

INVESTIGAÇÃO DA QUALIDADE AMBIENTAL EM UMA BROWNFIELD: ESTUDO DE CASO DE CONJUNTO HABITACIONAL DE INTERESSE SOCIAL

Giovana Lamano Loria¹; Natália de Souza Pelinson², Cláudia Marisse dos Santos Rotta³

Resumo - A contaminação do solo e das águas subterrâneas em áreas urbanas com uso industrial anterior representa um desafio relevante para a gestão ambiental. Áreas com esse histórico, conhecidas como brownfields, demandam avaliação e eventual remediação antes de novos usos. Neste contexto, este estudo avaliou uma área em Guarulhos (SP) anteriormente ocupada por uma indústria de extrusão de plásticos e, atualmente, em processo de ocupação residencial. Foi realizada uma investigação confirmatória no local com base em dados secundários, sondagens manuais e instalação de poços de monitoramento, seguindo diretrizes da Agência do Governo do Estado de São Paulo (CETESB). As análises indicaram concentrações de contaminantes em água subterrânea superiores aos valores orientadores em todos os pontos amostrados. A ausência de fontes atuais de poluição aponta para um passivo ambiental associado às atividades industriais passadas. Os resultados indicam a necessidade de estudos complementares, como a aplicação de métodos geofísicos e a caracterização detalhada do solo, para orientar medidas de remediação e reduzir riscos à saúde humana e ao meio ambiente

Palavras-Chave – Gerenciamento de áreas contaminadas; investigação confirmatória; contaminação de solos e águas

Abstract - Soil and groundwater contamination in urban areas with a history of industrial use presents a significant challenge for environmental management. Sites with such characteristics, known as brownfields, require assessment and, when necessary, remediation before being repurposed. This study evaluated a site in Guarulhos (SP), formerly occupied by a plastic extrusion facility and currently undergoing residential development. The confirmatory investigation was based on secondary data, manual soil probing, and the installation of monitoring wells, following guidelines established by the Environmental Agency of the State of São Paulo (CETESB). Analyses revealed contaminant concentrations in groundwater exceeding the reference values at all sampling points. The absence of current pollution sources suggests the presence of environmental liabilities associated with previous industrial activities. The findings highlight the need for additional studies, including the application of geophysical methods and detailed soil characterization, to support remediation strategies and mitigate risks to human health and the environment.

Keywords – Management of contaminated sites; confirmatory investigation; soil and water contamination

¹ Eng. Ambiental, Universidade Federal de São Carlos. giovanalamano@estudante.ufscar.br

² Docente, Eng. Ambiental, PhD, Universidade Federal de São Carlos, Campus Lagoa do Sino, Buri - SP, nataliasp@ufscar.br

³ Docente, Eng. Ambiental, Ph.D., Universidade Federal de São Carlos, Campus Lagoa do Sino, Buri - SP, claudiarotta@ufscar.br.

1. INTRODUÇÃO

A industrialização brasileira, intensificada a partir da década de 1950, impulsionou o crescimento urbano, mas também gerou impactos ambientais significativos, especialmente na gestão de resíduos industriais e na degradação de áreas contaminadas (Gunther, 2006). A partir dos anos 1980, a desindustrialização levou ao deslocamento de indústrias para cidades menores, deixando para trás instalações abandonadas e contribuindo para a deterioração urbana (Sánchez, 2001; Gunther, 2006). Esse cenário resultou na depreciação do capital imobilizado, no aumento da ocupação irregular e no surgimento de áreas contaminadas, representando riscos ambientais e à saúde pública (Gunther, 2006).

Os solos e as águas subterrâneas vêm sendo negativamente impactados por atividades industriais desde os primeiros registros de poluição desse tipo (Sanchez, 2001). O gerenciamento de áreas contaminadas, especialmente aquelas abandonadas ou classificadas como *brownfields*, que compreendem terrenos potencialmente contaminados em decorrência de usos industriais ou comerciais anteriores, envolve elevada complexidade. Os principais desafios incluem a identificação dessas áreas, a comprovação da contaminação, a elaboração de planos de recuperação, a atribuição de responsabilidade e a definição dos custos envolvidos. Substâncias potencialmente tóxicas, uma vez introduzidas no solo, podem permanecer por longos períodos, geralmente de forma silenciosa (Sanchez, 2001; Silva; Borges; Vasconcelos, 2020). Com o tempo, essas substâncias podem migrar para os aquíferos ou atingir mananciais superficiais, afetando organismos aquáticos e terrestres.

