

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICA E DA NATUREZA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

DANIELA VASCONCELOS MACHADO

**AVALIAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO EM ÁGUA SUBTERRÂNEA
PELA DISPOSIÇÃO DE REJEITOS INDUSTRIAIS: ESTUDO DE CASO
– CENTRES (QUEIMADOS-RJ)**

RIO DE JANEIRO

Fevereiro, 2017

DANIELA VASCONCELOS MACHADO



**AVALIAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO EM ÁGUA SUBTERRÂNEA PELA
DISPOSIÇÃO DE REJEITOS INDUSTRIAIS: ESTUDO DE CASO – CENTRES
(QUEIMADOS-RJ)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de bacharel em Geologia.

ORIENTADORES:

Gerson Cardoso da Silva Jr.

Glauco Zely da Silva Eger

RIO DE JANEIRO

Fevereiro, 2017

RESUMO

A disposição inadequada de resíduos sólidos industriais tem sido umas das principais causas de contaminação ambiental. No Rio de Janeiro, o Centro de Tratamento de Resíduos Sólidos (CENTRES) foi criado, em 1988, no município de Queimados com a proposta de destinação adequada de resíduos industriais, porém, a proposta inicial não foi realizada e o pátio de estocagem se transformou em uma das principais áreas contaminadas do estado. Neste local, toneladas de resíduos industriais foram armazenadas de forma inapropriada e sem nenhuma fiscalização. Os latões contendo rejeitos químicos foram enterrados ou dispostos em superfície, onde sofreram vazamentos e ocasionaram o contato de metais e compostos orgânicos com o solo. O CENTRES teve seu funcionamento interrompido em 1998 e desde então, ocorreram diversas campanhas de monitoramento para avaliação dos danos ambientais. Este trabalho avalia três campanhas investigativas realizadas no local: o diagnóstico ambiental realizado pela empresa Stratageo em 2011, a pré-remediação que ocorreu em 2013 e a pós-remediação em 2016, sendo esta a última campanha investigativa no pátio de estocagem do CENTRES. Com base nas informações obtidas nesses relatórios, foram analisados os teores de metais totais e compostos orgânicos da última etapa de investigação, a pós-remediação, e comparados com as ações anteriores a fim de avaliar a redução das concentrações desses compostos.

Palavras-chave: Água Subterrânea. Contaminação. Resíduos industriais

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| FIGURA 1 MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO. | 14 |
| FIGURA 2 REGIÃO HIDROGRÁFICA II - GUANDU. FONTE: INEA, 2012. | 17 |
| FIGURA 3 MAPA GEOLÓGICO REGIONAL DO MUNICÍPIO DE QUEIMADOS. FONTE: CPRM (2001) (ADAPTADO)..... | 20 |
| FIGURA 4 CICLO HIDROLÓGICO. FONTE: MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA), 2007. | 30 |
| FIGURA 5 ESQUEMA MOSTRANDO ZONA SATURADA E ZONA NÃO SATURADA NO SUBSOLO. FONTE: LABORATÓRIO NACIONAL DE ENERGIA E GEOLOGIA (LNEG), 2001..... | 30 |
| FIGURA 6 LOCALIZAÇÃO DOS PMS UTILIZADOS PELA STRATAGEO E ETAPA PRÉ-REMEDIÇÃO. | 36 |
| FIGURA 7 LOCALIZAÇÃO DOS PMS UTILIZADOS NA ETAPA PÓS-REMEDIÇÃO..... | 37 |
| FIGURA 8 PMS COM ANOMALIAS DE CHUMBO (STRATAGEO). | 46 |
| FIGURA 9 PMS COM ANOMALIAS DE CHUMBO (PRÉ-REMEDIÇÃO)..... | 47 |
| FIGURA 10 PM COM ANOMALIA DE MERCÚRIO (PRÉ-REMEDIÇÃO). | 49 |
| FIGURA 11 PM COM ANOMALIA DE ZINCO (STRATAGEO)..... | 50 |
| FIGURA 12 PMS COM ANOMALIAS DE COBALTO (PÓS-REMEDIÇÃO). | 52 |
| FIGURA 13 PMS COM ANOMALIAS DE CROMO (STRATAGEO). | 53 |
| FIGURA 14 PMS COM ANOMALIAS DE CROMO (PÓS-REMEDIÇÃO)..... | 54 |
| FIGURA 15 PM COM ANOMALIA DO COMPOSTO CIS-1,2-DICLOROETENO (PÓS-REMEDIÇÃO). . | 58 |
| FIGURA 16 PM COM ANOMALIA DO COMPOSTO CIS-1,2-DICLOROETENO (PRÉ-REMEDIÇÃO). . | 59 |
| FIGURA 17 PM COM ANOMALIA DO COMPOSTO 1,2-DICLOROETANO (STRATAGEO). | 60 |
| FIGURA 18 PM COM ANOMALIA DO COMPOSTO 1,2-DICLOROETANO (PRÉ-REMEDIÇÃO)..... | 61 |
| FIGURA 19 PMS COM ANOMALIA DO COMPOSTO TETRACLOROETENO (STRATAGEO). | 62 |
| FIGURA 20 PMS COM ANOMALIA DO COMPOSTO TETRACLOROETENO (PRÉ-REMEDIÇÃO). | 63 |
| FIGURA 21 REGIÃO DO CENTRES MAIS AFETADA PELA CONTAMINAÇÃO. | 65 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|----|
| QUADRO 1 CENÁRIO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO RIO DE JANEIRO. FONTE: DRM (2015)... | 18 |
| QUADRO 2 MATERIAIS APTOS A SEREM RECEBIDOS PELO CENTRES. FONTE: PINTO, 2001.... | 23 |
| QUADRO 3 - INDÚSTRIAS QUE UTILIZARAM O PÁTIO DE ESTOCAGEM E RETIRARAM SEUS RESÍDUOS. FONTE: PINTO (2001)..... | 24 |
| QUADRO 4 CLASSIFICAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS SEGUNDO A ABNT – 2004. | 26 |
| QUADRO 5 RESULTADOS DAS ANÁLISES DOS METAIS (PÓS-REMEDIÇÃO)..... | 39 |
| QUADRO 6 RESULTADOS DAS ANÁLISES DOS METAIS (PÓS-REMEDIÇÃO - CONTINUAÇÃO)..... | 40 |
| QUADRO 7 RESULTADOS DAS ANÁLISES DOS METAIS (PÓS-REMEDIÇÃO - CONTINUAÇÃO)..... | 41 |
| QUADRO 8 RESULTADOS DAS ANÁLISES DOS METAIS (STRATAGEO). | 43 |
| QUADRO 9 RESULTADOS DAS ANÁLISES DOS METAIS (PRÉ-REMEDIÇÃO)..... | 44 |
| QUADRO 10 PMS E CONCENTRAÇÃO DO COMPOSTO CIS-1,2-DICLOROETENO (PÓS- REMEDIÇÃO). | 56 |
| QUADRO 11 PM DE CONCENTRAÇÃO DO COMPOSTO CIS-1,2-DICLOROETENO (PRÉ- REMEDIÇÃO). | 56 |
| QUADRO 12 PMS E CONCENTRAÇÃO DO COMPOSTO 1,2-DICLOROETANO (STRATAGEO). | 57 |
| QUADRO 13 PMS E CONCENTRAÇÃO DO COMPOSTO 1,2-DICLOROETANO (PRÉ-REMEDIÇÃO).. | 57 |
| QUADRO 14 PMS E CONCENTRAÇÃO DO COMPOSTO TETRACLOROETENO (STRATAGEO). | 57 |
| QUADRO 15 PMS E CONCENTRAÇÃO DO COMPOSTO TETRACLOROETENO (PRÉ-REMEDIÇÃO).. | 57 |

LISTA DE SIGLAS

ABAS – Associação Brasileira de Águas Subterrâneas

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CECA - Comissão Estadual de Controle Ambiental

CENTRES – Centro de Tratamento de Resíduos Sólidos

CERHI – Conselho Estadual de Recursos Hídricos

CODENI – Companhia de Desenvolvimento de Nova Iguaçu

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

DNAPLs – Dense Non Aqueous Phase Liquids

DRM – Departamento de Recursos Minerais

DZ – Diretriz

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FEEMA – Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente

INEA – Instituto Nacional de Meio Ambiente

LNAPLs – Light Non Aqueous Phase Liquids

LNEG - Laboratório Nacional de Energia e Geologia

MMA – Ministério do Meio Ambiente

NAPLs – Non Aqueous Phase Liquids

PCB's - Bifenilos policlorados

RHs – Regiões Hidrográficas

RIMA – Relatório de Impacto Ambiental

SANIPLAN - Engenharia e Administração de Resíduos Ltda.

SEMADS – Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável

SEMURMA – Secretaria Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente

UTM - Universal Transversa de Mercator

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 9 |
| 2 OBJETIVO | 11 |
| 2.1 OBJETIVO GERAL..... | 11 |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 11 |
| 3 JUSTIFICATIVA..... | 12 |
| 4 ÁREA DE ESTUDO | 13 |
| 4.1 LOCALIZAÇÃO..... | 13 |
| 4.2 FATORES AMBIENTAIS FÍSICOS | 15 |
| 4.3 HIDROLOGIA E HIDROGEOLOGIA | 15 |
| 4.4 GEOLOGIA REGIONAL | 18 |
| 4.5 HISTÓRICO..... | 21 |
| 4.6 RESÍDUOS | 23 |
| 5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 25 |
| 5.1 RESÍDUOS SÓLIDOS | 25 |
| 5.2 ATERROS INDUSTRIAIS..... | 27 |
| 5.3 CONTAMINAÇÃO | 28 |
| 5.4 ÁGUA SUBTERRÂNEA | 29 |
| 5.5 METAIS..... | 31 |
| 5.6 COMPOSTOS ORGÂNICOS | 31 |
| 6 MATERIAS E MÉTODOS | 33 |
| 6.1 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO | 33 |
| 6.2 COMPILAÇÃO E PROCESSAMENTO DOS DADOS | 33 |
| 6.3 AVALIAÇÃO DOS CONTAMINANTES | 33 |
| 7 RESULTADOS E DISCUSSÕES..... | 35 |

| | |
|---|-----------|
| 7.1 POÇOS DE MONITORAMENTO (PMs)..... | 35 |
| 7.2 ANÁLISES DOS COMPOSTOS INORGÂNICOS | 38 |
| 7.3 ANÁLISES DOS COMPOSTOS ORGÂNICOS | 56 |
| 8 CONCLUSÕES | 66 |
| REFERÊNCIAS..... | 67 |

1 INTRODUÇÃO

Os resíduos industriais são considerados alguns dos maiores responsáveis pelas agressões ao meio ambiente. São originados nas atividades dos diversos ramos da indústria, tais como: o metalúrgico, o automotivo, o químico, o têxtil, a indústria alimentícia, entre outros. Sendo assim, o dejetos industrial é bastante variado, gerando diferentes tipos de resíduos. Devido à intensa atividade industrial, o volume de resíduos gerados por essas atividades é grande e crescente e, por vezes, não é devidamente descartado, o que acaba trazendo consequências desastrosas não só para o ambiente, mas para a saúde humana.

A norma ABNT 10.004 (2004) classifica os resíduos sólidos como perigosos e não perigosos. Esses resíduos devem ter uma gestão e disposição adequada, pois podem causar impactos socioambientais como, por exemplo, contaminação de solo e água subterrânea. Os resíduos industriais perigosos, por sua vez, devem receber um tratamento diferenciado e uma destinação final específica. A DZ – 1311, diretriz de destinação de resíduos industriais estabelecida pela FEEMA (atual INEA), recomenda a disposição final em aterros industriais, que utilizam técnicas que permitem a disposição controlada destes resíduos no solo.

De acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2016), o solo é um importante agente protetor para manter a qualidade das águas subterrâneas e também contribui para a movimentação inicial da água ou contaminantes em direção à zona vadosa e saturada, uma vez que o líquido em contato com o solo infiltra e percola até as camadas mais profundas do subsolo. A água superficial e subterrânea mantém uma conexão entre si, motivo pelo qual a contaminação de uma implica na contaminação de ambas, guardadas as devidas condições de tempo e velocidade para que o produto contaminante alcance a outra parte.

As diversas formas de ocupação e atividades antrópicas, como urbanas, agrícolas e industriais, têm se tornado cada vez mais intensa e, portanto, afetado negativamente a qualidade da água por meio da geração das mais diversas cargas de efluentes em diferentes níveis de contaminação. Por isso, torna-se urgente e imprescindível a divulgação e o esclarecimento à sociedade e empresas sobre a necessidade de proteção do solo e da água subterrânea, por meio de um manejo correto e equilibrado, contribuindo de forma sustentável para o bom funcionamento do ciclo hidrológico.

Uma das maneiras eficazes para minimizar os riscos à população e ao meio ambiente advindos da contaminação é o conjunto de técnicas de gerenciamento de áreas contaminadas. O processo de identificação e gerenciamento de uma área contaminada envolve uma avaliação preliminar, investigação confirmatória, investigação detalhada, avaliação de risco e ações para reabilitação da área, até as concentrações das substâncias detectadas atingirem níveis aceitáveis para uso pretendido futuro (CETESB, 2001).

O Centro de Tratamento de Resíduos Sólidos (CENTRES) foi criado em 1987 no bairro Santo Expedito, atual Município de Queimados, no Rio de Janeiro, e permaneceu em funcionamento durante aproximadamente 10 anos, em um terreno alugado da Companhia de Desenvolvimento de Nova Iguaçu (CODENI), com o objetivo de ser um centro de estocagem transitório e tratamento de resíduos industriais. No entanto, além de parte dos resíduos não ter recebido tratamento apropriado, a disposição dos rejeitos foi feita de forma inadequada. Os resíduos armazenados em latões ficavam dispostos diretamente no solo ou enterrados sem que houvesse algum tipo de controle. Essa prática ocasionou o comprometimento da qualidade do solo e da água subterrânea e superficial da área (PINTO, 2001).

Em 1998, o CENTRES teve seu pedido de renovação de alvará de licença indeferido e sua Licença de Operação (LO) cancelada pela Secretaria Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente de Queimados e a FEEMA, ocorrendo, portanto, o fechamento do local (PINTO, 2001).

A partir de 2004 iniciou-se uma série de ações de remediação na área. Nesse ano, a empresa Georadar realizou um diagnóstico ambiental na área e a empresa ESSENCIS removeu o material residual visível para tratamento. Alguns anos depois, a empresa STRATAGEO (2011) realizou um diagnóstico ambiental detalhado na área do CENTRES e, em meados de 2013, foram iniciadas intervenções de remediação no pátio. Foram realizadas duas campanhas de investigação: uma pré-remediação realizada em 2013 e uma pós-remediação (que representa um monitoramento após a ação de limpeza da área) que ocorreu em 2016.

