

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA POLITÉCNICA

ISABELA BIRNFELD TROYACK

Contaminação do solo e da água subterrânea por disposição de resíduos sólidos urbanos: estudo de caso do Aterro Municipal de Jardim Gramacho

Orientadora: Monica Stuermer

São Paulo

2022

Contaminação do solo e da água subterrânea por disposição de resíduos sólidos urbanos: estudo de caso do Aterro Municipal de Jardim Gramacho

Versão Original

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

Orientador: Monica Stuermer

São Paulo

2022

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

Catalogação-na-publicação

Troyack, Isabela

Contaminação do solo e da água subterrânea por disposição de resíduos sólidos urbanos: estudo de caso do Aterro Municipal de Jardim Gramacho / I. Troyack -- São Paulo, 2022.

69 p.

Monografia (MBA em MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Química.

1. Áreas contaminadas 2. Aterros 3. Resíduos sólidos 4. Chorume
5. Contaminação I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica.
Departamento de Engenharia Química II.t.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela oportunidade dessa existência. Agradeço a minha avó, Neusa, e a minha mãe, Sandra, mulheres que são meus maiores exemplos de força, perseverança e ação, fundamentais para conclusão desse trabalho. Ao meu pai, pelos maiores ensinamentos dessa vida. Ao meu avô Walter, por todo conhecimento. Ao meu companheiro de vida, Maurício. A querida Raquel Cremonini, que me ensinou sobre parceria incondicional e quem me substituiu muitas vezes no trabalho para que eu pudesse concluir esse curso. A minha orientadora, Monica Stuermer, pela compreensão e incentivo excepcionais, além de apoio, orientação e comentários valiosos para conclusão desse trabalho.

Agradeço a minha prima Carolina e a toda a família Birnfeld e Troyack, rede de apoio, aprendizado e amor. Ao meu afilhado, meu padrasto, Isabelle, Isac, André e a todos meus amigos queridos que me proporcionaram momentos de alegria fundamentais para seguir. Aos meus sogros que tanto torceram e me apoiaram nesses dois anos. A coordenadora do curso, Marilda, por todo o esforço para superar os desafios que a pandemia trouxe. A todos os professores e tutores deste MBA, que compartilharam tanto conhecimento e experiências. Aos colegas do curso, que colaboraram enormemente com trocas, lembretes e incentivos, em especial, a amiga Yael, o melhor apoio e despertador de provas. A Professora Beth, pelas conversas elucidativas sobre contaminantes em lixiviados. E a todos que de alguma forma contribuíram para esse trabalho, mas que a minha memória incompleta pelas poucas horas de sono, não me fizeram citar.

RESUMO

Troyack, Isabela. Contaminação do solo e da água subterrânea por disposição de resíduos sólidos urbanos: estudo de caso do Aterro Municipal de Jardim Gramacho. 2022. 68 f. Monografia (MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de *Brownfields*) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

Este estudo apresenta uma discussão sobre os impactos no solo e na água subterrânea relacionados à disposição de resíduos sólidos urbanos (RSU), por meio da análise crítica do material documental disponível sobre os processos de identificação e reabilitação da contaminação associada ao Aterro Municipal de Jardim Gramacho (AMJG). O antigo lixão está inserido no cadastro de áreas contaminadas e reabilitadas do Instituto Estadual do Ambiente (INEA) e após mais de nove anos encerrado permanece classificado como área contaminada sob investigação - AI. São cadastradas como ações de intervenção o monitoramento ambiental e a restrição do uso da água subterrânea. Os contaminantes cadastrados, atualmente, se restringem a BTEX e PAH na água subterrânea. Entretanto, na investigação realizada entre os anos de 2014 e 2015 foram encontradas na água subterrânea anomalias das substâncias químicas de interesse (SQIs): As, Ba, B, Cr, Fe, Mn, Ni, V, Zn, Cloreto de Vinila, Cianeto, Nitrogênio Amoniacal, Nitrato, Nitrito, Na, Dureza Total, Coliformes Termotolerantes, Coliformes Totais, Sulfato, Fluoreto, Sulfeto, Cloreto e Sólidos Dissolvidos Totais. Para os parâmetros relacionados ao lixiviado que não possuem valores de orientadores nem estão incluídos na lista de potabilidade, foram quantificados em elevadas concentrações, principalmente: Alcalinidade Total, DBO, DQO, K, Ca, Dureza Total, Cloreto, Fosfato, Nitrogênio Total Kjeldahl, Nitrogênio Total e Carbono Orgânico Total e Metano. Já no solo não foram encontradas anomalias nos pontos investigados. Todavia, os parâmetros Na, Ca, K e Alcalinidade, que não possuem valor orientador, foram identificados em elevadas concentrações. Verifica-se ausência de padrão legal nacional para solo e água subterrânea para os principais parâmetros relacionados ao lixiviado, o que pode levar a não inclusão dessas substâncias no cadastro de áreas contaminadas. Em alguns casos, a própria área de disposição de resíduos pode não entrar no cadastro. Conclui-se sobre a necessidade de atualizações na legislação com a definição de valores orientadores para as SQIs relacionadas à disposição de RSU, uma vez que a quantidade de lixões e aterros ativos e desativados no país é inestimável. Por fim, conclui-se que áreas complexas como o AMJG devem ser motivo de um processo minucioso de identificação e reabilitação de áreas contaminadas, a fim evitar riscos à população e ao ecossistema nas cercanias.

Palavras-chave: áreas contaminadas, aterros, resíduos sólidos, chorume, contaminação

ABSTRACT

Troyack, Isabela. Soil and groundwater pollution of urban solid waste disposal: a case study of Jardim Gramacho Municipal Landfill. 2022. 68 f. Monografia (MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de *Brownfields*) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

This study presents a discussion on the impacts on soil and groundwater related to the municipal solid waste (MSW) disposal area, through a critical analysis of the documentary material available on the processes of identification and rehabilitation of contamination associated with the Jardim Gramacho Municipal Landfill (AMJG). The closed dumpsite is included in the register of contaminated and rehabilitated areas of the Instituto Estadual do Ambiente (INEA). After more than nine years of closure, the area remains classified as a contaminated land under assessment - AI. The groundwater monitoring and the groundwater quality restricted use zone are registered as corrective actions. The contaminants registered, currently, are BTEX and PAH in groundwater. However, in the contamination assessment carried out between the years 2014 and 2015, identified the following chemicals of interest (COIs) in the groundwater: As, Ba, B, Cr, Fe, Mn, Ni, V, Zn, Vinyl Chloride, Cyanide, Ammoniacal Nitrogen, Nitrate, Nitrite, Na, Total Hardness, Thermotolerant Coliforms, Total Coliforms, Sulfate, Fluoride, Sulfide, Chloride, and Total Dissolved Solids. For the leachate related parameters that do not have guideline values, its were quantified in high concentrations, mainly: Total Alkalinity, BOD, COD, K, Ca, Total Hardness, Chloride, Phosphate, Total Kjeldahl Nitrogen, Total Nitrogen and Total Organic Carbon and Methane. No soil contamination were found at the points investigated. However, the parameters Na, Ca, K and Alkalinity, which have no guideline value, were identified in high concentrations. The absence of a national regulatory levels for soil and groundwater for the main leachate related parameters is verified, which may lead to the non-inclusion of these substances in the contaminated area registry. In some cases, the waste disposal area itself may not be included in the registry. It conclude that a need for updates in the legislation with the definition of guideline values for COIs related to the disposal of MSW, since the amount of active dump, closed dump site and landfills in Brazil is inestimable. Finally, it is concluded that complex areas such as the AMJG should be the subject of a thorough process of identification and rehabilitation of contaminated areas in order to avoid risks to the population and the surrounding ecosystem.

Keywords: contaminated areas; landfill; solid waste, leachates; contamination

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Lista de compostos orgânicos contaminantes reportados em lixiviados de aterros de resíduos e suas concentrações.....	12
Tabela 2. Substâncias presentes no lixiviado associadas a riscos à saúde humana.....	13
Tabela 3. Modelo Conceitual Avaliação Preliminar realizada no AMJG em 2013	26
Tabela 4. Resultados das campanhas de água superficial realizadas em janeiro e abril de 2014 nas cercanias do AMJG – Rios Sarapuí e Iguaçu	28
Tabela 5. Resultados das campanhas de água superficial realizadas em janeiro e abril de 2014 nas cercanias do AMJG – água salobra Rios Sarapuí e Iguaçu.....	29
Tabela 6. Resultados das campanhas de água superficial realizadas em janeiro e abril de 2014 nas cercanias do AMJG – água salobra - Baía de Guanabara	29
Tabela 7. Resultados das campanhas de água superficial realizadas em janeiro e abril de 2014 nas cercanias do AMJG – água salobra - Rio Sarapuí.....	30
Tabela 8. Substâncias quantificadas no solo no AMJG em junho e julho de 2014 com base nos dados parciais disponíveis.	42
Tabela 9. Metais quantificados na água subterrânea no AMJG em junho e julho de 2014 com base nos dados parciais disponíveis.	44
Tabela 10. Parâmetros orgânicos quantificados na água subterrânea no AMJG em junho e julho de 2014 com base nos dados parciais disponíveis.....	45
Tabela 11. Outros parâmetros quantificados na água subterrânea no AMJG em junho e julho de 2014 com base nos dados parciais disponíveis.....	46
Tabela 12. Parâmetros superiores aos limites de intervenção ou observados em elevadas concentrações em amostras de água subterrânea coletadas em janeiro de 2015 no AMJG, com base nos dados parciais disponíveis.	47
Tabela 13. Parâmetros superiores aos valores orientadores nas amostras de água superficial coletadas em janeiro de 2015 nas cercanias do AMJG, com base nos dados parciais disponíveis.	48
Tabela 14. Parâmetros superiores aos valores orientadores nas amostras de sedimento coletadas em janeiro de 2015 nas cercanias do AMJG, com base nos dados parciais disponíveis.....	50
Tabela 15. Parâmetros superiores aos valores orientadores nas amostras de lixiviado coletadas em janeiro de 2015 no AMJG, com base nos dados parciais disponíveis.	50
Tabela 16. Diferença entre os contaminantes na água subterrânea do AMJG cadastrados entre diferentes datas de consulta à 5º Edição do Cadastro de Áreas Contaminadas e Reabilitadas do Rio de Janeiro	52

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. OBJETIVOS	10
3. JUSTIFICATIVA	10
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
4.1 Contaminantes associados à disposição de resíduos sólidos urbanos	11
4.2 Identificação de áreas contaminadas devido à disposição de resíduos sólidos urbanos	15
4.3 Reabilitação de áreas contaminadas devidos à disposição de resíduos sólidos urbanos	18
5. MATERIAIS E MÉTODOS	19
5.1 Coleta e análise de dados.....	19
5.2 Lixão de Jardim Gramacho	19
5.2.1 Descrição da área.....	19
5.2.2 Estudos ambientais relacionados ao GAC.....	22
5.2.3 Notificações e eventos relevantes relacionados ao GAC	33
5.2.4 Processo de identificação da contaminação do Aterro Municipal de Jardim Gramacho	37
5.2.5 Processo de reabilitação da contaminação do Lixão de Jardim Gramacho	38
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
6.1 Análise crítica do processo de identificação de áreas contaminadas	39
6.2 Análise crítica do processo de reabilitação de áreas contaminadas	51
7. CONCLUSÕES.....	53
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56

1. INTRODUÇÃO

Os resíduos sólidos urbanos, incorretamente dispostos, podem acarretar problemas de saúde pública, como a proliferação de vetores de doenças, emissão de gases poluentes, incluindo aqueles que intensificam o efeito estufa, além da contaminação do solo e das águas superficiais e subterrâneas pelo lixiviado, produzido pela decomposição da matéria orgânica contida nos resíduos. É possível, ainda, a ocorrência de deslizamentos, quando as pilhas de resíduos não se encontram estáveis (ISWA, 2017).

O expressivo número de casos de poluição da água subterrânea em locais de disposição final de resíduos e a substancial quantidade de recursos empregados na remediação dessas áreas ao redor do mundo, demonstra que o lixiviado de resíduos é uma fonte significante de contaminação da água subterrânea (CHRISTENSEN, KJELDSEN, *et al.*, 2001).

No Brasil, a Lei nº 12.305/2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) é considerada o marco legal para encerramento dos lixões, apesar das legislações anteriores - Política Nacional de Meio Ambiente - Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, a Constituição Federal de 1988 e a Lei de Crimes Ambientais - Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 - já proibirem as fontes que causam poluição e degradação ao meio ambiente (ABRELPE, 2020).

Após onze anos do sancionamento da lei da PNRS, pouco se avançou até o presente momento, sendo o índice anual médio de redução da disposição inadequada de 0,72% (ABRELPE, 2020).

Em 2019 mais de 40% dos resíduos coletados foram dispostos de forma inadequada, o que equivale a 29.448.200 t, sendo estimados 2.612 lixões ainda em operação no país (ABETRE, 2020) (ABRELPE, 2020). Destaca-se que mesmo cessando a disposição irregular de resíduos, aterros sanitários também apresentam riscos associados à contaminação por lixiviado e gases gerados na decomposição de resíduos.

Os processos de decomposição dos resíduos se mantêm, mesmo após o encerramento da área disposição, sendo necessária, por longos períodos, a manutenção dos sistemas de drenagem superficial, de águas pluviais, de tratamento dos gases, de coleta e tratamento dos lixiviados e do monitoramento da qualidade do solo e da água subterrânea (FEAM, 2010).

Apesar da necessidade de monitoramento da qualidade do solo e da água subterrânea, a legislação nacional, Resolução CONAMA 420/2009, não apresenta valores orientadores para grande parte das substâncias químicas de interesse (SQIs) encontradas em maior concentração no lixiviado, como metano, demanda química de oxigênio (DQO), carbono orgânico total

(COT), ácidos graxos voláteis, Ca, Mg, Na, K, NH₄⁺, Cl, SO₄²⁺ e HCO₃⁻ (CHRISTENSEN, KJELDSEN, *et al.*, 1994). Dessa forma, os dados dessas áreas, por mais que indiquem impacto pelas atividades de disposição de resíduos sólidos urbanos, muitas vezes não geram ações de intervenção e quando geram, essas se restringem ao monitoramento e medidas institucionais. Considerando os contaminantes emergentes, cujos dados ainda são escassos na literatura e não há regulação nacional - como fármacos, endógenos, polifluoroalquílicas (PFAS), dioxinas e furanos - as incertezas associadas ao adequado gerenciamento da contaminação dessas áreas se tornam ainda maiores.

O Aterro Municipal de Jardim Gramacho, localizado em área de mangue, as margens da Baía de Guanabara, em Duque de Caxias, no estado do Rio de Janeiro, foi encerrado em 2012, após aproximadamente 36 anos de operação recebendo resíduos da região metropolitana do Rio de Janeiro. O estudo de caso dessa área, considerada como o maior lixão da América Latina, permite discussões relevantes sobre a contaminação no solo e água subterrânea relacionados à disposição de resíduos sólidos urbanos, bem como ações implementadas para mitigação desses impactos.

2. OBJETIVOS

No contexto do gerenciamento de áreas contaminadas, discutir os impactos no solo e na água subterrânea relacionados à disposição de resíduos sólidos urbanos, por meio da análise crítica do material documental disponível sobre os processos de identificação e reabilitação da contaminação associada ao Aterro Municipal de Jardim Gramacho, fazendo uma análise frente às diretrizes CETESB.

3. JUSTIFICATIVA

O impacto no solo e na água subterrânea ocasionado pela disposição de resíduos é uma questão relevante em todo o mundo. Só no Brasil mais de 40% dos resíduos sólidos urbanos ainda são dispostos em unidades inadequadas (lixões e aterros controlados) (Abrelpe, 2020). O Atlas de destinação final de resíduos da Associação Brasileira de Empresas de Resíduos e Efluentes – ABETRE – estima a existência de 2.612 lixões ainda em operação no país (ABETRE, 2020). Adicionalmente, historicamente a disposição de resíduos diretamente no solo foi a forma predominante no país. Somadas as unidades encerradas, e ainda aquelas abandonadas, o número de áreas contaminadas por esta atividade é inestimável.

O antigo Lixão de Jardim Gramacho, posteriormente transformado em um aterro controlado, está inserido no cadastro de áreas contaminadas e reabilitadas do Instituto Estadual do Ambiente – INEA (INEA, 2022). Esse lixão que operou de 1976 a 2012, ocupa uma área de mangue com, aproximadamente, 1,3 km², próximo à Baía de Guanabara. O caso do Lixão de Jardim Gramacho permite discussões importantes sobre a contaminação do solo e da água subterrânea por disposição irregular de resíduos, por se tratar do maior lixão da América Latina, que recebeu resíduos da região metropolitana do Rio de Janeiro por, aproximadamente, 36 anos, acumulando, cerca de 60 milhões de toneladas de resíduos.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Contaminantes associados à disposição de resíduos sólidos urbanos

A principal fonte de contaminação do solo e da água subterrânea relacionada à disposição de resíduos sólidos urbanos é o lixiviado. Também chamado de percolado ou chorume, essa solução aquosa é formada tanto a partir dos líquidos encontrados nos resíduos, como pela lixiviação dos resíduos sólidos pela água de chuva (FETTER, BOVING e KREAMER, 2018). Os principais impactos ambientais potenciais relacionados ao lixiviado do aterro são a poluição de águas subterrâneas e superficiais (KJELDSEN, BARLAZ, *et al.*, 2002). A composição do lixiviado de resíduos varia significativamente dependendo da composição, idade dos resíduos, tecnologia de aterramento, tipo de solo e clima (CHRISTENSEN, KJELDSEN, *et al.*, 2001). O lixiviado de resíduos é comumente tóxico e, em geral, os parâmetros mais correlacionados a toxicidade são amônia, alcalinidade e demanda química de oxigênio (DQO) (SOUTO, 2009).

De acordo com CHRISTENSEN, KJELDSEN, *et al.* (1994), o lixiviado de um aterro municipal, que recebe uma mistura de diferentes fontes e tipos de resíduos, pode ser classificado como uma solução aquosa com quatro grupos principais de poluentes:

- a) Matéria orgânica dissolvida, expressa pela DQO ou pelo Carbono Orgânico Total (COT), incluindo metano (CH₄), ácidos graxos voláteis (em particular provenientes da fase ácida de estabilização dos resíduos) e mais compostos recalcitrantes como por exemplo, ácidos fúlvicos e ácidos húmicos;
- b) Macrocomponentes inorgânicos: Ca, Mg, Na, K, NH₄⁺, Fe, Mn, Cl⁻, SO₄²⁺ e HCO₃⁻
- c) Metais pesados: Cd, Cr, Cu, Pb, Ni e Zn.

- d) Compostos orgânicos xenobióticos originários de químicos domésticos ou industriais presentes em concentrações relativamente baixas no lixiviado (usualmente, menores do que 1 mg/L). Esses compostos incluem uma variedade de hidrocarbonetos aromáticos, fenóis e alifáticos clorados.

Outros compostos podem ser encontrados no lixiviado como B, As, Se, Ba, Li, Hg e Co, entretanto, geralmente em concentrações mais baixas.

Referente aos compostos orgânicos reportados em lixiviados de aterros de resíduos, a Tabela 1 apresenta concentrações identificadas em trabalhos realizados na América do Norte, Europa e Japão.

Tabela 1. Lista de compostos orgânicos contaminantes reportados em lixiviados de aterros de resíduos e suas concentrações

Contaminante	País	n	nd	Faixa ngL ⁻¹	Referências
Bisfenol A	Japão	10		1300–17200000	Baun et al. (2000)
Retardantes de chamas bromados	Suécia	22		<ld–39000	Öman and Junestedt (2008)
Solventes clorados	Canada USA			<ld–4616000	Li et al. (2012); Schrab et al. (1993)
1,4-Dioxano	Japão Japão	8 11		14–109000 <ld–198000	Yasuhara et al. (1997) Yasuhara et al. (1999)
Pesticidas organoclorados	USA			3–647	Murray and Beck (1990)
Compostos perfluoroalquil	Alemanha USA	20		4–12819 29000–58000	Busch et al. (2010) Schrab et al. (1993)
Ftalatos	Japão Alemanha Dinamarca Suécia	8 36 10 22		900–1100 100–240000 1000–340000 39000	Yasuhara et al. (1997) Murray and Beck (1990) Baun et al. (2004) Öman and Junestedt (2008)
Organofosforados	Japão USA	4		137000– 5430000 301–1220000	Yasuhara (1994) Murray and Beck (1990)
Hidrocarbonetos Poliaromáticos	Suécia Polônia USA	22 22 22		8000 0,06–77 <ld–10200000	Öman and Junestedt (2008) Matejczyk et al. (2011) Schrab et al. (1993)
Compostos voláteis e semi-voláteis	Dinamarca Dinamarca	31 10		<1000– 15000000 21500–354900	Kjeldsen et al. (1998) (BTEX) Baun et al. (2004)

Contaminante	País	n	nd	Faixa ngL ⁻¹	Referências
	Polônia	22	7	0,16–7,48 (Benzene)	Matejczyk et al. (2011)
	Polônia	22	1	4,2–197 (DCM)	Matejczyk et al. (2011)

Fonte: (CLARKE, ANUMOL, *et al.*, 2015)

Legenda: n=Número de amostras analisadas; nd=número de amostras abaixo do limite de detecção; faixa = apenas amostras acima do limite de detecção

A Tabela 2 apresenta as substâncias presentes no lixiviado associadas a riscos à saúde humana.

Tabela 2. Substâncias presentes no lixiviado associadas a riscos à saúde humana

Substâncias associadas a riscos à saúde presentes no lixiviado de resíduos		
Anilina	Fluoreto	Compostos organoestânicos
Arsênico	Mecoprop	Pentaclorofenol
Bifenilo	Ácido cloro metilfenóxi acético	Fenóis
Cianeto	Éter metil terc-butílico	Fósforos
Di(2-etylhexil)ftalato	Naftaleno	Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos
Diclorometano	Nitrogênio	Tolueno
Etilbenzeno	Nonilfenol	Xilenos

Fonte: (EA, 2010A apud ISWA; ABRELPE, 2015)

Os impactos ambientais relacionados aos futuros lixiviados de aterros devem ser monitorados, visto que existem atualmente 90 milhões de produtos orgânicos e substâncias inorgânicas identificadas no banco de dados CAS e mais milhares de produtos químicos rotineiramente usados no mundo (CLARKE, ANUMOL, *et al.*, 2015).