No estado de São Paulo, os primeiros esforços sistematizados para lidar com áreas contaminadas foram iniciados em 1993, ano em que estabelecida uma cooperação técnica entre a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) e a Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), agência de cooperação do governo alemão. Essa colaboração resultou na elaboração do Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas, documento de referência na área, agora em sua terceira edição (Sanchez, 2004).

O gerenciamento de áreas contaminadas (GAC), no Estado de São Paulo, é estruturado em duas fases: a identificação e a reabilitação de áreas. A primeira busca reconhecer locais com possível contaminação, analisar suas características e potenciais riscos, orientando a necessidade de ações corretivas. Essa etapa inclui desde o reconhecimento inicial até estudos detalhados de risco. Por outro lado, a segunda fase envolve a escolha e aplicação de medidas para restaurar a área, permitindo seu uso conforme previsto (CETESB, 2017).

Neste cenário, o presente estudo tem como finalidade a caracterização de uma área com indícios de contaminação, localizada no município de Guarulhos (SP). O local em questão abrigou, anteriormente, uma unidade industrial voltada à produção de artefatos plásticos por extrusão, estando atualmente em processo de transição para uso residencial. Diante de levantamentos preliminares que apontaram a possível presença de contaminantes em aquíferos subterrâneos, tornou-se necessária a execução de estudos em uma investigação confirmatória, cujos procedimentos e resultados são detalhados ao longo deste trabalho. As atividades foram conduzidas sob a supervisão técnica de uma empresa especializada em consultoria ambiental.

A investigação visou identificar a presença de substâncias químicas de interesse ambiental, avaliar os níveis de contaminação e verificar a extensão da pluma subterrânea associada à antiga atividade industrial. Os dados obtidos permitirão subsidiar ações futuras de remediação, controle do uso da área e prevenção de riscos à saúde humana e ao meio ambiente, respeitando os princípios do gerenciamento de áreas contaminadas definidos pelos marcos regulatórios vigentes. Dessa forma, este trabalho contribui para a compreensão dos desafios associados à reabilitação de áreas potencialmente contaminadas em contextos urbanos, considerando tanto os aspectos técnicos da investigação ambiental quanto os elementos sociais e institucionais envolvidos na transformação do uso do solo.

2. METODOLOGIA

O presente estudo teve início com a definição e delimitação da área de interesse, localizada no Conjunto Habitacional de Interesse Social Pimentas I, no município de Guarulhos (SP). A seleção dessa área decorreu da identificação prévia de indícios de contaminação do solo e da água subterrânea, apontados por análises ambientais preliminares, o que justificou a necessidade de investigação mais aprofundada. A partir da delimitação da área, realizou-se a compilação e análise de dados secundários, com destaque para relatórios de fiscalizações ambientais anteriores.

Com base nas informações disponíveis, foram identificados potenciais passivos ambientais, o que motivou a condução da etapa de investigação confirmatória, destinada à verificação da presença ou ausência de contaminação nos compartimentos ambientais. Essa etapa envolveu a instalação de poços de monitoramento para amostragem de água subterrânea, bem como a coleta de amostras de solo e água, posteriormente encaminhadas para análises químicas em laboratório. A construção dos poços observou os requisitos técnicos estabelecidos nas normas ABNT NBR 15.495-1 (ABNT, 2024) e 15.495-2 (ABNT, 2008a).

As atividades de sondagem, amostragem de solo e instalação da rede de monitoramento subterrâneo foram orientadas pelos objetivos de caracterização da qualidade ambiental e da geologia local, por meio da identificação e descrição tátil-visual dos perfis litológicos. As intervenções ocorreram em pontos localizados a montante e a jusante da antiga área industrial, em proximidade ao curso d'água que atravessa o local, priorizando os setores com maior probabilidade de contaminação. Os poços situados a montante foram instalados em locais protegidos da influência direta do rio, enquanto os localizados a jusante foram posicionados nas imediações da zona de disposição potencial de contaminantes.