No presente trabalho avaliam-se os dados de metais totais e compostos orgânicos da última campanha de investigação, a de pós-remediação (monitoramento) e apresenta uma comparação com as etapas anteriores, que foram duas: 1) o diagnóstico ambiental realizado pela STRATAGEO e, posteriormente, 2) a pré-remediação, avaliando a redução das concentrações após as ações de remediação na área estudada.

2 OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo avaliar as concentrações de metais totais e compostos orgânicos na água subterrânea e a redução das concentrações após as ações de remediação na área do CENTRES, através de análises químicas realizadas em três campanhas de investigação, duas anteriores e uma posterior à escavação de remediação.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar os teores de metais totais e compostos orgânicos na água subterrânea, referentes à última etapa de investigação do CENTRES: pós-remediação;
- Avaliar a redução das concentrações de metais totais e compostos orgânicos na água subterrânea após as ações de remediação, comparando os teores obtidos em três campanhas de investigação realizadas no pátio de estocagem do CENTRES: diagnóstico ambiental (STRATAGEO), pré-remediação e pós-remediação.

3 JUSTIFICATIVA

O CENTRES está entre os três grandes casos de contaminação ambiental no Estado do Rio de Janeiro. A contaminação por resíduos indústrias causa grandes impactos ao meio ambiente e à saúde humana, sendo necessárias medidas de remediação e monitoramento.

Após sua interdição em 1998, alguns estudos ocorreram na área, como diagnósticos ambientais, dissertações e trabalhos acadêmicos, visando uma avaliação da parte interna e externa do CENTRES (GEORADAR, 2004; STRATAGEO, 2011; FREITAS, 2014; EGER, 2015, dentre outros). Três campanhas de monitoramento foram realizadas no pátio de estocagem e coletadas amostras de solo e água subterrânea para análises de metais e compostos orgânicos.

Neste trabalho avalia-se os resultados das amostras de água subterrânea da última campanha de investigação e compara com os teores encontrados nas campanhas anteriores as ações de remediação, observando a redução das concentrações dos metais e compostos orgânicos. Trata-se de importante etapa na avaliação da eficácia das estratégias de remediação / limpeza da área, pois é importante assegurar que as ações empreendidas foram efetivas na melhoria das condições ambientais locais. Desse modo, justifica-se a realização da presente pesquisa.

4 ÁREA DE ESTUDO

4.1 LOCALIZAÇÃO

A área de estudo está localizada no município de Queimados, e compreende uma área de aproximadamente 11,5 ha correspondente a um antigo pátio de estocagem do CENTRES (Centro de Tratamento de Resíduos Sólidos).

Encontra-se limitada pelas coordenadas 645900 e 646800 E e 7485700 e 7485100 N (UTM), estando, ao norte, a rodovia Presidente Dutra (BR – 116), na saída do km 192,5 (sentido Rio de Janeiro). Em seu entorno, contem algumas áreas residuais como as comunidades de Santo Expedito, Coqueiros e Santo Antônio.

Localizado na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, o município de Queimados está limitado pelos municípios de Nova Iguaçu, Japeri e Seropédica (Figura 1).

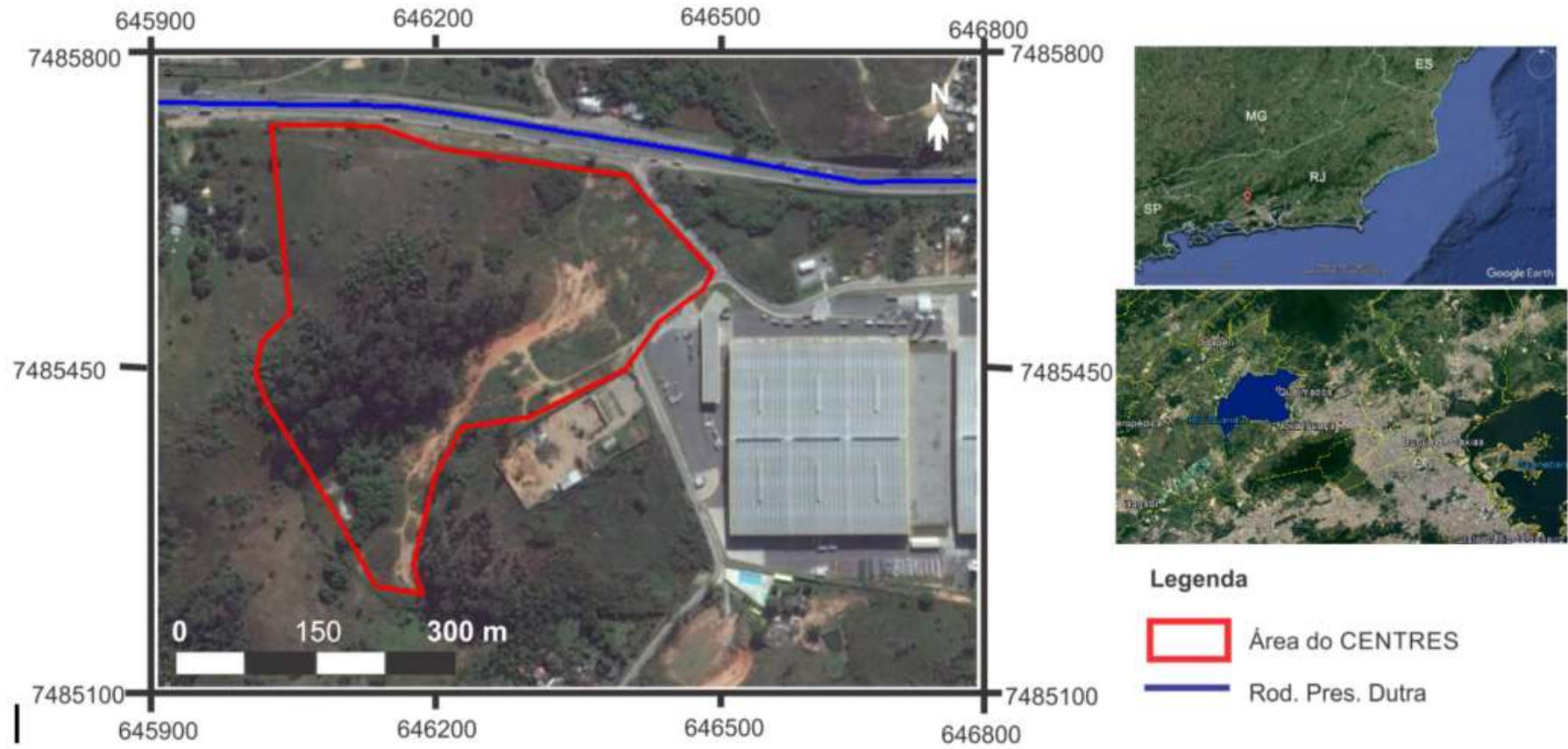


Figura 1 Mapa de localização da área de estudo.

4.2 FATORES AMBIENTAIS FÍSICOS

O Município de Queimados está situado em uma Planície Costeira de, aproximadamente, 30 metros de altitude e tem uma área de aproximadamente 76,9 km². O clima da região é predominantemente quente e úmido, com temperatura média anual de 26°C e índice pluviométrico anual entre 1200 e 1500 mm, concentrando-se a maior parte da chuva no verão.

A região de Queimados apresenta dois tipos de solos: Podzólico e Planossolo, apresentando a classificação textural argiloarenoso na área do CENTRES (PINTO, 2001). A bacia do Rio Guandu é o sistema hidrográfico que mais exerce influência na área, sendo o Rio Queimados o principal afluente do Rio Guandu, com 10 km de extensão, drenando toda a área do pátio de estocagem do CENTRES.

4.3 HIDROLOGIA E HIDROGEOLOGIA

De acordo com a Resolução do Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERHI – RJ Nº 107 de 22 de maio de 2013), o estado do Rio de Janeiro se divide em 09 Regiões Hidrográficas (RHs). A área de estudo se encontra na RH II: Região Hidrográfica Guandu, englobando totalmente os municípios de Engenheiro de Paulo de Frontin, Itaguaí, Japeri, Paracambi, Queimados e Seropédica e mais 9 municípios parcialmente.

A RH II – Guandu é formada pelos rios Guandu, da Guarda e Guandu-Mirim (Figura 2). O rio Guandu tem como principais afluentes os rios dos Macacos, Santana, São Pedro, Ipiranga e Poços/Queimados, que é o principal rio da área de estudo, com 10 km de extensão (PINTO, 2001).

O rio Guandu se forma da confluência dos rios Ribeirão das Lajes e Santana. O total do seu percurso é de 48 km até a foz (baía de Sepetiba) e drena uma área de aproximadamente, 1.430 km² (SEMADS, 2001). Segundo o Comitê de Bacias Hidrográficas Guandu, o rio se divide em dois braços, localizando no braço leste a lagoa do Guandu, onde

desembocam os rios Poços/Queimados e Ipiranga. Percorre 9 km até adentrar no canal de São Francisco, e segue mais 15 km até desaguar na baía de Sepetiba.

O rio Guandu é o curso d'água principal da bacia da baía de Sepetiba, que abrange 12 municípios fluminenses, incluindo o município de Queimados e possui uma superfície de 2.654 km². A bacia possui dois conjuntos fisiográficos, o Domínio Serrano e o Domínio da Baixada. O Domínio Serrano é representado por montanhas e escarpas da Serra do Mar e pelos maciços costeiros (Pedra Branca, Mandanha, Ilha da Marambaia). O Domínio da Baixada, por sua vez, é representado por uma extensa planície flúvio-marinha, onde se localiza a área do estudo.

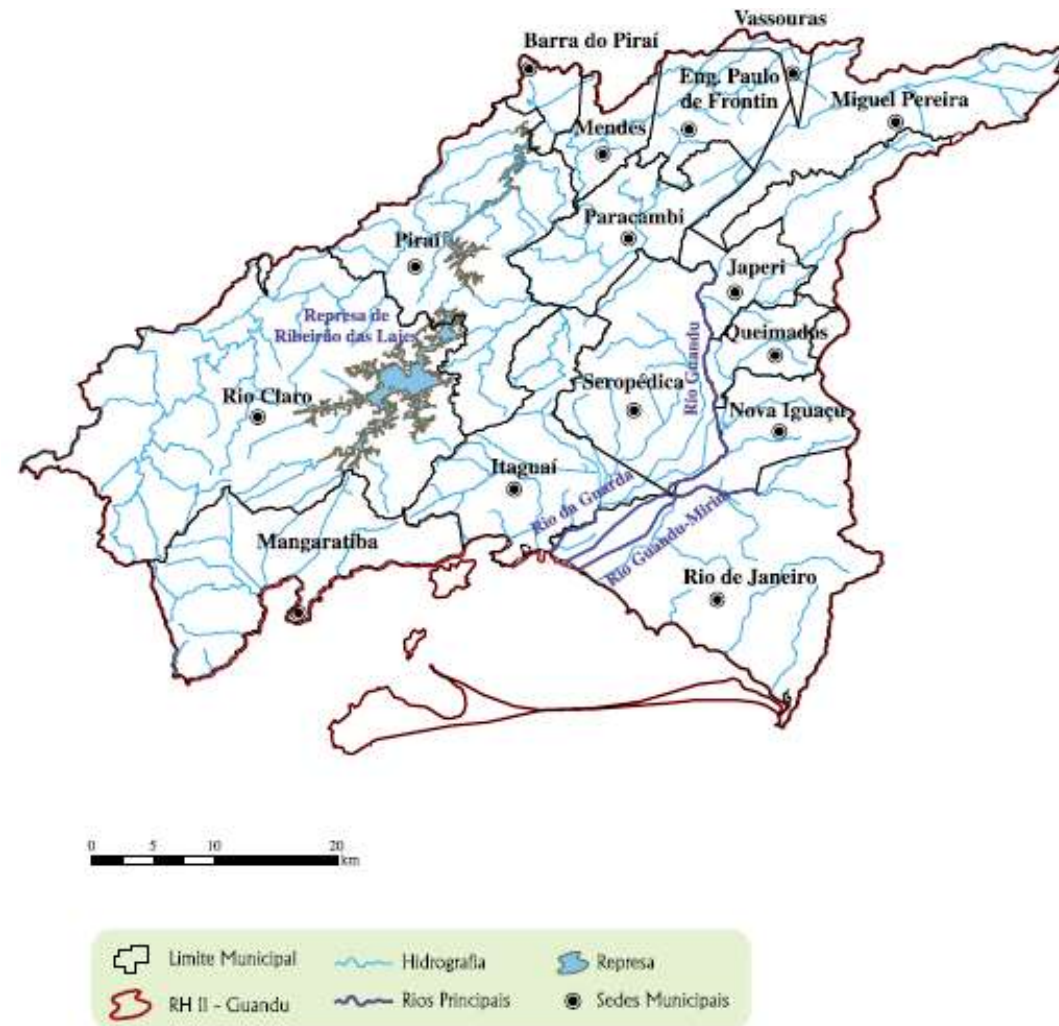


Figura 2 Região Hidrográfica II - Guandu. Fonte: INEA, 2012.

Os domínios hidrogeológicos do Estado do Rio de Janeiro correspondem a 80% do território com rochas cristalinas e 20% de bacias e sedimentos litorâneos (DRM, 2015). Esta geologia condiciona a existência de dois (02) sistemas de aquíferos no Estado: aquífero fissural ou fraturado e aquífero poroso ou sedimentar. Os sistemas fissurais se estendem da Região Sul até a região Norte do estado. Os aquíferos porosos, por sua vez, encontram-se em bacias sedimentares e sedimentos aluviais/litorâneos, que se distribuem como mostrado no Quadro 1.

Quadro 1 Cenário das águas subterrâneas do Rio de Janeiro. Fonte: DRM (2015).

| Bacia Sedimentar | Aquífero | Tipo de Aquífero | Espessura |
|-------------------------|-------------------------|----------------------------|---------------------|
| CAMPOS | Emborê | Confinado | De 80 m até 150 m |
| | Barreiras | Confinado | Entre 160 m e 200 m |
| | Flúvio-Deltáico | Livre | De 60 m a 90 m |
| RESENDE | Multicamadas de Resende | Confinado/ Semi-confinados | De 8 m a 200 m |
| VOLTA REDONDA | Terciário Volta Resende | Livre/Semi-confinados | De 10 m a 30 m |
| MACACAU | Macacu | Semi-confinados | De 20 m a 103 m |

| Planícies Aluviais/Litorâneas | Aquífero | Tipo de Aquífero | Espessura |
|--------------------------------------|---|-------------------------|------------------|
| Guandu, Macaé, Guapiaçu e Iguaçu. | Planícies aluviais, Cordões, restingas e terraços litorâneos. | Livre | Até 20 m |

Na região de Queimados ocorre o predomínio de aluviões arenosos, com areias e argilas intercaladas com matéria orgânica, tendo o aquífero livre espessura de aproximadamente 20 metros (MARTINS, 2006).