O acúmulo e transporte de contaminantes (por exemplo, metais, resíduos orgânicos) encontrados em aterros é dependente das propriedades dos compostos específicos e do ambiente de resíduos circundante. As propriedades individuais das substâncias (por exemplo, polaridade, hidrofobicidade) afetam as taxas de dissolução e transporte. Condições específicas dentro do aterro também contribuem, tais como pH, temperatura, composição do lixiviado (ou seja, teor de sal, conteúdo orgânico), potencial de redução de oxidação, reações químicas / físicas e processos físicos (por exemplo, difusão, complexação). Outros fatores que influenciam a lixiviação de compostos incluem o tamanho das partículas de resíduos (difusão, distância), porosidade, conteúdo de água, fluxo de lixiviado e temperatura. (COSSU e STEGMANN, 2018)

O tamanho do maciço e a heterogeneidade dos diferentes tipos de resíduos depositados durante os vários anos de operação podem gerar um padrão de lixiviação altamente variável do aterro, promovendo múltiplas plumas com características diferentes. Pode haver condições

hidrogeológicas locais muito específicas, afetando os padrões locais de fluxo de água subterrânea no espaço e no tempo. Além disso, a infiltração de lixiviado através dos estratos subjacentes pode afetar localmente a condutividade hidráulica por precipitação mineral, obstrução de poros por biomassa microbiana ou bolhas originadas da degradação gasosa produtos (metano e dióxido de carbono). Estudos indicam que a variação do fluxo da água subterrânea pode ser superior a 70° ((CHRISTENSEN, BJERG e KJELDSEN, 2001)

Um dos traçadores utilizados para delimitação de plumas de contaminação relacionadas a aterros de resíduos é o cloreto, pois é um componente não reativo cujo único mecanismo de atenuação é a diluição (CHRISTENSEN, KJELDSEN, et al., 2001).

Belevi e Baccini (1989) indicam que após longos períodos, os compostos orgânicos são os mais importantes para se controlar.

Kjeldsen et al (2002), com base em simulações realizadas com auxílio de modelos matemáticos, inferem que, em longo prazo, a concentração de amônia não reduz significativamente, sendo um poluente de preocupação por longos períodos, já a liberação de metais pesados acumulados não ocorreria dentro do prazo de milhares de anos e, de forma geral, os compostos xenobióticos avaliados também não constituiriam um grande problema a longo prazo.

De acordo com Christensen, Bjerg e Kjeldsen (2007), plumas de contaminação relacionadas a aterros de resíduos, em geral, não costumam ultrapassar 1000 m de extensão, mas podem chegar a 3000 m. Esse tamanho, relativamente reduzido, das plumas ocorre devido aos processos naturais de transformação e imobilização dos contaminantes.

Em um estudo conduzido no Brasil, em uma área de disposição de resíduos, localizada em área de recarga do Aquífero Guarani em São Carlos, SP, Morita, Pelison, et al.(2020) mostraram a evolução da pluma de contaminação após 20 anos de encerramento da disposição de resíduos. Os resultados indicaram um espalhamento vertical da pluma atingindo certa de 200 m do depósito e 60 m de profundidade. Resultados de estudos geofísicos demonstraram resistividades semelhantes medidas em 1996, 2005 e 2018, indicando que não ocorreu atenuação natural significativa no solo arenoso no período. Processos de difusão fizeram com que a pluma se espalhasse para áreas consideradas como montante. A mobilidade dos metais foi maior do que esperado, possivelmente decorrente das condições ácidas do aquífero.

4.2 Identificação de áreas contaminadas devido à disposição de resíduos sólidos urbanos

De acordo com o Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas (CETESB, 2021) o processo de identificação de áreas contaminadas é composto pelas seguintes etapas:

- a) Identificação de Áreas com Potencial de Contaminação
- b) Avaliação Preliminar
- c) Investigação Confirmatória
- d) Investigação Detalhada
- e) Avaliação de Risco

A identificação de áreas contaminadas devido à disposição de resíduos sólidos urbanos passa pelas mesmas etapas. Algumas peculiaridades se observam neste processo.

De acordo com DD n° 038/2017/C (CETESB, 2017) para as áreas de armazenamento e de destinação de resíduos, a Avaliação Preliminar deve constar a descrição das atividades atuais e/ou pretéritas de armazenamento e destinação de resíduos, incluindo a identificação dos resíduos, origem, composição e estado físico; a estimativa do volume armazenado, tratado, depositado ou disposto; bem como a localização em planta desses locais. Também deve indicar a localização de sistemas de captação de efluentes líquidos e emissões atmosféricas, quando existentes, e os pontos de lançamento de efluentes. Adicionalmente, deve constar a posição dos equipamentos e tubulações subterrâneas e sistemas de drenagem de águas pluviais, além da apresentação de plantas, com seções, indicando as espessuras das camadas de resíduos para as áreas de disposição (CETESB, 2017). Quando não é possível o rastreamento de todos os rejeitos, e em casos em que há incertezas relacionadas aos tipos de resíduos dispostos, é necessária a classificação em consonância com as normas técnicas vigentes (ABNT-NBR 10004/2004, 10005/2004 e 10006/2004). Também podem ser necessárias análises de massa bruta dos resíduos, para identificação das substâncias químicas de interesse.

A constatação do manejo inadequado de resíduos já confere indício de contaminação. Também de acordo com a DD n° 038/2017/C, uma área deve ser classificada como Área Contaminada sob Investigação (ACI) caso sejam verificadas uma ou mais das condições estabelecidas no artigo 28 do Decreto nº 59.263/2013 (SÃO PAULO, 2013), listadas a seguir:

“I – Contaminantes no solo ou na água subterrânea em concentrações acima dos Valores de Intervenção;
II – Produto ou substância em fase livre;
III – Substâncias, condições ou situações que, de acordo com os parâmetros específicos, possam representar perigo, conforme artigo 19, § 3º deste decreto;
IV – Resíduos perigosos dispostos em desacordo com as normas vigentes.”
(SÃO PAULO, 2013)

A disposição de resíduos de forma irregular, mesmo que de resíduos não perigosos, pode representar condições ou situações de perigo, considerando que a presença de metano, decorrente da decomposição da matéria orgânica, pode acarretar incêndios, possibilidade de explosões e migração de gases voláteis para ambientes confinados e semiconfinados, eventualmente, podendo exceder os valores orientadores estabelecidos. Adicionalmente, resíduos urbanos podem conter resíduos perigosos, ainda que em pequenas quantidades, como produtos perigosos de uso doméstico e material contaminado com patógenos. Dessa forma, quando sem cobertura, áreas com disposição de resíduos sólidos urbanos podem conferir episódio de exposição a agentes patogênicos, ou mesmo a episódios de exposição aguda a agentes tóxicos, reativos ou corrosivos, dependendo do tipo de material presente.

De acordo com o §2º, do artigo 15 da Resolução CONAMA nº 420 (CONAMA, 2009) as concentrações de substâncias químicas (SQIs) no solo resultantes da aplicação ou disposição de resíduos e efluentes, observada a legislação em vigor, não poderão ultrapassar os respectivos valores de prevenção (VPs). Dessa forma, o valor comparativo, visando a prevenção e controle da qualidade do solo, para áreas com disposição de resíduos urbanos no solo deve ser o valor de prevenção.

Também há especificidades relacionadas às substâncias químicas associadas à disposição irregular de resíduos sólidos urbanos. Conforme apresentado no item 5.1 diversos contaminantes podem estar relacionados a esta atividade, entretanto a maioria das SQIs não estão presentes na Resolução CONAMA nº 420 ou na DD nº 125/2021/E (CETESB, 2021). Dessa forma, as amostras de solo e água subterrânea coletadas em lixões e analisadas para a listagem da CONAMA 420, muitas vezes não apresentam resultados superiores ao valor orientador, sendo classificadas como áreas não contaminadas. Ou quando apresentam, esses parâmetros se restringem a alguns metais. É importante que as investigações ambientais realizadas nas áreas com disposição de resíduos incluam as análises de parâmetros com maior presença no lixiviado, ou seja, DQO, DBO, COT, CH₄ (no vapor do solo), cianetos Ca, Mg,

Na, K, NH₄⁺, Fe, Mn, Cl⁻, SO₄²⁺ e HCO₃⁻, bem como os metais pesados Cd, Cr, Cu, Pb, Ni e Zn.

Os parâmetros cloreto, sódio e sulfato possuem referência na Resolução CONAMA nº 396 (CONAMA, 2008) e no Anexo 11 da Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021 (BRASIL, 2021) que apresenta a tabela do padrão organoléptico de potabilidade. O padrão organoléptico constitui o conjunto de valores permitidos para os parâmetros caracterizados por provocar estímulos sensoriais que afetam a aceitação para consumo humano, mas que não necessariamente implicam em risco à saúde. Dessa forma, esses limites podem não apresentar respostas conclusivas sobre a necessidade ou não de intervenções, no contexto do gerenciamento de áreas contaminadas com tomada de decisão com base no risco, quando a via de ingestão não se completa. Entretanto, são parâmetros importantes para análise, a serem utilizados como parâmetros de controle. Destaca-se o cloreto, pois este íon não passa por processos de atenuação, apenas transporte e diluição (Cook & Herczeg, 2000).

Com exceção dos inorgânicos NH₄⁺, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn, os demais parâmetros relacionados ao percolado, não permitem a realização de avaliação de risco à saúde humana utilizando as planilhas CETESB.

É importante ressaltar que existem milhões de substâncias orgânicas e inorgânicas cadastradas, e que as listagens de substâncias químicas de interesse relacionadas a áreas contaminadas selecionam dezenas destas, para as quais estudos anteriores demonstraram relevância. Também se destacam os contaminantes emergentes, cujos dados ainda são escassos na literatura e não há regulação nacional – como fármacos, endógenos, polifluoroalquílicas (PFAS), dioxinas e furanos. Alguns desses contaminantes emergentes já foram identificados em percolados de resíduos como PFAS e bisfenol A (CLARKE, ANUMOL, *et al.*, 2015). Dessa forma, ainda que os locais com disposição de resíduos diretamente sobre o solo não indiquem contaminação para as substâncias químicas de interesse atualmente disponíveis na legislação e que oferecem risco à saúde humana, ou para aquelas substâncias que sabidamente ocorrem em vazadouros, as áreas de lixões precisam ser cadastradas, caso se identifiquem novos parâmetros necessários para análise e controle nesses locais.

De acordo com o §1º, do artigo 17 do Decreto nº 59.263/2013 (SÃO PAULO, 2013), os Responsáveis Legais pelas Áreas com Potencial de Contaminação (AP), onde ocorre o lançamento de efluentes ou resíduos no solo como parte de sistemas de tratamento ou disposição

final, deverão realizar Programa de Monitoramento Preventivo da Qualidade do Solo e da Água Subterrânea (CETESB, 2017). Dessa forma, mais uma peculiaridade referente ao gerenciamento de áreas contaminadas com disposição de resíduos, é a necessidade de monitoramento preventivo da qualidade do solo ou da água subterrânea, mesmo que a investigação confirmatória não indique presença de contaminação.

Novamente, destaca-se que muitas vezes o processo de identificação de áreas contaminadas em lixões e aterros de resíduos sólidos urbanos não é corretamente conduzido, seja pela ausência de estudos de investigação, pela baixa resolução da etapa de diagnóstico, com poucos pontos avaliados, ou mesmo pelas SQIs definidas, visto que as principais substâncias químicas atreladas à disposição de resíduos sólidos urbanos não apresentam valor orientador nas legislações relacionadas ao gerenciamento de áreas contaminadas (como a CONAMA nº 420) e muitas vezes não são sequer analisadas.

4.3 Reabilitação de áreas contaminadas devidos à disposição de resíduos sólidos urbanos

O processo de reabilitação de áreas contaminadas, de acordo com o Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas (CETESB, 2021), é composto pelas seguintes etapas:

- a) Elaboração do Plano de Intervenção;
- b) Execução do Plano de Intervenção;
- c) Monitoramento para Encerramento;
- d) Emissão do Termo de Reabilitação para o Uso Declarado;
- e) Acompanhamento da Medida de Controle de Engenharia (MCE) ou da Medida de Controle Institucional (MCI).

Áreas contaminadas por resíduos sólidos urbanos devem seguir as mesmas etapas. As técnicas de intervenção no Brasil, em geral, incluem atenuação natural monitorada e restrição do uso da água subterrânea.

Na maioria dos casos, o documento solicitado pelo órgão ambiental para a reabilitação de lixões é o PRAD – Plano de Recuperação de Áreas Degradadas.

A legislação americana determina que aterros de resíduos devem ser monitorados por 30 anos após seu encerramento, pois presume-se uma estabilidade após este tempo. Entretanto, ainda há poucos estudos do comportamento das plumas de contaminação após longos períodos de encerramento de aterros de resíduos (KJELDSEN, BARLAZ, *et al.*, 2002).

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Coleta e análise de dados

Os dados foram coletados por pesquisa documental. Foram solicitadas vistas ao processo do INEA do Novo Jardim Gramacho: E-07/506616/2011 (INEA, 2021), que é apresentado no cadastro de áreas contaminadas e reabilitadas do Rio de Janeiro (INEA, 2022). Também foram analisadas os documentos disponíveis para consulta nos endereços eletrônicos <http://200.20.53.7/SCUP/> e http://www.inea.rj.gov.br/Portal/Agendas/LicenciamentoAmbiental/Processo-Digital/Consulta-Processo_Digital/index.htm.

Adicionalmente, buscou-se trabalhos acadêmicos realizados na área, sendo encontrados os seguintes:

- I) (BARBOSA, 1994)
- II) (HIPÓLITO, 2010)
- III) (COSTA, CAMPOS, *et al.*, 2015)
- IV) (COSTA, DAFLON, *et al.*, 2018)
- V) (FONSECA, RITTER e CAVALCANTE, 2019)

5.2 Lixão de Jardim Gramacho

5.2.1 Descrição da área

O Aterro Metropolitano Jardim Gramacho (AMJG) foi instalado em um terreno de aproximadamente 2.000.000 m², com acesso pela Avenida Monte Castelo, s/ n° 1760, Jardim Gramacho, Duque de Caxias – RJ. As coordenadas geográficas da área são 678851,23 L e 7483235,41 S. O vazadouro desativado se localiza entre o Rio Iguaçu, o Rio Sarapuí e um manguezal da Baía de Guanabara. O aterro foi licenciado pela FEEMA, não está inserido em

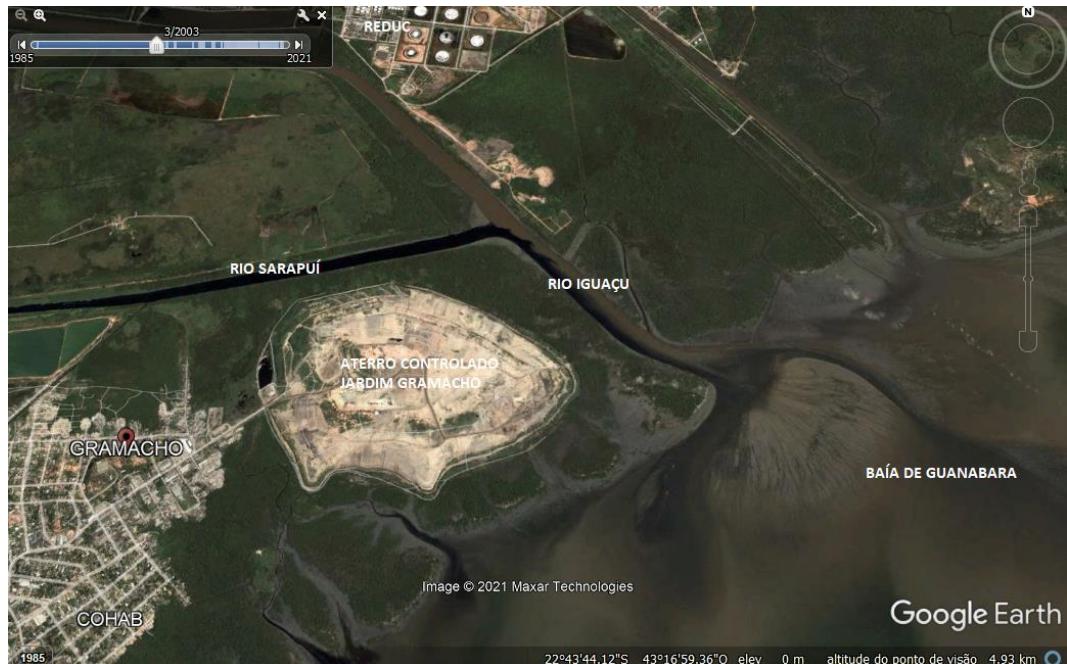
Unidades de Conservação da Natureza – UCN, de âmbito federal ou estadual, conforme legislação em vigor, também não se encontra em topo de morro ou próximo à nascente.

O AMJG recebeu resíduos sólidos provenientes de diversos municípios da região metropolitana do Rio de Janeiro: Duque de Caxias, Rio de Janeiro, Nilópolis, São João de Meriti, Queimados e Belford Roxo, desde 1976 até o dia 03 de junho de 2012, quando oficialmente foi encerrado (INEA, 2021).

O AMJG iniciou a operação como um vazadouro a céu aberto, sendo posteriormente convertido em um aterro controlado, com cobertura de resíduos com solo, coleta de lixiviado com posterior tratamento (desde 2000), bem como captação e queima de gases (desde 2009). Após o encerramento do aterro, chegou a operar uma usina de purificação de biogás para abastecimento da Refinaria Duque de Caxias (REDUC), inaugurada em 2013, entretanto o projeto foi descontinuado, sem previsão para retorno. O Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento - SNIS classifica o AMJG como aterro sanitário a partir do ano de 2002 (SNIS, 2021), entretanto há discussões sobre essa classificação. A Figura 1 apresenta o aterro em março de 2003, anteriormente ao encerramento. Já Figura 2, datada de agosto de 2014, indica os pontos de interesse na área. Na Figura 3, de 2021, é possível observar o adensamento da vegetação no entorno, após mais de 9 anos de encerramento. Ainda se verifica produção e acúmulo de grande volume de lixiviado, conforme pode se observar pelas lagoas de acumulação e pelo canal de escoamento.

A área está inserida no Cadastro de Áreas Contaminadas e Reabilitadas do Rio de Janeiro (INEA, 2022) como Área Contaminada sob Investigação (AI).

Figura 1. Imagem de satélite do Aterro controlado em março de 2003, anteriormente ao encerramento.



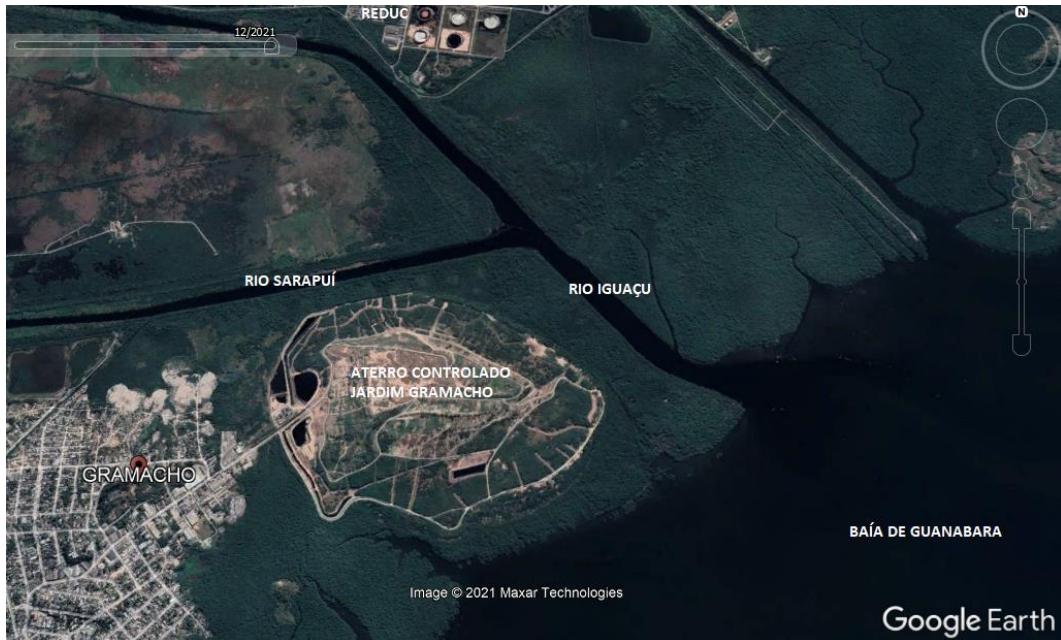
Fonte: Google Earth, 2021.

Figura 2. Imagem de satélite do Aterro controlado em agosto de 2014, identificação dos pontos de interesse, de acordo com o relatório de vistoria GELSARRVT 494/15 emitido pelo INEA em 2015.



Fonte: Google Earth, 2021.

Figura 3. Imagem de satélite do Aterro controlado em dezembro de 2021



Fonte: Google Earth, 2021.

5.2.2 Estudos ambientais relacionados ao GAC

Devido à sua magnitude, localização e histórico, a área foi motivo de inúmeros estudos, sendo que, para os objetivos deste trabalho, foram considerados apenas aqueles relacionados ao gerenciamento da área contaminada (GAC), para os quais se conseguiu acesso ao documento integral ou resumo. Todos os documentos foram obtidos por meio de vistas ao processo E-07/506616/2011 ou acesso através do portal do INEA. Por questões de sigilo, as empresas responsáveis pela execução dos trabalhos serão nomeadas como “Consultoria A”, “Consultoria B” e “Consultoria C”.

- a) 2007 - Diagnóstico Ambiental do Entorno do Aterro Municipal Jardim Gramacho (AMJG) (Consultoria A, apud, INEA, 2021)

Neste estudo, realizado em 2007, foram identificadas 6 áreas com potencial de contaminação, alteração na qualidade da água subterrânea por Ba, Pb, Cr, Fe, Mn, Mo, Ni, Nitrogênio Amoniacal, coliformes totais e termotolerantes. Também foi identificado risco à saúde humana associado ao consumo e contato dermal com água subterrânea. Adicionalmente, foram identificadas 11 áreas no entorno que exercem atividades de coleta, armazenamento e transferência de resíduos.

- b) 2008 – Investigação Confirmatória na parte interna do vazadouro (Consultoria A, 2008, apud Consultoria A, 2012)

Na investigação confirmatória, realizada no ano de 2008, foram realizadas sondagens e instalados 10 poços de monitoramento de água subterrânea. Também foram coletadas amostras de ar e água superficial. As sondagens indicaram que a área está instalada sobre sedimentos finos flúvio-marinhos, constituídos por argilas e siltes orgânicos cinzas e negros, com intercalação de camadas arenosas finas esparsas.

Foi constatada alteração na qualidade do solo e água subterrânea para os parâmetros PAH e TPH e apenas na água subterrânea para metais dissolvidos. As concentrações de coliformes nos poços de monitoramento foram inferiores àquelas encontradas nos rios Sarapuí e Iguáçu e na Baía de Guanabara, corpos hídricos localizados nas delimitações noroeste, nordeste e sul-sudeste, respectivamente. Todos os 10 poços de monitoramento foram perdidos.

As análises de água superficial indicaram que os pontos a jusante apresentaram concentrações inferiores ou semelhantes aos pontos a montante do maciço de resíduos.

- c) 2009 – Levantamento Geofísico (Marcelino, 2009, apud, Consultoria A, 2012)

Marcelino (2009) realizou levantamento geofísico de dados de Imageamento Elétrico através de perfis de eletrorresistividade na área de disposição de resíduos. Os resultados indicaram características altamente condutivas, relacionadas tanto aos resíduos dispostos quanto à cunha salina nos materiais sedimentares. A base do aterro foi caracterizada por materiais argiloso com influências condutivas, constituindo um perfil sem delimitação de interface marcante, exceto por algumas variações mais claras, especialmente em profundidades representativas de, aproximadamente, 65 m.