Foram executadas cinco sondagens manuais com trado de 6" de diâmetro, seguidas da instalação de cinco poços de monitoramento. Durante a perfuração, procedeu-se à coleta de amostras de solo a cada metro, com posterior descrição tátil-visual e elaboração dos respectivos perfis geológicos. Após a conclusão da instalação dos poços, mensuraram-se a profundidade total, o nível estático da água e a cota topográfica de cada ponto. Este último parâmetro foi obtido por meio de nivelamento óptico, sendo adotada uma cota de referência de 100 metros.

Parte das amostras de solo coletadas a cada um metro de sondagem, foram reservadas conforme a NBR 16.434 (ABNT, 2015). Cabe destacar que, no momento da coleta, não foram observados sinais visuais de contaminação, tais como presença de oleosidade, iridescência, coloração anômala ou odores atípicos. Para fins analíticos, foi selecionada uma amostra por sondagem, com base na proximidade de possíveis fontes de contaminação e na observação de características visuais indicativas.

A amostragem da água subterrânea foi realizada seguindo o método de baixa vazão (*low flow*), conforme as diretrizes da ABNT NBR 15.847 (ABNT, 2008b), que preconiza o controle da vazão de entrada na bomba de bexiga e o monitoramento do rebaixamento do nível piezométrico durante o bombeamento. Paralelamente à coleta, com o auxílio de sonda multiparâmetro em campo, foram monitorados os seguintes parâmetros físico-químicos: pH, condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), oxigênio dissolvido ($\text{mg O}_2/\text{L}$), temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e potencial de oxirredução (mV). As amostras foram acondicionadas e transportadas conforme os procedimentos estabelecidos no Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (ANA, 2023). As amostras de solo e de água subterrânea foram submetidas à avaliação de parâmetros físico-químicos e químicos listados nos valores orientadores estabelecidos pela Decisão de Diretoria nº 256/2016 da CETESB.

Os dados obtidos nas diferentes etapas foram interpretados com o intuito de caracterizar o cenário de contaminação da área investigada. Para isso, foram utilizados os Valores de Intervenção (VI) estabelecidos na Lista de Valores Orientadores para Avaliação de Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo (CETESB, 2016), sendo desconsiderados os Valores de Prevenção (VP) e os Valores de Referência de Qualidade (VRQ), dado o uso pretendido da área para fins habitacionais. Nessa situação, a legislação exige apenas a avaliação de risco à saúde humana.

2.1. Caracterização da área de estudo

A área investigada neste estudo corresponde ao Conjunto Habitacional de Interesse Social Pimentas I (Figura 1), situado no município de Guarulhos, estado de São Paulo. Historicamente, o local foi ocupado por uma indústria voltada à produção de artefatos plásticos por extrusão. Com a desativação das atividades industriais em 2005, o terreno foi transferido à administração municipal e passou a ser destinado à implantação de empreendimentos habitacionais. Em decorrência dessa mudança de uso, foram conduzidas investigações ambientais preliminares que identificaram indícios de contaminação e potenciais riscos à saúde humana, justificando, assim, a necessidade de estudos complementares com maior grau de detalhamento técnico.



Figura 1. Localização da área de estudo com destaque para as edificações construídas cujas obras não foram concluídas.

As obras de implantação do Conjunto Habitacional de Interesse Social Pimentas I foram iniciadas em 2008. Naquele período, a Prefeitura encaminhou à CETESB uma solicitação de parecer técnico sobre a viabilidade ambiental do empreendimento. Em resposta, a CETESB elaborou um Relatório de Investigação Detalhada que evidenciou a presença de contaminantes inorgânicos, especialmente metais, tanto em matrizes de solo quanto na água subterrânea da área avaliada. Neste mesmo período, seguindo diretrizes da CETESB, os primeiros estudos evidenciaram que havia presença de contaminantes inorgânicos, em especial, metais potencialmente tóxicos em matrizes de solo e água subterrânea. Diante da confirmação da contaminação, o órgão ambiental demandou a realização de estudos complementares e, como medida cautelar, recomendou formalmente a paralisação das obras. Desde então, o local permanece desativado, contendo apenas estruturas inacabadas em concreto referentes às unidades habitacionais, além de apresentar ocupações irregulares por indivíduos em situação de vulnerabilidade social ou situação de rua.