4.4 GEOLOGIA REGIONAL

A área de estudo encontra-se inserida na Unidade Rio Negro, que é constituída por gnaisses cinzentos bandados, de composição TTG, de granulação grossa e textura porfirítica

recristalizadas e augen, com forte foliação de baixo a médio ângulo e idades do Neoproterozoico ao Cambriano. Ocorre na forma de extenso e estreito envelope com direção NE-SW, e estende-se por cerca de 160 km, com média de 4 km de largura (CPRM,2001). Intercalações de metagabro e metadiorito deformados (anfíbolito) ocorrem mais localmente, enquanto que, intrusões de granada leucogranitos tipo-S e de apófises de granitoides do Batólito Serra dos Órgãos ocorrem regionalmente.

Acima da Unidade Rio Negro ocorrem depósitos Colúvio-Aluvionar do Quaternário, que são depósitos fluviais e fluviomarinhos areno-siltítico-argilosos com camadas de cascalheiras associados a depósitos de tálus, e sedimentos lacustres e de manguezais retrabalhado (Figura 3).

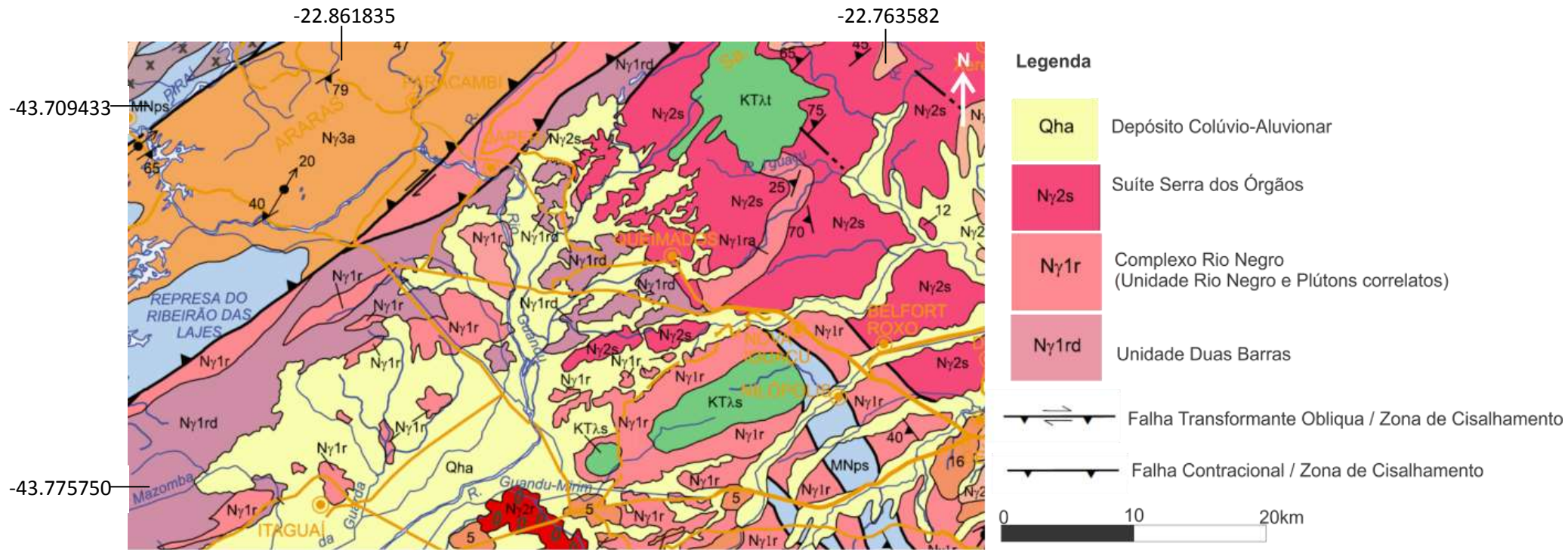


Figura 3 Mapa Geológico Regional do Município de Queimados. Fonte: CPRM (2001) (adaptado).

De forma mais abrangente, a área de estudo encontra-se na Faixa Serra dos Órgãos, parte central do Estado do Rio de Janeiro. Compõe-se de migmatitos, gnaisses bandados, gnaisses granitoides e granitos. Estruturalmente, corresponde a um imenso antiformal associado à orogênese do Brasileiro (DRM-RJ, 2015).

A Faixa Serra dos Órgãos está inserida na unidade tectônica designada Faixa Ribeira do Sistema Orogênico Mantiqueira. A compartimentação tectônica proposta para a Faixa Ribeira compreende quatro terrenos tectonoestratigráficos imbricados para NW/W, em direção ao Cráton São Francisco: Terreno Ocidental, Terreno Paraíba do Sul, Terreno Oriental e Terreno Cabo Frio. Os três primeiros foram amalgamados entre 605 e 580 Ma, enquanto que o último só foi tardiamente colado ao orógeno, já no Cambriano (TUPINAMBÁ E HEILBRON, 2007).

Localmente, ocorrem migmatitos da unidade Rio Negro, predominantemente estromáticos, passando em pontos isolados a biotita(muscovita)granito. Recobrando essas unidades ocorrem aluviões do Quaternário e solos residuais das unidades pré-cambrianas (EGER, 2015).

4.5 HISTÓRICO

A empresa CENTRES foi criada com o objetivo de oferecer tratamento aos resíduos industriais de várias empresas do Brasil, em uma Central de Processamento. Foi constituída em 10 de fevereiro de 1987. O pátio de estocagem temporária do CENTRES foi instalado em 1988, numa área alugada da CODENI (Companhia de Desenvolvimento de Nova Iguaçu) no bairro de Santo Expedito, Rodovia Presidente Dutra km 192, na época, pertencente a Nova Iguaçu.

Inicialmente, a Central de Processamento seria construída no bairro de Adrianópolis, em Nova Iguaçu. Por ser uma localidade rural, havia a necessidade de ser feito um zoneamento e só posteriormente iniciar as obras do empreendimento. Sendo assim, o CENTRES, com o parecer da FEEMA, decidiu iniciar a empresa em Santo Expedito, de forma provisória. A central de Adrianópolis nunca foi concretizada e o CENTRES permaneceu em Queimados até a sua interdição em 1998.

Em 1992 ocorreu a emancipação do município de Queimados e em 1996 foi criada a SEMURMA (Secretaria Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente). A partir daí, questões ambientais do município passaram a ser verificadas e o pátio de estocagem do CENTRES foi registrado como principal questão ambiental a ser resolvida (SANTOS, 2011).

Em dezembro de 1996, ocorreu um incêndio que afetou uma área de 50 m² na parte central do pátio e atingiu em torno de 1000 (mil) galões de óleo BPF. Em julho de 1997 ocorreu um novo incêndio, de menor proporção, que atingiu sucatas de plásticos. Segundo Pinto (2001), uma das possíveis causas do incêndio foi o incorreto armazenamento dos resíduos. Resíduos incompatíveis deveriam ter sido separados, evitando que reações químicas ocorressem entre eles.

Em abril de 1997, a empresa CENTRES entrou com um processo junto à Prefeitura Municipal de Queimados solicitando a renovação do Alvará de Licença de Localização. Em fevereiro e 1998 o pedido de renovação do Alvará foi indeferido, sendo publicado no Diário Oficial e remetida uma cópia a FEEMA para a cassação da Licença de Operação (LO), determinando também a remoção de todo o material da área (PINTO, 2001).

Após a interdição, ocorreu uma campanha de monitoramento pela FEEMA juntamente com o DRM, em 2000. O resultado das análises em poços dentro do CENTRES e em poços das ruas vizinhas mostraram a presença de ferro e manganês. Em 2004 a empresa Georadar realizou um diagnóstico geambiental de varredura no local e identificou que além dos resíduos dispostos superficialmente também haviam três aterros com resíduos enterrados. As análises realizadas neste período indicaram a presença de TPH (hidrocarbonetos totais de petróleo) e metais como: Bário, Cádmio, Cromo, Cobre, Ferro, Manganês, Níquel, Chumbo e Zinco em concentrações acima dos valores orientadores para água subterrânea.

Apesar da retirada dos resíduos dispostos na superfície, uma parte considerável ainda continuou enterrada. Além disso, não houve a descontaminação do pátio. Em 2011, a empresa STRATAGEO realizou um novo diagnóstico ambiental na área, e em 2013 e 2016 ocorreram duas campanhas de investigação ambiental. Os dados dessas três etapas serão discutidas neste trabalho.

4.6 RESÍDUOS

O CENTRES estava apto, de acordo com o RIMA (Relatório de Impacto Ambiental) apresentado a FEEMA (PINTO, 2001), a receber resíduos industriais no estado sólidos e semi-sólidos perigosos. Resíduos inorgânicos de alta periculosidade poderiam ser recebidos, mas só poderiam ser dispostos no solo após o pré-tratamento adequado. Produtos contendo PCB's, organoclorados, organofosforado e outros organismos de alta periculosidade ou estando contaminados pelos mesmos, não deveriam ser recebidos. Também não poderiam ser recebidos produtos infláveis, reativos ou radioativos. Os resíduos que poderiam ser recebidos no pátio de estocagem constam-se listados na (Quadro 2) abaixo:

Quadro 2 Materiais aptos a serem recebidos pelo CENTRES. Fonte: PINTO, 2001.

| Materiais recebidos pelo CENTRES |
|--|
| Materiais em geral no estado sólido, inclusive embalagens; |
| Resíduos sólidos de indústrias metalúrgicas; |
| Todos os tipos de Filtros e partículas retidas em filtros; |
| Lama e filtragem; |
| Catalisadores exauridos; |
| Lodos contendo metais pesados; |
| Tortas de filtragem e semi-sólidos outros que se apresentam com pelo menos 20% de sólidos; |
| Borra de re-refino de óleo; |

Todos os resíduos recebidos pela empresa CENTRES foram direcionados ao pátio de estocagem transitório no município de Queimados e lá permaneceram até a interdição do local em 1998. Os resíduos recebidos foram enterrados ou armazenados em tambores de 200 L (duzentos litros), os quais eram empilhados, a céu aberto, diretamente sobre o solo, sem qualquer base de proteção, favorecendo a lixiviação e a percolação de substâncias para o solo e águas subterrâneas (FINAMORE, 2010). Os tambores não eram rotulados, o que dificultava a identificação dos resíduos, e a disposição na área não seguia recomendações de segregação de resíduos incompatíveis.

Após a interdição do pátio de estocagem, algumas empresas retiraram seus resíduos do pátio e destinaram para incineração ou coprocessamento. No Quadro 3 constam algumas

indústrias que utilizaram o pátio de estocagem do CENTRES e retiraram os seus resíduos após a interdição, bem como a quantidade de resíduos.

Quadro 3 - Indústrias que utilizaram o pátio de estocagem e retiraram seus resíduos. Fonte: PINTO (2001).

| Indústrias | Tipo de resíduo armazenado | Quantidade (tambores de 200 L) |
|-----------------------------------|---|---------------------------------------|
| Cera Johnson | Cera fora de especificação; Lodo da ETDI; Terra | 36 |
| Casa da Moeda | Sais de cianeto; Ferro fundido | 18 |
| Xerox do Brasil | Lodo seco; Tone/revelador não colorido; Tone em pó colorido | 1500 toneladas |
| Sulzer do Brasil S.A. | Borra de tinta; Borra de óleo | 30 |
| Duloren | Lodo metálico | 78 |
| Rio Paracatuba Mineração S.A. | Graxa de base asfáltica; Solo contaminado | 360 |
| Smithkline Becham do Brasil Ltda. | Medicamentos veterinários | 2 toneladas |
| Souza Cruz | Capacitores contaminados com PCBs | Desconhecido |
| Sony Music | Lodo EDTI | 116 |
| Oxiteno | Acículos, Flóculos | 176 |
| Siemens | Lodo de ETE | 408 |
| Varig | Lodo de EDTI | 418 |
| Inepar S.A. | Lodo de ETE | Desconhecido |
| Vale do Rio Doce | Soda amina | 110 toneladas |
| FioCruz | Desconhecido | Desconhecido |
| Tibogue Guimarães Ltda. | Lodo galvânico; Solo contaminado | 39740 toneladas |
| Coelce | Capacitores contaminados com PCBs | 45 toneladas |

Outro fator importante está relacionado à empresa SANIPLAN (Engenharia e Administração de Resíduos Ltda.) que, segundo Pinto (2001), estava sublocada indevidamente no pátio de estocagem do CENTRES. A SANIPLAN recebia containers com ascarel, uma substância altamente tóxica. Após denúncias, a empresa e os containers foram interditados.

5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

5.1 RESÍDUOS SÓLIDOS

A Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR 10.004: 2004 define resíduos sólidos como:

“Resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.”

A ABNT NBR 10.004 também classifica os resíduos sólidos em Classes I – Perigosos e Classe II – Não Perigosos. A Classe II é subdividida em Classe II A – Não Inertes e Classe II B - Inertes, como indicado no Quadro 4 abaixo.

Quadro 4 Classificação de Resíduos Sólidos segundo a ABNT – 2004.

| Resíduos | Características |
|--------------------------|--|
| Classe I – Perigosos | Resíduos que podem apresentar riscos à saúde pública e ao meio ambiente, devido as suas características de corrosividade, inflamabilidade, reatividade, toxicidade e patogenicidade. ex: solventes usados, resíduos de tintas, borra ácida de processos de re-refino, etc. |
| Classe II A – Não Inerte | Podem ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água. São resíduos que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I ou classe II B. Ex: resíduos de gesso, areia de fundição, entre outros. |
| Classe II B - Inerte | Quaisquer resíduos que não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor, conforme anexo G. Ex: Tijolos, vidro, entre outros. |

A DZ 1311 – Diretriz de Destinação de Resíduo, estabelecido pela FEEMA, define Resíduo Industrial como:

“Resíduos resultantes dos processos industriais, inclusive os líquidos, que por suas características peculiares não podem ser lançados na rede de esgoto ou em corpos d’água e que não são passíveis de tratamentos convencionais. Incluem-se também os resíduos gerados nos sistemas de tratamento de efluentes e emissões atmosféricas”.

Entre os resíduos industriais considerados como perigosos, podem-se citar os solventes usados, borra oleosa de processos de refino, produtos fora de especificação (tintas, matérias primas e produtos intermediários), eletrodos, EPIs contaminados, lodo galvânico, resíduo de areia misturado com óleo e água, estopas usadas, resíduos de caixa decantação, entre outros menos comuns.

Devido à intensa atividade industrial na região, gera-se um grande volume de resíduos industriais que, na maioria das vezes, não é devidamente descartado. Esses resíduos devem

ser armazenados separadamente, como também ser transportados em diferentes veículos, que precisam possuir placa de identificação e receber uma destinação final específica.

5.2 ATERROS INDUSTRIAIS

Resíduos sólidos devem ter uma gestão e disposição adequada, caso contrário causam impactos socioambientais, tais como degradação do solo, comprometimento dos corpos d'água e mananciais, intensificação de enchentes, contribuição para a poluição do ar, entre outros.