- d) 2010 - Investigação Geotécnica – (Hipólito, 2010, apud, Consultoria A, 2012)

O perfil geotécnico, identificado por meio de sondagens a percussão (SPT), mostra que do topo a base, o subsolo é composto por camada de argila A (CH -argila de alta plasticidade), com consistência muito mole (nSPT menor ou igual a 2 golpes), alto teor de umidade, sobreposta a uma camada de argila B (MH – silte de alta plasticidade), com consistência mole e média (SPT variando de 3 a 6 golpes), teor de alto a médio e IP maior que 60%, sobreposta a solo arenoso de baixa plasticidade com nSPT maior que cerca de 15 golpes, sobre camada de solo residual de baixa plasticidade ou não plásticos com nSPT maior que cerca de 15 golpes. Hipólito

também realizou, a partir dos dados das sondagens desde 1992 a 2009, modelagem estratigráfica tridimensional, gerando perfis bidimensionais para análise de estabilidade.

- e) 2012 – Plano de Trabalho para Investigação Ambiental Detalhada dos Compartimentos Solo e Água Subterrânea do Antigo Aterro Metropolitano de Jardim Gramacho (Consultoria A, 2012 apud, INEA 2011)

Este plano de trabalho propôs a complementação dos estudos geofísicos já realizados, com utilização da técnica de sondagem elétrica vertical (SEV) e complementação opcional com método eletromagnético indutivo.

Foi sugerida a investigação direta do solo, por meio de 24 sondagens, com descrição da litologia e coleta de amostras de solo para análise química dos parâmetros da Resolução CONAMA nº 420/2009. Como critério para localização das sondagens foram utilizados os estudos geotécnico anteriores. Foi recomendada a realização de leituras de vapores orgânicos voláteis, bem como, a coleta de 10 amostras indeformadas entre 0,50 m e 1 m de profundidade na zona não saturada para determinação dos parâmetros: massa específica seca do solo, umidade natural e porosidade total e efetiva, e coleta de 5 amostras da camada de areia subjacente à camada de argila para determinação de granulometria e porcentagem de matéria orgânica.

Para investigação da água subterrânea, o plano recomendou a instalação de 24 poços de monitoramento rasos no entorno do aterro, nos mesmos pontos das sondagens para investigação do solo. A localização foi sugerida a fim de contemplar tanto as porções a montante como a jusante do aterro, para esta última foi recomendada a instalação de duas linhas de poços. Também foi proposta a instalação de poços mais profundos, próximos aos poços rasos, formando par multinível de poços de monitoramento. Foi estimado que os poços profundos teriam a profundidade máxima de 20 m, com base no estudo de Hipólito (2010). Foi recomendado o atendimento a norma NBR 15.495/2007 e realização de levantamento topográfico após a instalação dos poços.

Este relatório também contemplou um plano monitoramento da qualidade da água subterrânea sugerindo duas campanhas semestrais, uma ao fim do período de estiagem e outra ao fim do período chuvoso, para contemplar o menor e maior nível d'água, respectivamente. Também foi sugerida a escolha de 10 poços de monitoramento rasos e 5 intermediários, selecionados após a primeira campanha de monitoramento. Foram recomendadas coletas no período de maré baixa, pelo método de amostragem de baixa vazão, atendendo a norma NBR 15.847 (ABNT,

2010), com realização de duplicata a cada 20 amostras, amostras de branco de campo e branco de equipamento. Também foram consideradas com substâncias químicas de interesse todas aquelas listada na Resolução CONAMA nº 420 (CONAMA, 2009).

Adicionalmente, o plano propôs amostragens de água superficial, nas duas campanhas semestrais supracitadas, em 4 pontos do Rio Iguaçu, 3 pontos no Rio Sarapuí, 4 pontos na Baía de Guanabara e 3 pontos no córrego próximo à área. Como parâmetros de interesse para análise nas amostras de água superficial, foi considerada a lista da Resolução CONAMA nº 420 (CONAMA, 2009) acrescidos dos parâmetros da Resolução CONAMA nº 357. Já para as análises de sedimentos foi considerada a lista da Resolução CONAMA nº 420 (CONAMA, 2009).

O plano indicou, ainda, a amostragem de chorume, nas duas campanhas semestrais, na entrada e na saída da Estação de Tratamento de Chorume - ETC, para análise dos mesmos parâmetros a serem analisados nas amostras de água superficial.

Complementarmente, o plano de trabalho previu 20 ensaios de condutividade hidráulica (*slug test*) nos poços de monitoramento instalados, sendo 10 nos poços rasos e 10 nos poços mais profundos instalados na camada de areia. E também a análise da influência da maré através da medição do nível d'água, da temperatura e da condutividade elétrica em três poços rasos e em três poços mais profundos.

Ainda, o plano de trabalho indicou a realização de modelagem matemática de fluxo de transporte, com a utilização do *software Visual Modflow* e o estudo de avaliação de risco à saúde humana, por meio das planilhas da CETESB.

f) 2013 – Plano de Contingências para o Aterro Metropolitano de Gramacho – CONSULTORIA C consultoria LTDA.

O plano de contingências teve por objetivo descrever as medidas a serem adotadas durante eventos excepcionais que represem riscos para o meio ambiente a fim de controlar e minimizar os efeitos ambientais. O relatório incluiu a descrição do monitoramento geotécnico, planos de contingência para deslocamentos; e plano de contingência para eventos diversos, o qual considerou como eventos incêndio ou explosão por emissões de gás, deslizamento de camadas superiores e vazamento de efluentes, depressão gerada pelos recalques da massa de resíduos, aparecimento de trincas, erosões e geração de efluentes que ultrapassem o limite da lagoa.

g) 2013 – Avaliação Ambiental Preliminar – INEA 2021

Relatório não disponível no processo consultado. As informações sobre este trabalho foram extraídas da 3º Avaliação de Áreas Contaminadas, emitida pelo INEA em 26/05/2014. Foram identificadas 5 áreas com potencial enfoque. O modelo conceitual é apresentado a seguir:

Tabela 3. Modelo Conceitual Avaliação Preliminar realizada no AMJG em 2013

Fontes	Mecanismo de liberação dos contaminantes	Via de transportes dos contaminantes	Impactos detectados em estudos anteriores		Receptores / Bens a proteger	Possíveis meios de contato
			Solo	Água subterrânea		
APE-01 - Área de deposição de resíduos - Aterro	Infiltração no solo / Transporte na água subterrânea	Solo e água subterrânea	Benzo(a)pireno e benzo(b)fluoranteno	Fluoranteno e benzo(g,h,i)perileno, benzo(b)fluoranteno, TPH total, metais (antimônio, boro, cádmio, chumbo, níquel, selênio, ferro e manganês), amônia e cloreto	Trabalhadores locais, corpos d'água e mangue	Contato dérmico / ingestão de água / inalação de vapores
APE-02 - Área de disposição entre Rio Sarapuí e área do aterro	Infiltração no solo / Transporte na água subterrânea	Solo e água subterrânea	área não investigada anteriormente	área não investigada anteriormente	Trabalhadores locais, corpos d'água e mangue	Contato dérmico / ingestão de água / inalação de vapores
APE-03 - Área de manutenção, armazenamento de óleo usado e lavagem de máquinas	Infiltração no solo / Transporte na água subterrânea	Solo e água subterrânea	-	TPH Total, metais (alumínio, chumbo, bário, cobalto, ferro e manganês), nitrogênio amoniacal, cloreto, sólidos dissolvidos totais, coliformes fecais e totais	Trabalhadores locais, corpos d'água e mangue	Contato dérmico / ingestão de água / inalação de vapores
APE-04 - Área da ETE (Estação de Tratamento de Efluentes)	Infiltração no solo / Transporte na água subterrânea	Solo e água subterrânea	TPH Total	Metais (alumínio, boro, chumbo, cobalto, ferro, manganês, níquel e selênio), nitrogênio amoniacal, cloreto, sulfeto, cianeto, sólidos dissolvidos totais, coliformes fecais	Trabalhadores locais, corpos d'água e mangue	Contato dérmico / ingestão de água / inalação de vapores
APE-05 - Área antigamente ocupada pela Cooperativa para segregação dos resíduos recicláveis	Infiltração no solo / Transporte na água subterrânea	Solo e água subterrânea	-	Metais (bário, chumbo, ferro, manganês, e molibdênio), nitrogênio amoniacal, fluoreto, sólidos dissolvidos totais e coliformes totais.	Trabalhadores locais, corpos d'água e mangue	Contato dérmico / ingestão de água / inalação de vapores

Fonte: Consultoria A, 2013 apud INEA, 2021.

h) 2014 – Relatórios das Ações de Gerenciamento dos Manguezais do Entorno do Aterro Controlado do Gramacho – Duque de Caxias – RJ

Nesses relatórios constam as ações e os principais problemas identificados no período de abril e maio de 2014, referentes às ações de gerenciamento dos manguezais do entorno. Este documento informa que, no período, não foram identificados sinais de estresse na maior parte do bosque em toda a periferia do aterro de Gramacho, seja por meio de amarelamento ou perda foliar acentuada ou total. Apontou necessidade de mão de obra adicional para combater as espécies exóticas e/ou ruderais. Indicou também pontos com necessidade de manutenção nas palafitas e cercas na parte final em direção a foz do rio Sarapuí e Iguaçu. Adicionalmente, apresentou registro fotográfico das atividades do período incluindo detalhes de plantio em desenvolvimento e mudas de mangue vermelho prontas para plantio.

Imagen 1. Faixa marginal de proteção sem quaisquer sinais de estresse associados ao lançamento de chorume. Abril de 2014



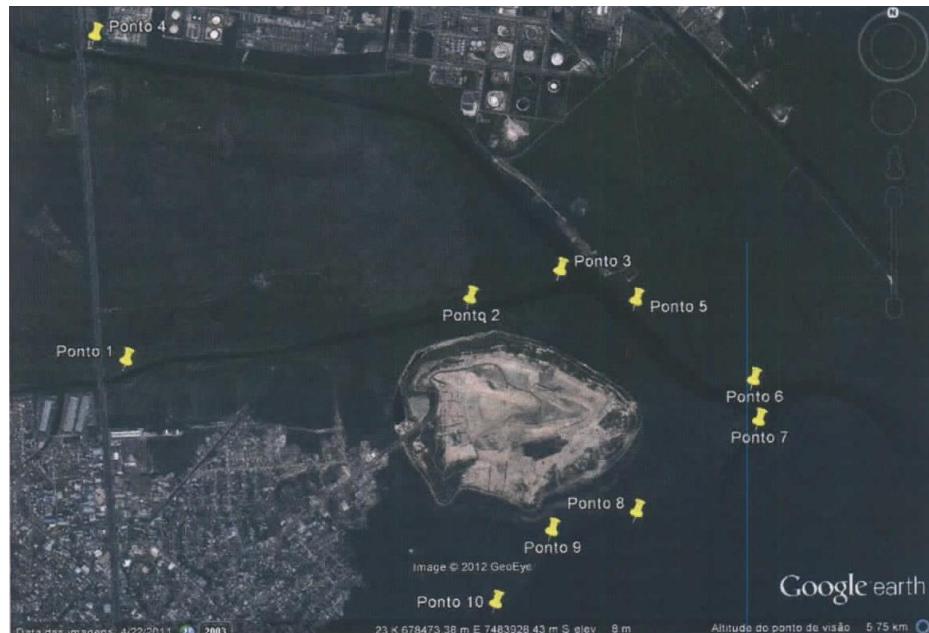
Fonte: Mario Moscatelli apud INEA, 2021.

i) Relatório de Monitoramento das Águas de Superfície dos Rios Sarapuí e Iguaçu e da Baía de Guanabara – janeiro de 2014 e abril de 2014- Consultoria B

Estes documentos apresentam os resultados referentes ao Programa de Monitoramento das Águas de Superfície dos Rios Sarapuí, Iguaçu e da Baía de Guanabara de janeiro e abril de 2014. O programa de monitoramento era realizado mensalmente, conforme informações obtidas nos ofícios contidos no processo, entretanto, não há outros relatórios disponíveis no

processo, além dos dois aqui descritos (janeiro e abril de 2014). Além dos resultados das análises, os relatórios também apresentaram a tábua de marés, indicando em cada ponto se a coleta foi realizada na maré baixa ou na maré alta.

Figura 4. Localização dos pontos de amostragem de água superficial nas cercanias do AMJG



Fonte: Consultoria B, 2014, apud INEA 2011.

Tabela 4. Resultados das campanhas de água superficial realizadas em janeiro e abril de 2014 nas cercanias do AMJG – Rios Sarapuí e Iguacu

Parâmetros	Unidade	Pontos de coleta de água doce					CONAMA n° 357 art. 15 - Águas doces Classe 2
		P1	P1	P2	P4	P4	
		jan/14	abr/14	abr/14	jan/14	abr/14	
DBO	mg/L	24	16	15	14	11	5
DQO	mg/L	104	98	75	75	22	-
Nitrogênio Ammoniacal	mg/L	17,2	14,4	14,4	10,6	5,2	3,7; pH<7,5 2,0; 7,5 < pH ≤ 8,0 1,0; 8,0 < pH ≤ 8,5 0,5; pH > 8,5
Oxigênio dissolvido	mg/L	0,28	0,67	0,67	0,38	0,83	>5
Salinidade		0,3	0,4	0,4	0,2	0,1	-
pH		6,89	6,97	6,97	6,76	6,6	6,0 - 9,0
Temperatura da amostra	°C	31,3	24,7	24,9	30,5	24,4	-
Temperatura do ar	°C	33	21	21	33	21	-
Coliformes totais	NMP/100 mL	33000000	16000000	330000	1700000	2200000	-
Escherichia coli	NMP/100 mL	790000	3550000	330000	170000	330000	1000

Fonte: Consultoria B, 2014, apud INEA, 2021.

Tabela 5. Resultados das campanhas de água superficial realizadas em janeiro e abril de 2014 nas cercanias do AMJG – água salobra Rios Sarapuí e Iguaçu

Parâmetros	Unidade	Pontos de coleta de água salobra							CONAMA 357 Art. 22 - Águas Salobras Classe 2
		P2		P3		P5		P6	
		jan/14	abr/14	jan/14	abr/14	jan/14	abr/14		
DBO	mg/L	12	10	15	9	13	9	13	-
DQO	mg/L	94	89	74	114	68	55	55	-
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	17,2	8,1	19,6	8,3	14,4	6,1	15,6	0,7
Oxigênio dissolvido	mg/L	0,25	0,24	0,61	0,23	0,59	4,59	4,13	>4,0
Salinidade		1,4	2,9	1	6	3,1	12,4	12	-
pH		6,85	6,83	6,63	6,98	6,77	7,89	6,38	6,5-9,0
Temperatura da amostra	°C	31,5	32,2	24,7	28	24,9	35,1	24,4	-
Temperatura do ar	°C	33	35	21	25	21	35	21	-
Coliformes totais	NMP/100 mL	490000 00	130000 0	1600000 0	214500 0	540000 0	33000 0	170000 0	-
Escherichia coli	NMP/100 mL	3300000	330000	1600000	330000	490000	33000	460000	2500

Fonte: Consultoria B, 2014, apud INEA, 2021.

Tabela 6. Resultados das campanhas de água superficial realizadas em janeiro e abril de 2014 nas cercanias do AMJG – água salobra - Baía de Guanabara

Parâmetros	Unidade	Pontos de coleta de água salobra				CONAMA 357 Art. 22 - Águas Salobras Classe 2	
		P7		P8			
		abr/14	jan/14	jan/14	abr/14		
DBO	mg/L		11	10	18	12 -	
DQO	mg/L		47	60	224	47 -	
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	11	2,5	3,9	8,2	0,7	
Oxigênio dissolvido	mg/L	5,73	5,38	13,94	7,16	>4,0	
Salinidade		15,4	14,2	20,9	11,6	-	
pH		6,56	7,94	7,4	6,28	6,5-9,0	
Temperatura da amostra	°C	24,7	34,9	36,4	24,9	-	
Temperatura do ar	°C	21	35	35	21	-	
Coliformes totais	NMP/100 mL	840000	330000	23000	1100000	-	
Escherichia coli	NMP/100 mL	310000	79000	780	460000	2500	

Fonte: Consultoria B, 2014, apud INEA, 2021.

Tabela 7. Resultados das campanhas de água superficial realizadas em janeiro e abril de 2014 nas cercanias do AMJG – água salobra - Rio Sarapuí

Parâmetros	Unidade					CONAMA 357 Art. 22 - Águas Salobras Classe 2
		P9	P9	P10	P10	
		jan/14	abr/14	jan/14	abr/14	
DBO	mg/L	12	11	13	11	-
DQO	mg/L	308	44	229	47	-
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	1,7	9,9	0,9	7,6	0,7
Oxigênio dissolvido	mg/L	14,22	8	17,98	8,1	>4,0
Salinidade		23,4	12,9	23,6	17,5	-
pH		8,71	6,31	8,75	6,67	6,5-9,0
Temperatura da amostra	°C	39,4	24,9	35,1	24,9	-
Temperatura do ar	°C	34	21	34	21	-
Coliformes totais	NMP/100 mL	79000	1100000	7900	1600000	-
Escherichia coli	NMP/100 mL	200	31000	200	35000	2500

Fonte: Consultoria B, 2014, apud INEA, 2021.

As conclusões dos relatórios indicaram ocorrência significativa de poluição nos corpos hídricos monitorados, relacionadas ao lançamento de esgoto, resíduos flutuantes, água de drenagem nas margens a montante dos Rios Sarapuí e Iguaçu, principalmente para os parâmetros Coliformes Totais e *E. coli*. Também concluíram que nos pontos monitorados, em especial os pontos 9 e 10, que recebem os efluentes tratados da ETC, não indicavam alterações em decorrência do lançamento de efluentes.

j) 2014/2015 Investigação Ambiental Detalhada do Compartimentos Solo e Água Subterrânea do Antigo Aterro Metropolitano de Jardim Gramacho

O relatório integral não estava disponível no processo consultado. O resumo aqui descrito foi extraído de três informativos apresentados no processo: informativo do período de 09 de junho a 02 de julho de 2014, informativo de 19 de agosto a 19 de dezembro de 2014 e informativo de 20 de dezembro de 2014 a 30 de março de 2015. De acordo com carta ao INEA disponível no processo, a previsão para a apresentação do relatório final era abril de 2016, após a finalização de campanhas de amostragem de água superficial, sedimento e água subterrânea.

Foram instalados 38 poços de monitoramento. A localização dos poços é apresentada na Figura 5, os pontos não estão georreferenciados. Foram instalados poços multiníveis, coletadas amostras de solo e de água subterrânea por baixa vazão. As análises geotécnicas nas amostras de solo indeformadas foram realizadas para granulometria e classe textural, porosidade total,

porosidade efetiva, matéria orgânica e carbono orgânico, umidade natural, massa específica natural do solo e massa específica seca do solo. Já as análises geotécnicas nas amostras de solo deformadas foram realizadas para granulometria e classe textural, matéria orgânica e carbono orgânico. Os resultados de solo e água subterrânea disponíveis nos informativos são apresentados no Anexo I.

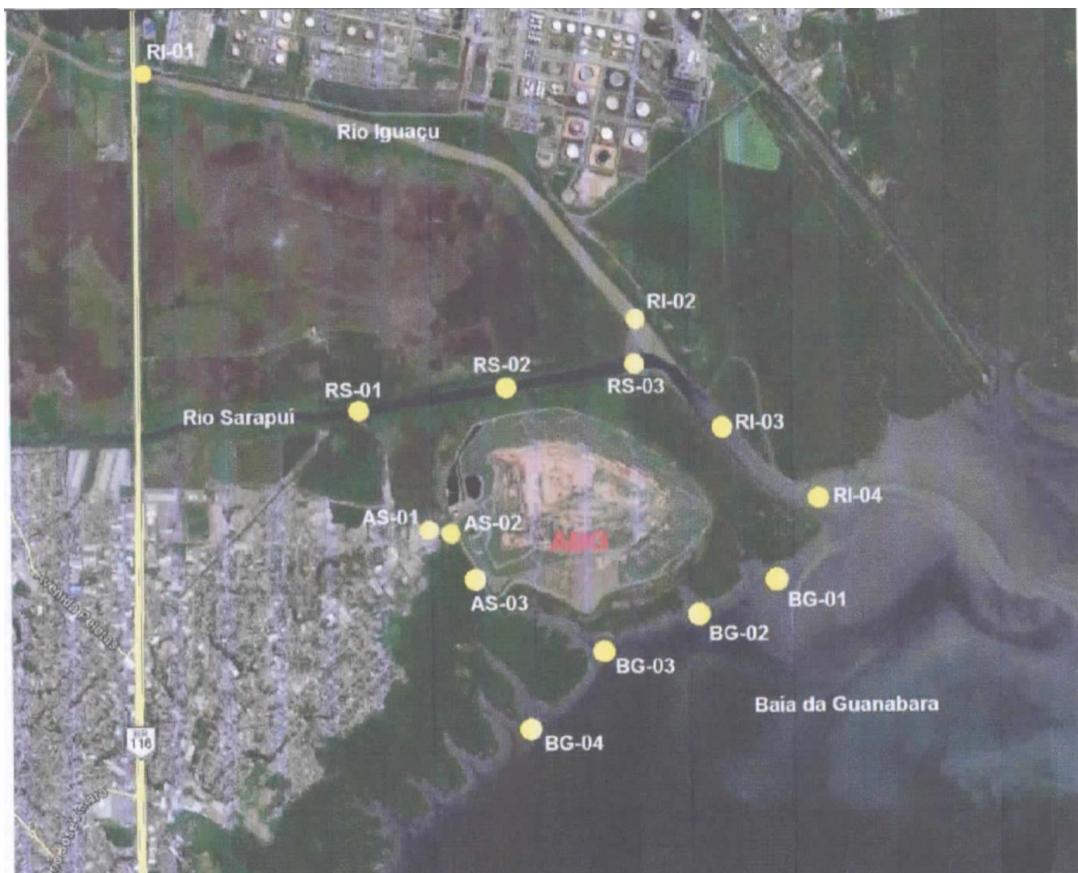
O informe disponível no processo cita que eram realizadas amostragens trimestrais da água subterrânea e amostragens semestrais da água superficial, sedimento de fundo e chorume. E de acordo com a proposta disponível no processo, a empresa Consultoria A previu a realização de duas campanhas semestrais de amostragem. No informativo referente a janeiro de 2015, foi informado que foram amostrados 15 pontos de água subterrânea, 13 de água superficial (Figura 6) e sedimento de fundo (Figura 6) e 2 pontos de efluente da ETE, um na entrada e outro na saída, bem como amostras de controle de qualidade (branco de campo, de equipamento e duplicata). Nessa campanha o córrego local não foi encontrado e o ponto AS-01 não foi coletado. Novamente, ressalta-se a inexistência desses relatórios com resultados integrais disponíveis para consulta no processos avaliado.

Figura 5. Localização dos poços de monitoramento instalados



Fonte: Consultoria A, 2014, apud INEA, 2011.

Figura 6. Localização dos pontos de coleta de amostras de água superficial e sedimento de fundo na campanha de janeiro de 2015 realizada pela Consultoria A



Fonte: Consultoria A, 2015 apud INEA, 2011.

Legenda: RS- Rio Sarapuì, RI- Rio Iguacu, BG- Baía de Guanabara, AS- córrego da área do AMJG.

