ao Instituto Ambiental do Paraná (IAP) para remediar o solo e/ou águas subterrâneas do Terminal Aquaviário de Paranaguá (TEPAR).

O diagnóstico ambiental do solo e da água subterrânea do TEPAR foi feita através de dados históricos, geográficos e por entrevistas. O histórico de operação foi adequadamente resgatado através de uso de mapas, fotografias antigas e entrevistas informais. Isto permitiu selecionar o perfil de contaminantes, bem como investigar as possíveis fontes de contaminação.

O diagnóstico ambiental feito por coleta de solo e de poços de monitoramento utilizando malha quadrada de amostragem de 10 ou 15m e se revelou adequado para identificar a maioria das fontes poluidoras. Havia falta de uma norma brasileira de âmbito nacional, o que dificultou a tomada de decisão para a necessidade de remediação. O diagnóstico ambiental utilizou os parâmetros para solo e águas subterrâneas industriais das normas CETESB (2005), EPA Região IX (EPA, 2004 ou 2008) ou Lista Holandesa (VROM, 2000). Os limites estabelecidos pelas normas variam muito e não foi encontrada justificativa para essas recomendações. Mesmo assim, o critério adotado para se remediar foi o de a água e/ou solo apresentarem concentrações acima dos limites de intervenção para o menor valor das três normas. Assim, o tipo de decisão adotado para mitigação do TEPAR favoreceu a remediação de uma área maior do que se usasse uma norma, o que provocou um gasto maior. Por outro lado, pode ser afirmado que a mitigação foi mais severa.

Os compostos orgânicos observados na análise química, acenafteno, benzeno, benzo(α)antraceno, benzo(α)pireno, MTBE e naftaleno, estavam compatíveis com o padrão de componentes de produtos manipulados no TEPAR e de acordo com o histórico do sítio. Assim, confirma a importância deste levantamento, bem como confirma que a operação era realizada sem o mesmo cuidado ambiental atualmente adotado.

A presença de fase livre e o solo contaminado revelaram a necessidade de remediação de 5% da área do TEPAR. Quatro zonas de contaminação distintas foram determinadas: desvio ferroviário (Z-1), laboratório (Z-2), entorno do PM-50 (Z-3) e casa de bombas (Z-4). A casa de bombas (Z-4) apresentou dois parâmetros fora do limite de intervenção (MTBE e benzeno), porém não houve detecção de fase livre. O desvio ferroviário (Z-1), o laboratório (Z-2) e o entorno do PM-50 (Z-3) apresentaram teores de benzeno, MTBE e PAH's acima do limite de intervenção e fase livre.

A remediação das quatro áreas foi realizada por escavação do solo e substituição por solo sem contaminação e licenciada. A simplicidade da técnica permitiu a operação contínua do TEPAR e apresentou resultados rápidos. Um poço de bombeamento na zona Z-1 (desvio ferroviário) e outro na zona Z-2 (Laboratório) foram instalados, o que era compatível com a não identificação da fonte para a Z-1 e com o grande volume fase livre a Z-2. O bombeamento na Z-1 ainda permanece presente até a descoberta da fonte de contaminação.

As águas do rebaixamento do lençol freático, também foram tratadas através de separação de fases, aeração e coluna de carvão ativo, e posteriormente analisadas para o descarte, o que permitiu a eliminação destes contaminantes.

Todas as zonas foram recompostas pelo processo de escavação e introdução de solo não contaminado sem prejuízo à operação do TEPAR, o que permite afirmar que foi um sucesso. Ainda, algumas fontes (Z-2, Z-3 e Z-4) foram eliminadas com facilidade como decorrência da escavação.

O volume de solo retirado foi 275% maior do que o previsto, decorrentes de margem de segurança e constatações de necessidades complementares, por outro lado, o trabalho foi realizado sem restrições dentro da filosofia de responsabilidade ambiental.

Os dados dos relatórios gerados pela empresa prestadora do serviço de remediação estavam dispersos em vários volumes, o que dificultou a composição dos dados em tabelas bem como a análise para uma tomada de decisão operacional. A falta de análise de alguns parâmetros em alguns poços de monitoramento, só pôde ser percebida no desenvolvimento desse trabalho.

Os técnicos de empresa, ao longo dos anos do contrato, não respeitaram a utilização de uma referência única padrão, como exemplo para o MTBE para solo, referenciado pela EPA 2004 e todos os demais contaminantes pela EPA 2008.

O grupo de trabalho para gerenciamento da remediação se revelou adequado para a obra, sendo composto pelo Gerente de Meio Ambiente, ligado à presidência da TRANSPETRO, pelo Coordenador de Meio Ambiente Regional, Profissional de Meio Ambiente na fiscalização local. A empresa contratada foi representada pelo Gerente do Contrato e por dois segmentos de atribuição (geologia e engenharia). O Instituto Ambiental do Paraná - IAP recebia os relatórios do andamento dos trabalhos. O IAP designava seus técnicos para visitas de campo com a finalidade de renovação da autorização ambiental para remediação.