Uma das alternativas recomendadas, pela DZ – 1311, estabelecido pela FEEMA para os resíduos industriais perigosos, exceto os de alta periculosidade, é a disposição final em aterros industriais.

A DZ 1311- Diretriz de Destinação de Resíduos define Aterro Industrial como:

“é a alternativa de destinação de resíduos industriais, que se utiliza de técnicas que permitam a disposição controlada destes resíduos no solo, sem causar danos ou riscos à saúde pública, e minimizando os impactos ambientais. Essas técnicas consistem em confinar os resíduos industriais na menor área e volume possíveis, cobrindo-os com uma camada de material inerte na conclusão de cada jornada de trabalho ou intervalos menores, caso necessário. A apresentação do projeto deste aterro está regulamentada pela IT 1305”.

Um aterro industrial deve ter as seguintes características (SANTOS, 2011):

- Sistema de drenagem e remoção de líquidos que percolam através dos resíduos;
- Sistema de tratamento de gases que emanam dos resíduos;
- Monitoramento de águas subterrâneas;
- Impermeabilização com camadas de argila e material polimérico de alta densidade.

A disposição inadequada dos rejeitos no solo pode acarretar na contaminação do solo, plantas, lençol freático, organismos, e outros, devido à presença de elementos tóxicos nestes rejeitos, especialmente, os metais tóxicos.

5.3 CONTAMINAÇÃO

A Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT 15.515-1:2007 dispõe sobre Passivo ambiental em solo e água subterrânea, e define os seguintes termos:

Contaminação:

“presença de contaminante no solo ou água subterrânea em concentrações que podem afetar a saúde humana e o meio ambiente”.

Contaminante:

“Substâncias químicas ou organismos patogênicos que, introduzidos no meio, podem afetar a saúde humana e ao meio ambiente”.

Área Contaminada:

“área onde as concentrações de substâncias químicas de interesse estão acima de um valor de referência vigente na região, no país ou, na ausência desses, aquele internacionalmente aceito, que indica a existência de um risco potencial à segurança, à saúde humana ou ao meio ambiente”.

Passivo Ambiental:

“danos infligidos ao meio natural por uma determinada atividade ou pelo conjunto das ações humanas, que podem ou não ser avaliados economicamente”.

Remediação de áreas contaminadas:

“Aplicação de técnicas ou conjunto de técnicas em uma área comprovadamente contaminada, visando à remoção, contenção ou redução das concentrações dos contaminantes presentes, de modo a assegurar a reabilitação da área, com limites aceitáveis de riscos à saúde humana e ao meio ambiente para o uso declarado”.

Na área de estudo foram encontrados os contaminantes atmosféricos (materiais particulados, gases e vapores), materiais particulados em meio aquático, metais pesados, hidrocarbonetos e resíduos sólidos (PINTO, 2001).

Para a correção do passivo ambiental, usam-se técnicas de remediação, com o intuito de diminuir ou eliminar a presença de contaminantes do solo ou da água. Para se definir o

método de remediação mais adequado, aspectos como: características do solo, recursos técnicos e financeiros disponíveis, aspectos geoeconômicos, propriedades do contaminante, local e histórico da área atingida e o grau de contaminação, precisam ser analisados (OLIVEIRA, 2008).

Os aquíferos são naturalmente mais protegidos da poluição, devido às baixas velocidades de infiltração e aos processos biológicos, físicos e químicos que ocorrem no solo e na zona não saturada. Porém, uma vez ocorrida a poluição, as baixas velocidades de fluxo tendem a promover uma recuperação muito lenta (anos dependendo do tipo de contaminante).

O risco potencial de um aquífero ser contaminado está relacionado ao tipo de contaminante e suas características (tipo de rocha, hidrogeologia, gradientes, entre outros). A maior ou menor susceptibilidade de um aquífero à contaminação e poluição é chamada de vulnerabilidade.

As fontes mais comuns de poluição e contaminação das águas subterrâneas são: depósitos de resíduos sólidos no solo, esgotos e fossas, atividades agrícolas, mineração, vazamento de substâncias tóxicas, indústrias, poços mal construídos e/ou abandonados.

5.4 ÁGUA SUBTERRÂNEA

As águas subterrâneas são aquelas que se encontram sob a superfície da Terra, preenchendo os poros ou espaços vazios intergranulares das rochas sedimentares, ou as fraturas e fissuras das rochas compactas (ABAS, 2016). Segundo a CPRM (2000), é a água que circula na zona saturada (abaixo do nível freático), representando 21% do total da água doce do planeta ou 97% da água doce não congelada.

Ao entrar em contato com a superfície do solo, parte da água pode se infiltrar e percolar, passando pela zona não saturada (ou vadosa), onde a água e o ar preenchem os espaços vazios entre os grânulos, chegando à zona saturada, onde a maioria dos espaços vazios são preenchidos por água. No limite entre as duas zonas, ocorre o nível freático (ou lençol freático). A Figura 4 mostra do ciclo hidrológico e a Figura 5 mostra um esquema da zona saturada e não saturada do subsolo.

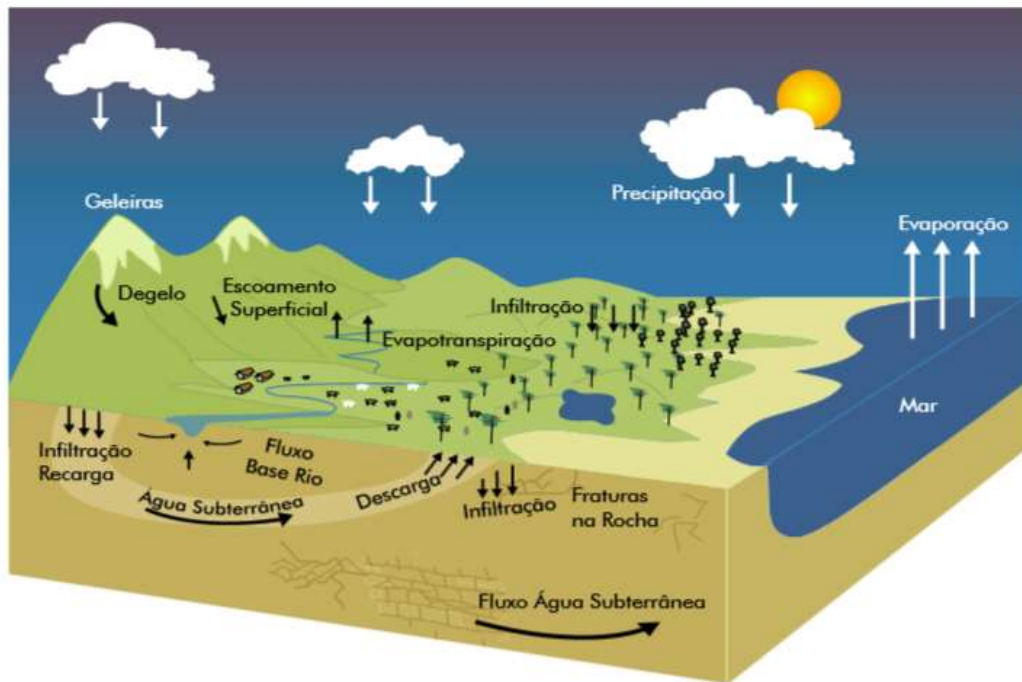


Figura 4 Ciclo hidrológico. Fonte: Ministério do Meio Ambiente (MMA), 2007.

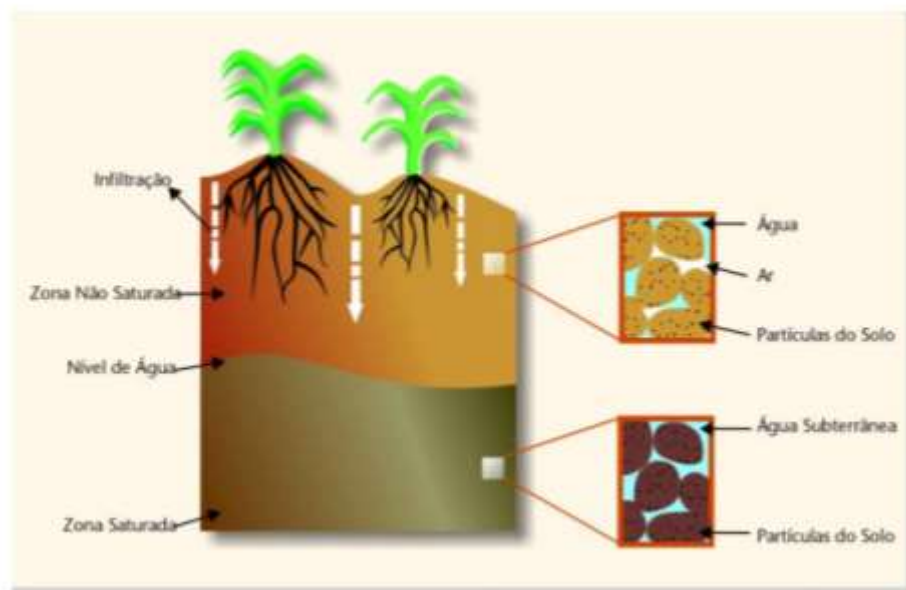


Figura 5 Esquema mostrando zona saturada e zona não saturada no subsolo. Fonte: Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), 2001.

A zona vadosa, ou não saturada, constitui um domínio através do qual a água de recarga deve passar para atingir o nível do lençol freático. As substâncias químicas são

transportadas através da zona vadosa dos solos nas fases gasosas ou líquidas (em fase aquosa ou não aquosa).

5.5 METAIS

Os metais constituem o maior grupo entre os elementos químicos. Muitos se encontram naturalmente nos solos e são essenciais a animais e plantas. Em grande concentrações são considerados prejudiciais à saúde tanto do ser humano quanto de outros seres vivos.

Os metais podem sofrer reações ao entrar em contato com o solo e normalmente se acumulam na camada superior dos solos, onde se encontram grande quantidade de matéria orgânica. A presença de metais tóxicos no solo pode ser originária do intemperismo das rochas ou devido a atividades humanas, como uso de pesticidas e fungicidas, deposição de esgoto doméstico contendo metais, atividade industrial e mineradora (SANTOS, 2011).

A ordem decrescente de toxicidade dos metais, segundo Pinto (2001), é: mercúrio (Hg), cobre (Cu), cádmio (Cd), zinco (Zn), chumbo (Pb), cromo (Cr), entre outros.

Os metais pesados podem ser percolados por meio do chorume, que se mistura com a água da chuva e outros líquidos, originalmente existentes no lixo, infiltrando-se no solo e, quando alcança o lençol freático, contamina a água subterrânea. A contaminação dessas águas tem consequências que perduram por tempo indefinido e são de difícil controle. Além de provocar a contaminação da água, essa disposição inadequada polui também o solo, atingindo as plantas, os animais e o homem (SABIA, 2013).

5.6 COMPOSTOS ORGÂNICOS

Muitos contaminantes orgânicos se encontram no estado líquido a temperaturas subsuperficiais típicas e possuem baixa solubilidade em água, onde se mantêm como fase separada: fase líquida não aquosa – NAPLs (*Non Aqueous Phase Liquids*).

Os NAPLs ou fases líquidas não aquosas englobam os solventes líquidos ou os hidrocarbonetos líquidos derivados de petróleo, e existem como fases distintas e imiscíveis em contato com a água. Fases líquidas não-aquosas são usualmente classificadas segundo a sua densidade relativa à água em: líquidos menos densos do que a água, chamados de LNAPLs (*Light Non Aqueous Phase Liquids*) como: gasolina, óleo diesel, etc., e líquidos mais densos do que a água denominados DNAPLs (*Dense Non Aqueous Phase Liquids*) como os solventes clorados: 1,1,1 tricloroetano, tricloroetileno (TCE), cloro fenóis, tetracloroetileno (PCE), entre outros (SOUZA, 2008).

Ao entrar em contato com o solo, o NAPL se move pela zona vadosa sob o efeito da gravidade até o lençol freático. Pode, ainda, ocorrer o espraiamento lateral e difusão desta fase em função do gradiente de pressão capilar.

Algumas propriedades físico-químicas influenciam o comportamento dos NAPLs em solos e águas subterrâneas. Os NAPLs com apenas um componente é de mais fácil previsão que o de multicompostos. Para os NAPLs multicompostos, cada um dos compostos tem propriedades diferentes e o multicomposto adquire propriedades que refletem a contribuição de todos os compostos, proporcional à fração molar de cada um deles. Assim, é variável o comportamento do multicomposto com o tempo, à medida que os componentes vão se solubilizando, volatilizando ou degradando e, portanto, variando sua fração molar.

6 MATERIAS E MÉTODOS

Para alcançar os objetivos propostos foram realizadas as seguintes atividades:

- Levantamento Bibliográfico;
- Compilação e Processamento dos dados;
- Avaliação dos contaminantes.

6.1 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

Foi realizado um levantamento bibliográfico das informações da área de estudo, bem como bibliográfica complementar para consultas e embasamento teórico e técnico (artigos, dissertações e relatórios técnicos).

Os dados processados e analisados foram obtidos a partir dos seguintes relatórios: Diagnóstico Ambiental STRATAGEO (2011), Campanha de pré-remediação (2013) e Campanha de pós-remediação (2016). Estes relatórios são referentes às campanhas de investigação e monitoramento da área do CENTRES.

6.2 COMPILAÇÃO E PROCESSAMENTO DOS DADOS

Após o levantamento das informações, foram processados os dados das análises de metais totais e compostos orgânicos em cada relatório e agrupados numa base de dados para posterior análise.

A base foi agrupada em três campanhas de investigação e monitoramento:

- Diagnóstico Ambiental STRATAGEO (2010);
- Etapa de Pré-remediação (2013);
- Etapa de Pós-remediação (2016).

6.3 AVALIAÇÃO DOS CONTAMINANTES

A partir da base de dados, foram analisados os seguintes parâmetros químicos:

- VOCs (*Volatile organic compounds*);
- SVOCs (*Semi Volatile Organic Compounds*);

- HPAs (Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos);
- Pesticidas Organoclorados;
- PCB's (*polychlorinated biphenyls*);
- TPH Fracionado (*Total petroleum hydrocarbons*);
- Metais totais.

Os teores obtidos nas análises das amostras de água subterrânea foram comparados com os Valores Orientadores de investigação para água subterrânea contido na Resolução 420 do CONAMA de 2009. Para a elaboração dos mapas de localização dos poços de monitoramento (PMs) e o mapa de identificação dos poços com anomalias foi utilizado o software ArcGis 10.2.2.