5.2.3 Notificações e eventos relevantes relacionados ao GAC

Este item não contempla todas as notificações emitidas para área em estudo, apenas aquelas julgadas relevantes para construção do histórico com novos fatos, relacionados ao gerenciamento da área contaminada.

- a) Relatório de vistoria nº GELSARRVT 1694/14, autos de constatação GELSARCON/01009280, GELSARCON/01009281, GELSARCON/01009277, e notificações GELSARNOT/01037280, GELSARNOT/01037282

Vistoria realizada em 03/04/2014 para subsidiar análises do pleito de licença ambiental de recuperação (LAR), do pleito de licença de operação (LO) para ETC, para apurar denúncia de pescadores de Duque de Caxias quanto ao extravasamento de chorume bruto no braço morto do Rio Sarapuì e para verificar o cumprimento de duas notificações anteriores.

Durante a vistoria, o INEA constatou a existência de um tronco de madeira fincado no fundo do canal, cuja extremidade estava ligada a uma corda. Em tese, esta corda estaria conectada a um tampão no fundo do canal que liberaria uma tubulação contendo lixiviado bruto, que escoaria por gravidade para o mangue, de acordo com denúncias. Na direção do tampão, o INEA verificou a existência de uma saída de tubulação. Entretanto, não abriu o tampão para comprovar a infração, pois decidiu pelo princípio da precaução, e como ação sugeriu autuar a empresa gestora do aterro.

De acordo com a vistoria, a ETC vinha operando com uma vazão de 10 m³/h, abaixo do projetado de 80 m³/h. Os tratamentos primários e secundários estavam em operação, mas o tratamento terciário se mostrava inoperante. Entretanto, a partir da solicitação do INEA, o tratamento terciário foi acionado para avaliação da equipe do INEA, que identificou que o efluente de saída possuía aspecto semelhante ao tratamento secundário, com os parâmetros cor e turbidez visivelmente fora de conformidade. Foi identificado o parâmetro nitrogênio amoniacal total fora dos padrões estabelecidos na legislação vigente nos relatórios de análise. Face ao exposto, o INEA definiu que deveria ser realizada nova coleta na entrada e saída da ETC para avaliação da eficiência do tratamento. E como parâmetros para análise indicou aqueles estipulados na Resolução CONAMA 430/11, adicionando-se: surfactantes, DQO, toxicidade, condutividade, cor, fosfato, cloreto, metal pesado total e turbidez.

Como sugestão e ação da vistoria, o INEA solicitou plano de contingência para eventuais fissuras pelas quais é possível haver percolação de chorume e fluxo para o sistema de drenagem pluvial, e também sugeriu que a empresa gestora fosse notificada a cessar qualquer contribuição dolosa de lixiviado para o braço morto do Rio Sarapuí. Além disso, também sugeriu notificação para atendimento aos itens das notificações anteriores e apresentação de alguns documentos referentes à operação da ETC. Adicionalmente, sugeriu que a empresa fosse autuada por poluir o solo e o manguezal, a partir do chorume *in natura* no braço morto do Rio Sarapuí, por não cumprir o cronograma ajustado com o INEA para adequação da ETC, por operar em desacordo com condicionantes da licença de instalação nº FE014252 e causar incômodo e danos materiais a vizinhança com poluição da água do mangue.

Foram geradas as infrações GELSARCON/01009280, GELSARCON/01009281, GELSARCON/01009277, e notificações GELSARNOT/01037280, GELSARNOT/01037282.

b) 2014 – Notificação INEA n° GELSARNOT/01039238

Documento datado de 30/06/2014 notificando a empresa gestora do aterro a incluir três novos pontos de monitoramento de águas superficiais; apresentar ao INEA campanha de monitoramento dos pontos existentes no manguezal, na situação da baixa mar (maré baixa), viabilizando a estrutura necessária para realização da campanha solicitada; e apresentar ao INEA proposta de monitoramento contínuo da qualidade ambiental do Rio Sarapuí.

c) Relatório de vistoria n° GELSARRVT 494/15 e notificação GELSARNOT -1048872

Vistoria realizada em 19/02/2015 pelo INEA, Nessa data não foi constatada contribuição de chorume oriundo do sistema de drenagem pluvial para o manguezal.

Foi observado que a ETC vinha operando com vazão de 30 m³/h, abaixo da capacidade projetada de 80 m³/h, constataram-se modificações nas tubulação pluviais, sistema de drenagem pluvial precário e instalação de caixas coletoras de chorume. Também foi verificado que o efluente tratado possuía aspecto parecido com o tratamento secundário, visivelmente não conforme para os parâmetros cor e turbidez, e com lançamento no braço morto do Rio Sarapuí. Foi concluído que os relatórios de acompanhamento de efluente (RAE) entregues para atendimento ao Procon Água não estavam atendendo aos padrões estabelecidos para o parâmetro nitrogênio amoniacial.

Frente as constatações foi gerada a notificação GELSARNOT -1048872 e diversos autos de constatação.

d) Relatório de vistoria COGEFIS n° 061/15 e notificação GELSARNOT/01053575

Vistoria para apurar denúncia, veiculada pela mídia, de provável vazamento de lixiviado para o mangue e para o Rio Sarapuí. Foi constatado que a denúncia era verdadeira, tendo havido rompimento do canal de drenagem de lixiviado e extravasamento da lagoa com escoamento para o mangue. Não se pôde estimar a quantidade, mas os indícios indicaram ser grande. Também foi identificado um buraco para drenar e armazenar o lixiviado que extravasava, para posterior coleta com o caminhão pipa e re-aspersão no maciço. Conforme avaliação do INEA, essa medida, que não foi autorizada pelo órgão ambiental, além de não ser efetiva, aumentava a infiltração do lixiviado no solo, uma vez que o buraco não possuía impermeabilização.

Frente ao constatado foi gerada a notificação GELSARNOT/01053575.

e) Relatório de vistoria nº GELSARRVT 2314/15

Vistoria realizada em 18/06/15 para apurar denúncia de pescadores de Duque de Caxias de extravasamento de chorume bruto no braço morto do Rio Sarapuí. Na data não foi identificado extravasamento de chorume. Foi sugerido pelo INEA a apresentação, por parte da empresa gestora do AMJG, das exigências solicitadas pelo INEA. Além disso, foi aberto o processo administrativo nº E-07/002.6489/2015 sugerindo a celebração de termo de ajuste de conduta.

f) Relatório de vistoria nº GELSARRVT 4698/15, notificação GELSARNOT/01060081 e auto de constatação GELSARCON/01013725

Vistoria realizada pelo INEA no dia 18 de novembro de 2015 na qual se constatou extravasamento de chorume para o mangue no trecho denominado curva do urubu.

A partir das observações foram gerados a notificação GELSARNOT/01060081 e o auto de constatação GELSARCON/01013725.

g) 2017 – TAC. INEA N° 07/17 e Termo Aditivo nº 06/2021

Termo de Ajustamento de Conduta com o objetivo de estabelecer os prazos e condições para que a compromissada promova as medidas ambientais necessárias relacionadas às suas atividades no antigo Aterro Metropolitano de Jardim Gramacho, bem como o pagamento de multas decorrentes de infrações, e a execução de projetos de serviço de interesse ambiental aprovado no Banco de Projetos Ambientais do compromitente INEA.

Assinado no dia 08 de novembro de 2017, com prazo de 36 meses, esse TAC apresenta três planos de ação: O Plano de Ação I se refere a ações emergenciais, estudos ambientais da qualidade do solo e da água subterrânea, estudo geotécnicos e intervenções operacionais, já o Plano de Ação II se refere ao projeto de apoio à sala de situação dos sistema de alerta de cheias e, por fim, o Plano de Ação III se refere às ações de manutenção do manguezal.

Entre outros processos administrativos, o TAC cita o de número SEI E-07/002.6489/15, para acompanhamento do termo de ajustamento de conduta. Não há nenhuma informação sobre esse processo disponível nos endereços eletrônicos de consultas do INEA.

Em maio de 2021 foi celebrado o primeiro termo aditivo deste TAC, sob o nº 06/2021, prorrogando a vigência do termo para 26/05/2022 (12 meses a contar de 26/05/2021).

h) Gestão do aterro retomada para COMLURB em dezembro de 2021

O AMJG retornou para gestão da COMLURB em dezembro de 2020.

5.2.4 Processo de identificação da contaminação do Aterro Municipal de Jardim Gramacho

Conforme informações apresentadas nos itens anteriores, o processo de identificação da contaminação consistiu em uma Investigação Preliminar realizada em 2007, uma Investigação Confirmatória realizada 2008, uma Investigação Preliminar realizada em 2013, uma Investigação Detalhada, realizada entre os anos de 2014 e 2016. Na vistoria realizada pelo INEA em 11/11/2020, há menção de que a empresa responsável pela área na época estava concludo uma Investigação Confirmatória. Nessa vistoria há fotos de novos poços instalados no local. Nenhum dos estudos mencionados estão presentes na íntegra no processo consultado.

Também é considerado como parte do processo de identificação da contaminação, o monitoramento da água superficial ao redor do aterro, uma vez que se refere aos corpos hídricos de descarga do aquífero da área. Conforme supracitado, inicialmente, o monitoramento era realizado em 10 pontos para os parâmetros: DBO, DQO, Nitrogênio amoniacal, OD, salinidade, pH, Temperatura, coliformes totais e *E. coli*. Posteriormente, o INEA solicitou a inclusão de análises, compreendendo cloreto, pH, Resíduo Total, Resíduo Filtrável Total, Nitrogênio Kjeldahl, Nitrogênio Amoniacal, Fósforo Total, Sulfato, Temperatura, Cor, Condutividade, Carbono Orgânico Total (COT), DBO₅, DQO. Condutividade, Dureza, Zinco Total, Manganês Total, Ferro Solúvel, Sódio Total, Potássio Total, Cálcio Total, Magnésio Total, Nitrito e Nitrato, também solicitou a inclusão de pontos e que a coleta fosse realizada exclusivamente na maré vazante, a fim evitar interferências e permitir conclusões sobre as diferenças de concentração entre os pontos de montante e jusante. Não foram identificados relatórios de monitoramento de águas superficiais constando todos os parâmetros, somente o informativo da Investigação Detalhada (2015) apresenta o resultado de uma campanha de coleta de amostras de água superficial com análise destes parâmetros, mas com apresentação de resultados parciais apenas para as substâncias cujos valores foram superiores aos valores orientadores. Adicionalmente, o informativo da Investigação Detalhada (2015) cita duas campanhas semestrais de amostragem de água superficial, sedimento e lixiviado, entretanto só há tabelas de resultados de uma das campanhas (janeiro de 2015).

5.2.5 Processo de reabilitação da contaminação do Lixão de Jardim Gramacho

Os processos de reabilitação incluíram a aplicação de camada de cobertura, controle de estabilidade do maciço de resíduos, instalação de coleta de gases com posterior queima em *flare* (o reaproveitamento do biogás previsto inicialmente no projeto foi descontinuado), instalação de coleta de percolado com direcionamento para ETC instalada na área, ações de gerenciamento dos Manguezais do entorno por meio da supressão de espécies exóticas e/ou ruderais (*Leucaena leucophala*, *Terminalia cattapa*, *Panicum maximum* e demais espécies exóticas e ou ruderais na área de transição) e plantio de espécies nativas (mangue vermelho – *Rhizophora mangle* e *Schinus terebinthifolius*).

Abaixo é encaminhada, com mais detalhes, a listagem dos sistemas de controle e remediação implantados durante a vigência da LI n°FE 014252

I) Recuperação do Manguezal

Manutenção das palafitas e sistema de barreiras físicas; manutenção da área com remoção dos resíduos presentes na área; retirada manual dos resíduos antropogênicos que penetram nos sítios de plantio por meio das barreiras; produção de mudas *Rhizophora mangle* e produção de mudas de *Schinus terebinthifolius*.

II) Conservação do Aterro

Configuração dos taludes; retaludamento da face sul do aterro, com a criação das barreiras hidráulicas para drenagem pluvial; construção das descidas d'água pluvial; recirculação de chorume no Aterro por caminhões; manutenção da proteção vegetal dos taludes; aplicação de solo de cobertura (argila); monitoramento geotécnico

III) Monitoramento ambiental

Monitoramento das águas de superfície dos Rios Sarapuí, Iguáçu e da Baía de Guanabara.; monitoramento do sistema de tratamento de chorume.

A estação de tratamento instalada envolvia as seguintes etapas de tratamento: tratamento preliminar, composto por uma lagoa de equalização, remoção primária de espuma e peneiramento. Seguido de um tratamento primário, composto por alcalinização, decantação primária, *stripping* de amônia (aerador fixo de superfície), lavagem de gases, correção de pH com gás carbônico (CO₂) e decantação do carbonato de cálcio formado. Seguido de tratamento

secundário, composto por adição de nutriente, aeração e decantação secundária; e por fim um tratamento terciário, composto por filtração em areia, filtração em filtro bolsa, correção do pH, filtração em filtro de cartucho e filtração em membranas de nanofiltração. O efluente tratado era lançado no braço morto do Rio Sarapuí.

Conforme histórico apresentado no item 5.2.4, o sistema terciário apresentou problemas, com projetos para substituição, e a vazão de operação da ETC nos anos de 2014 e 2015 foi inferior àquela projetada. A empresa gestora assinou um TAC e, 2017 no qual se comprometia a realizar as manutenções necessárias na ETC. Em dezembro de 2020 a COMLURB assumiu o AMJG.

5.3. Limitações

As limitações deste estudo estão relacionadas aos dados indisponíveis no processo consultado. A maioria dos estudos relacionados à avaliação da área contaminada não estavam digitalizadas no processo apresentado no cadastro de áreas contaminadas e reabilitadas do órgão ambiental (E-07/506616/2011). Também não havia informação sobre o processo administrativo de acompanhamento do TAC (E-07/002.6489/15) nos endereços eletrônico de consultas do INEA e não houve tempo hábil para vistas a este outro processo. É valido destacar que as informações e avaliações aqui apresentadas foram realizadas com base em dados parciais, dos anos de 2014 e 2015, de forma que podem haver outras interpretações e conclusões com base em dados integrais e atualizados.

Dessa forma, como sugestão de trabalhos futuros, propõe-se consulta ao processo E-07/002.6489/15 para acesso ao relatório integral da Investigação realizada entre os anos de 2014 e 2016 e aos estudos apresentados no cronograma contido no Termo de Ajustamento de Conduta (TAC) INEA n° 07/17.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Análise crítica do processo de identificação de áreas contaminadas

A fonte primária de contaminação do AMJG consiste no maciço de resíduos. Depósitos de resíduos são considerados fontes de contaminação difusa, uma vez que a liberação da substância para o compartimento do meio ambiente ocorre em uma grande área, não podendo ser definido um único ponto de liberação. Adicionalmente, a operação da área, iniciada em 1976, como lixão, sem qualquer medida de controle, com incertezas sobre os tipos de resíduos recebidos,

bem como a quantidade total de material disposto, exige uma Estratégia 2 de investigação, conforme definido pela DD 38/17 (CETESB, 2017). Esse tipo de estratégia se caracteriza pelo emprego de métodos de investigação que proporcionem informações sobre o meio físico, sobre a natureza e a distribuição das substâncias químicas de interesse de forma ampla (como por exemplo, métodos de *screening* e geofísicos), ou que o plano de amostragem adote abordagem probabilística, permitindo o direcionamento, ou o posicionamento adequado das amostragens.

O Plano de Trabalho para Investigação Ambiental Detalhada dos Compartimentos Solo e Água Subterrânea do Antigo Aterro Metropolitano de Jardim Gramacho (2012) apresenta um método geofísico para o direcionamento das amostragens. Entretanto, como o relatório integral não está disponível no processo consultado, não é possível avaliar como o método geofísico direcionou as amostragens. Verifica-se que foram instalados pontos de amostragem de água subterrânea e água superficial em todo o entorno do aterro, inclusive com a presença de poços em mais de um nível, com a instalação de poços multi revestidos (“*double casing*”).

As descrições do plano de trabalho e algumas informações disponíveis nos informativos de resultados indicam que a caracterização hidroestratigráfica foi realizada, entretanto, os dados não estão disponíveis no material do processo consultado. A área em questão está localizada próxima à baía de Guanabara, ao Rio Sarapuí e ao Rio Iguaçu, tornando necessária uma avaliação hidrodinâmica para identificação da influência da maré da Baía de Guanabara e dos demais rios existentes nas circunvizinhanças na variação do nível d’água local. Novamente a falta de dados integrais não permite a avaliação de como essa interferência ocorre, inclusive não é possível definir um ponto de montante ou *background* para a avaliação das concentrações, especialmente para aqueles parâmetros para os quais não se observam valores orientadores definidos na legislação, pois não há mapa potenciométrico apresentado.

As substâncias químicas de interesse analisadas estiveram de acordo com os dados da literatura sobre as substâncias predominantemente presentes em aterros de resíduos sólidos urbanos. Os parâmetros analisados não foram restritos àqueles com valores orientadores, e, corretamente, incluíram alcalinidade, carbono orgânico total, cloreto, nitrogênio amoniacial, sulfato, sulfeto, cálcio, DBO, DQO, cianeto, metano, entre outros.

Dos parâmetros disponíveis na literatura, não foram avaliados os contaminantes emergentes com relatos em aterros de resíduos sólidos urbanos, o que é de se esperar pela data de realização do estudo. Considerando a magnitude do AMJG e o recebimento de resíduos perigosos, seria

interessante a análise de contaminantes emergentes reportados no lixiviado de aterros de resíduos sólidos urbanos (como PFAS e bisfenol A), e caso se identifiquem concentrações significativas, que essas análises também se estendessem aquelas realizadas na água subterrânea, de acordo com a hidrogeologia local e transporte e acúmulo das substâncias em análise. É válido ressaltar que nem sempre os pontos com maiores concentrações dos parâmetros conhecidamente relacionados ao lixiviado, como cloreto, serão os pontos com maior acúmulo dos demais contaminantes, pois as interações com as matrizes ambientais se alteram de acordo com o parâmetro. Por exemplo, o cloreto não é reativo, o que pode ocasionar uma pluma com maior extensão, considerando que somente a advecção, com consequente diluição atua neste transporte. Para substâncias que interagem com as matrizes ambientais e se degradam, o caminho da contaminação possivelmente será diferente.

De acordo com a DD 38/17 ((CETESB, 2017), na etapa de investigação detalhada, visando subsidiar a execução da etapa de Avaliação de Risco, é necessário estabelecer as substâncias químicas de interesse e determinar suas concentrações nos meios investigados, especialmente nos *hot spots* ou centros de massa, por meio de métodos diretos de investigação. Verifica-se que os furos de sondagem e os poços de monitoramento foram instalados ao redor do maciço de resíduos, não havendo pontos na pilha de resíduos. Como o AMJG não apresenta impermeabilização de base, espera-se que o centro de massa, especialmente para contaminação no solo, se localize imediatamente abaixo do maciço. Com os dados avaliados não é possível definir o porquê da ausência de coleta de amostras imediatamente abaixo da pilha resíduos, se isso ocorreu por inviabilidade técnica, questões de segurança, ou outros motivos. Também não é possível avaliar as estratégias para reduzir essas incertezas (como longos períodos de monitoramento).

Sobre os corpos d'água superficiais, verifica-se uma grande preocupação, considerando o histórico de atingimento direto destes por lixiviado bruto, mesmo após a instalação da ETC, conforme histórico da área apresentado no item 5.2. Também pode haver riscos a essa matriz ambiental devido à possibilidade de fluxo de massa de contaminantes com descarga do aquífero nos corpos d'água superficiais.

Apesar de muitos dados sobre o gerenciamento de áreas contaminadas não estarem disponíveis no processo consultado, na 5^a edição do cadastro de áreas contaminadas do Rio de Janeiro (INEA, 2021) é possível verificar, utilizando apenas os dados parciais disponíveis da

investigação realizada em 2015/2016, que, após três anos do fechamento do aterro, as concentrações encontradas no solo nos pontos avaliados não excederam os valores orientadores.

A Tabela 8 apresenta as substâncias quantificadas no solo, em pelo menos uma amostra: Destacam-se os parâmetros Sódio, Cálcio, Potássio e Alcalinidade, relacionados ao lixiviado, que não possuem valor orientador e foram identificados em elevadas concentrações.

As concentrações de contaminantes no solo se localizam próximas à fonte. Como não foi possível a realização de sondagens abaixo do maciço de resíduos, possivelmente, o maior centro de massa de contaminantes no solo não foi amostrado. De acordo com histórico de vazamentos de lixiviado diretamente no solo, outros centros de massa menores são esperados.

Tabela 8. Substâncias quantificadas no solo no AMJG em junho e julho de 2014 com base nos dados parciais disponíveis.

Parâmetro	Unid.	Mín.	Máx.	N	N com resultados >LQ	Valores orientadores utilizados (V.O.)		
						CONAMA 420 (2009)	Padrão Holandês (2012)	EPA (Maio 2014) Solo Industrial
Alumínio	mg/Kg	6630	109000	28	28	-	-	1100000
Antimônio	mg/Kg	1,85	1,85	28	1	25	-	-
Arsênio	mg/Kg	2,28	10,5	28	9	150	-	-
Bário	mg/Kg	12,2	92,4	28	28	750	-	-
Boro	mg/Kg	38,9	189	28	28	-	-	230000
Chumbo	mg/Kg	2,44	45	28	28	900	-	-
Cobalto	mg/Kg	3,98	8,04	28	27	90	-	-
Cobre	mg/Kg	2,03	47,1	28	28	600	-	-
Cromo	mg/Kg	4,03	83,8	28	28	400	-	-
Ferro	mg/Kg	14600	51400	28	28	-	-	820000
Manganês	mg/Kg	65,3	495	28	28	-	-	26000
Mercúrio	mg/Kg	0,0883	0,879	28	8	70	-	-
Molibdênio	mg/Kg	1,55	7,76	28	12	120	-	-
Níquel	mg/Kg	2,94	23,4	28	28	130	-	-
Prata	mg/Kg	0	0	28	0	100	-	-
Selênio	mg/Kg	0	0	28	0	-	100	5800
Vanádio	mg/Kg	15,8	58,6	28	28	1000	-	-
Zinco	mg/Kg	29	171	28	28	2000	-	-
Sódio	mg/Kg	777	24500	28	28	-	-	-
Cálcio	mg/Kg	584	51300	28	28	-	-	-
Potássio	mg/Kg	390	15900	28	28	-	-	-
Nitrato (como N)	mg/kg	<LQ	3,54	28	1	-	-	1900000
Antraceno	mg/kg	<LQ	0,006	28	1	-	-	230000

Parâmetro	Unid.	Mín.	Máx.	N	N com resultados >LQ	Valores orientadores utilizados (V.O.)		
						CONAMA 420 (2009)	Padrão Holandês (2012)	EPA (Maio 2014) Solo Industrial
Benzo(a)antraceno	mg/kg	<LQ	0,017	28	1	65	-	-
Benzo(k)fluoranteno	mg/kg	<LQ	0,01	28	2	-	-	29
Benzo(a)pireno	mg/kg	<LQ	0,022	28	2	3,5	-	-
Criseno	mg/kg	<LQ	0,016	28	2	-	-	290
Fenantreno	mg/kg	<LQ	0,013	28	2	95	-	-
Alcalinidade total	mg/kg	0,12	155	28	28	-	-	-
Óleos e graxas	% p/p	<LQ	0,14	28	1	-	-	-
TPH alifático (C8-C10)	mg/kg	<LQ	0,156	28	1	-	-	-
TPH GRO (C6-C10)	mg/kg	<LQ	0,181	28	1	-	-	-
TPH aromático (C12-C16)	mg/kg	<LQ	38	28	1	-	-	-
TPH aromático (C16-C21)	mg/kg	<LQ	9,81	28	1	-	-	-
TPH aromático (C21-C32)	mg/kg	<LQ	8,32	28	2	-	-	-

Fonte: Elaborado a partir dos Dados da Consultoria A, 2014 apud INEA, 2011

Legenda: “Unid.”- unidade, “Mín.”- mínima concentração encontrada.; “Máx.”- máxima concentração encontrada., “N”- número de amostras, ”LQ”- limite de quantificação do laboratório, “V.O.” valor orientador.