Sob o ponto de vista geológico, a área de estudo está inserida no Grupo Taubaté, que compreende as Formações Resende, Tremembé e São Paulo. A Formação Resende, sobre a qual se encontra especificamente o Conjunto Habitacional Pimentas I, é caracterizada por depósitos sedimentares compostos por diamictitos, conglomerados associados a leques aluviais com

intercalações de arenitos de granulometria variada, além de lamitos arenosos, siltitos e argilitos lacustres. Observa-se localmente a presença de estratificação cruzada acanalada, indicando processos deposicionais fluviais e lacustres variados (IBGE, 2023).

Do ponto de vista geomorfológico, a área está situada na unidade denominada Planalto das Colinas de São Paulo, caracterizada por colinas suaves desenvolvidas sobre os depósitos sedimentares da Bacia de São Paulo. Estas feições apresentam baixa dissecação e densidade de drenagem intermediária, localizando-se predominantemente nos interflúvios dos principais cursos d'água da Região Metropolitana de São Paulo. As encostas, de morfologia convexa, são frequentemente marcadas por processos erosivos do tipo ravinamento, favorecidos pelo escoamento superficial difuso sobre colúvios espessos de coloração vermelho-amarelada (IBGE, 2023). Além disso, devido à intensa ocupação urbana da capital e de seus municípios adjacentes, restam poucos remanescentes de cobertura vegetal sobre os solos Podzólicos Vermelho-Amarelos.

3. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

As sondagens que permitiram a instalação dos poços de monitoramento (Figura 2) ocorreram entre 29 de março e 02 de abril de 2021, e permitiram a caracterização dos materiais geológicos ao longo dos perfis investigados. Identificou-se o predomínio de Latossolos Vermelhos Distroféricos A e Latossolos Vermelhos Distroféricos e Acriféricos A. Adicionalmente, os perfis construtivos apresentaram variações pouco expressivas na coloração e na fração argilosa dos materiais ao longo da profundidade.