7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

7.1 POÇOS DE MONITORAMENTO (PMs)

A empresa STRATAGEO utilizou uma rede de monitoramento composta por 44 PMs para análise de água subterrânea. Os mesmos poços foram utilizados na etapa pré-remediação. Embora os poços da STRATAGEO e da pré-remediação sejam os mesmos, foi utilizada nomenclatura diferenciada para cada etapa: na STRATAGEO os poços foram nomeados como PM-CEN e na pré-remediação apresentam a nomenclatura PM-STG, mas os números são correlatos.

As amostras da fase de pós-remediação foram coletadas a partir de novos poços construídos na área interna do CENTRES. Foram instalados 33 poços de monitoramento para a etapa de pós-remediação. No presente trabalho os resultados das coletas e análises foi utilizado para a confecção de mapas de teores anômalos e outros resultados.

A seguir são apresentados os mapas de localização dos poços de monitoramento (PMs) para cada etapa de investigação (Figura 6 e Figura 7).

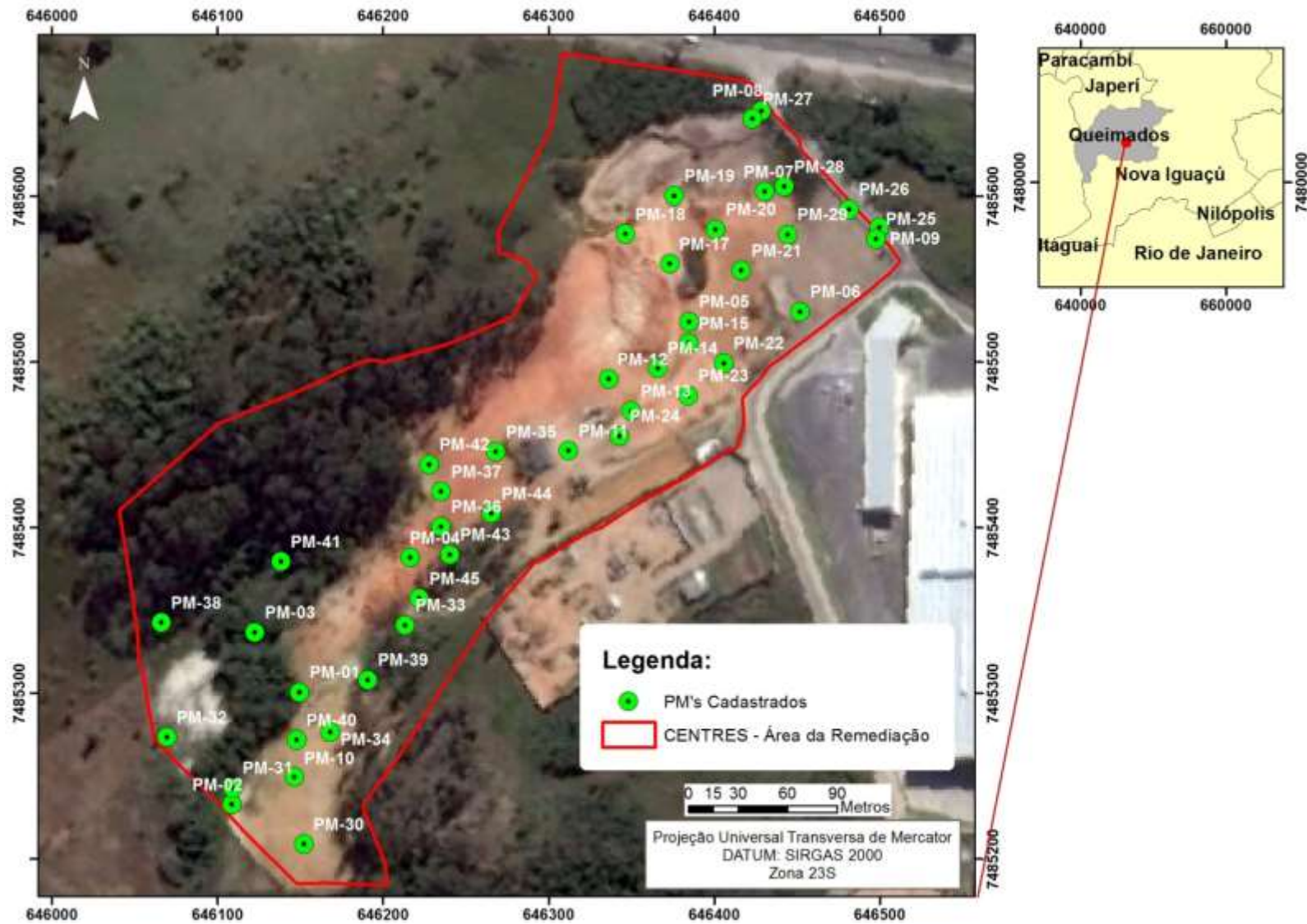


Figura 6 Localização dos PMs utilizados pela STRATAGEO e etapa pré-remediação.

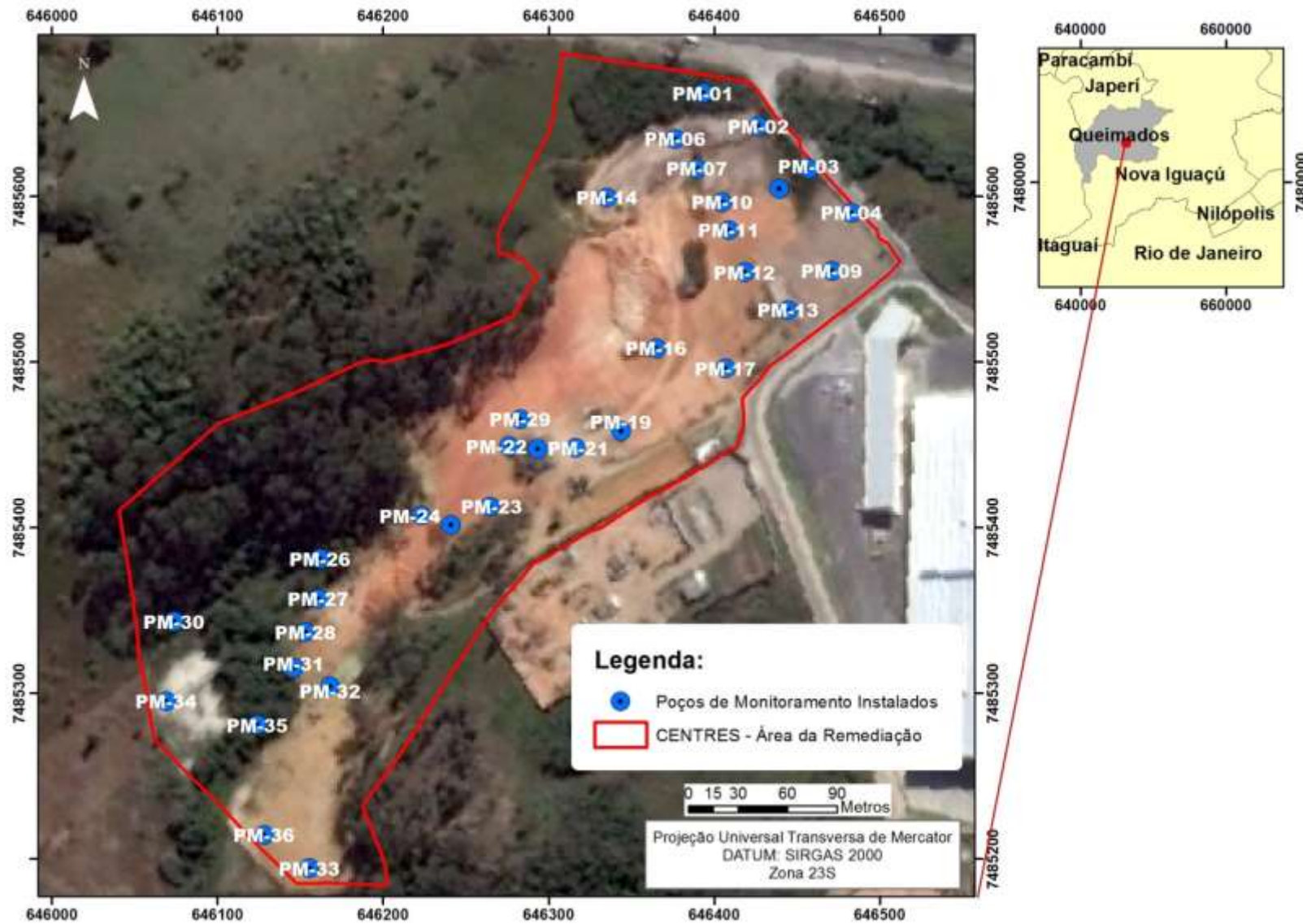


Figura 7 Localização dos PMs utilizados na etapa pós-remediação.

7.2 ANÁLISES DOS COMPOSTOS INORGÂNICOS

Na última etapa de monitoramento, a pós-remediação, foram analisados um total de 19 metais na água subterrânea. Em 25 poços de monitoramento foram detectados metais com concentrações acima do permitido na Resolução CONAMA 420/09. Não foram detectados valores anômalos para os poços: PM-14, PM-20, PM-21, PM-27, PM-28, PM-30 e PM-34. Não houve coleta de amostra para água subterrânea no poço PM-19 devido à ausência de água nesse poço.

A seguir são apresentados os resultados das análises para os metais na etapa de pós – remediação (Quadro 5, Quadro 6 e Quadro 7). Em vermelho estão os teores acima do Valor de Investigação (VI) contida no CONAMA 420/09 e em azul as concentrações detectadas abaixo do Limite de Quantificação (LQ) do método realizado.

Quadro 5 Resultados das análises dos metais (pós-remediação).

| Parâmetros | Al | Sb | As | Be | B | Cd | Pb |
|------------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|
| VI (µg/L) | 3500 | 5 | 10 | - | 500 | 5 | 10 |
| PM-01 | 2288,0 | < 5,00 | < 10,0 | < 10,0 | < 15,0 | < 4,00 | < 9,00 |
| PM-02 | 532,3 | < 5,00 | < 10,0 | < 10,0 | < 15,0 | < 4,00 | < 9,00 |
| PM-03 | 121,6 | < 5,00 | < 10,0 | < 10,0 | 1543,5 | < 4,00 | < 9,00 |
| PM-04 | 2869,6 | < 5,00 | < 10,0 | < 10,0 | 358,9 | < 4,00 | < 9,00 |
| PM 06 | 130,5 | < 5,00 | < 10,0 | < 10,0 | 85,2 | < 4,00 | < 9,00 |
| PM 07 | 2136,6 | < 5,00 | < 10,0 | < 10,0 | < 15,0 | < 4,00 | < 9,00 |
| PM-08 | 480,9 | < 5,00 | < 10,0 | < 10,0 | < 15,0 | < 4,00 | < 9,00 |
| PM-09 | 4723,9 | < 5,00 | < 10,0 | < 10,0 | 253,7 | < 4,00 | < 9,00 |
| PM 10 | 457,6 | < 5,00 | < 10,0 | < 10,0 | < 15,0 | < 4,00 | < 9,00 |
| PM-11 | 1629,0 | < 5,00 | < 10,0 | < 10,0 | 105,8 | < 4,00 | < 9,00 |
| PM-12 | 270,1 | < 5,00 | < 10,0 | < 10,0 | 10175,0 | < 4,00 | < 9,00 |
| PM-13 | 1352,2 | < 5,00 | < 10,0 | < 10,0 | 19,9 | < 4,00 | < 9,00 |
| PM-14 | 228,8 | < 5,00 | < 10,0 | < 10,0 | < 15,0 | < 4,00 | < 9,00 |
| PM-16 | 1215,1 | < 5,00 | < 10,0 | < 10,0 | < 15,0 | < 4,00 | < 9,00 |
| PM-17 | 515,8 | < 5,00 | < 10,0 | < 10,0 | < 15,0 | < 4,00 | < 9,00 |
| PM-19 | 120,1 | < 5,00 | < 10,0 | < 10,0 | < 15,0 | < 4,00 | < 9,00 |
| PM-20 | 200,6 | < 5,00 | < 10,0 | < 10,0 | 238,0 | < 4,00 | < 9,00 |
| PM-21 | 429,2 | < 5,00 | < 10,0 | < 10,0 | < 15,0 | < 4,00 | < 9,00 |
| PM-22 | 5149,2 | < 5,00 | < 10,0 | 128,1 | 124,5 | < 4,00 | < 9,00 |
| PM-23 | 2944,6 | < 5,00 | < 10,0 | < 10,0 | 16,3 | < 4,00 | < 9,00 |
| PM-24 | 817,4 | < 5,00 | < 10,0 | 24,7 | 1563,0 | < 4,00 | < 9,00 |
| PM-25 | 489,5 | < 5,00 | < 10,0 | < 10,0 | 351,2 | < 4,00 | < 9,00 |
| PM-26 | 7665,1 | < 5,00 | < 10,0 | < 10,0 | 336,4 | < 4,00 | < 9,00 |
| PM-27 | 272,6 | < 5,00 | < 10,0 | < 10,0 | < 15,0 | < 4,00 | < 9,00 |
| PM-28 | 321,5 | < 5,00 | < 10,0 | < 10,0 | 54,8 | < 4,00 | < 9,00 |
| PM-30 | 179,0 | < 5,00 | < 10,0 | < 10,0 | < 15,0 | < 4,00 | < 9,00 |
| PM-31 | 5537,4 | < 5,00 | < 10,0 | < 10,0 | < 15,0 | < 4,00 | < 9,00 |
| PM-32 | 756,3 | < 5,00 | < 10,0 | < 10,0 | 25,5 | < 4,00 | < 9,00 |
| PM-33 | 9425,0 | < 5,00 | < 10,0 | < 10,0 | < 15,0 | < 4,00 | < 9,00 |
| PM-34 | 899,2 | < 5,00 | < 10,0 | < 10,0 | < 15,0 | < 4,00 | < 9,00 |
| PM-35 | 81,4 | < 5,00 | < 10,0 | < 10,0 | < 15,0 | < 4,00 | < 9,00 |
| PM-36 | 894,6 | < 5,00 | < 10,0 | < 10,0 | < 15,0 | < 4,00 | < 9,00 |

Abaixo do LQ

Concentração Acima de VI

Concentração Abaixo do VI

Quadro 6 Resultados das análises dos metais (pós-remediação - continuação).