Já na água subterrânea, verificaram-se concentrações superiores aos valores orientadores de Arsênio, Bário, Boro, Ferro, Manganês, Níquel, Vanádio, Cloreto de Vinila, Cianeto, Fluoreto, Nitrato (como N) e Nitrito (como N). O composto de cloreto de vinila foi observado em dois pontos em concentrações próximas ao valor de intervenção, sendo no PM-16 igual a 7 ug/L e no PM-28A igual ao valor orientador (2 ug/L). Destaca-se o parâmetro cianeto (Tabela 11) cujos resultados foram superiores ao valor orientador em 37 das 39 amostras analisadas, e cujas referências bibliográficas indicam relação com o lixiviado (Tabela 2). Os resumos das substâncias quantificadas na água subterrânea podem ser verificados na Tabela 9, que apresenta os resultados de metais, na Tabela 10, que apresenta os resultados dos parâmetros orgânicos VOC (compostos orgânicos voláteis), SVOC (compostos orgânicos semi voláteis) e TPH (hidrocarbonetos totais de petróleo) e na Tabela 11, que apresenta os demais parâmetros analisados.

Para os demais parâmetros relacionados ao lixiviado de resíduos sólidos urbanos e que não possuem valores orientadores para água subterrânea, todos foram quantificados em elevadas concentrações. Os parâmetros Alcalinidade Total (resultados entre 9 e 503 mg/L), DBO (296 a 8500 mg/L), DQO (950 a 24400 mg/L), Nitrogênio Ammoniacal (9,87 a 288 mg/L), Sódio (407 a 13000 mg/L), Potássio (36,4 a 587 mg/L), Cálcio (36 a 630 mg/L), Dureza Total (1560 a

11600 mg/L), Cloreto (73,8 a 23000 mg/L), Sólidos Dissolvidos Totais (3851 a 49662 mg/L) e Carbono Orgânico Total (18 a 2450 mg/L) foram quantificados em todos os pontos. A concentração de metano na água subterrânea variou de <0,005 a 10,3 mg/L. Conforme pode se observar, as variações foram elevadas, chegando a duas ordens de grandeza para os parâmetros cloreto e carbono orgânico total. Verifica-se que as concentrações não se distribuem homogeneamente ao redor do aterro. É válido ressaltar que muitos desses parâmetros ocorrem naturalmente na água do mar. Com os dados disponíveis não é possível avaliar se a proximidade com a Baía de Guanabara pode alterar naturalmente a concentração das SQIs avaliadas.

Tabela 9. Metais quantificados na água subterrânea no AMJG em junho e julho de 2014 com base nos dados parciais disponíveis.

Parâmetro	Unidade	Mín.	Máx.	Nº de amostras	N que excederam o(s) V.O.(s)	N com resultados >LQ	Valores orientadores utilizados (V.O.)		
							CONAMA 420 (2009)	Padrão Holandês (2012)	EPA (Maio 2014)
Alumínio	ug/L	<LQ	420	39	0	37	3500	-	-
Antimônio	ug/L	<LQ	2,34	39	0	1	5	-	-
Arsênio	ug/L	<LQ	32,5	39	1	9	10	-	-
Bário	ug/L	27,1	1580	39	15	39	700	-	-
Boro	ug/L	306	3840	39	36	39	500	-	-
Cádmio	ug/L	<LQ	<LQ	39	0	0	5	-	-
Chumbo	ug/L	<LQ	2,07	39	0	1	10	-	-
Cobalto	ug/L	<LQ	32,9	39	0	21	70	-	-
Cobre	ug/L	<LQ	108	39	0	14	2000	-	-
Cromo	ug/L	<LQ	39,6	39	0	23	50	-	-
Ferro	ug/L	<LQ	751000	39	10	37	2450	-	-
<hr/>									
Manganês	ug/L	35	22800	39	36	39	400	-	-
Mercúrio	ug/L	<LQ	<LQ	39	0	0	1	-	-
Molibdênio	ug/L	<LQ	28,2	39	0	16	70	-	-
Níquel	ug/L	<LQ	40,6	39	1	18	20	-	-
Prata	ug/L	<LQ	<LQ	39	0	0	50	-	-
Selênio	ug/L	<LQ	<LQ	39	0	0	10	-	-
Vanádio	ug/L	<LQ	149	39	1	22	-	70	86
Zinco	ug/L	3,59	85,8	39	0	39	1050	-	-

Fonte: Elaborado a partir dos Dados da Consultoria A, 2014 apud INEA, 2011

Legenda: “Unid.”- unidade, “Mín.”- mínima concentração encontrada.; “Máx.”- máxima concentração encontrada., “N”- número de amostras, “LQ”- limite de quantificação do laboratório, “V.O.” valor orientador. “destaque vermelho”- concentração igual ou superior aos valores orientadores da Resolução CONAMA 420 (2009); “destaque laranja”- concentração igual ou superior aos valores orientadores do Padrão Holandês (2012), “destaque azul”- concentração igual ou superior aos valores orientadores da EPA (Maio 2014).

Tabela 10. Parâmetros orgânicos quantificados na água subterrânea no AMJG em junho e julho de 2014 com base nos dados parciais disponíveis.

Parâmetro	Unidade	Mín.	Máx.	N	N que excederam o(s) V.O.(s)	N com resultados >LQ	Valores orientadores utilizados (V.O.)		
							CONAMA 420 (2009)	Padrão Holandês (2012)	EPA (Maio 2014)
1,1-Dicloroetano	ug/L	<LQ	3,3	39	0	1	-	900	27
1,2-Dicloroeteno (cis+trans)	ug/L	<LQ	12,8	39	0	1	50	-	-
1,4-Diclorobenzeno	ug/L	<LQ	1,5	39	0	1	300	-	-
Benzeno	ug/L	<LQ	3	39	0	5	5	-	-
Cloreto de Vinila	ug/L	<LQ	7	39	2	2	2	-	-
Estireno	ug/L	<LQ	1,1	39	0	1	20	-	-
Etilbenzeno	ug/L	<LQ	11	39	0	5	300	-	-
Monoclorobenzeno	ug/L	<LQ	1,2	39	0	2	700	-	-
Tetracloroeteno	ug/L	<LQ	11	39	0	1	40	-	-
Tolueno	ug/L	<LQ	3,9	39	0	3	700	-	-
Tricloroeteno	ug/L	<LQ	1,8	39	0	1	20	-	-
m,p-Xilenos	ug/L	<LQ	9	39	0	5	500	-	-
o-xileno	ug/L	<LQ	2,8	39	0	2	500	-	-
Xilenos	ug/L	<LQ	11,4	39	0	1	500	-	-
2,4-Diclorofenol	ug/L	<LQ	0,1	39	0	1	10,5	-	-
Antraceno	ug/L	<LQ	0,131	39	0	1	-	5	1800
Benzo(a)antraceno	ug/L	<LQ	0,141	39	0	1	1,75	-	-
Benzo(a)pireno	ug/L	<LQ	0,0552	39	0	1	0,7	-	-
Benzo(g,h,i)períleno	ug/L	<LQ	0,0136	39	0	1	-	0,05	-
Benzo(k)fluoranteno	ug/L	<LQ	0,0352	39	0	1	-	0,05	3
Criseno	ug/L	<LQ	0,155	39	0	1	-	0,2	34
Fenantreno	ug/L	<LQ	0,155	39	0	1	140	-	-
Fenol	ug/L	<LQ	2,63	39	0	6	140	-	-
Indeno(1,2,3,cd)pireno	ug/L	<LQ	0,0174	39	0	1	17	-	-
Naftaleno	ug/L	<LQ	0,0218	39	0	2	140	-	-
TPH alifático (C10-C12)	ug/L	<LQ	23,4	39	-	1	-	-	-
TPH alifático (C12-C16)	ug/L	<LQ	56	39	-	1	-	-	-
TPH alifático (C16-C21)	ug/L	<LQ	246	39	-	8	-	-	-
TPH alifático (C21-C32)	ug/L	<LQ	728	39	-	7	-	-	-
TPH alifático (C6-C8)	ug/L	<LQ	40,5	39	-	1	-	-	-
TPH alifático (C8-C10)	ug/L	<LQ	46,2	39	-	1	-	-	-
TPH aromático (C10-C12)	ug/L	<LQ	86,3	39	-	15	-	-	-
TPH aromático (C12-C16)	ug/L	<LQ	92,4	39	-	8	-	-	-
TPH aromático (C16-C21)	ug/L	<LQ	113	39	-	6	-	-	-
TPH aromático (C21-C32)	ug/L	<LQ	136	39	-	2	-	-	-
TPH aromático (C8-C10)	ug/L	<LQ	64	39	-	1	-	-	-
TPH GRO (C6-C10)	ug/L	<LQ	115	39	-	3	-	-	-
TPH Total (C6-C32)	ug/L	<LQ	1490	39	-	4	-	-	-

Fonte: Elaborado a partir dos Dados da Consultoria A, 2014 apud INEA, 2011

Legenda: “Unid.”- unidade, “Mín.”- mínima concentração encontrada.; “Máx.”- máxima concentração encontrada., “N”- número de amostras, “LQ”- limite de quantificação do laboratório, “V.O.” valor orientador. “destaque vermelho”- concentração igual ou superior aos valores orientadores da Resolução CONAMA 420

(2009); “destaque laranja”- concentração igual ou superior aos valores orientadores do Padrão Holandês (2012), “destaque azul”- concentração igual ou superior aos valores orientadores da EPA (Maio 2014).

Tabela 11. Outros parâmetros quantificados na água subterrânea no AMJG em junho e julho de 2014 com base nos dados parciais disponíveis.

Parâmetro	Unidade	Mín.	Máx.	N	N que exceder am o(s) V.O.(s)	N com resultados >LQ	Valores orientadores utilizados (V.O.)		
							CONAMA 420 (2009)	Padrão Holandês (2012)	EPA (Maio 2014)
Alcalinidade Total	mg/L	9	503	39	-	39	-	-	-
Brometo	mg/L	<LQ	174	39	-	35	-	-	-
Cianeto	ug/L	<LQ	45,1	39	37	37	-	1500	1,5
Clorato	mg/L	<LQ	83	39	-	5	-	-	-
DBO	mg/L	296	8500	39	-	39	-	-	-
DQO	mg/L	950	24400	39	-	39	-	-	-
Nitrato (como N)	ug/L	<LQ	21700	39	1	2	10000	-	-
Nitrito (como N)	ug/L	<LQ	4550	39	3	4	-	-	2000
Nitrogênio Albuminóide	mg/L	1,4	29	39	-	39	-	-	-
Nitrogênio Amonical	mg/L	9,87	288	39	-	39	-	-	-
Nitrogênio Total Kjeldahl	mg/L	13	576	39	-	39	-	-	-
Nitrogênio Total	mg/L	13	576	39	-	39	-	-	-
Sódio	ug/L	407000	13000000	39	-	39	-	-	-
Potássio	ug/L	36400	587000	39	-	39	-	-	-
Cálcio	ug/L	36000	630000	39	-	39	-	-	-
Dureza Total	mg/L	1560	11600	39	-	39	-	-	-
Coliformes Termotolerantes (E. coli)	NPM/100 mL	<LQ	1160	39	-	34	-	-	-
Coliformes Totais	NPM/100 mL	10	241900	39	-	39	-	-	-
Sulfato	ug/L	<LQ	4880000	39	-	28	-	-	-
Fluoreto	ug/L	<LQ	803	39	1	38	-	-	800
Sulfeto	mg/L	<LQ	16	39	-	28	-	-	-
Fosfato (como P)	ug/L	<LQ	<LQ	39	-	0	-	-	-
Cloreto	ug/L	73800	23000000	39	-	39	-	-	-
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	3851	49662	39	-	39	-	-	-
Carbono Orgânico Total	mg/L	18	2450	39	-	39	-	-	-
Etano	ug/L	<5	7,71	30	-	1	-	-	-
Metano	ug/L	<5	10300	30	-	29	-	-	-
Propano	ug/L	<10	42,1	30	-	7	-	-	-

Fonte: Elaborado a partir dos Dados da Consultoria A, 2014 apud INEA, 2011

Legenda: “Unid.”- unidade, “Mín.”- mínima concentração encontrada.; “Máx.”- máxima concentração encontrada., “N”- número de amostras, “LQ”- limite de quantificação do laboratório, “V.O.” valor orientador. “destaque vermelho”- concentração igual ou superior aos valores orientadores da Resolução CONAMA 420

(2009); “destaque laranja”- concentração igual ou superior aos valores orientadores do Padrão Holandês (2012), “destaque azul”- concentração igual ou superior aos valores orientadores da EPA (Maio 2014).

Nos informativos disponíveis no processo, além dos dados parciais da Investigação realizada em 2014, há dados de uma campanha de amostragem realizada em janeiro de 2015, que compreendeu a coleta de amostras de água subterrânea, água superficial, sedimentos e lixiviado. Para esta campanha, só há uma tabela de resultados com o resumo daquelas substâncias que superaram os respectivos limites de intervenção. Também foram inseridos nas tabelas de água subterrânea alguns parâmetros que não possuem limite de intervenção, mas que foram apresentados por serem observados em altas concentrações. Nessa campanha, a consultoria incluiu como valor comparativo o antigo padrão de potabilidade (Portaria n° 2914 do Ministério da Saúde).

Na campanha de janeiro de 2015 não foram identificadas concentrações de cianeto nem cloreto de vinila nas amostras de água subterrânea coletadas. Com os resultados apresentados não é possível saber se esses compostos foram realmente analisados. A Tabela 12 apresenta a faixa de valores identificados para cada parâmetro. Foram coletadas amostras de água subterrânea de 15 poços de monitoramento e uma duplicata do PM-21. É válido destacar que a área em questão apresenta peculiaridades, com solo muito argiloso, que reduz o transporte de contaminantes.

Tabela 12. Parâmetros superiores aos limites de intervenção ou observados em elevadas concentrações em amostras de água subterrânea coletadas em janeiro de 2015 no AMJG, com base nos dados parciais disponíveis.

Parâmetro	Unidade	Mín.	Máx.	N >LQ	N que excederam o(s) V.O.(s)	Valores orientadores utilizados (V.O.)			
						CONAMA 420 (2009)	Portaria 2914 (2011)	Padrão Holandês (2012)	EPA PRG Region 9 (2015)
Alumínio	ug/L	1,81	346	14	1	3500	200	-	-
Bário	ug/L	32,4	1400	16	3	700	700	-	-
Boro	ug/L	533	3590	16	16	500	-	-	-
Cromo	ug/L	3,8	69,7	13	2	50	50	-	-
Ferro	ug/L	10,9	399000	16	8	2450	300	-	-
Manganês	ug/L	215	5820	16	16	400	100	-	-
Níquel	ug/L	19,8	26,2	4	3	20	70	-	-
Vanádio	ug/L	5,94	93,7	2	3	-	-	70	86
Zinco	ug/L	2,23	1400	16	1	1050	5000	-	-
Nitrogênio Amoniacial	mg/L	8,92	279	16	16	-	1,5	-	-
Nitrogênio Total Kjeldahl	mg/L	14,7	511	16	-	-	-	-	-

Nitrogênio Total	mg/L	15	514	16	-	-	-	-	-
Sódio	ug/L	680000	11400000	16	16	-	200000	-	-
Potássio	ug/L	62400	501000	16	-	-	-	-	-
Cálcio	ug/L	125000	431000	16	-	-	-	-	-
Dureza Total	mg/L	1730	7900	16	16	-	500	-	-
Coliformes									
Termotolerantes (E. coli)	NPM/100mL	100	83300	16	16	-	Ausência	-	-
Coliformes Totais	NPM/100mL	410	1011200	16	16	-	Ausência	-	-
Sulfato	ug/L	39300	4010000	16	13	-	250000	-	-
Fluoreto	ug/L	144	939	11	2	-	1500	-	800
Sulfeto	mg/L	2,7	3905	8	4	-	100	-	-
Fosfato (como P)	ug/L	49	34200	16	-	-	-	-	-
Cloreto	ug/L	1750000	21300000	16	16	-	250000	-	-
Sólidos Dissolvidos									
Totais	mg/L	16914	65115	16	16	-	1000	-	-
Carbono Orgânico									
Total	mg/L	45	275	16	-	-	-	-	-

Fonte: Elaborado a partir dos Dados da Consultoria A, 2014 apud INEA, 2011

Legenda: “Unid.”- unidade, “Mín.”- mínima concentração encontrada.; “Máx.”- máxima concentração encontrada., “N”- número de amostras, “LQ”- limite de quantificação do laboratório, “V.O.” valor orientador. “destaque vermelho”- concentração igual ou superior aos valores orientadores da Resolução CONAMA 420 (2009); “destaque laranja”- concentração igual ou superior aos valores orientadores do Padrão Holandês (2012), “destaque azul”- concentração igual ou superior aos valores orientadores da EPA PRG Region 9 (2015). “destaque verde”- concentração igual ou superior a Portaria n° 2914 (2011), que estabelecia o padrão de potabilidade à época.

Já na água superficial, a Tabela 13 apresenta os valores obtidos. Não há informações se todas as amostras foram coletadas na maré baixa, conforme solicitação do INEA. As maiores concentrações foram identificadas no ponto AS-03, no córrego próximo ao empreendimento e ao lançamento de efluentes tratados. Na campanha de janeiro de 2015, o ponto do córrego AS-01 não foi coletado.

Tabela 13. Parâmetros superiores aos valores orientadores nas amostras de água superficial coletadas em janeiro de 2015 nas cercanias do AMJG, com base nos dados parciais disponíveis.

Parâmetro	Unidade	Mín.	Máx.	N > LQ	Nº de amostras que excederam o(s) V.O.(s)	Valores orientadores utilizados (V.O.)			
						CONAMA 357 Art 14 (2005)	CONAMA 420 (2009)	Portaria 2914 (2011)	EPA PRG Region 9 (2015)
Substâncias que comunicam odor	-	-	Presentes	14	14	Ausentes	-	-	-
Coliformes									
Termotolerantes (E. coli)	NMP/100mL	1000	217800	14	11	4000	-	Ausência	-
DBO	mg/L	15,4	886	14	14	10	-	-	-
Turbidez	UNT	15,2	710	14	14	100	-	5	-
Cor Verdadeira	mg Pt/L	26,8	2650	14	2	75	-	-	-

Parâmetro	Unidade	Mín.	Máx.	N > LQ	Nº de amostras que excederam o(s) V.O.(s)	Valores orientadores utilizados (V.O.)			
						CONAMA 357 Art 14 (2005)	CONAMA 420 (2009)	Portaria 2914 (2011)	
Clorofila A	ug/L	4	161	13	5	60	-	-	-
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	609	44817	14	14	500	-	1000	-
Boro	mg/L	0,0017	4,69	14	13	0,75	0,5	-	-
Chumbo	mg/L	0,00102	0,0155	7	1	0,033	0,01	0,01	-
Cloreto	mg/L	84,7	25900	14	13	250	-	250	-
Cobalto	mg/L	0,00121	0,125	4	1	0,2	0,07	-	-
Cobre Dissolvido	mg/L	0,00156	0,0877	3	2	0,013	2	2	-
Cromo	mg/L	0,00161	0,142	11	2	0,05	0,05	0,05	-
Ferro Dissolvido	mg/L	0,0048	2,83	12	4	5	2,45	0,3	-
Fósforo Total	mg/L	0,95	11,3	14	14	0,15	-	-	-
Manganês	mg/L	0,00959	1,05	14	10	0,5	0,4	0,1	-
Níquel	mg/L	0,00348	0,302	3	2	0,025	0,02	0,07	-
Nitrito (como N)	mg/L	0,02	280	4	2	1	-	1	-
Nitrogênio Ammoniacal (pH <7,5)	mg/L	0,94	50,5	6	2	13,3	-	-	-
Nitrogênio Ammoniacal (pH 7,5<8,0)	mg/L	1,9	64,5	6	4	5,6	-	-	-
Nitrogênio Ammoniacal (pH 8,0<8,5)	mg/L	3	16,1	2	2	2,2	-	-	-
Sulfato	mg/L	39,1	3580	14	6	250	-	250	-
Sulfetos (como H ₂ S não dissociado)	mg/L	0,006	1,64	9	4	0,3	-	0,1	-
Índice de Fenóis	mg/L	0,003	0,02	9	2	0,01	-	-	-
Surfactantes (como LAS)	mg/L	1	4,95	14	14	0,5	-	0,5	-
TPH Aromático (C16-C21)	mg/L	0,0339	0,0365	2	2	-	-	-	0,00055
Dureza Total	mg/L	71,8	5090	14	8	-	-	500	-
Sódio	mg/L	2,03	10400	14	11	-	-	200	-

Fonte: Elaborado a partir dos Dados da Consultoria A, 2014 apud INEA, 2011

Legenda: “Unid.”- unidade, “Mín.”- mínima concentração encontrada.; “Máx.”- máxima concentração encontrada., “N”- número de amostras, “LQ”- limite de quantificação do laboratório, “V.O.” valor orientador. “destaque bordô”- concentração igual ou superior aos valores orientadores da Resolução CONAMA 357 (2005) “destaque vermelho”- concentração igual ou superior aos valores orientadores da Resolução CONAMA 420 (2009); “destaque laranja”- concentração igual ou superior aos valores orientadores do Padrão Holandês (2012), “destaque azul”- concentração igual ou superior aos valores orientadores da EPA PRG Region 9 (2015). “destaque verde”- concentração igual ou superior a Portaria n° 2914 (2011), que estabelecia o padrão de potabilidade à época.

Os resultados das 13 amostras de sedimento coletadas são apresentados na **Tabela 14**.

Tabela 14. Parâmetros superiores aos valores orientadores nas amostras de sedimento coletadas em janeiro de 2015 nas cercanias do AMJG, com base nos dados parciais disponíveis.