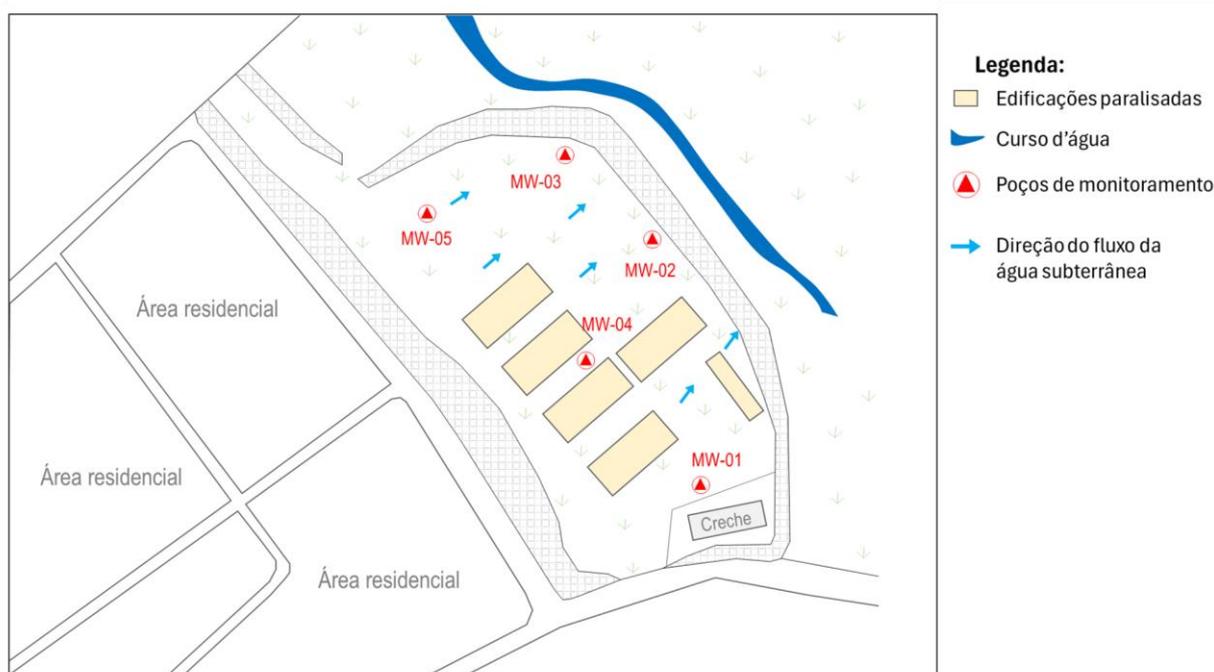


Figura 2. Distribuição dos poços de monitoramento instalados na área de estudo.

Os resultados dos parâmetros físico-químicos medidos *in situ* durante a coleta das amostras de águas subterrâneas nos poços de monitoramento estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Resultados dos parâmetros físico-químicos medidos em campo para as amostras de água subterrânea entre 29 de março e 02 de abril de 2021.

Poço	Condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Turbidez (NTU)	pH	Oxigênio dissolvido (mg/L)	Potencial de Oxirredução (mV)
MW-01	365,33	24,4	138	7,68	4,22	378,93
MW-02	191,67	21,7	77	5,88	2,96	204,8
MW-03	377,67	20,7	144	5,03	2,71	130,57
MW-04	454	22,1	144	5,7	4,32	312,6
MW-05	175,67	22,3	88	6,53	3,22	297,4

Com relação ao potencial hidrogeniônico, os valores registrados situam-se dentro do intervalo esperado para aquíferos naturais, indicando características de leve acidez em grande parte dos pontos avaliados. As temperaturas observadas nas amostras oscilaram entre 20,7 $^{\circ}\text{C}$ e 24,4 $^{\circ}\text{C}$, comportamento compatível com influências da temperatura ambiente no momento da coleta (DATA), refletindo a condição térmica do aquífero raso.

A condutividade elétrica das águas subterrâneas, parâmetro associado à presença de íons dissolvidos e, portanto, à mineralização da água, apresentou variações de 175,67 a 454 $\mu\text{S}/\text{cm}$ entre os diferentes poços, sugerindo heterogeneidade nas condições hidrogeoquímicas locais.

As leituras de oxigênio dissolvido situam-se entre 2,71 e 4,32 mg/L, intervalos típicos para ambientes subterrâneos, nos quais a concentração de oxigênio tende a ser naturalmente limitada pela baixa taxa de renovação e pela atividade microbiana. A turbidez apresentou valores relativamente elevados, com variações de 77 a 144 NTU, o que pode estar associado à presença de partículas em suspensão ou à perturbação do fundo durante a amostragem. Já os valores de potencial de oxirredução indicaram ambiente predominantemente oxidante, com medidas entre 130,57 e 378,93 mV, podendo influenciar diretamente os processos geoquímicos em curso, como a mobilidade de certos contaminantes.

Os resultados obtidos a partir das análises das amostras de solo coletadas nos cinco pontos investigados encontram-se apresentados na Tabela 2. As concentrações das substâncias químicas de interesse foram confrontadas com os Valores Orientadores estabelecidos pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB (2021), considerando os Valores de Intervenção (VIs) para diferentes usos do solo: residencial, industrial e agrícola.

Tabela 2: Concentrações das substâncias químicas de interesse no solo.

Substância Química de Interesse	Concentrações ($\mu\text{g}.\text{Kg}^{-1}$)					Limites de quantificação ($\mu\text{g}.\text{Kg}^{-1}$)	Valores de Intervenção ($\mu\text{g}.\text{Kg}^{-1}$)		
	MW-01	MW-02	MW-03	MW-04	MW-05		Residencial	Industrial	Agrícola
Mercúrio	<10	21	37	53	50	10	900	7000	1200
Bário	219955	3226	5436	3829	16480	25	1300000	7300000	500000
Chumbo	21735	2436	3739	2894	4594	250	240000	4400000	150000
Cobalto	11538	< 150	< 150	< 150	< 150	150	65000	90000	35000
Cobre	6582	2950	3955	8666	14921	250	2100000	10000000	760000
Crômio total	9935	17633	22434	32548	12193	250	300000	400000	150000

< : valores abaixo do nível de quantificação do equipamento.