| Parâmetros | Co | Cu | Cr | Fe | Mn | Hg | Mo |
|-------------------|-----------|-------------|-----------|-------------|------------|-----------|-----------|
| VI (µg/L) | 70 | 2000 | 50 | 2450 | 400 | 1 | 70 |
| PM-01 | < 5,00 | < 9,00 | 24,7 | 5181,5 | 317,4 | < 0,200 | < 15,0 |
| PM-02 | < 5,00 | 13,5 | 29,0 | 1322,8 | 1056,2 | < 0,200 | < 15,0 |
| PM-03 | < 5,00 | < 9,00 | 50,9 | 75250,0 | 2680,4 | < 0,200 | < 15,0 |
| PM-04 | 25,8 | < 9,00 | 41,0 | 555,1 | 1240,2 | < 0,200 | < 15,0 |
| PM 06 | < 5,00 | < 9,00 | < 10,0 | 103446,2 | 16224,3 | < 0,200 | < 15,0 |
| PM 07 | 20,3 | < 9,00 | < 10,0 | 1662,6 | 1310,0 | < 0,200 | < 15,0 |
| PM-08 | < 5,00 | < 9,00 | 50,1 | 1131,5 | 435,9 | < 0,200 | < 15,0 |
| PM-09 | 29,7 | < 9,00 | 37,6 | 1285,9 | 1058,9 | < 0,200 | < 15,0 |
| PM 10 | 33,4 | < 9,00 | < 10,0 | 14911,6 | 2210,7 | < 0,200 | < 15,0 |
| PM-11 | 44,9 | 46,3 | < 10,0 | 6184,8 | 2174,6 | < 0,200 | < 15,0 |
| PM-12 | 28,9 | < 9,00 | < 10,0 | 64858,7 | 6720,7 | < 0,200 | < 15,0 |
| PM-13 | 52,9 | < 9,00 | 16,8 | 3085,9 | 847,4 | < 0,200 | < 15,0 |
| PM-14 | < 5,00 | < 9,00 | < 10,0 | 153,9 | < 10,0 | < 0,200 | < 15,0 |
| PM-16 | 490,2 | < 9,00 | < 10,0 | 139,4 | 15216,4 | < 0,200 | < 15,0 |
| PM-17 | 21,7 | 12,9 | < 10,0 | 96,3 | 670,7 | < 0,200 | < 15,0 |
| PM-19 | < 5,00 | < 9,00 | < 10,0 | 96,7 | < 10,0 | < 0,200 | < 15,0 |
| PM-20 | 15,9 | < 9,00 | < 10,0 | 99,7 | 228,9 | < 0,200 | < 15,0 |
| PM-21 | 38,3 | < 9,00 | < 10,0 | 339,1 | 118,8 | < 0,200 | < 15,0 |
| PM-22 | 308,0 | 154,5 | < 10,0 | 769,1 | 2419,6 | < 0,200 | < 15,0 |
| PM-23 | < 5,00 | 21,6 | < 10,0 | 8633,7 | 266,0 | < 0,200 | < 15,0 |
| PM-24 | 94,9 | 27,8 | < 10,0 | 144,0 | 1606,5 | < 0,200 | < 15,0 |
| PM-25 | 122,1 | 22,5 | < 10,0 | 52,2 | 826,5 | < 0,200 | < 15,0 |
| PM-26 | < 5,00 | < 9,00 | < 10,0 | 12991,2 | 2370,1 | < 0,200 | < 15,0 |
| PM-27 | < 5,00 | < 9,00 | < 10,0 | 358,6 | 91,2 | < 0,200 | < 15,0 |
| PM-28 | 10,0 | < 9,00 | < 10,0 | 96,6 | 208,6 | < 0,200 | < 15,0 |
| PM-30 | < 5,00 | < 9,00 | < 10,0 | 320,7 | 143,1 | < 0,200 | < 15,0 |
| PM-31 | < 5,00 | < 9,00 | < 10,0 | 16786,6 | 232,0 | < 0,200 | < 15,0 |
| PM-32 | 9,0 | < 9,00 | < 10,0 | 4795,7 | 881,8 | < 0,200 | < 15,0 |
| PM-33 | < 5,00 | < 9,00 | < 10,0 | 31234,7 | 704,0 | < 0,200 | < 15,0 |
| PM-34 | < 5,00 | < 9,00 | < 10,0 | 1438,5 | 44,2 | < 0,200 | < 15,0 |
| PM-35 | < 5,00 | < 9,00 | < 10,0 | 258,0 | 891,8 | < 0,200 | < 15,0 |
| PM-36 | < 5,00 | < 9,00 | < 10,0 | 2559,7 | 253,8 | < 0,200 | < 15,0 |

Abaixo do LQ

Concentração Acima de VI

Concentração Abaixo do VI

Quadro 7 Resultados das análises dos metais (pós-remediação - continuação).

| Parâmetros | Ni | Ag | Se | V | Zn |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| VI (µg/L) | 20 | 50 | 10 | - | 1050 |
| PM-01 | 21,7 | < 5,00 | < 9,00 | < 15,0 | 224,3 |
| PM-02 | 30,7 | < 5,00 | < 9,00 | < 15,0 | 538,5 |
| PM-03 | 37,2 | < 5,00 | < 9,00 | < 15,0 | 143,7 |
| PM-04 | 52,8 | < 5,00 | < 9,00 | < 15,0 | 403,5 |
| PM 06 | < 5,00 | < 5,00 | < 9,00 | < 15,0 | < 70,0 |
| PM 07 | < 5,00 | < 5,00 | < 9,00 | < 15,0 | 102,2 |
| PM-08 | 28,5 | < 5,00 | < 9,00 | < 15,0 | 235,3 |
| PM-09 | 41,0 | < 5,00 | < 9,00 | < 15,0 | 427,8 |
| PM 10 | < 5,00 | < 5,00 | < 9,00 | < 15,0 | < 70,0 |
| PM-11 | < 5,00 | < 5,00 | < 9,00 | < 15,0 | < 70,0 |
| PM-12 | < 5,00 | < 5,00 | < 9,00 | < 15,0 | < 70,0 |
| PM-13 | 27,4 | < 5,00 | < 9,00 | < 15,0 | 358,0 |
| PM-14 | < 5,00 | < 5,00 | < 9,00 | < 15,0 | < 70,0 |
| PM-16 | 91,6 | < 5,00 | < 9,00 | < 15,0 | 714,6 |
| PM-17 | < 5,00 | < 5,00 | < 9,00 | < 15,0 | 267,4 |
| PM-19 | 103,3 | < 5,00 | < 9,00 | < 15,0 | < 70,0 |
| PM-20 | < 5,00 | < 5,00 | < 9,00 | < 15,0 | 92,3 |
| PM-21 | < 5,00 | < 5,00 | < 9,00 | < 15,0 | 124,9 |
| PM-22 | < 5,00 | < 5,00 | < 9,00 | 95,7 | 342,4 |
| PM-23 | < 5,00 | < 5,00 | < 9,00 | 32,0 | 180,0 |
| PM-24 | < 5,00 | < 5,00 | < 9,00 | < 15,0 | 184,9 |
| PM-25 | < 5,00 | < 5,00 | < 9,00 | < 15,0 | 255,9 |
| PM-26 | < 5,00 | < 5,00 | < 9,00 | < 15,0 | < 70,0 |
| PM-27 | < 5,00 | < 5,00 | < 9,00 | < 15,0 | < 70,0 |
| PM-28 | < 5,00 | < 5,00 | < 9,00 | < 15,0 | < 70,0 |
| PM-30 | < 5,00 | < 5,00 | < 9,00 | < 15,0 | < 70,0 |
| PM-31 | < 5,00 | < 5,00 | < 9,00 | < 15,0 | 728,2 |
| PM-32 | < 5,00 | < 5,00 | < 9,00 | < 15,0 | < 70,0 |
| PM-33 | < 5,00 | < 5,00 | < 9,00 | < 15,0 | 124,5 |
| PM-34 | < 5,00 | < 5,00 | < 9,00 | < 15,0 | < 70,0 |
| PM-35 | < 5,00 | < 5,00 | < 9,00 | < 15,0 | < 70,0 |
| PM-36 | < 5,00 | < 5,00 | < 9,00 | < 15,0 | < 70,0 |

Abaixo do LQ

Concentração Acima de VI

Concentração Abaixo do VI

A seguir, são apresentados os quadros com os metais que apresentaram anomalias no diagnóstico STRATAGEO e na etapa pré-remediação, a fim de comparação com os dados da pós-remediação (Quadro 8 e Quadro 9).

Quadro 8 Resultados das análises dos metais (STRATAGEO).

| Parâmetros | Pb | Hg | Zn | Co | Cr |
|--------------------|-----------|-----------|-------------|-----------|-----------|
| VI (µg/L) | 10 | 1 | 1050 | 70 | 50 |
| PM-05 | 41 | < 0,200 | 102 | < 5,00 | < 10,0 |
| PM-07 | 121 | < 0,200 | 412 | < 5,00 | 23 |
| PM-08 | < 9,00 | < 0,200 | 82 | < 5,00 | < 10,0 |
| PM-09 | < 9,00 | < 0,200 | 83 | < 5,00 | < 10,0 |
| PM-CEN-0011 | 214 | < 0,200 | 358 | < 5,00 | < 10,0 |
| PM-CEN-0012 | 38 | < 0,200 | 93 | < 5,00 | < 10,0 |
| PM-CEN-0013 | 71 | < 0,200 | 137 | < 5,00 | < 10,0 |
| PM-CEN-0014 | 87 | < 0,200 | 304 | < 5,00 | < 10,0 |
| PM-CEN-0016 | 78 | < 0,200 | 649 | < 5,00 | 15 |
| PM-CEN-0017 | < 9,00 | < 0,200 | 156 | < 5,00 | < 10,0 |
| PM-CEN-0018 | 198 | < 0,200 | 56 | < 5,00 | 48 |
| PM-CEN-0020 | < 9,00 | < 0,200 | 421 | < 5,00 | 45 |
| PM-CEN-0021 | < 9,00 | < 0,200 | 628 | < 5,00 | < 10,0 |
| PM-CEN-0024 | 58 | < 0,200 | 104 | < 5,00 | < 10,0 |
| PM-CEN-0025 | 70 | < 0,200 | 304 | < 5,00 | 108 |
| PM-CEN-0026 | 99 | < 0,200 | 411 | < 5,00 | < 10,0 |
| PM-CEN-0027 | 283 | < 0,200 | 186 | < 5,00 | 67 |
| PM-CEN-0028 | < 9,00 | < 0,200 | 32 | < 5,00 | < 10,0 |
| PM-CEN-0029 | < 9,00 | < 0,200 | 1710 | < 5,00 | < 10,0 |
| PM-CEN-0030 | 53 | < 0,200 | 54 | < 5,00 | 11 |
| PM-CEN-0033 | 156 | < 0,200 | < 70,0 | < 5,00 | 10 |
| PM-CEN-0034 | 295 | < 0,200 | 76 | < 5,00 | 17 |
| PM-CEN-0035 | 122 | < 0,200 | 276 | < 5,00 | < 10,0 |
| PM-CEN-0036 | 102 | < 0,200 | 388 | < 5,00 | 15 |
| PM-CEN-0037 | 75 | < 0,200 | 243 | < 5,00 | < 10,0 |
| PM-CEN-0038 | 92 | < 0,200 | < 70,0 | < 5,00 | < 10,0 |
| PM-CEN-0039 | 88 | < 0,200 | 111 | < 5,00 | < 10,0 |
| PM-CEN-0040 | 141 | < 0,200 | 25 | < 5,00 | < 10,0 |
| PM-CEN-0041 | 70 | < 0,200 | < 70,0 | < 5,00 | < 10,0 |
| PM-CEN-0042 | 34 | < 0,200 | 256 | < 5,00 | < 10,0 |
| PM-CEN-0043 | 85 | < 0,200 | 81 | < 5,00 | < 10,0 |
| PM-CEN-0044 | 45 | < 0,200 | 49 | < 5,00 | < 10,0 |
| PM-CEN-0045 | 178 | < 0,200 | 37 | < 5,00 | < 10,0 |
| PM-CEN-0046 | 187 | < 0,200 | 140 | < 5,00 | < 10,0 |
| PM-CEN-0047 | 56 | < 0,200 | < 70,0 | < 5,00 | < 10,0 |
| PM-CEN-0048 | < 9,00 | < 0,200 | 31 | < 5,00 | 11 |

Quadro 9 Resultados das análises dos metais (pré-remediação).

| Parâmetros | Pb | Hg | Zn | Co | Cr |
|-------------|--------|---------|--------|--------|--------|
| VI (µg/L) | 10 | 1 | 1050 | 70 | 50 |
| PM-06 | < 9,00 | < 0,200 | < 70,0 | < 5,00 | < 10,0 |
| PM-08 | < 9,00 | < 0,200 | < 70,0 | < 5,00 | < 10,0 |
| PM-CEN-0011 | 82 | < 0,200 | 232 | < 5,00 | < 10,0 |
| PM-CEN-0013 | 58 | < 0,200 | 353 | < 5,00 | < 10,0 |
| PM-CEN-0014 | 122 | 2,4 | < 70,0 | < 5,00 | < 10,0 |
| PM-CEN-0015 | < 9,00 | < 0,200 | 196 | < 5,00 | < 10,0 |
| PM-CEN-0016 | < 9,00 | < 0,200 | 144 | < 5,00 | < 10,0 |
| PM-CEN-0017 | 46 | < 0,200 | 132 | < 5,00 | < 10,0 |
| PM-CEN-0019 | < 9,00 | < 0,200 | 114 | < 5,00 | 12 |
| PM-CEN-0020 | 89 | < 0,200 | 301 | < 5,00 | < 10,0 |
| PM-CEN-0021 | 52 | < 0,200 | 455 | < 5,00 | < 10,0 |
| PM-CEN-0022 | < 9,00 | < 0,200 | 106 | < 5,00 | < 10,0 |
| PM-CEN-0023 | < 9,00 | < 0,200 | < 70,0 | < 5,00 | < 10,0 |
| PM-CEN-0024 | 74 | < 0,200 | 120 | < 5,00 | < 10,0 |
| PM-CEN-0026 | 495 | < 0,200 | < 70,0 | < 5,00 | < 10,0 |
| PM-CEN-0027 | 98 | < 0,200 | 79 | < 5,00 | < 10,0 |
| PM-CEN-0028 | 385 | < 0,200 | 87 | < 5,00 | 14 |
| PM-CEN-0029 | < 9,00 | < 0,200 | 112 | < 5,00 | < 10,0 |
| PM-CEN-0031 | 216 | < 0,200 | 124 | < 5,00 | < 10,0 |
| PM-CEN-0036 | 199 | < 0,200 | 90 | < 5,00 | < 10,0 |
| PM-CEN-0038 | 210 | < 0,200 | 70 | < 5,00 | < 10,0 |
| PM-CEN-0043 | < 9,00 | < 0,200 | 90 | < 5,00 | < 10,0 |
| PM-CEN-0044 | < 9,00 | < 0,200 | 416 | < 5,00 | < 10,0 |
| PM-CEN-0046 | 258 | < 0,200 | 88 | < 5,00 | < 10,0 |
| PM-CEN-0047 | 305 | < 0,200 | 76 | < 5,00 | < 10,0 |
| PM-CEN-0048 | 105 | < 0,200 | 152 | < 5,00 | < 10,0 |

| |
|--------------|
| Abaixo do LQ |
|--------------|

| |
|--------------------------|
| Concentração Acima de VI |
|--------------------------|

| |
|---------------------------|
| Concentração Abaixo do VI |
|---------------------------|

Os elementos antimônio, arsênio, berílio, cádmio, chumbo, cobre, mercúrio, molibdênio, prata, selênio, vanádio e zinco foram encontrados abaixo do Limite de Quantificação do método ou abaixo do valor orientador de investigação propostos pelo CONAMA 420/09. Com exceção do chumbo, mercúrio e zinco, os demais também foram detectados abaixo do LQ ou VI no diagnóstico STRATAGEO e na fase pré-remediação.