Parâmetro	Unidade	Mín.	Máx.	Nº de amostras que excederam o(s) V.O.(s)	N >LQ	Valores orientadores utilizados (V.O.)	
						CONAMA 454 (2012) Água Salina/Salobra Nível 1	CONAMA 454 (2012) Água Salina/Salobra Nível 2
Chumbo	mg/kg	5,28	99,5	2	13	46,7	218
Cobre	mg/kg	12,4	231	10	13	34	270
Cromo	mg/kg	10,6	444	8	13	81	370
Mercúrio	mg/kg	0,0513	0,903	5	9	0,3	1
Níquel	mg/kg	2,33	32,6	5	13	20,9	51,6
Zinco	mg/kg	19	488	8	13	150	410

Fonte: Elaborado a partir dos Dados da Consultoria A, 2014 apud INEA, 2011

Legenda: “Unid.”- unidade, “Mín.”- mínima concentração encontrada.; “Máx.”- máxima concentração encontrada., “N”- número de amostras, ”LQ”- limite de quantificação do laboratório, “V.O.” valor orientador. “destaque vermelho”- concentração igual ou superior aos valores orientadores da Resolução CONAMA 454 (2012) Água Salina/Salobra Nível 2; “destaque azul”- concentração igual ou superior aos valores orientadores da Resolução CONAMA 454 (2012) Água Salina/Salobra Nível 1.

Por fim, os resultados das análises de lixiviado que superaram os valores orientadores da CONAMA 430/2011 são apresentados na Tabela 15. As três amostras se referem a uma amostragem na entrada da ETE e a coleta de duas amostras na saída da ETE, sendo uma duplicata. Verifica-se que a amostra de entrada do lixiviado apresenta pH alcalino (11) e uma concentração de 300 mg/L de nitrogênio amoniacal. Após o tratamento o pH era reduzido para 7,6, resultado que atende a legislação, e o nitrogênio amoniacal para 165 mg/L, valor superior ao padrão de referência (20 mg/L). A concentração de ferro da amostra do lixiviado bruto não foi muito elevada, sendo inferior ao valor orientador já na entrada do sistema.

Tabela 15. Parâmetros superiores aos valores orientadores nas amostras de lixiviado coletadas em janeiro de 2015 no AMJG, com base nos dados parciais disponíveis.

Parâmetro	Unidade	Mínimo	Máximo	Nº de amostras	Nº de amostras que excederam pelo menos um dos valores orientadores	N com resultados >LQ	Valor orientador utilizado (V.O.)
							CONAMA 430 (2011)
pH		7,6	11	3	1	3	5 a 9
Ferro Dissolvido	mg/L	0,565	2,42	3	0	3	15
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	165	300	3	3	3	20

Fonte: Elaborado a partir dos Dados da Consultoria A, 2014 apud INEA, 2011

Legenda: “Unid.”- unidade, “Mín.”- mínima concentração encontrada.; “Máx.”- máxima concentração encontrada., “N”- número de amostras, “LQ”- limite de quantificação do laboratório, “V.O.” valor orientador. “destaque vermelho”- concentração igual ou superior aos valores orientadores da Resolução CONAMA 430 (2011).

Reitera-se que a maioria dos estudos relacionados à avaliação da área contaminada não estavam disponíveis no processo apresentado no cadastro de áreas contaminadas e reabilitadas do órgão ambiental (E-07/506616/2011). A partir do observado, sugere-se que sejam solicitadas vistas aos demais processos relacionados à área em estudo, que possam ter informações sobre áreas contaminadas, e não somente ao processo apresentado no cadastrado de áreas contaminadas e reabilitadas do órgão ambiental. O cronograma do Termo de Ajustamento de Conduta (TAC) INEA n° 07/17 prevê as apresentações dos seguintes estudos: Relatório de Avaliação Preliminar de passivo ambiental em solo e água subterrânea, conforme ABNT 15.515-Parte 1; Relatório de Investigação Confirmatória de passivo ambiental em solo e água subterrânea, conforme ABNT NBR 15.515-Parte 2; Relatório de Investigação Detalhada de passivo ambiental em solo e água subterrânea, conforme ABNT 15.515-Parte 3, se orientado pelo estudo anterior; Relatório de Avaliação de Risco à Saúde Humana, conforme ABNT NBR 16.209, se orientado pelo estudo anterior; Avaliação de Risco Ecológico (AREco), se orientado pelos estudos anteriores, Plano de Monitoramento Ambiental, se orientado pelos estudos anteriores.

Com os dados avaliados não é possível saber o motivo do órgão ambiental ter solicitado novamente os estudos de Avaliação Preliminar, Investigação Confirmatória, Investigação Detalhada e Avaliação de Risco à Saúde Humana. As informações disponíveis também não permitem avaliar se há descarga de massa do meio poroso para o mangue e corpos hídricos ao redor da área, dado importante para tomada de decisão sobre eventuais ações de intervenção adicionais necessárias.

6.2 Análise crítica do processo de reabilitação de áreas contaminadas

Uma vez que o TAC de 2017 apresenta um cronograma que inclui estudos de identificação de áreas contaminadas, e que o 5º cadastro de áreas contaminadas e reabilitadas do Rio de Janeiro (INEA,2021) classifica o AMJG como Área Contaminada sob Investigação – AI, apresentando como medidas de intervenção monitoramento ambiental e restrição do uso da água subterrânea (Tabela 16), entende-se que não foram realizadas medidas de remoção de massa (remediação) no solo ou na água subterrânea da área em estudo. Sobre a descrição do cadastro de áreas contaminadas e reabilitadas do Rio de Janeiro, verifica-se que, em outubro de 2021, estavam

cadastradas as substâncias metais e inorgânicos, já na consulta realizada em janeiro de 2022 as substâncias foram modificadas para BTEX e PAH. Não é possível saber se esta alteração foi em decorrência dos estudos recentes apresentados ao INEA, não disponíveis no processo consultado, ou algum erro na planilha do cadastro.

Tabela 16. Diferença entre os contaminantes na água subterrânea do AMJG cadastrados entre diferentes datas de consulta à 5º Edição do Cadastro de Áreas Contaminadas e Reabilitadas do Rio de Janeiro

Data de consulta ao cadastro	Processo INEA	Razão Social	Atividade	Situação	Uso atual	Cont. primária
out/21	E-07/506616/2011	Aterro Metropolitano de Jardim Gramacho	Aterro de Resíduos	Desativada	Industrial	-
jan/22	E-07-506616/2011	Aterro Metropolitano de Jardim Gramacho	Aterro de Resíduos	Desativada	Industrial	Não detectado
Data de consulta ao cadastro	Cont. no solo 1	Cont. no solo 2	Cont. no solo 3	Cont. na água sub. 1	Cont. na água sub. 2	Cont. na água sub. 3
out/21	Não detectado	-	-	Metais	Inorgânicos	-
jan/22	Não detectado	-	-	BTEX	PAH	-
Data de consulta ao cadastro	Produto no solo	Intervenção 1	Intervenção 2	Intervenção 3	Classificação	
out/21	Não detectado	Monitoramento ambiental	Restrição do uso da água subterrânea	-	AI	
jan/22	Não detectado	Monitoramento ambiental	Restrição do uso da água subterrânea	-	AI	

Fonte: INEA, 2022.

As medidas de reabilitação adotadas se restringiram ao restrição do uso da água subterrânea (medida institucional), aplicação de camada de cobertura, controle de estabilidade do maciço de resíduos, instalação de coleta de gases com posterior queima em *flare* (o reaproveitamento do biogás previsto inicialmente no projeto foi descontinuado), instalação de coleta de percolado com direcionamento para ETC, ações de gerenciamento dos Manguezais do entorno por meio da supressão de espécies exóticas e/ou ruderais (*Leucaena leucophala*, *Terminalia cattapa*,

Panicum maximum e demais espécies exóticas e ou ruderais na área de transição) e plantio de espécies nativas (mangue vermelho – *Rhizophora mangle* e *Schinus terebinthifolius*).

Os dados avaliados não permitem concluir sobre a necessidade de medidas de intervenção adicionais àquelas implementadas. É importante destacar que, mesmo com a presença de anomalias, é possível que não exista risco para população no entorno e/ou para o ecossistema local decorrentes de eventuais contaminações subterrâneas, caso a atenuação natural seja suficiente para redução dos riscos ao longo do tempo e/ou que os contaminantes se mantenham naturalmente imobilizados. A área apresenta um solo argiloso, com baixa condutividade hidráulica, que pode atuar na sorção e na redução do transporte de contaminantes.

Entretanto, verifica-se a ocorrência de extravasamento de chorume em eventos ocorridos nos anos de 2014 e 2015, conforme histórico apresentado no item 5, inclusive com atingimento ao mangue, sem medidas de remoção de massa posterior. É possível conjecturar sobre a possibilidade de existência de fissuras pelas quais poderia percolar lixiviado bruto atingindo a rede de drenagem e os corpos superficiais (conforme avaliado pelo INEA), o que exigira medidas corretivas periódicas para vedação das fissuras decorrentes do recalque. Adicionalmente, é possível suspeitar sobre a existência de fluxo de massa de contaminante do meio poroso para o mangue e corpos hídricos ao redor do AMJG (Rio Sarapuí, Rio Iguaçu e Baía de Guanabara), o que poderia exigir medidas de contenção e/ou remediação.

7. CONCLUSÕES

O AMJG após mais de nove anos encerrado permanece classificado como área contaminada sob investigação, de acordo com o 5º cadastro de áreas contaminadas e reabilitadas do Rio de Janeiro, última versão publicada pelo INEA. São cadastradas como ações de intervenção o monitoramento ambiental e a restrição do uso da água subterrânea. As substâncias identificadas na água subterrânea, atualmente, se restringem a BTEX e PAH, não incluindo cianeto ou outros parâmetros identificados em 2014 e 2015.

Verifica-se ausência de padrão legal nacional para solo e água subterrânea para os principais parâmetros relacionados ao lixiviado, tais como como metano, DQO, DBO, COT, Ca, Mg, Na, K, NH_4^+ , Cl, SO_4^{2-} , HCO_3^- , nitrogênio amoniacal, cianetos entre outros, o que pode levar a não inclusão dessas substâncias no cadastro de áreas contaminadas. Em alguns casos, a própria área de disposição de resíduos pode não entrar no cadastro. Conclui-se sobre a necessidade de

atualizações na legislação com a definição de valores orientadores para as substâncias químicas de interesse relacionadas à disposição de resíduos sólidos urbanos, uma vez que a quantidade de lixões ativos, desativados e abandonados, aterros controlados e aterros sanitários no país é inestimável.

Conforme levantamento aerofotogramétrico, ainda há volumosa produção de lixiviado de resíduos na área, que exige a operação contínua da ETC e, quando necessário, recirculação de lixiviado no maciço de resíduos.

Os estudos relacionados ao GAC realizados no AMJG não estavam disponíveis na íntegra no processo administrativo apresentado no 5º cadastro de áreas contaminadas e reabilitadas do Rio de Janeiro (E-07/506616/2011), prejudicando as avaliações apresentadas no presente trabalho. Todas as discussões e conclusões foram realizadas utilizando dados parciais disponíveis no processo consultado, cujos últimos resultados eram de 2015. Possivelmente, os demais estudos se encontram no processo administrativo para acompanhamento do TAC INEA nº 07/17 (E-07/002.6489/15). Conclui-se que as solicitações de vistas aos processos da área em estudo não devem se restringir ao processo apresentado no cadastro de áreas contaminadas e reabilitadas, devendo se estender ao demais processos disponíveis para área, relacionados à TACs, operação e atividades potencialmente poluidoras.

De acordo com os dados parciais avaliados, referente aos anos de 2014 e 2015, não foram encontradas anomalias no solo nos pontos investigados no AMJG. Entretanto, os parâmetros Sódio, Cálcio, Potássio e Alcalinidade, relacionados ao lixiviado, que não possuem valor orientador para essa matriz, foram identificados em elevadas concentrações.

Já na água subterrânea foram encontradas em concentrações superiores aos valores orientadores as SQIs: Arsênio, Bário, Boro, Cromo, Ferro, Manganês, Níquel, Vanádio, Zinco, Cloreto de Vinila, Cianeto, Nitrogênio Amoniacal, Nitrato (como N), Nitrito (como N), Sódio, Dureza Total, Coliformes Termotolerantes (*E. coli*), Coliformes Totais, Sulfato, Fluoreto, Sulfeto, Cloreto e Sólidos Dissolvidos Totais. Para os parâmetros relacionados ao lixiviado de resíduos sólidos urbanos, que não possuem valores orientadores para água subterrânea, nem se encontram na lista de potabilidade, foram quantificados em elevadas concentrações, principalmente: Alcalinidade Total, DBO, DQO, Potássio, Cálcio, Dureza Total, Cloreto, Fosfato (como P), Nitrogênio Total Kjeldahl, Nitrogênio Total e Carbono Orgânico Total e metano.

Coletas de água superficial em áreas com influência da maré, como no caso do AMJG, devem ser realizadas com a maré baixa para permitir avaliações das diferenças de concentração entre os pontos de montante e jusante.

Por fim, conclui-se que áreas complexas como o AMJG devem ser motivo de um processo minucioso de identificação e reabilitação de áreas contaminadas, a fim evitar riscos à população e ao ecossistema nas cercanias.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABETRE. Associação Brasileira de Empresas de Resíduos e Efluentes. **Atlas de destinação final de resíduos**, 2020. Disponível em: <https://abetre.org.br/atlas-da-destinacao-final-de-residuos-brasil-2020/>. Acesso em: 26 set. 2021.

ABRELPE. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil , 2020. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama/>. Acesso em: 25 set. 2021.

BARBOSA, M.C. Investigação Geoambiental do Depósito de Argila sob o Aterro de Gramacho. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Rio de Janeiro, 1994. 328f.

BELEVI, Hasan; BACCINI, Peter. Long-term behavior of municipal solid waste. **Waste Management & Research**, 1989. 43-56.

BRASIL. **Lei nº 12.305**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial, 2010.

BRASIL. Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. **Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade**, 4 maio 2021. ISSN Diário Oficial da União. Edição: 85. Seção: 1. Página 127. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>. Acesso em: 12 outubro 2021.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Decisão de DIretoria N° 038/2017/C, DE 07 FEVEREIRO DE 2017**, 2017. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2014/12/DD-038-2017-C.pdf>. Acesso em: 18 out. 2021.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas**, 2021. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/documentacao/manual-de-gerenciamento-de-areas-contaminadas/informacoes-gerais/apresentacao/>. Acesso em: 28 novembro 2021.

CETESB. Decisão de diretoria n.º 125/2021/E, de 09 de dezembro de 2021. **Dispõe sobre a Aprovação da Atualização da Lista de Valores Orientadores para Solo e Água Subterrânea.**, 2021. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2021/12/DD-125-2021-E-Atualizacao-dos-Valores-Orientadores-paa-solo-e-aguas-subterraneas.pdf>. Acesso em: 20 dezembro 2021.

CHRISTENSEN, T.H.; BJERG, P. L.; KJELDSEN, P. **Natural Attenuation as an Approach to Remediation of Groundwater Pollution at Landfills**. [S.l.]: Springer, 2001. 587-601 p.

CHRISTENSEN, Thomas H. et al. Attenuation of landfill leachate pollutants in aquifers. **Environmental Science and Technology**, v. 24, n. 2, p. 119-202, 1994.

CHRISTENSEN, Thomas H. et al. Biogeochemistry of landfill leachate plumes. **Applied Geochemistry**, v. 16, n. 7-8, p. 659-718, 2001.

CLARKE, Bradley O. et al. Investigating landfill leachate as a source of trace organic pollutants. **Chemosphere**, n. 127, mar 2015. 269-275.

CONAMA. Resolução CONAMA n° 396, de 3 de abril de 2008. **Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências.**, 2008. Disponível em:
<http://pnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLU%C3%87%C3%83O%20CONAMA%20n%C2%BA%20396.pdf>. Acesso em: 20 setembro 2021.

CONAMA. Resolução n° 420 , de 28 de dezembro de 2009. **Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas.**, 2009. Disponível em:
<http://conama.mma.gov.br/>. Acesso em: 26 setembro 2021.

COSSU, Raffaello; STEGMANN, Rainer. **Solid Waste Landfilling: Concepts, Processes, Technologies.** [S.l.]: Elsevier Inc., 2018. 1174 p.

COSTA, Fábio M. D. et al. Tratamento de lixiviados de aterros de resíduos sólidos utilizando Processos Fenton e Foto-Fenton Solar. **Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, 10, n. 1, 2015. 107-116.

COSTA, Fabio M. D. et al. Evaluation of the biodegradability and toxicity of landfill leachates after pretreatment using advanced oxidative processes. **Waste Management**, 76, 2018. 606-613.

FEAM. Caderno técnico de reabilitação áreas degradadas por resíduos sólidos urbanos. **Belo Horizonte**, 2010. Disponível em:
http://www.feam.br/images/stories/Flavia/areas_degradadas.pdf. Acesso em: 12 set. 2021.

FETTER, C. W.; BOVING, Thomas; KREAMER, David. **Contaminant Hydrogeology**. 3^a. ed. Long Grove: Waveland Press, INC., 2018.

FONSECA, Marcelle C.; RITTER, Elisabeth; CAVALCANTE, André L. B. Aplicação de solução semianalítica para modelagem de ensaios de sorção e difusão pura com lixiviado. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, 24, n. 5, 2019. 965-973.

HIPÓLITO, Iván J. B. **Avaliação de Condições de Estabilidade do Aterro Metropolitano de Jardim Gramacho**. Rio de Janeiro: Pontifícia Universidade Católica do Rio, 2010. 242 p. Disponível em: <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/colecao.php?strSecao=resultado&nrSeq=18415@1>. Acesso em: 28 dezembro 2021.

INEA. Novo Gramacho Energia Ambiental S/A, Rio de Janeiro, 2021. Acesso em: setembro 2021.

INEA. GeoINEA. **Cadastro de áreas contaminadas, 5^a edição**, 2022. Disponível em: <https://geoservicos.inde.gov.br/geoserver/web/wicket/bookmarkable/org.geoserver.web.demo.MapPreviewPage?1&filter=false>. Acesso em: 08 jan. 2022.

ISWA. Roteiro para encerramento de lixões: os lugares mais poluídos do mundo, 2017. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/roteiro-para-encerramento-de-lixoes/>. Acesso em: 28 set. 2021.

ISWA; ABRELPE. Saúde desperdiçada: o caso dos lixões, setembro 2015. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/saude-desperdicada-o-caso-dos-lixoes/>.

KJELDSEN, Peter et al. Present and Long-Term Composition of MSW Landfill Leachate: A Review. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, 4, n. 32, 2002. 297–336.

MORITA, Alice K. M. et al. Long-term geophysical monitoring of an abandoned dumpsite area in a Guarani Aquifer recharge zone. **Journal of Contaminant Hydrology**, 230, Março 2020.

SÃO PAULO. Decreto Nº 59.263, de 5 de junho de 2013. **Regulamenta a Lei nº 13.577, de 8 de julho de 2009, que dispõe sobre diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento de áreas contaminadas, e dá providências correlatas**, 2013. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/2013/decreto-59263-05.06.2013.html>. Acesso em: 20 out. 2021.

SNIS. Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento, 2021. Disponível em: <http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/#>. Acesso em: 28 dezembro 2021.

SOUTO, Gabriel D. D. B. **Lixiviado de aterros sanitários brasileiros - estudo da remoção de nitrogênio amoniacal por processo de arraste com ar ("stripping")**. São Carlos: Universidade de São Paulo, 2009.

ANEXO 1 – TABELAS DE RESULTADOS DAS AMOSTRAS COLETADAS NO AMIG
ENTRE OS ANOS DE 2014 E 2015 PELA CONSULTORIA RESPONSÁVEL (FONTE:
Consultoria A, 2014 e 2015 apud INEA, 2011)

Amostras de solo	Parâmetro	Unidade	SD-11	SD-12	SD-13	SD-14	SD-15	SD-16	SD-17	SD-18	SD-19	SD-20	SD-21	SD-22	SD-23	SD-24	CONAMA 420 (2009)	Padrão Holandês (2012)	EPA (Maio 2014) Solo Industrial
			SD-11 11(1,5m)M	SD-12 12(1,0m)M	SD-13 13(1,0m)M	SD-14 14(1,0m)M	SD-15 15(1,5m)M	SD-16 16(1,5m)M	SD-17 17(0,8m)M	SD-18 18(1,0m)M	SD-19 19(1,0m)M	SD-20 20(1,0m)M	SD-21 21(1,5m)M	SD-22 22(1,5m)M	SD-23 23(2,7m)M	SD-24 24(0,5m)M			
			jun-jul/14																
Alumínio	mg/Kg	30100	15100	16900	12300	12600	6930	31000	15400	13900	12100	7930	15200	62100	109000	-	-	1100000	
Antimônio	mg/Kg	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	25	-	-	
Arsênio	mg/Kg	2,28	2,94	2,42	8,04	4,88	6,63	2,88	4,04	2,75	<LQ	2,3	4,08	<LQ	<LQ	150	-	-	
Bário	mg/Kg	41,7	14,6	15,9	14,9	14,2	12,2	33,5	19,1	16,7	22,5	16,6	15,6	68,7	13,8	750	-	-	
Boro	mg/Kg	180	136	146	122	99,4	106	189	131	138	85,3	90,9	126	176	87,1	-	-	230000	
Cádmio	mg/Kg	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	20	-	-	
Chumbo	mg/Kg	18,6	16,4	16,7	15,1	13,1	13,5	20,6	16	18,3	11,1	16,3	15,1	12,6	2,44	900	-	-	
Cobalto	mg/Kg	7,88	5,05	4,89	4,59	4,25	3,98	7,27	6,02	5,88	4,55	4,41	5,08	7,46	<LQ	90	-	-	
Cobre	mg/Kg	9,34	11,2	10,1	5	4,02	4,9	8,97	5,8	7,05	3,56	9,16	5,89	7,43	2,03	600	-	-	
Cromo	mg/Kg	83,8	36,5	46,4	35,4	33,7	29,3	50,1	42,7	46,3	38,4	27,2	39,3	59,8	4,03	400	-	-	
Ferro	mg/Kg	43900	40100	43000	41200	35000	36700	49000	40800	41900	22300	28500	40800	47500	32800	-	-	820000	
Manganês	mg/Kg	330	238	216	273	245	246	495	323	263	232	303	303	270	65,3	-	-	26000	
Mercúrio	mg/Kg	<0,05	0,0883	0,112	<0,05	<0,05	<0,05	0,118	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,122	<0,05	<0,05	0,13	70	-	-
Molibdênio	mg/Kg	<LQ	3,06	3,05	4,34	1,55	3,54	<LQ	120	-	-								
Níquel	mg/Kg	21,9	10,5	10,6	9,78	9,57	8,9	14,6	11,4	14,3	9,91	9,24	10,8	17	2,94	130	-	-	
Prata	mg/Kg	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	100	-	-	
Selênio	mg/Kg	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	-	100	5800	
Vanádio	mg/Kg	54,4	36,9	39,5	33,1	27,7	23,6	50,3	37,1	37,1	20,2	26,6	31	54,4	15,8	1000	-	-	
Zinco	mg/Kg	80	57,5	62,5	48,5	48	50,3	111	125	99	61,7	53,7	56,2	100	29	2000	-	-	
Sódio	mg/Kg	19100	18000	21500	19700	15500	12800	23400	19000	17700	10500	9700	15500	23900	849	-	-	-	
Cálcio	mg/Kg	8430	3220	5160	15700	13500	2980	3480	2540	9950	4820	2230	13900	13900	584	-	-	-	
Potássio	mg/Kg	7130	4140	4260	3860	4460	3310	6710	4840	4490	4350	3140	5070	15900	390	-	-	-	
Porcentagem de sólidos	% p/p	42,1	34,9	30,8	42,5	42,5	44,2	38	36,4	35	49,4	40,1	41,2	43	85,7	-	-	-	
Nitrato (como N)	mg/kg	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	-	-	1900000	
Antraceno	mg/kg	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	-	-	230000	
Benzo(a)antraceno	mg/kg	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	65	-	-	
Benzo(k)fluoranteno	mg/kg	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	-	-	29	
Benzo(a)pireno	mg/kg	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	3,5	-	-	
Criseno	mg/kg	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	-	-	290	
Fenantreno	mg/kg	<0,008	<0,007	<0,008	<0,008	<0,008	0,008	<0,007	<0,007	<0,007	<0,005	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	95	-	-	
Alcalinidade total	mg/kg	2,97	0,17	0,18	2,16	3,2	2,59	155	106	17,8	10,1	13,1	0,12	128	86,3	-	-	-	
óleos e graxas	%p/p	<0,12	<0,14	<0,15	<0,11	<0,11	<0,12	<0,13	<0,14	<0,14	<0,1	<2	<0,11	<0,11	0,14	-	-	-	
TPH alifático (C8-C10)	mg/kg	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	-	-	-	
TPH GRO (C6-C10)	mg/kg	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	-	-	-	
TPH aromático (C12-C16)	mg/kg	<LQ	<LQ	38	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<9,7	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	-	-	-	
TPH aromático (C16-C21)	mg/kg	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	-	-	-	
TPH aromático (C21-C32)	mg/kg	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	-	-	-	