Valores em negrito: acima do nível de quantificação e abaixo dos valores de intervenção.

Dado que a área avaliada está inserida em zona urbana do município de Guarulhos (SP), os VIs para uso residencial foram inicialmente adotados como referência. No entanto, os limites

correspondentes aos usos industrial e agrícola também foram considerados, a fim de ampliar a análise comparativa com diferentes potenciais de ocupação.

De modo geral, verificou-se que todas as concentrações mensuradas para as substâncias avaliadas se mantiveram abaixo dos respectivos Valores de Intervenção para uso residencial. Isso inclui elementos como mercúrio, bário, chumbo, cobalto, cobre e cromo total. Algumas concentrações foram registradas abaixo dos limites de quantificação, enquanto outras, embora quantificadas, permaneceram em níveis inferiores aos limites de intervenção mesmo no cenário residencial, que é o mais restritivo entre os avaliados.

Com base nesses dados, conclui-se que a área, do ponto de vista da contaminação do solo, poderia ser ocupada com segurança para fins residenciais, sem que medidas de remediação fossem exigidas. Consequentemente, os usos menos sensíveis, como industrial e agrícola, também seriam viáveis, uma vez que os respectivos VIs são menos restritivos que os residenciais e não foram ultrapassados por nenhuma das amostras. A situação mais conservadora, portanto, é a do uso residencial. Caso os valores tivessem excedido os limites estabelecidos para esse uso, restrições mais severas à ocupação poderiam ter sido recomendadas. No entanto, como isso não ocorreu, considera-se que, sob a ótica da qualidade do solo frente à presença de contaminantes químicos, a área apresenta condições adequadas para qualquer uma das modalidades de uso analisadas.

As amostras de água subterrânea foram submetidas à quantificação dos mesmos parâmetros avaliados no solo, conforme apresentado na Tabela 3. Foram determinadas as concentrações de metais potencialmente tóxicos em cinco poços de monitoramento (MW-01 a MW-05), e os resultados foram comparados com os Valores de Intervenção (VI) estabelecidos pela CETESB (2016), adotando-se como referência os usos residencial, comercial e industrial.

Tabela 3: Concentrações das substâncias químicas de interesse na água subterrânea.

Substância Química de Interesse	Concentrações por poço de monitoramento ($\mu\text{g L}^{-1}$)					Limites de quantificação ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Valores de Intervenção ($\mu\text{g L}^{-1}$)
	MW-01	MW-02	MW-03	MW-04	MW-05		
Mercúrio	<0,100	<1,000	<1,000	<1,000	<1,000	0,1	1
Bário	2875	< 81	686	395	139	100	700
Chumbo	8,27	19,81	92,01	280,66	1,77	1	10
Cobalto	4,94	7,48	4,9	10,84	5,41	1	70
Cobre	3	5,72	4,61	10,79	3,08	1	2000
Crômio total	<1,000	<1,000	1,59	1,74	<1,000	1	50

<: valores abaixo do nível de quantificação do equipamento.

Valores em negrito: acima do nível de quantificação e abaixo dos valores de intervenção.

Valores em vermelho: acima do nível de intervenção estabelecido pela lista de valores orientadoras da CETESB.

Foram identificadas concentrações superiores ao VI para chumbo em três dos cinco poços avaliados, sendo o poço MW-04 o que apresentou a condição mais crítica, com 280,66 $\mu\text{g/L}$, valor quase 28 vezes superior ao limite estabelecido para intervenção (10 $\mu\text{g/L}$). Essa superação também comprometeria o uso da água para fins comerciais ou industriais, uma vez que os valores de intervenção são os mesmos para os diferentes cenários de uso da água subterrânea. O poço MW-03 apresentou 92,01 $\mu\text{g/L}$ de chumbo, enquanto o poço MW-02 apresentou 19,81 $\mu\text{g/L}$, ambos também excedendo o VI. No poço MW-01, observou-se a presença de bário em concentração de 2875 $\mu\text{g/L}$, o que corresponde a mais de quatro vezes o VI (700 $\mu\text{g/L}$).