O chumbo ocorreu com concentração acima do valor orientador em 28 PMs no diagnóstico STRATAGEO (Figura 8) e em 16 PMs na etapa pré-remediação (Figura 9).

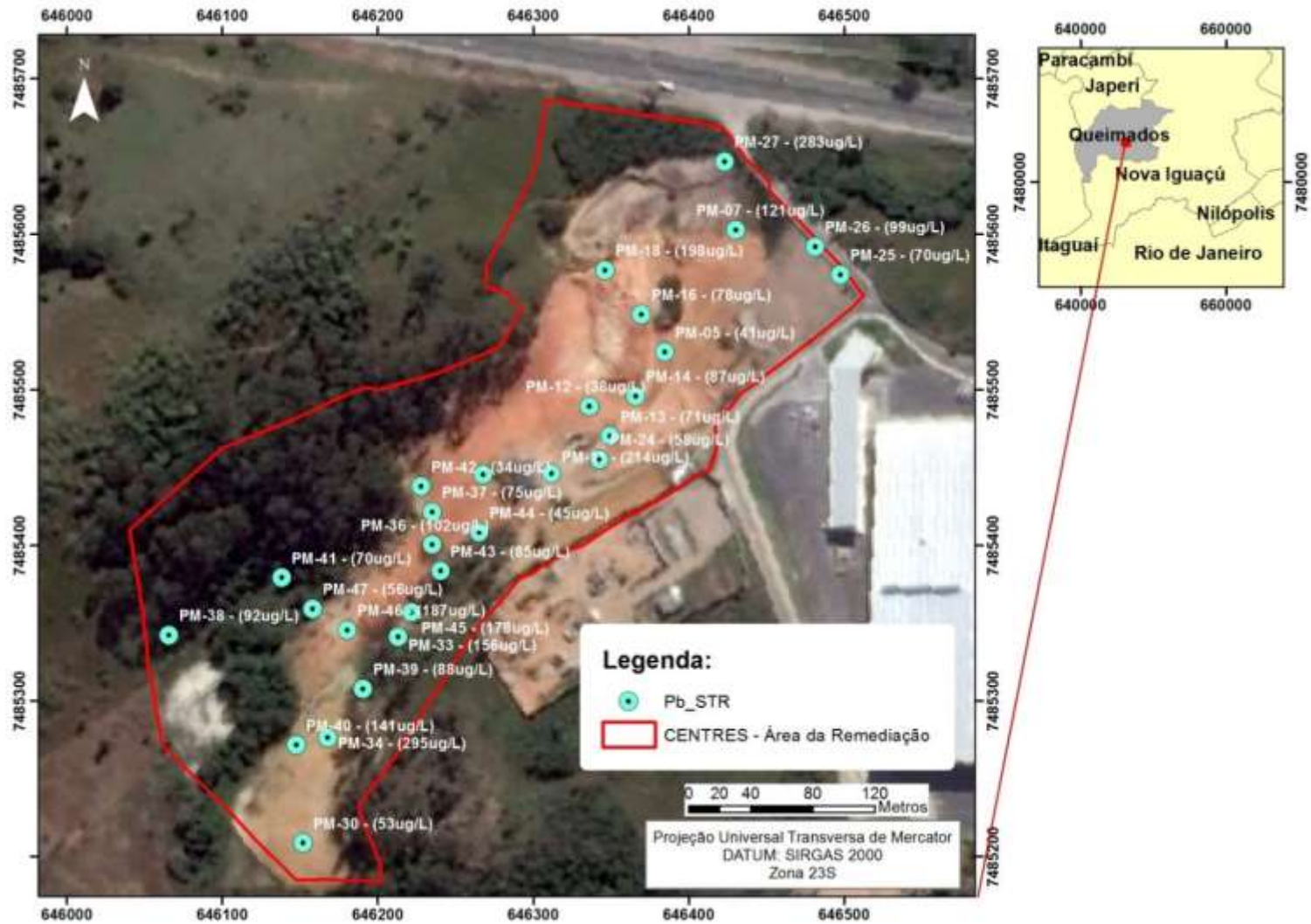


Figura 8 PMs com anomalias de chumbo (STRATAGEO).

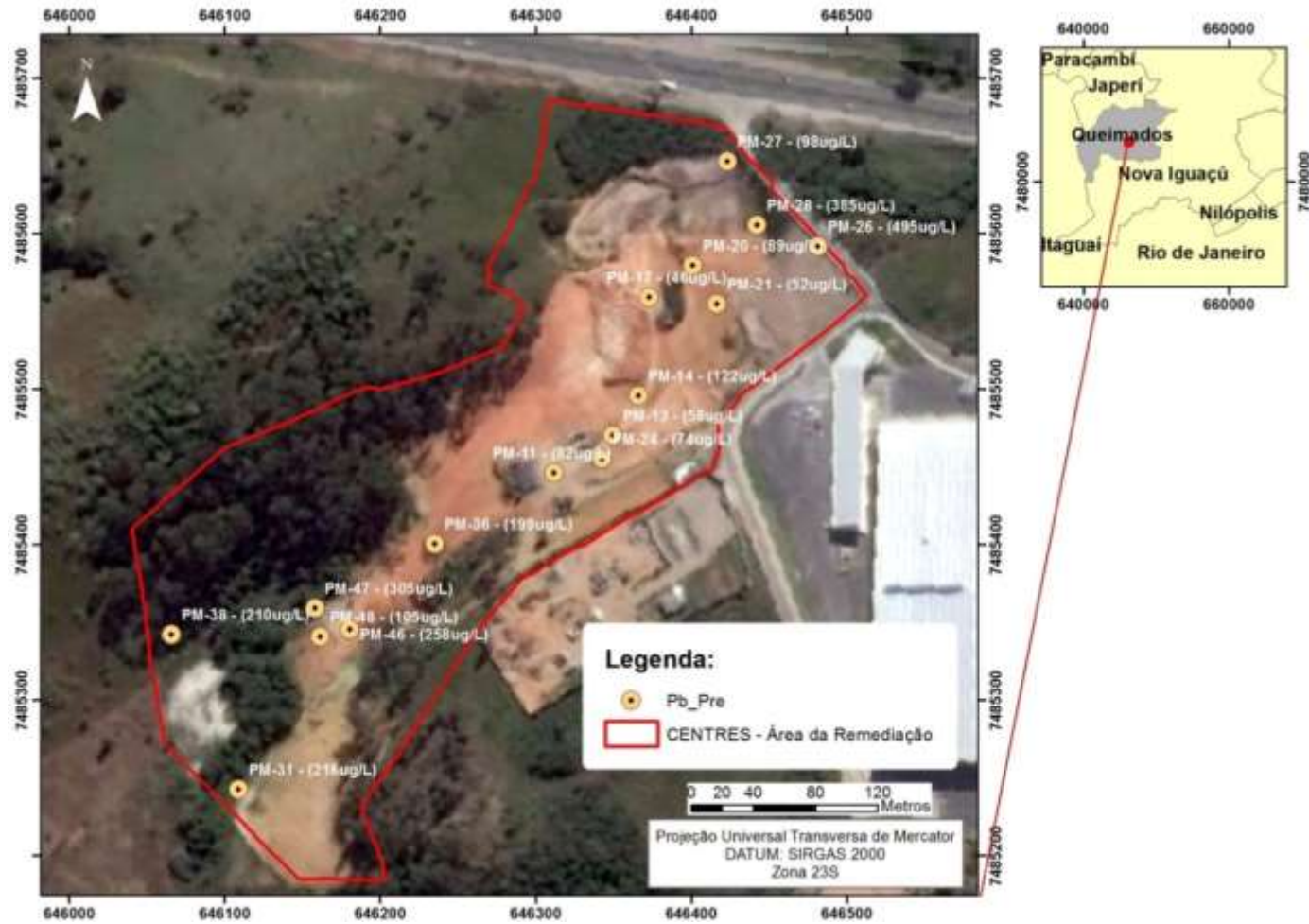


Figura 9 PMs com anomalias de chumbo (pré-remediação).

O mercúrio foi detectado com concentrações inferiores permitidas na Resolução CONAMA 420 de 2009, segundo o diagnóstico STRATAGEO, porém na pré-remediação foi encontrado com concentração acima do VI, em um único poço (PM-STG-14, 2,4 µg/L) (Figura 10). O zinco apresentou concentração acima do valor de investigação apenas no diagnóstico STRATAGEO, em um único poço (PM-CEN-0029, 1710 µg/L) (Figura 11). Na etapa final nenhum desses elementos foi detectado com concentração anômala.



Figura 10 PM com anomalia de mercúrio (pré-remediação).



Figura 11 PM com anomalia de zinco (STRATAGEO).

O cobalto e o cromo apresentaram um enriquecimento ao longo das etapas. O cobalto foi detectado com teor abaixo do LQ pela STRATAGEO e não foi detectado na pré-remediação, enquanto que na pós-remediação foi encontrado com valores anômalos para os seguintes poços: PM-16 (490,2 µg/L), PM-22 (308 µg/L), PM-24 (94,9 µg/L), PM-25 (122 µg/L) (Figura 12). A baixa mobilidade do cobalto poderia ser a explicação do seu aparecimento tardio na água subterrânea.

O cromo apresentou concentração anômala na investigação STRATAGEO nos poços PM-CEN-0025 (108 µg/L) e PM-CEN-0027 (67 µg/L) (Figura 13). Na etapa pré-remediação foi detectado abaixo do LQ. Na etapa pós-remediação esse metal apareceu com concentrações um pouco acima do VI para água subterrânea, nos poços PM-03 (50,9 µg/L) e PM-08 (50,1 µg/L) (Figura 14). Uma vez escavado o material residual e cessada a fonte, entende-se que o resíduo que havia lixiviado para água subterrânea já havia sido reduzido, não sendo, portanto, detectado na pré-remediação. A concentração anômala na pós-remediação poderia ser explicada como uma lixiviação tardia dos resíduos remanescentes no solo.

Abaixo, encontram-se os mapas de localização dos PMs com anomalias de metais nas respectivas etapas.

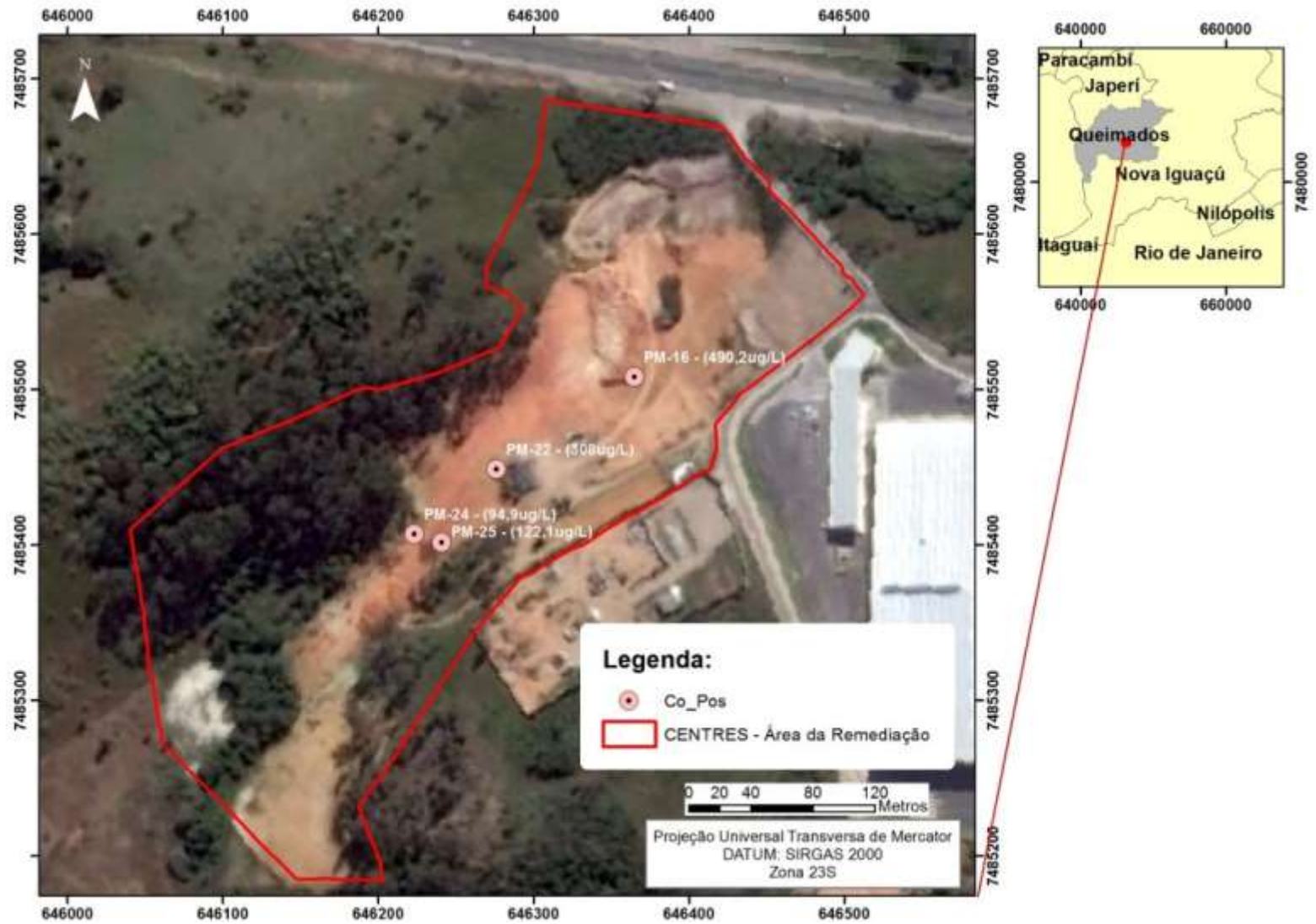


Figura 12 PMs com anomalias de cobalto (pós-remediação).



Figura 13 PMs com anomalias de cromo (STRATAGEO).



Figura 14 PMs com anomalias de cromo (pós-remediação).