Fonte: Consultoria A, apud, INEA 2021

Amostras de solo	Parâmetro	SD-25	SD-26	SD-27	SD-28	SD-29	SD-30	SD-31	SD-32	SD-33	SD-34	SD-35	SD-36	SD-37	SD-38	CONAMA 420 (2009)	Padrão Holandês (2012)	EPA (Maio 2014) Solo Industrial
		SD- M																
		jun-jul/14																
Alumínio	mg/Kg	65900	11400	14300	6630	18200	54400	14600	15100	16900	12400	18200	19700	14200	15900	-	-	1100000
Antimônio	mg/Kg	<LQ	<LQ	<LQ	1,85	<LQ	25	-	-									
Arsênio	mg/Kg	<LQ	2,64	10,5	<LQ	9,35	<LQ	3,22	9,98	8,68	5,28	3,94	4,26	4,69	<LQ	150	-	-
Bário	mg/Kg	67,4	15,2	14,3	92,4	15,7	54,4	19,9	14,2	20,8	15,5	21,4	16,2	16,4	55,2	750	-	-
Boro	mg/Kg	178	108	130	38,9	118	158	105	121	132	107	154	116	103	84,6	-	-	230000
Cádmio	mg/Kg	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	20	-	-
Chumbo	mg/Kg	12	16,6	15,6	45	12,3	15,5	16,2	14,5	14,6	13	17,6	12,3	14,4	16,9	900	-	-
Cobalto	mg/Kg	7,15	5,1	5,13	4,8	4,74	8,04	5,18	4,95	5,29	4,09	5,31	4,35	5,09	4,53	90	-	-
Cobre	mg/Kg	6,7	5,98	4,14	47,1	3,98	8,61	6,68	5,27	5,43	4,75	8,7	13,7	4,48	16,3	600	-	-
Cromo	mg/Kg	61,6	46,3	35,5	58,7	36,4	61,9	46,7	36,3	37,4	35,1	78	34	39,9	66,6	400	-	-
Ferro	mg/Kg	51400	37300	45300	14600	37700	44900	36400	40000	42800	38500	41300	39200	34600	26100	-	-	820000
Manganês	mg/Kg	345	304	313	143	253	297	213	286	264	280	212	262	307	213	-	-	26000
Mercúrio	mg/Kg	<0,05	0,11	<0,05	0,879	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,613	70	-	-
Molibdênio	mg/Kg	<LQ	<LQ	<LQ	2,21	3,5	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	1,91	7,76	<LQ	1,84	<LQ	120	-	-
Níquel	mg/Kg	17,8	10,4	10,2	11,6	11,4	19	12	10,7	10,4	9,69	23,4	9,49	11,8	11,6	130	-	-
Prata	mg/Kg	<LQ	100	-	-													
Selênio	mg/Kg	<LQ	-	100	5800													
Vanádio	mg/Kg	53,5	27,8	36,4	29,7	33,6	58,6	33,6	33,6	38,3	29,5	39,7	32,5	30,7	30,3	1000	-	-
Zinco	mg/Kg	82,4	57,7	109	171	45,2	89,3	118	54,5	54,2	47,2	54,4	46,4	53,4	109	2000	-	-
Sódio	mg/Kg	24500	13300	15400	777	19800	14200	9140	19000	19000	12500	15900	14000	13700	5870	-	-	-
Cálcio	mg/Kg	28900	13300	34500	6220	29800	4540	16900	24900	24900	51300	5580	34800	11600	11400	-	-	-
Potássio	mg/Kg	8750	4360	4310	2010	4730	7190	4730	4790	4790	3990	4210	4620	4870	3540	-	-	-
Porcentagem de sólidos	% p/p	43,1	42,7	40,1	78	38,6	43,4	41,6	41,6	41,6	41,8	33	41,9	43,8	58,1	-	-	-
Nitrato (como N)	mg/kg	<LQ	3,54	<LQ	<LQ	-	-	1900000										
Antraceno	mg/kg	<LQ	0,006	-	-	230000												
Benzo(a)antraceno	mg/kg	<LQ	0,017	65	-	-												
Benzo(k)fluoranteno	mg/kg	<0,007	<0,006	<0,006	0,006	<0,006	<0,006	<0,005	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,01	-	-	29
Benzo(a)pireno	mg/kg	<LQ	<LQ	<LQ	0,011	<LQ	0,022	3,5	-	-								
Crísono	mg/kg	<LQ	<LQ	<LQ	0,016	<LQ	0,012	-	-	290								
Fenantreno	mg/kg	<LQ	0,013	95	-	-												
Alcalinidade total	mg/kg	126	2,48	0,28	0,65	0,15	3,81	19,1	0,17	0,14	6,29	0,16	0,13	2,5	2,01	-	-	-
óleos e graxas	%p/p	<LQ	-	-	-													
TPH alifático (C8-C10)	mg/kg	<LQ	<LQ	<LQ	0,156	<LQ	-	-	-									
TPH GRO (C6-C10)	mg/kg	<LQ	<LQ	<LQ	0,181	<LQ	-	-	-									
TPH aromático (C12-C16)	mg/kg	<LQ	-	-	-													
TPH aromático (C16-C21)	mg/kg	<LQ	<LQ	<LQ	9,81	<LQ	-	-	-									
TPH aromático (C21-C32)	mg/kg	<LQ	<LQ	<LQ	5,01	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	8,32	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	-	-	-

Fonte: Consultoria A, apud, INEA 2021

Amostras de água subterrânea	Unidade	Valores orientadores utilizados (V.O.)																
		PM-11	PM-11A	PM-12	PM-13	PM-14	PM-14A	PM-15	PM-15A	PM-16	PM-17	PM-17A	PM-18	PM-19	CONAMA 420 (2009)	Padrão Holandês (2012)	EPA (Maio 2014)	
Parâmetro	set/14	set/14	set/14	set/14	set/14	set/14	set/14	set/14	set/14	set/14	set/14	set/14	set/14	set/14	CONAMA 420 (2009)	Padrão Holandês (2012)	EPA (Maio 2014)	
Alumínio	ug/L	16	16	40	32	10	24	13	19	44	136	48	40	22	3500	-	-	
Antimônio	ug/L	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	5	-	-	
Arsênio	ug/L	32,5	<1	<1	<1	<1	<1	8,42	<1	4,16	<1	<1	<1	<1	10	-	-	
Bárho	ug/L	1200	119	52,5	27,1	188	529	283	140	72,1	362	699	257	1520	700	-	-	
Boro	ug/L	1890	1300	1450	897	1130	1400	1090	1440	1710	1100	558	1300	1440	500	-	-	
Cádmio	ug/L	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	5	-	-	
Chumbo	ug/L	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	10	-	-	
Cobalto	ug/L	<1	<1	<1	<1	<1	3,11	<1	7,51	2,79	32,9	<1	6,4	2,51	70	-	-	
Cobre	ug/L	108	<1	<1	<1	<1	4,92	<1	7,2	<1	47,4	<1	5	2000	-	-	-	
Cromo	ug/L	4,06	<1	5,75	<1	<20	<1	4,14	<1	30,7	39,6	<1	16,5	4	50	-	-	
Ferro	ug/L	43	81	221	44	73	3360	1940	35400	124000	7600	424	81	1090	2450	-	-	
Manganês	ug/L	6420	125	5070	418	10600	1460	22800	1830	2920	2270	1840	2410	2050	400	-	-	
Mercúrio	ug/L	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	1	-	-	
Molibdênio	ug/L	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1,14	<1	<1	<1	<1	70	-	-	-	
Níquel	ug/L	4,93	2,28	2,69	2,77	<1	<1	3,54	<1	<1	40,6	2,96	9,49	4,66	20	-	-	-
Prata	ug/L	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	50	-	-	-	
Selênio	ug/L	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	10	-	-	-	
Vanádio	ug/L	54	<1	10,7	5,96	23,6	<1	45,5	149	14,8	20	<1	19,2	<1	70	86	-	-
Zinco	ug/L	5,98	6,69	5,57	6,65	5,97	7,52	5,7	12,7	6,43	10,6	6,26	10,8	8,3	1050	-	-	-
Alcalinidade Total	mg/L	270	119	150	234	206	130	194	45	152	445	165	350	170	-	-	-	-
Brometo	mg/L	<LQ	74	3,44	21	83	58,5	50,5	75	63	18,6	<LQ	25,8	63	-	-	-	-
Cianeto	ug/L	30,4	14,3	17,2	16,1	28,1	10,5	<LQ	8,66	28,9	23,7	22,7	41,1	30,7	-	1500	1,5	-
Clorato	mg/L	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	83	<4	42	<LQ	<LQ	-	-	-	-
DBO	mg/L	1350	630	552	1090	831	569	569	404	3240	1970	670	2060	1150	-	-	-	-
DQO	mg/L	3570	1840	1668	3050	2190	1800	1800	1293	7600	5040	1960	4800	2880	-	-	-	-
Nitrato (como N)	ug/L	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	10000	-	-	-
Nitrito (como N)	ug/L	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	-	2000	-	-
Nitrogênio Albuminóide	mg/L	3,3	6,5	3,2	3,4	3,2	3,3	3,3	3,3	8,8	28	3,4	7,8	4,8	-	-	-	-
Nitrogênio Amonial	mg/L	18,3	36,2	16,3	10,8	14,4	10,4	10,4	13	162	287	40,4	74,9	34,3	-	-	-	-
Nitrogênio Total Kjeldahl	mg/L	29,8	58	19	18,2	24,4	16,7	16,7	13,7	364	576	73,1	88,7	47,3	-	-	-	-
Nitrogênio Total	mg/L	29,8	58	19	18,2	24,4	16,7	16,7	13,7	364	576	76,9	88,7	47,3	-	-	-	-
Sódio	ug/L	4560000	3440000	3650000	4950000	11400000	7590000	5300000	8040000	4630000	4890000	7380000	3650000	13000000	-	-	-	-
Potássio	ug/L	171000	132000	414000	86500	349000	266000	323000	250000	410000	587000	276000	315000	313000	-	-	-	-
Cálcio	ug/L	209000	275000	209000	113000	488000	332000	388000	547000	393000	181000	349000	491000	583000	-	-	-	-
Dureza Total	mg/L	5700	4700	6200	5500	11600	8700	8700	5700	8000	3000	5000	4900	5500	-	-	-	-
Coliformes Termotolerantes i NPM/100mL	<LQ	100	520	<LQ	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1160	-	-	-	-
Coliformes Totais NPM/100mL	10	96060	27000	10	2280	5560	5560	8360	98040	20460	91390	87040	25000	-	-	-	-	-
Sulfato	ug/L	1240000	<1000000	170000	211000	4110000	<LQ	<LQ	1730000	4880000	<LQ	<LQ	150000	1470000	-	-	-	-
Fluoreto	ug/L	417	216	400	250	736	408	408	328	360	660	178	573	391	-	800	-	-
Sulfeto	mg/L	5,6	2,9	16	4,6	1,8	3	3	<LQ	<0,05	<LQ	0,13	2,7	5,5	-	-	-	-
Fosfato (como P)	ug/L	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	-	-	-	-
Cloreto	ug/L	13500000	10200000	980000	5630000	2300000	17200000	14000000	18000000	17400000	5450000	11100000	7860000	17500000	-	-	-	-
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	28100	24057	24593	27763	49662	37442	37442	26676	35563	17325	26544	23824	24281	-	-	-	-
Carbono Orgânico Total	mg/L	661	317	348	984	378	222	310	254	2450	826	400	1550	115	-	-	-	-
Etano	ug/L	<5	<5	<5	<5	<5	<5	7,71	<5	<5	<5	<5	<5	<5	-	-	-	-
Metano	ug/L	333	10300	3600	278	<5	22,3	235	18,6	659	706	3430	3500	129	-	-	-	-

Fonte: Consultoria A, 2014 apud INEA, 2021

Legenda: "NA"- resultado não disponível. **Destaque vermelho**- concentração igual ou superior aos valores orientadores da Resolução CONAMA 420 (2009); **destaque laranja**- concentração igual ou superior aos valores orientadores do Padrão Holandês (2012), **destaque azul**- concentração igual ou superior aos valores orientadores da EPA (Maio 2014).

Amostras de água subterrânea	Unidade	Valores orientadores utilizados (V.O.)															
		PM-20	PM-20A	PM-21	PM-21A	PM-22	PM-23	PM-23A	PM-24	PM-25	PM-26	PM-27	PM-28	PM-28A	CONAMA 420 (2009)	Padrão Holandês (2012)	EPA (Maio 2014)
Parâmetro	set/14	set/14	set/14	set/14	set/14	set/14	set/14	set/14	set/14	set/14	set/14	set/14	set/14	set/14	CONAMA 420 (2009)	Padrão Holandês (2012)	EPA (Maio 2014)
Alumínio	ug/L	9	5	420	5	15	4	58	<1	10	16	25	13	5	3500	-	-
Antimônio	ug/L	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	5	-	-
Arsênio	ug/L	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	10	-	-
Bárho	ug/L	298	635	972	246	825	421	885	857	924	48	1360	1320	751	700	-	-
Boro	ug/L	1820	1240	3840	1630	1010	733	1470	609	1420	961	1780	389	1500	500	-	-
Cádmio	ug/L	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	5	-	-
Chumbo	ug/L	<1	<1	2,07	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	10	-	-
Cobalto	ug/L	11,4	<1	30	<1	14,8	1,37	1,11	13,9	<1	4,06	<1	8	2,1	70	-	-
Cobre	ug/L	27,9	5	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	5	<1	<1	<1	2000	-	-
Cromo	ug/L	14,7	6,66	9	<1	9,08	5,48	8,9	<1	<1	8	11,4	<1	<1	50	-	-
Ferro	ug/L	544	145	1780	5610	20400	2280	76	92	605	751000	95	22000	5490	2450	-	-
Manganês	ug/L	258	497	2070	6560	4220	666	1990	4060	2990	4430	4520	1520	1860	400	-	-
Mercurio	ug/L	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	1	-	-
Molibdênio	ug/L	1,71	<1	<1	9,61	1,3	1,24	4,23	2,17	<1	1,88	<1	2,77	2,58	70	-	-
Níquel	ug/L	2,89	<1	<1	3,33	9,34	<1	<1	<1	<1	<1	<1	7,7	2,32	20	-	-
Prata	ug/L	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	50	-	-
Selênio	ug/L	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	10	-	-
Vanádio	ug/L	13,5	<1	<1	<1	7,13	1,63	<1	<1	<1	<1	4,82	<1	<1	70	86	-
Zinco	ug/L	4,87	3,61	30,8	13,8	12,2	17,7	8,61	16,4	7,57	36,1	5,69	10,2	14,8	1050	-	-
Alcalinidade Total	mg/L	390	240	503	134	278	109	155	172	250	160	298	181	140	-	-	-
Brometo	mg/L	9,6	66	15,4	72,5	37,4	19,3	32,4	19,1	174	81,6	19,2	19,6	52	-	-	-
Cianeto	ug/L	27,8	27,7	35,2	10,7	20,8	6,9	14,7	<LQ	20,2	23,4	28,4	15,1	8,99	-	1500	1,5
Clorato	mg/L	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<10	-	-
DBO	mg/L	1740	1030	948	8500	2040	296	481	871	566	1350	1100	489	696	-	-	-
DQO	mg/L	5200	2926	2960	24400	4920	950	1520	2760	1720	3600	3880	1280	2160	-	-	-
Nitrito (como N)	ug/L	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<10000	<1000	10000	-
Nitrogênio (como N)	ug/L	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<2000	<200	-	2000
Nitrogênio Albuminóide	mg/L	20	16	29	6,7	15	3,1	4,1	2,9	21	14	24	19	16	-	-	-
Nitrogênio Ammonical	mg/L	288	62,3	35,5	25,4	177	19,2	36,1	20,6	72,1	94,2	31,9	177	47,7	-	-	-
Nitrogênio Total Kjeldahl	mg/L	368	142	408	40	356	34,5	43,9	31,3	99,3	97	34,2	238	52,5	-	-	-
Nitrogênio Total	mg/L	368	142	408	40	356	34,5	43,9	31,3	104	97	34,2	238	52,5	-	-	-
Sódio	ug/L	2690000	9890000	2780000	11300000	5620000	2350000	8550000	3060000	9710000	4730000	9890000	2080000	9890000	-	-	-
Potássio	ug/L	387000	156000	396000	326000	444000	97300	276000	87500	288000	437000	310000	267000	322000	-	-	-
Cálcio	ug/L	36000	143000	151000	489000	336000	276000	208000	273000	175000	191000	204000	301000	481000	-	-	-
Dureza Total	mg/L	1900	5600	1560	7400	4300	3050	4600	5800	5000	5200	5700	2350	6300	-	-	-
Coliformes Termotolerantes NPM/100mL	100	<LQ	100	<LQ	100	100	100	100	100	100	100	100	410	100	-	-	-
Coliformes Totais NPM/100mL	4140	30	241900	30	3590	241900	300	300	17850	300	860	27550	241900	-	-	-	-
Sulfato	ug/L	<LQ	<LQ	101000	1600000	120000	346000	393000	250000	714000	4720000	265000	72900	<250000	-	-	-
Fluoreto	ug/L	495	539	447	513	490	336	305	341	451	326	505	471	453	-	-	800
Sulfeto	mg/L	3,8	0,56	4	<LQ	0,12	<LQ	13	0,15	1,6	<LQ	15	<0,05	1,9	-	-	-
Fosfato (como P)	ug/L	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<10000	-	-
Cloreto	ug/L	3380000	16600000	5230000	19800000	10600000	5990000	11600000	5330000	13300000	10900000	13200000	5380000	16900000	-	-	-
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	14817	29109	9533	34201	22062	11209	25431	25960	23319	22509	27315	9097	24779	-	-	-
Carbono Orgânico Total	mg/L	215	30	262	18	848	22,3	26	37,3	44	201	84	153	22	-	-	-
Etano	ug/L	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	-	-	-
Metano	ug/L	5550	9890	5110	150	3810	3750	428	2590	948	451	1640	7250	1500	-	-	-

Fonte: Consultoria A, 2014 apud INEA, 2021

Legenda: "NA" - resultado não disponível. "Destaque vermelho" - concentração igual ou superior aos valores orientadores da Resolução CONAMA 420 (2009); "destaque laranja" - concentração igual ou superior aos valores orientadores do Padrão Holandês (2012), "destaque azul" - concentração igual ou superior aos valores orientadores da EPA (Maio 2014).