Os demais parâmetros, como cobalto, cobre e cromo total, foram quantificados em níveis abaixo dos limites de intervenção em todos os poços, embora o cromo tenha sido detectado em concentrações quantificáveis nos poços MW-03 e MW-04.

A presença de contaminantes nas águas subterrâneas coincidiu com a detecção desses mesmos elementos nas amostras de solo, em concentrações acima dos limites de quantificação, embora inferiores aos valores de intervenção para uso residencial. Essa correspondência sugere que os poluentes tenham sido transportados verticalmente através do perfil do solo por processos de lixiviação, atingindo o aquífero subjacente. Tal hipótese é reforçada pela distribuição espacial dos contaminantes, que não se limita a um único ponto, mas está dispersa em diferentes poços de monitoramento.

Considerando os dados obtidos, conclui-se que a área monitorada apresenta restrições significativas quanto à ocupação, independentemente do cenário (residencial, comercial ou industrial). A presença de chumbo e bário em concentrações superiores aos valores de intervenção inviabiliza o uso seguro da água subterrânea sem a adoção de medidas de remediação e controle. Dentre os usos possíveis, o cenário residencial é o mais restritivo, e, portanto, o mais comprometido. Contudo, mesmo para usos comerciais e industriais, os níveis de contaminação observados não atendem às diretrizes de qualidade estabelecidas para proteção à saúde humana, o que caracteriza a situação do poço MW-04 como a mais crítica em termos de risco à ocupação territorial da área.

Ao final do estudo, não foram identificadas fontes poluidoras ativas na área em estudo, tampouco foram observadas evidências de atividades antrópicas capazes de gerar contaminação no local. Os solos predominantes na região são classificados como Latossolos Vermelhos, os quais são reconhecidos por sua elevada profundidade e elevada porosidade (EMBRAPA, 2009). Caso a alta porosidade desses solos houvesse sido investigada e devidamente confirmada, tal característica poderia estar associada à maior mobilidade de contaminantes ao longo do perfil edáfico, facilitando seu transporte até o nível freático.

Para a adequada compreensão dos processos de retenção e migração dos elementos de interesse presentes no solo, torna-se necessário o desenvolvimento de análises complementares, que incluam parâmetros como granulometria, condutividade hidráulica, capacidade de troca catiônica (CTC), tipo de argilominerais, pH e potencial de oxirredução (Eh). Além disso, considera-se que a ampliação da rede de poços de monitoramento poderia proporcionar uma delimitação mais precisa da pluma de contaminação, bem como uma cobertura espacial mais representativa da área afetada. A utilização de métodos geofísicos, como os ensaios de perfilagem geológica em poços, é recomendada como ferramenta de suporte à investigação ambiental, contribuindo para o posicionamento estratégico dos pontos de amostragem e para a caracterização das propriedades físicas do meio subterrâneo.

4. CONCLUSÃO

A execução dos ensaios em campo, com destaque para a instalação dos poços de monitoramento, contribuiu significativamente para a delimitação preliminar das zonas impactadas. Contudo, a identificação precisa das fontes primárias de contaminação não foi possível, devido às modificações históricas no uso e ocupação da área avaliada. Após a implantação dos poços, foram realizadas análises físico-químicas das amostras de solo e água subterrânea, cujos resultados evidenciaram contaminação nesta última, com concentrações de bário e chumbo superiores aos Valores de Intervenção estabelecidos para essa matriz, reforçando a necessidade de continuidade no processo de gerenciamento ambiental.

Embora normas técnicas de engenharia, como as da ABNT, e os documentos regulatórios da CETESB estabeleçam diretrizes claras para a investigação de áreas contaminadas, observou-se que os estudos anteriores, conduzidos por empresas especializadas, não atenderam integralmente às exigências previstas. As principais lacunas incluem a ausência de informações históricas detalhadas sobre o uso do solo e a falta de análises complementares que permitissem compreender adequadamente o comportamento hidrogeoquímico dos contaminantes no sistema solo-aquífero.