O alumínio, boro, ferro, manganês e níquel persistiram com concentração anômala nas três análises. Na pós-remediação foram detectados nos poços:

- Alumínio: PM-09, PM-22, PM-26, PM-31 e PM-33;
- Boro: PM-03, PM-12 e PM-24;
- Ferro: PM-01, PM-03, PM-06, PM-10, PM-11, PM-12, PM-13, PM-23, PM-26, PM-31, PM-32, PM-33 e PM-36;
- Manganês: PM-02, PM-03, PM-04, PM-06, PM-07, PM-08, PM-09, PM-10, PM-11, PM-12, PM-13, PM-16, PM-17, PM-22, PM-24, PM-25, PM-26, PM-32, PM-33, PM-35;
- Níquel: PM-01, PM-02, PM-03, PM-04, PM-08, PM-09, PM-13, PM-16 e PM-19.

O alumínio, ferro e manganês são alguns dos metais mais abundantes na crosta terrestre. No Estado do Rio de Janeiro, são encontrados naturalmente em concentrações elevadas. A concentração de metais nos solos varia de acordo com a região. Um solo mais acidificado aumenta a mobilização de alguns metais. O alumínio, ferro e manganês possuem grande mobilidade no solo. A ocorrência desses elementos com alta concentração também pode estar relacionada à presença de minerais aluminossilicatos presentes na rocha e solo da região.

O níquel também possui de média a alta mobilidade no solo e tem como origem natural as rochas ígneas. Há poucas referências quanto a toxicidade do níquel. O boro liberado do solo pode seguir vários caminhos, tais como ser absorvido pelas plantas, ser perdido por lixiviação ou ser adsorvido pelos colóides do solo.

A concentração dos metais na água subterrânea provavelmente ocorre devido à lixiviação decorrente de processos intempéricos, oriundo de matérias ou elementos. Os elementos pouco móveis tendem a permanecer junto dos produtos clásticos do intemperismo, enquanto que os elementos móveis tendem a se afastar como carga em solução das águas superficiais e subterrâneas, sendo carregado pela água sob a forma de um componente de solutos estáveis ou suspensóides. Quando transportado na água sob a forma menos estável, as chances de formar precipitados são elevadas e a mobilidade efetiva será menor.

7.3 ANÁLISES DOS COMPOSTOS ORGÂNICOS

Na etapa de pós-remediação foram analisadas amostras retiradas dos 33 PMs instalados na área do CENTRES para os compostos: TPH, PCB's, Pesticidas Organoclorados, VOC's e SVOC's.

Foi detectada anomalia apenas no poço PM-01 referente ao composto Cis-1,2-Dicloroetano, com concentração de 141,2 µg/L. Para todos os demais compostos as concentrações ficaram abaixo do LQ ou VI (Quadro 10 e Figura 15).

O composto Cis-1,2-dicloroetano foi também detectado na etapa pré-remediação no poço PM-STG-47 (62,0 µg/L) (Quadro 11 e Figura 16).

Os compostos 1,2-dicloroetano e tetracloroetano foram detectados no diagnóstico STRATAGEO e pré-remediação, mas apresentou concentrações abaixo do LQ na pós-remediação. Os teores e mapa de localização da anomalia para o composto 1,2-Dicloroetano pode ser visto no Quadro 12 e Figura 17 para o diagnóstico ambiental STRATAGEO e Quadro 13 e Figura 18 para pré-remediação. A concentração e mapa para o tetracloroetano se encontra no Quadro 14 e Figura 19 para STRATAGEO e Quadro 15 e Figura 20 para a fase pré-remediação.

Quadro 10 PMs e concentração do composto Cis-1,2-Dicloroetano (pós-remediação).

| pós-remediação | |
|----------------|-----------------------------|
| PMS | Cis-1,2-Dicloroetano (µg/L) |
| PM-01 | 141,2 |

Quadro 11 PM de concentração do composto Cis-1,2-Dicloroetano (pré-remediação).

| pré-remediação | |
|----------------|-----------------------------|
| PMS | Cis-1,2-Dicloroetano (µg/L) |
| PM-CEN-0047 | 62,0 |

Quadro 12 PMs e concentração do composto 1,2-Dicloroetano (STRATAGEO).

| STRATAGEO | |
|--------------------|------------------------------------|
| PMs | 1,2-Dicloroetano (µg/L) |
| PM-07 | 21,6 |
| PM-09 | 14,7 |
| PM-CEN-0017 | 29,3 |
| PM-CEN-0020 | 20,2 |
| PM-CEN-0028 | 72,5 |

Quadro 13 PMs e concentração do composto 1,2-Dicloroetano (pré-remediação).

| pré-remediação | |
|-----------------------|------------------------------------|
| PMs | 1,2-Dicloroetano (µg/L) |
| PM-STG-0029 | 62,3 |

Quadro 14 PMs e concentração do composto Tetracloroetano (STRATAGEO).

| STRATAGEO | |
|--------------------|-----------------------------------|
| PMs | Tetracloroetano (µg/L) |
| PM-CEN-0017 | 51,9 |
| PM-CEN-0018 | 142,1 |
| PM-CEN-0036 | 82,2 |
| PM-CEN-0044 | 49,1 |

Quadro 15 PMs e concentração do composto Tetracloroetano (pré-remediação).

| pré-remediação | |
|-----------------------|-----------------------------------|
| PMS | Tetracloroetano (µg/L) |
| PM-STG-0047 | 117,1 |



Figura 15 PM com anomalia do composto Cis-1,2-Dicloroeteno (pós-remediação).



Figura 16 PM com anomalia do composto Cis-1,2-Dicloroeteno (pré-remediação).



Figura 17 PM com anomalia do composto 1,2-Dicloroetano (STRATAGEO).



Figura 18 PM com anomalia do composto 1,2-Dicloroetano (pré-remediação).



Figura 19 PMs com anomalia do composto Tetracloroeteno (STRATAGEO).



Figura 20 PMs com anomalia do composto Tetrachloroeteno (pré-remediação).

7.4 SINTESE DOS RESULTADOS

Observou-se que, na área do CENTRES, não houve contaminação por cádmio e cobre que são metais que apresentam alta toxicidade. Outros metais com alta toxicidade, como mercúrio, chumbo e zinco foram detectados com concentração anômala nas etapas anteriores à pós-remediação, no entanto não apresentam concentrações superiores ao permitido na Resolução na área do pátio de estocagem, segundo os últimos resultados.

O cromo, o cobalto e o cis-1,2-dicloroeteno apresentam concentração acima do permitido no CONAMA 420/09 no pátio de estocagem. Esta ocorrência pode ser atribuída a uma lixiviação posterior à escavação que ocorreu após a pré-remediação. Nota-se também que o local mais afetado por estes elementos é a porções nordeste da área, onde foram detectados tambores enterrados em valas (representado em vermelho na Figura 21). Atualmente, a porção sudoeste do sitio não apresenta concentração anômala de nenhuma substância. As anomalias de alumínio, ferro, manganês, boro e níquel podem ser atribuídas à presença de minerais aluminossilicatos presentes na rocha e solo da região.

A lixiviação e a mobilidade dos elementos químicos representam uma grande influencia na concentração dos metais na água subterrânea. As ações de remediação, aparentemente, mostraram-se eficiente para a redução dos compostos orgânicos e inorgânicos na área estudada.



Figura 21 Região do CENTRES mais afetada pela contaminação.

8 CONCLUSÕES

O gerenciamento de áreas contaminadas visa minimizar os riscos à população e ao meio ambiente, por meio de um conjunto de medidas que assegurem o conhecimento das características dessas áreas e dos impactos por elas causados, proporcionando os instrumentos necessários à tomada de decisão quanto às formas de intervenção mais adequadas.

Este estudo analisou três campanhas de investigação da área contaminada do pátio de estocagem do CENTRES, e as ações de remediação mostraram-se eficaz na redução dos contaminantes provenientes de resíduos industriais.

Para os metais analisados temos que o mercúrio, zinco e chumbo, que são os principais elementos com alta toxicidade tiveram suas concentrações reduzidas ao longo do tempo, estando atualmente abaixo dos valores orientadores de investigação da água subterrânea indicada na Resolução 420 do CONAMA de 2009. As altas concentrações de alumínio, boro, ferro, manganês, níquel, cromo e cobalto foram atribuídas às fontes secundárias de contaminação que se se caracterizam pela lixiviação do solo, associado disponibilidade e mobilidade dos elementos.

As ações de remediação também mostraram-se eficaz para a redução dos compostos orgânicos na água subterrânea. Os Compostos 1,2-Dicloroetano e Tetracloroetano tiveram suas concentrações reduzidas não sendo detectados no último monitoramento. Dentre os compostos estudados o Cis-1,2-Dicloroetano foi o único detectado com valores anômalos no pátio do CENTRES, concentrado em um local restrito.

REFERÊNCIAS

ABAS (Associação Brasileira de Águas Subterrâneas). Disponível em: <<http://www.abas.org/educacao.php>>. Acessado em: dezembro de 2016

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) 2004. 10.004 - Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, RJ: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) 2007. NBR 15.515-1 - Passivo ambiental em solo e água subterrânea – Parte 1: Avaliação Preliminar. Rio de Janeiro.

CETESB - GTZ (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit) 2001. Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas. Projeto CETESB/GTZ, Cooperação técnica Brasil-Alemanha. 2º ed. 389p.

COMITÊ GUANDU. Disponível em <- <http://www.comiteguandu.org.br/rio-guandu.php>>. Acesso em: novembro de 2016.

CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) 2009. Resolução Nº 420. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Brasília – DF, Ministério do Meio Ambiente.

CPRM (Serviço Geológico do Brasil) 2001. Geologia do Estado do Rio de Janeiro: texto explicativo do mapa geológico do Estado do Rio de Janeiro. Brasília: CPRM. 2ª edição revista. 1 CD-ROM Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Executado pela CPRM - Serviço Geológico do Brasil /Departamento de Recursos Minerais - DRM – RJ.

CPRM – (Serviço Geológico do Brasil). Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Geodiversidade/Projeto-Rio-de-Janeiro---Geologia-612.html>>. Acesso em janeiro de 2017.

DRM (Serviço Geológico do Estado do Rio de Janeiro), 1982. FOLHA DE PARACAMBI (SF-23-Q-III-2). PROJETO CARTA GEOLÓGICA DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. Niteroi-RJ.

DRM-RJ – Serviço Geológico do Estado do Rio de Janeiro. 2015. Cenário das águas minerais no estado do Rio de Janeiro.

DZ (DIRETRIZ). DZ:131. Diretriz de Destinação de Resíduos Aprovada pela Deliberação CECA n. 3.327 de 29 de novembro de 1994. Estabelecido pela FEEMA.

EGER, Glauco Zely da Silva. FORMULAÇÃO DE MODELOS CONCEITUAIS HIDROGEOLÓGICOS EM ÁREAS CONTAMINADAS: ESTUDO DE CASO DO CENTRO TECNOLÓGICO DE RESÍDUOS (CENTRES), QUEIMADOS–RJ. Rio de Janeiro, 2015. xx, 93 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). Disponível em: <
<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/3561194/artigo---importancia-do-solo-para-a-agua-subterranea>>; acessado em: dezembro/2016.

FINAMORE, R. 2010. Contaminação do solo e conflitos: o caso da empresa CENTRES. RGSA –Revista de Gestão Social e Ambiental. Set-Dez. 2010, v.4, n.3, p.119-135.

FREITAS, L. D. 2014. Metodologias de avaliação de risco à saúde humana e a caracterização do risco: estudo de caso – Centro de Tratamento de Resíduos Sólidos (CENTRES), Queimados, RJ. Rio de Janeiro: Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, 95 p.

GEORADAR. 2004. CENTRES - Centro de Tratamento de Resíduos Sólidos – Queimados/RJ. Diagnóstico Geoambiental Integrado - Técnicas geofísicas associadas a sondagens e análises geoquímicas. Georadar.

INEA (Instituto Estadual do Ambiente). 2012 Bacia Hidrográfica dos Rios Guandu, da Guarda e Guandu-Mirim Experiências para a gestão dos recursos hídricos. 340 p. : il.

LNEG (Laboratório Nacional de Energia e Geologia). Hidrogeologia: Conhecer para proteger e preservar. Lisboa, Portugal - 2001.

MARTINS, A. M.; CAPUCCI, E. CAETANO, L. C.; CARDOSO, G.; BARRETO, A. B. C, MONSORES, A. L. M., LEAL, A. S.; VIANA, P. 2006. Hidrogeologia do Estado do Rio de

Janeiro. Síntese do estágio atual do conhecimento. In: XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. p. 117.

MMA (Ministério do Meio Ambiente). Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. 2007. Águas Subterrâneas: Um recurso a ser conhecido e protegido. Brasília, 2007.

OLIVEIRA, S. A. de. 2008 Avaliação do comportamento do chumbo em latossolos contaminados artificialmente e tratados com rocha fosfatada brasileira: estratégia para a remediação de áreas contaminadas. (Monografia de Graduação). UERJ. São Gonçalo, 2008.

PINTO, E.M. 2001. Principais dificuldades de gerenciamento de resíduos industriais no Estado do Rio de Janeiro: O caso CENTRES – Centro Tecnológico de Resíduos, localizado no município de Queimados. Instituto de Geociências, Universidade Federal Fluminense, Dissertação de Mestrado, 132p

SABIA, R. J.; SILVA, D.L.; BARROS, G. D. T; SANTOS, Y. T. C; LIMA, A.G. 2013. Contaminação dos metais pesados em águas superficiais provocados por resíduos industriais dispostos no lixão de Juazeiro do Norte – CE .In: XXXIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUCAO A Gestão dos Processos de Produção e as Parcerias Globais para o Desenvolvimento Sustentável dos Sistemas Produtivos Salvador, BA, Brasil.

SANTOS, M. C. B. 2011. Avaliação da Contaminação por Metais em Solos Impactados pela Disposição de Rejeitos Industriais: Caso de Estudo: CENTRES (Queimados, RJ). Niterói, Instituto de Geociências, Universidade Federal Fluminense, Dissertação de Mestrado, 77p.

SEMADS, (Secretaria do Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável). 2001. Bacias Hidrográficas e Rios Fluminenses - Síntese Informativa por Macrorregião Ambiental.

SOUZA, E. F.; PERES, M. R.; MORAES, S. B. 2008. Seleção de surfactantes para a solubilização e remoção de LNAPLs de águas subterrâneas. In: XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas.

STRATAGEO. 2011. Relatório Final de Diagnóstico Ambiental Detalhado da Área do Centro de Tratamento de Resíduos Sólidos – CENTRES. Maio. 2011. 188p.

TUPINAMBÁ, M., HEILBRON, M., DUARTE, B.P., NOGUEIRA, J.R., VALLADARES, C., ALMEIDA, J., EIRADO SILVA, L. G., MEDEIROS, S. R., ALMEIDA, C. G., MIRANDA, A., RAGATKY, C. D., MENDES, J., LUDKA, I. 2007. Geologia da Faixa

Ribeira Setentrional: estado da arte e conexões com a Faixa Araçuaí. *Geonomos* 15(1): 67 - 79.

UFRRJ. (Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro). Disponível em:

<<http://www.ufrj.br/laboratorio/lep/rios.html>>. Acesso em novembro de 2016.