A remediação da área do TEPAR confirma a credibilidade da empresa em diversos âmbitos, do ponto de vista da operação preventivistas, da economia por meio do Índice de Sustentabilidade, etc. Do mesmo modo, a remediação cumpriu um requisito legal que é uma das diretrizes para se obter e manter a certificação ISO14001.

A situação ideal para o sucesso da remediação de um terminal está ligada à estrutura de gestão montada para tal e a contratação da empresa com o perfil específico para realizá-la. Assim, a contratação dos trabalhos para levantamento do diagnóstico da área deveria ser independente e em tempo diferente do processo de contratação para os serviços de remediação. Neste caso, a segunda empresa, contratada para a remediação, poderia lançar uma análise crítica sobre os resultados da primeira (o que agregaria ainda mais informações à PETROBRAS) e estaria completamente desvinculada do primeiro processo (o que evitaria os vícios decorrentes das limitações impostas pela capacidade da empresa com as tecnologias envolvidas). No entanto, a administração das empresas nem sempre podem obedecer a esse critério, como ocorreu no caso do TEPAR, pois a política de gerenciamento tem expectativa de economia com a contratação de apenas uma empresa.

REFERÊNCIAS

ABGE – Associação Brasileira de Geologia e Engenharia Ambiental. Disponível em: <www.abge.com.br> Acesso em: 01 set. 2010.

AGENDA 21, Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. Disponível em: <www.ultimaarcadenoe.com/agenprin.htm> Acesso em: 16/02/2010.

ANGULO, R. J. **Sedimentos paleoestuarinos da planície costeira do Estado do Paraná**. Boletim Paranaense de Geociências. Editora da UFPR. Curitiba: UFPR, 1992. n. 40, p.115-135.

ARAUJO, Gustavo Henrique de Sousa et al.. **Gestão ambiental de áreas degradadas**. 4ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. **Resíduos Sólidos- Classificação** (ABNT – NBR 10.004/04). Rio de Janeiro, 2004.

_____. Disponível em:<www.abnt.org.br/cb38/reuniao_plenaria.htm>. Acesso em: 16 fev. 2010.

BAER, Werner. **A economia brasileira**. Werner Baer; tradução de Edite Sciulli. 2 ed. São Paulo: Nobel, 2002.

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 Research Center Karlsruhe (FZK), Netherlands Organization for Applied Scientific Research TNO and Scottish Enterprise, 1998, v.1, p. 52.

BNDES. Disponível em: <www.bndes.gov.br>. Acesso em: 21 ago.2010.

CARSON, Rachel. **Primavera silenciosa**. Lisboa: Portico, 1962. 359p.

CETESB. **Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas/CETESB, GTZ**. São Paulo: CETESB, 2007.

_____. Disponível em: <www.cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/manual-de-gerenciamento-de-ACs/7-Manual-de-Gerenciamento-das-ACs>

CETESB. **Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas/CETESB, GTZ.** 2ed. São Paulo: CETESB, 2001.

_____. **Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo.** Decisão de Diretoria N° 195-2005-E, de 23 de Novembro de 2005. Publicado no DOE em 1/12/2005.
_____. Disponível em:
<www.cetesb.sp.gov.br/Solo/areas_contaminadas/anexos/download/6530.pdf>. Acesso em: 01 set. 2010.

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

EPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL AGENCY. **NATO/CCMS Pilot Study – Evaluation of Demonstrated and Emerging Technologies for the Treatment and Clean Up of Contaminated Land and Groundwater. Phase II, Final Report, number 219. EPA 542-R-98-001a.** 1998. INTERNET (www.clu-in.org/download/partner/phase-2.pdf). Acesso em: 17 ago. 2010.

EPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL AGENCY. 1989. **Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I Human Health Evaluation Manual (Part A),** EUA.

_____. Chemical Summary for Methyl-Tert-Butyl Ether, 749-F-94-017a, 1994.

_____. Regional Screening Levels for Chemical Contaminants at Superfund Site. 2008. Disponível em: http://www.partneresi.com/Resources/EPA_PRGs.pdf

_____. Screening Levels for Chemical Contaminants. 2004. Disponível em: <www.epa.gov/region9/superfund/prg/files/04prgtable.pdf>. Acesso em: 01 set 2010.

FETTER, Charles Willard. **Contaminant hidrogeology.** 2ª ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1999. C 1, p. 18-30.

GALDINO, C. A. B, et al. **Passivo ambiental das organizações:** uma abordagem teórica sobre avaliação de custos e danos ambientais no setor de exploração de petróleo. XXII ENEGEP. Curitiba, Paraná de 22 a 25 de out. 2002.

HOBBSAWM, Eric J. **Da revolução industrial Inglesa ao Imperialismo.** 5a.ed. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 2003.