Amostras de água subterrânea	Unidade	PM-29	PM-30	PM-30A	PM-31	PM-32	PM-33	PM-34	PM-34A	PM-35	PM-36	PM-37	PM-38	DUP PM-22	Valores orientadores utilizados (V.O.)			
		Parâmetro	set/14	set/14	set/14	set/14	set/14	set/14	set/14	set/14	set/14	set/14	set/14	set/14	CONAMA 420 (2009)	Padrão Holandês (2012)	EPA (Maio 2014)	
Alumínio	ug/L	10	24	9	16	26	41	20	16	27	11	153	26	117	3500	-	-	
Antimônio	ug/L	<1	<1	<1	2,34	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	5	-	-	
Arsênio	ug/L	<1	8,42	<1	<1	7,99	<1	4,42	<1	8	3,7	6,42	<1	<1	10	-	-	
Bárho	ug/L	371	815	577	44,6	1280	196	1580	642	113	138	1210	120	1060	700	-	-	
Boro	ug/L	1580	1450	1040	1030	1520	1400	1150	477	865	1180	1520	306	1030	500	-	-	
Cádmio	ug/L	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	5	-	-	
Chumbo	ug/L	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	10	-	-	
Cobalto	ug/L	<1	<1	<1	<1	2,13	<1	<1	3,9	1,73	<1	1,48	5,97	12,3	70	-	-	
Cobre	ug/L	<1	<1	45,9	<1	56,9	<1	42	4,91	39,5	5,48	<1	<1	<1	2000	-	-	
Cromo	ug/L	<1	6,46	<1	<1	9,22	3,74	4,78	4,45	6,23	<1	6,66	<1	7,94	50	-	-	
Ferro	ug/L	95	41	85	94	187	10	<1	187	1980	<1	1530	262	15500	2450	-	-	
Manganês	ug/L	3100	7980	560	837	8470	10800	7030	35	2880	1420	6850	1170	5170	400	-	-	
Mercúrio	ug/L	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	1	-	-	
Molibdênio	ug/L	<1	<1	1,32	6,48	<1	<1	<1	28,2	4,92	2,81	<1	16,8	<1	70	-	-	
Níquel	ug/L	<1	1,8	<1	<1	3,53	2,85	<1	<1	4,03	<1	<1	<1	8,21	20	-	-	
Prata	ug/L	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	50	-	-	
Selênio	ug/L	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	10	-	-	
Vanádio	ug/L	<1	47,6	<1	9,76	6,86	40,9	3,05	<1	11,2	22,5	63,7	<1	11,8	-	70	86	
Zinco	ug/L	3,59	5,29	4,21	5,02	5,4	4,47	7,78	4,39	17,4	23,9	4,96	85,8	10,3	1050	-	-	
Alcalinidade Total	mg/L	220	212	160	249	296	212	260	9	184	204	252	80	292	-	-	-	
Brometo	mg/L	59	5,6	62	24	62	32,4	<LQ	34	24,4	<LQ	67	0,1	31,2	-	-	-	
Cianeto	ug/L	45,1	38,7	12,2	18	36,8	30,3	31,3	7,27	27,9	12,2	42,6	27,3	30,8	-	1500	1,5	
Clorato	mg/L	<10	<4	<10	34	<10	<4	43	<LQ	<LQ	<LQ	37	<LQ	<LQ	<4	-	-	
DBO	mg/L	1650	1800	1620	456	1190	858	448	2260	611	762	591	452	715	-	-	-	
DQO	mg/L	5440	4550	3900	1350	3110	2510	1360	5500	1800	2160	1960	1325	2250	-	-	-	
Nitrato (como N)	ug/L	<1000	<1000	<1000	<1000	<1000	<1000	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	21700	<LQ	<LQ	<LQ	10000	-	-
Nitrito (como N)	ug/L	<200	<200	<200	<200	2670	<200	<LQ	410	<LQ	4550	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	-	2000	-
Nitrogênio Aluminóide	mg/L	4,5	5,1	6,3	3,1	4,7	6,5	3,4	3,9	1,4	5,2	2,6	4,9	5,1	-	-	-	
Nitrogênio Amonícal	mg/L	26,1	32,3	49,8	11,5	29,9	26	44,8	36,1	9,87	38,2	35,8	9,94	144	-	-	-	
Nitrogênio Total Kjeldahl	mg/L	35,3	52,3	59,4	14,5	41,4	33,3	45,2	52,5	13	45,6	154	24,9	200	-	-	-	
Nitrogênio Total	mg/L	35,3	52,3	59,4	14,5	44,1	33,3	45,2	52,5	13	71,9	154	24,9	200	-	-	-	
Sódio	ug/L	12200000	7360000	4520000	6460000	4630000	3640000	3780000	7290000	2340000	3660000	4670000	407000	5650000	-	-	-	
Potássio	ug/L	336000	388000	265000	204000	167000	409000	143000	241000	332000	355000	483000	36400	418000	-	-	-	
Cálcio	ug/L	200000	203000	307000	323000	189000	516000	203000	630000	374000	545000	538000	588000	304000	-	-	-	
Dureza Total	mg/L	6100	5100	5700	4600	6200	5800	5200	5000	4300	5400	5900	1880	5100	-	-	-	
Coliformes Termotolerantes i NPM/100mL	100	100	100	630	<10	100	100	100	100	100	100	100	100	520	-	-	-	
Coliformes Totais NPM/100mL	300	2310	72700	12740	10	520	7330	1090	98040	12590	2310	43520	27550	-	-	-	-	
Sulfato	ug/L	379000	168000	<250000	324000	524000	3390000	<LQ	294000	942000	1260000	799000	72400	<100000	-	-	-	
Fluoreto	ug/L	400	534	295	803	430	406	263	271	468	479	653	<1000	420	-	800	-	
Sulfeto	mg/L	10	6,2	0,08	<0,05	9,4	10	3,3	0,08	<LQ	<LQ	9,4	<0,05	1,6	-	-	-	
Fosfato (como P)	ug/L	<10000	<4000	<10000	<4000	<10000	<4000	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	-	-	-	
Cloreto	ug/L	10700000	1790000	20000000	6680000	1750000	10100000	11000000	9820000	7550000	10800000	17200000	73800	11000000	-	-	-	
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	28808	24697	30865	23907	32341	26848	25544	27463	19357	25639	29776	3851	23444	-	-	-	
Carbono Orgânico Total	mg/L	27	754	672	287	536	558	262	1120	486	393	363	68,9	281	-	-	-	
Etano	ug/L	<5	<5	<5	<5	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	-	-	-	
Metano	ug/L	343	201	764	2840	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	-	-	-	

Fonte: Consultoria A, 2014 apud INEA, 2021

Legenda: "NA"- resultado não disponível. **Destaque vermelho**- concentração igual ou superior aos valores orientadores da Resolução CONAMA 420 (2009); **destaque laranja**- concentração igual ou superior aos valores orientadores do Padrão Holandês (2012), **destaque azul**- concentração igual ou superior aos valores orientadores da EPA (Maio 2014).

Amostras de água subterrânea	Unidade	Valores orientadores utilizados (V.O.)															
		PM-11	PM-11A	PM-12	PM-13	PM-14	PM-14A	PM-15	PM-15A	PM-16	PM-17	PM-17A	PM-18	PM-19	CONAMA 420 (2009)	Padrão Holandês (2012)	EPA (Maio 2014)
		set/14	set/14	set/14	set/14	set/14	set/14	set/14	set/14	set/14	set/14	set/14	set/14	set/14	CONAMA 420 (2009)	Padrão Holandês (2012)	EPA (Maio 2014)
VOC																	
1,1-Dicloroetano	ug/L	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	3,3	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	-	900	27
1,2-Dicloroeteno (cis+trans)	ug/L	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	12,8	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	50	-	-
1,4-Diclorobenzeno	ug/L	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	300	-	-
Benzeno	ug/L	<LQ	<LQ	3	1	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	3	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	5	-	-
Cloreto de Vinila	ug/L	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	7	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	2	-	-
Estireno	ug/L	<LQ	<LQ	<LQ	1,1	<LQ	20	-	-								
Etilbenzeno	ug/L	<LQ	<LQ	4	1	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	1	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	300	-	-
Monoclorobenzeno	ug/L	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	700	-	-
Tetracloroeteno	ug/L	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	11	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	40	-	-
Tolueno	ug/L	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	3,9	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	700	-	-
Tricloroeteno	ug/L	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	1,8	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	20	-	-
m,p-Xilenos	ug/L	<LQ	<LQ	7	2	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	5	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	500	-	-
o-Xileno	ug/L	<LQ	<LQ	2,8	<LQ	500	-	-									
Xilenos	ug/L	<LQ	<LQ	11,4	<LQ	500	-	-									
SVOC																	
2,4-Diclorofenol	ug/L	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	10,5	-	-
Antraceno	ug/L	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	-	5	1800
Benzo(a)antraceno	ug/L	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	1,75	-	-
Benzo(a)pireno	ug/L	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,7	-	-
Benzo(g,h,i)períleno	ug/L	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	-	0,05	-
Benzo(k)fluoranteno	ug/L	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	-	0,05	3
Crieno	ug/L	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	-	0,2	34
Fenantreno	ug/L	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	140	-	-
Fenol	ug/L	<0,1	<0,1	0,81	1,09	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	2,63	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	140	-	-
Indeno(1,2,3,cd)pireno	ug/L	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	17	-	-
Naftaleno	ug/L	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	140	-	-
TPH																	
TPH alifático (C10-C12)	ug/L	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	-	-	-
TPH alifático (C12-C16)	ug/L	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	-	-	-
TPH alifático (C16-C21)	ug/L	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	35,3	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	-	-	-
TPH alifático (C21-C32)	ug/L	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	75	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	-	-	-
TPH alifático (C6-C8)	ug/L	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	40,5	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	-	-	-
TPH alifático (C8-C10)	ug/L	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	46,2	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	-	-	-
TPH aromático (C10-C12)	ug/L	<LQ	<LQ	<LQ	22	<LQ	21,3	-	-	-							
TPH aromático (C12-C16)	ug/L	<LQ	<LQ	<LQ	38,6	<LQ	-	-	-								
TPH aromático (C16-C21)	ug/L	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	-	-	-
TPH aromático (C21-C32)	ug/L	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	-	-	-
TPH aromático (C8-C10)	ug/L	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	-	-	-
TPH GRO (C6-C10)	ug/L	<LQ	<LQ	51,2	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	113	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	-	-	-
TPH Total (C6-C32)	ug/L	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	-	-	-

Fonte: Consultoria A, 2014 apud INEA, 2021

Legenda: "NA"- resultado não disponível. "Destaque vermelho"- concentração igual ou superior aos valores orientadores da Resolução CONAMA 420 (2009); "destaque laranja"- concentração igual ou superior aos valores orientadores do Padrão Holandês (2012), "destaque azul"- concentração igual ou superior aos valores orientadores da EPA (Maio 2014).

Amostras de água subterrânea	Unidade	PM-20	PM-20A	PM-21	PM-21A	PM-22	PM-23	PM-23A	PM-24	PM-25	PM-26	PM-27	PM-28	PM-28A	Valores orientadores utilizados (V.O.)		
		Parâmetro	set/14	CONAMA 420 (2009)	Padrão Holandês (2012)	EPA (Maio 2014)											
VOC																	
1,1-Dicloroetano	ug/L	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	-	900	27
1,2-Dicloroeteno (cis+trans)	ug/L	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	50	-	-
1,4-Diclorobenzeno	ug/L	1,5	<LQ	300	-	-											
Benzeno	ug/L	3	<LQ	3	<LQ	5	-	-									
Cloreto de Vinila	ug/L	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	2	-	-
Estireno	ug/L	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	20	-	-
Etilbenzeno	ug/L	11	<LQ	2	<LQ	300	-	-									
Monoclorobenzeno	ug/L	1,2	<LQ	1,2	<LQ	700	-	-									
Tetracloroeteno	ug/L	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	40	-	-
Tolueno	ug/L	2,1	<LQ	700	-	-											
Tricloroeteno	ug/L	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	20	-	-
m,p-Xilenos	ug/L	9	<LQ	500	-	-											
o-Xileno	ug/L	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	500	-	-
Xilenos	ug/L	10,7	<LQ	500	-	-											
SVOC																	
2,4-Diclorofenol	ug/L	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	10,5	-	-
Antraceno	ug/L	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	-	5	1800
Benzo(a)antraceno	ug/L	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	1,75	-	-
Benzo(a)pireno	ug/L	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,7	-	-
Benzo(g,h,i)períleno	ug/L	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	-	0,05	-
Benzo(k)fluoranteno	ug/L	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	-	0,05	3
Crieno	ug/L	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	-	0,2	34
Fenantreno	ug/L	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	140	-	-
Fenol	ug/L	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	140	-	-
Indeno(1,2,3,cd)pireno	ug/L	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	17	-	-
Naftaleno	ug/L	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	140	-	-
TPH																	
TPH alifático (C10-C12)	ug/L	23,4	<LQ	-	-	-											
TPH alifático (C12-C16)	ug/L	56	<LQ	-	-	-											
TPH alifático (C16-C21)	ug/L	246	54,1	<LQ	<LQ	35,7	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	47,7	<LQ	<LQ	-	-	-
TPH alifático (C21-C32)	ug/L	728	<LQ	71	94	<LQ	<LQ	-	-	-							
TPH alifático (C6-C8)	ug/L	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	-	-	-
TPH alifático (C8-C10)	ug/L	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	-	-	-
TPH aromático (C10-C12)	ug/L	31	25,6	74,6	<LQ	59,4	<LQ	23,8	25,7	<LQ	44	<LQ	78,7	78,3	-	-	-
TPH aromático (C12-C16)	ug/L	41,9	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	36,7	<LQ	29,9	<LQ	85,6	61	-	-	-	-
TPH aromático (C16-C21)	ug/L	113	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	26	38	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	-	-	-
TPH aromático (C21-C32)	ug/L	136	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	29	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	-	-	-
TPH aromático (C8-C10)	ug/L	64	<LQ	-	-	-											
TPH GRO (C6-C10)	ug/L	115	<LQ	-	-	-											
TPH Total (C6-C32)	ug/L	1490	<LQ	305	<LQ	-	-										

Fonte: Consultoria A, 2014 apud INEA, 2021

Legenda: "NA"- resultado não disponível. "**Destaque vermelho**"- concentração igual ou superior aos valores orientadores da Resolução CONAMA 420 (2009); "**Destaque laranja**"- concentração igual ou superior aos valores orientadores do Padrão Holandês (2012), "**Destaque azul**"- concentração igual ou superior aos valores orientadores da EPA (Maio 2014).

Amostras de água subterrânea	PM-29	PM-30	PM-30A	PM-31	PM-32	PM-33	PM-34	PM-34A	PM-35	PM-36	PM-37	PM-38	DUP PM-22	Valores orientadores utilizados (V.O.)				
	Unidade														Padrão Holandês (2012)	EPA (Maio 2014)		
	Parâmetro	set/14	set/14	CONAMA 420 (2009)	Padrão Holandês (2012)	EPA (Maio 2014)												
VOC																		
1,1-Dicloroetano	ug/L	<LQ	<LQ	-	900	27												
1,2-Dicloroeteno (cis+trans)	ug/L	<LQ	<LQ	50	-	-												
1,4-Diclorobenzeno	ug/L	<LQ	<LQ	300	-	-												
Benzeno	ug/L	<LQ	<LQ	5	-	-												
Cloreto de Vinila	ug/L	<LQ	<LQ	2	-	-												
Estireno	ug/L	<LQ	<LQ	20	-	-												
Etilbenzeno	ug/L	<LQ	<LQ	300	-	-												
Monoclorobenzeno	ug/L	<LQ	<LQ	700	-	-												
Tetracloroeteno	ug/L	<LQ	<LQ	40	-	-												
Tolueno	ug/L	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	2,7	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	700	-	-	
Tricloroeteno	ug/L	<LQ	<LQ	20	-	-												
m,p-Xilenos	ug/L	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	3	<LQ	<LQ	500	-	-							
o-xileno	ug/L	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	1	<LQ	<LQ	500	-	-							
Xilenos	ug/L	<LQ	<LQ	500	-	-												
SVOC																		
2,4-Diclorofenol	ug/L	<LQ	<LQ	<LQ	0,1	<LQ	<LQ	10,5	-	-								
Antraceno	ug/L	<LQ	0,131	<LQ	-	5	1800											
Benzo(a)antraceno	ug/L	<LQ	0,141	<LQ	1,75	-	-											
Benzo(a)pireno	ug/L	<LQ	0,0552	<LQ	0,7	-	-											
Benzo(g,h,i)períleno	ug/L	<LQ	0,0136	<LQ	-	0,05	-											
Benzo(k)fluoranteno	ug/L	<LQ	0,0352	<LQ	-	0,05	3											
Criseno	ug/L	<LQ	0,155	<LQ	-	0,2	34											
Fenanreno	ug/L	<LQ	0,155	<LQ	140	-	-											
Fenol	ug/L	<0,1	0,46	<0,1	<0,1	<0,1	0,48	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,64	140	-	-	
Indeno(1,2,3,cd)pireno	ug/L	<LQ	0,0174	<LQ	17	-	-											
Naftaleno	ug/L	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,0218	<0,01	140	-	-		
TPH																		
TPH alifático (C10-C12)	ug/L	<LQ	-	-	-	-												
TPH alifático (C12-C16)	ug/L	<LQ	-	-	-	-												
TPH alifático (C16-C21)	ug/L	<LQ	<LQ	<LQ	36	37,1	60,5	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	-	-	-	-	
TPH alifático (C21-C32)	ug/L	<LQ	<LQ	<LQ	84	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	93	<LQ	-	-	-	-	
TPH alifático (C6-C8)	ug/L	<LQ	-	-	-	-												
TPH alifático (C8-C10)	ug/L	<LQ	-	-	-	-												
TPH aromático (C10-C12)	ug/L	<LQ	<LQ	<LQ	86,3	28,6	<LQ	52,2	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	81,2	-	-	-	
TPH aromático (C12-C16)	ug/L	<LQ	<LQ	<LQ	92,4	<LQ	69,2	-	-	-								
TPH aromático (C16-C21)	ug/L	<LQ	<LQ	<LQ	37	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	54	<LQ	38	-	-	-	
TPH aromático (C21-C32)	ug/L	<LQ	-	-	-	-												
TPH aromático (C8-C10)	ug/L	<LQ	-	-	-	-												
TPH GRO (C6-C10)	ug/L	<LQ	-	-	-	-												
TPH Total (C6-C32)	ug/L	<LQ	<LQ	<LQ	217	<LQ	<LQ	214	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	-	-	-	-	

Fonte: Consultoria A, 2014 apud INEA, 2021

Legenda: "NA" - resultado não disponível. "Destaque vermelho"- concentração igual ou superior aos valores orientadores da Resolução CONAMA 420 (2009); "destaque laranja"- concentração igual ou superior aos valores orientadores do Padrão Holandês (2012), "destaque azul"- concentração igual ou superior aos valores orientadores da EPA (Maio 2014).

Amostras de água subterrânea	Unidade	PM-11	PM-11A	PM-12	PM-13	PM-15	PM-19	PM-20	PM-21	Valores orientadores utilizados (V.O.)			
		jan/15	jan/15	jan/15	jan/15	jan/15	jan/15	jan/15	jan/15	CONAMA 420 (2009)	Portaria 2914 (2011)	Padrão Holandês (2012)	EPA PRG Region 9 (2015)
Parâmetro													
Alumínio	ug/L	1,81		26,7	18,6	44	346	14,1	74,4	3500	200	-	-
Bário	ug/L	1090	195	74,3	32,4	439	110	361	498	700	700	-	-
Boro	ug/L	3170	2470	2690	2690	2520	3210	3430	3330	500	-	-	-
Cromo	ug/L	7,66		4,3		8	9,13	19,6	64,8	50	50	-	-
Ferro	ug/L	178	215	153	10,9	188	8330	654	1430	2450	300	-	-
Manganês	ug/L	3000	215	244	251	1770	3230	349	675	400	100	-	-
Níquel	ug/L						22,4	19,8	20	70	-	-	-
Vanádio	ug/L	81,3		7,18		44	5,94	13,8	20,5	-	-	70	86
Zinco	ug/L	9,49	9,56	39,8	47	16,1	20,7	22,4	32,8	1050	5000	-	-
Nitrogênio Amonical	mg/L	20,5	36,9	26,6	20,6	8,92	23,1	279	247	-	1,5	-	-
Nitrogênio Total Kjeldahl	mg/L	26,1	42,1	46,2	30,5	15,1	29,7	511	452	-	-	-	-
Nitrogênio Total	mg/L	26,6	42,1	47,9	32	15,7	31,4	514	456	-	-	-	-
Sódio	ug/L	7570000	6850000	6750000	6810000	11400000	8680000	4780000	3920000	-	200000	-	-
Potássio	ug/L	256000	212000	238000	229000	287000	311000	501000	420000	-	-	-	-
Cálcio	ug/L	266000	397000	253000	267000	345000	431000	125000	193000	-	-	-	-
Dureza Total	mg/L	5800	4350	5340	5590	7900	7260	1730	1930	-	500	-	-
Coliformes Termotolerantes (E. coli)	NPM/100mL	300	100	300	300	100	100	44600	83300	-	Ausência	-	-
Coliformes Totais	NPM/100mL	720	410	950	950	50120	410	1011200	1011200	-	Ausência	-	-
Sulfato	ug/L	1110000	39300	1880000	1430000	1720000	2530000	201000	324000	-	250000	-	-
Fluoreto	ug/L	552	144	796	570	587		701	-	-	1500	-	800
Sulfeto	mg/L	2,7			4,1		599		447	-	100	-	-
Fosfato (como P)	ug/L	6650	1450	9300	10000	7450	12000	34200	7100	-	-	-	-
Cloreto	ug/L	15600000	16000000	15800000	15900000	21000000	21300000	8490000	6210000	-	250000	-	-
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	39418	33547	44396	38448	65115	55596	19497	17659	-	1000	-	-
Carbono Orgânico Total	mg/L	49,2	117	64,4	139	45	102	275	248	-	-	-	-

Fonte: Elaborado a partir dos Dados da Consultoria A, 2015 apud INEA, 2021

Legenda: "DUP-PM21"- duplicata da amostra do PM-21, "NA"- resultado não disponível. "**Destaque vermelho**"- concentração igual ou superior aos valores orientadores da Resolução CONAMA 420 (2009); "**destaque laranja**"- concentração igual ou superior aos valores orientadores do Padrão Holandês (2012), "**destaque azul**"- concentração igual ou superior aos valores orientadores da EPA PRG Region 9 (2015). "**destaque verde**"- concentração igual ou superior a Portaria nº 2914 (2011), que estabelecia o padrão de potabilidade à época.

Amostras de água subterrânea	Unidade	PM-26	PM-27	PM-29	PM-33	PM-34	PM-35	PM-38	DUP-PM21	Valores orientadores utilizados (V.O.)			
		jan/15	jan/15	jan/15	jan/15	jan/15	jan/15	jan/15	jan/15	CONAMA 420 (2009)	Portaria 2914 (2011)	Padrão Holandês (2012)	EPA PRG Region 9 (2015)
Alumínio	ug/L	19	42,9	115	124	11,8	28,9		76,6	3500	200	-	-
Bário	ug/L	48,5	1400	675	41,4	759	46	142	474	700	700	-	-
Boro	ug/L	2350	3010	3270	2630	2270	1890	533	3590	500	-	-	-
Cromo	ug/L	30	14	14		10,8	8,13	3,8	69,7	50	50	-	-
Ferro	ug/L	399000	25	72,6	8290	53,6	1320	2670	828	2450	300	-	-
Manganês	ug/L	4700	5520	5820	5470	2570	948	884	620	400	100	-	-
Níquel	ug/L	26,2							21,9	20	70	-	-
Vanádio	ug/L		89,8	28,6	10,7	93,7			15,6	-	-	70	86
Zinco	ug/L	68,6	6,09	2,23	15,2	22,4	22	1400	33,3	1050	5000	-	-
Nitrogênio Amonical	mg/L	88,3	32,2	22,3	36,4	13,3	11,3	16,2	250	-	1,5	-	-
Nitrogênio Total Kjeldahl	mg/L	155	52,2	35,8	37,4	14,7	30,9	24,1	461	-	-	-	-
Nitrogênio Total	mg/L	159	53,6	37,9	37,4	15	32,8	24,1	464	-	-	-	-
Sódio	ug/L	6790000	6710000	7150000	6790000	6450000	6060000	680000	4030000	-	200000	-	-
Potássio	ug/L	432000	265000	308000	151000	212000	208000	62400	454000	-	-	-	-
Cálcio	ug/L	373000	276000	341000	282000	247000	289000	347000	241000	-	-	-	-
Dureza Total	mg/L	4989	5780	6540	7050	6010	5090	1980	1820	-	500	-	-
Coliformes Termotolerantes (E. coli)	NPM/100mL	1000	3000	100	200	100	4110	200	22100	-	Ausência	-	-
Coliformes Totais	NPM/100mL	107600	158000	620	840	1160	91390	91390	1011200	-	Ausência	-	-
Sulfato	ug/L	4010000	400000	1840000	4000000	178000	880000	1040000	400000	-	250000	-	-
Fluoreto	ug/L		810		682	600	939	387		-	1500	-	800
Sulfeto	mg/L		2345	3905	4,6				51	-	100	-	-
Fosfato (como P)	ug/L		13300	14900	58	8650	21500	49	23600	-	-	-	-
Cloreto	ug/L	12800000	16100000	18300000	14000000	14300000	14500000	1750000	4990000	-	250000	-	-
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	33950	43279	48035	35716	34593	25707	62312	16914	-	1000	-	-
Carbono Orgânico Total	mg/L	199	63,7	159	108	100	83,1	52,5	186	-	-	-	-

Fonte: Elaborado a partir dos Dados da Consultoria A, 2015 apud INEA, 2021

Legenda: "DUP-PM21"- duplicata da amostra do PM-21, "NA"- resultado não disponível. "**Destaque vermelho**"- concentração igual ou superior aos valores orientadores da Resolução CONAMA 420 (2009); "**destaque laranja**"- concentração igual ou superior aos valores orientadores do Padrão Holandês (2012), "**destaque azul**"- concentração igual ou superior aos valores orientadores da EPA PRG Region 9 (2015). "**destaque verde**"- concentração igual ou superior a Portaria nº 2914 (2011), que estabelecia o padrão de potabilidade à época.