Com a confirmação da contaminação, torna-se imprescindível avançar para a investigação detalhada, etapa que deve abranger a ampliação da rede de monitoramento, a caracterização

espacial da área afetada e a delimitação da pluma de contaminação. A adoção de técnicas investigativas adicionais, como métodos geofísicos não invasivos, também é recomendada para aprofundar o entendimento dos compartimentos ambientais impactados.

Nesse contexto, é importante reconhecer que áreas com passivos ambientais históricos, como a avaliada neste estudo, se enquadram na definição de *brownfields*: terrenos potencialmente contaminados em decorrência de usos industriais anteriores e que impõem obstáculos técnicos, legais e institucionais à reabilitação e à ocupação segura. A gestão eficaz dessas áreas demanda não apenas a aplicação de ferramentas técnicas adequadas, mas também a atuação coordenada do poder público no fortalecimento de políticas públicas voltadas à recuperação ambiental, à proteção da saúde humana e à promoção de usos compatíveis e socialmente justos para o território urbano.

REFERÊNCIAS

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico; Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional; CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. (2023). *Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos*. Brasília, DF: ANA, 2023. Disponível em: <https://biblioteca.ana.gov.br/sophia_web/acervo/detalhe/102373>. Acesso em: 7 abr. 2025.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2008a). *NBR 15.495-2: Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares. Parte 2 - desenvolvimento*. Rio de Janeiro, ABNT.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2008b). *NBR 15.847: Amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento - Métodos de Purga*. Rio de Janeiro, ABNT.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2015). *NBR 16.434: Amostragem de resíduos sólidos, solos e sedimentos - Análise de compostos orgânicos voláteis (COV) - Procedimento*. Rio de Janeiro, ABNT.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2024). *NBR 15.495-1: Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares. Parte 1 - requisitos de projeto e construção*. Rio de Janeiro, ABNT.

CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo; GTZ, Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit. (2021). *Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas*. 3ª ed. São Paulo: CETESB. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/documentacao/manual-de-gerenciamento-de-areas-contaminadas/informacoes-gerais/apresentacao-2/>>. Acesso em: 04. Abr. 2025.

CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. (2016). *Decisão de Diretoria Nº 256/2016/E*: Dispõe sobre a aprovação dos “Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo – 2016” e dá outras providências. São Paulo: CETESB. Disponível em: <<https://www.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2014/12/DD-256-2016-E-Valores-Orientadores-Dioxinas-e-Furanos-2016-Intranet.pdf>>. Acesso em: 04. Abr. 2025.

CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. (2017). *Decisão de Diretoria nº 038/2017/C, de 07 de fevereiro de 2017*. Estabelece diretrizes para proteção do solo e das águas subterrâneas e gerenciamento de áreas contaminadas. Diário Oficial do Estado de São Paulo: Caderno Executivo I, n. 127(28), p. 47-52, 10 fev. 2017.

GÜNTHER, W.M.R. (2006). Áreas contaminadas no contexto da gestão urbana. *São Paulo em Perspectiva*. v. 20, n. abr.-ju 2006, p. 105-117.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2023). *BDIA: banco de dados de informações ambientais*. Rio de Janeiro. Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br>. Acesso em: 04. Abr. 2025.

SANTOS, H.G. (2009). *Proposta de atualização da segunda edição do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 66 p. ISSN 1517-2627.

SANCHEZ, L.E. (2001). *Desengenharia: O Passivo Ambiental na Desativação de Empreendimentos Industriais*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo.

SANCHEZ, L.E. (2004). Revitalização de áreas contaminadas. In: MOERI, E.; COELHO, R.; MARKER, A. (orgs.), *Remediação e Revitalização de Áreas Contaminadas: Aspectos Técnicos, Legais e Financeiros*. São Paulo: Signus Editora, p. 79-90.

SILVA, N. B. D.; BORGES, I.; VASCONCELOS, V. V. (2020). Analysis of the potential impact of areas with soil contamination on watercourses and wells in São Paulo. *Revista Águas Subterrâneas*, v. 34, n. 3, p. 250–263, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v34i3.29753>. Acesso em: 11 abr. 2025.