HYMAN, M. Dupont R.R. **Groundwater and Soil Remediation – Process Design and Cost Estimation of Proven Technologies**. ASCE Press, EUA.2001.

IBAMA. História do Ibama. Disponível em:
<www.ibama.gov.br/institucional/historico>. Acesso em: 17 mar. 2010.

ITCG/SIMEPAR. Mapa Climático do Estado do Paraná – 1.2000.000. Instituto de Terras Cartografia e Geodésia – Disponível em: <www.itcg.pr.gov.br>. Acesso em: 21 ago. 2010.

_____. Disponível em:
<<http://www.itcg.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=47>>.
Acesso em: 30 nov.2010.

ISO - International Organization for Standardization. Disponível em:
<www.iso.org/iso/standards_development/technical_committees/list_of_iso_technical_committees/iso_technical_committee.htm?commid=54808>. Acesso em: 16 fev. 2010.

LESSA, G. C.; MEYERS, S. R.; MARONE, E. **Holocene stratigraphy in the Paranagua bay estuary, southern Brazil**. Journal of Sedimentary Research, 1998. 68(6): p. 1060-1076.

MAACK, R. **Geografia física do estado do Paraná**. Curitiba: Imprensa Oficial, 2002.

MACKAY, D. **Multimedia environmental models: fugacity approach**. 2.ed. Boca Raton: T&F Group. P.261.

MINEROPAR. Mapas geomorfológicos – Minérios do Paraná. Disponível em:
<www.mineropar.pr.gov.br>. Acesso em: 21 ago. 2010a.

_____. Disponível em:
<www.mineropar.pr.gov.br/arquivos/File/MapasPDF/Geomorfologicos/curitiba.PDF>. Acesso em: 01 set. 2010b.

Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <www.mma.gov.br>. Acesso em: 01 jul. 2010.

OLIVEIRA, José Antonio Puppim de. **Empresas na sociedade: sustentabilidade e responsabilidade social**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.

ONU –BRASIL. Disponível em: <www.onu-brasil.org.br/agencias_pnuma.php>. Acesso em: 16 jun. 2010.

_____. Disponível em: <www.onu-brasil.org.br/doc_quioto2.php>. Acesso em: 16 jun. 2010.

_____. Disponível em: <http://www.onu-brasil.org.br/doc_quioto2.php>. Acesso em: 16 jun. 2010.

Prefeitura Municipal de Paranaguá. Disponível em: <www.paranagua.pr.gov.br/conteudo/a-cidade/aspectos-economicos>. Acesso em: 16 jun. 2010.

_____. Disponível em: <www.paranagua.pr.gov.br/conteudo/a-cidade/aspectos-economicos> Acesso em: 16 jun. 2010.

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA FEDERATIVA. Disponível em: <www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9605.htm>. Acesso em: 14 fev.2010.

_____. Disponível em: <www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938.htm> Acesso em: 14 fev.2010.

Programa Ambiental: a última Arca de Noé. Disponível em: <www.ultimaarcadenoe.com/agenprin.htm>. Acesso em: 16 fev. 2010.

RELATÓRIO ESSENCIS (ETR 200710111446AN). Hidrogeologia .2007.

_____ (ETR 200809161040MSV). Geoquímica.

_____ (ETR 200901260900CBJ). Projeto Conceitual de Remediação.

_____ (ETR2008214095AN). Implantação do Sistema de Bombeamento Emergencial na Área 34. Laboratório. 2008.

_____ (ETR0801071600EA).Plano de Remoção de Passivos Ambientais. 2008.

_____ (ETR 201105110900MSV). Ago. 2008.

_____ (ETR200806091500AN). Mapeamento de áreas impactadas por deposição de resíduos oleosos . 2008.

_____ (ETR 200810241207AN). Relatório de Caracterização Geoquímica do Solo e Água subterrânea. Ago.2008.

_____ (ETR 200810251800CBJ). Análise de Risco Nov.2008 .

_____ (ETR200903051500MSV). Diagnóstico Ambiental . 2009.

_____ (ETR 200901260900CBJ). JAN. 2009.

_____ (ETR1101141020EVF). Atividades Realizadas no Terminal .2011.

SÁNCHEZ, Luis Enrique. **Avaliação de impacto ambiental:** conceitos e métodos. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

_____. **Desengenharia: o passivo ambiental na desativação de empreendimentos industriais.** São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001.

Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – SUDERHSA. 1998. Atlas de recursos hídricos do Estado do Paraná. Disponível em:
<www.pr.gov.br/meioambiente/baciahidrog.shtml>. Acesso em: 19 jun. 2007.

SUTHERSAN, S.S. **Remediation Engineering – Design Concepts.** CRC Press: EUA, 1997.

VALLE, Cyro Eyer do. **Meio ambiente:** acidentes, lições, soluções. 2 ed. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2004.

VROM 2000. Ministry Of Housing, Physical Planning and Environment. Disponível em: <international.vrom.nl>. Acesso em: 01 set. 2010.