

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA

ALINE GOMES ZAFFANI

**Avaliação do monitoramento de poços localizados em áreas industriais da região
metropolitana de São Paulo**

São Paulo

2022

**Avaliação do monitoramento de poços localizados em áreas industriais da região
metropolitana de São Paulo**

Versão Corrigida

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: Vicente Aquino Neto

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.

Catálogo-na-publicação

Zaffani, Aline Gomes

Avaliação do monitoramento de poços localizados em áreas industriais da região metropolitana de São Paulo / A. G. Zaffani -- São Paulo, 2022.
41 p.

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

1.Áreas contaminadas 2.Água subterrânea 3.Zona industrial 4.Poço de abastecimento 5.Monitoramento I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Química II.t.

AGRADECIMENTOS

Agradeço sempre à minha família por tudo!

Agradeço às pessoas que me acompanham e me ajudam a seguir na caminhada por um mundo melhor à todas e todos.

Agradeço ao Professor Vicente pelos ensinamentos, pela paciência e pela postura durante a orientação deste trabalho.

Agradeço aos colegas do MBA, que mesmo sem nunca termos nos encontrado pessoalmente, formaram uma rede de apoio e motivação essencial para que ninguém da turma desistisse do curso, que foi todo feito durante a pandemia de Covid-19.

Obrigada!!

RESUMO

Zaffani, Aline. Avaliação do monitoramento de poços localizados em áreas industriais da região metropolitana de São Paulo. 2022. 39 f. Monografia (MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar se poços localizados em áreas industriais com potencial de contaminação e no seu entorno são monitorados nas Zonas Predominantemente Industriais (ZPIs) na região metropolitana de São Paulo (RMSP). Com tal finalidade, a metodologia teve como base o levantamento de dados em portais dos principais órgãos relacionados ao gerenciamento das águas subterrâneas e sua análise em ambiente SIG. Notou-se uma grande quantidade de registro de áreas contaminadas (AC) cadastradas na CETESB, sendo a maior parte delas referentes a Postos de Serviços e Indústrias. Essas áreas extrapolam o perímetro das ZPIs. Os dados levantados pelos poluidores durante o gerenciamento de áreas contaminadas não são públicos, dificultando o acesso e a compreensão da dinâmica dos contaminantes na AC. O monitoramento oficial realizado pelos órgãos DAEE e CETESB não contemplam de forma satisfatória a RMSP e menos ainda as ZPIs. Tal falta de monitoramento resulta em percepção errônea sobre a presença de contaminantes na AS, podendo aumentar o risco de contaminação das águas subterrâneas (AS) e das pessoas que dela usufruem. Nota-se também uma ampla rede de poços de abastecimento com outorga, tanto nas ZPIs como no entorno das mesmas, indicando possibilidade de ampliação do monitoramento da qualidade das águas subterrâneas pelos órgãos públicos. Apesar de o estado de São Paulo apresentar ampla gama de resoluções que permitem o melhor gerenciamento das águas subterrâneas, não há articulação entre os envolvidos e não há o adequado cumprimento de tais resoluções, fazendo com que as AC deixem um grande passivo ambiental, que afeta a saúde de muitas pessoas. É necessário então que o monitoramento das AS seja intensificado e que os órgãos responsáveis possam se articular na exigência do cumprimento das resoluções, na montagem e disponibilização de uma base de dados de acesso público e que as legislações continuem sendo aprimoradas para garantir a qualidade e quantidade das águas subterrâneas.

Palavras-chave: Áreas Contaminadas. Zonas Predominantemente Industriais. Poços de Abastecimento. Monitoramento.

ABSTRACT

Zaffani, Aline. Evaluation of monitoring wells located in industrial areas of the metropolitan region of São Paulo. 2022. 39 p. Monografia (MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

The present work aimed to evaluate whether wells located in industrial areas with potential for contamination and in their surroundings are monitored in the Predominantly Industrial Zones (PIZ) in the metropolitan region of São Paulo (MRSP). For this purpose, the methodology was based on data collection in portals of the main official institutions related to groundwater management and its analysis in a GIS environment. There was a large number of records of contaminated areas (CA) registered at CETESB, most of them referring to Fuel Station and Industry. These areas extrapolate the perimeter of the PIZs. The data collected by polluters during the management of contaminated areas are not public, making it difficult to access and understand the dynamics of contaminants in AC. The official monitoring carried out by DAEE and CETESB does not satisfactorily cover the RMSP and even less the PIZs, increasing the risk of contamination of groundwater (GW) and the people who use it. There is also a wide network of supply wells with grants, both in the PIZs and in their surroundings, indicating the possibility of expanding the monitoring of groundwater quality by official institutions. Although the state of São Paulo presents a wide range of resolutions that allow better management of groundwater, there is no articulation between those involved and there is no adequate compliance with such resolutions, causing the CAs to leave a great environmental liability, which affects the health of many people. It is therefore necessary that the monitoring of GW be intensified and that the responsible bodies can articulate in the demand for compliance with the resolutions, in the assembly and availability of a database for public access and that the legislation continues to be improved to guarantee the quality and quantity of groundwater.

Keywords: Contaminated areas. Predominantly Industrial Zones. Supply wells. Monitoring.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Pontos de monitoramento por sistema de aquífero e UGRHI em 2020.....	19
Figura 2: Poços registrados no SIAGAS (esquerda) e poços monitorados com registro no SIAGAS (direita)	20
Figura 3: a) Zonas Predominantemente Industriais na RMSP. b) Áreas contaminadas na RMPS.	23
Figura 4: Áreas contaminadas localizadas nas ZPIs da cidade de São Paulo	24
Figura 5: Zonas de restrição da água subterrânea cadastradas no DAEE 2020 e Cetesb 2019	27
Figura 6: Poços tubulares monitorados pela Cetesb na cidade de São Paulo.....	28
Figura 7: Poços com outorga na cidade de São Paulo	30
Figura 8: Raio de 500m das AC sobre outorgas em ZPI-1 na região oeste de São Paulo	31
Figura 9: Influência da área contaminada sobre poços com outorga.....	34

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
2. OBJETIVOS	11
3. JUSTIFICATIVA	11
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
4.1. Águas subterrâneas disponibilidade e usos	11
4.2. Classificação da Qualidade da Água subterrânea	13
4.3. Ameaças às águas subterrâneas – alteração de qualidade natural e de origem antrópica.....	14
4.4. As ZPIS e a qualidade das águas subterrâneas	15
4.5. Diretrizes e órgãos envolvidos na instalação de poços de captação de água para consumo	17
4.6. Monitoramento das águas subterrâneas	18
5.1. Área de estudo	21
5.3. Tratamento dos dados	22
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	23
6.1. Áreas contaminadas nas Zonas Predominantemente Industriais.....	23
6.2. Contaminação e Monitoramento de Águas Subterrâneas nas ZPIs	27
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	34
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35

1. INTRODUÇÃO

As águas subterrâneas representam a maior parte da água doce disponível para consumo. Tanto na área urbana quanto na área rural as águas subterrâneas são importantes recursos para garantir a manutenção de serviços ecossistêmicos, a saúde e as atividades humanas. Atualmente no Brasil, mais de 50% dos municípios já usam, em alguma escala, esses reservatórios para abastecimento de suas populações. Na área rural, além de ser amplamente usada na irrigação é, na maioria dos casos, a única fonte de água para consumo das famílias.

Sabendo desse papel de destaque na vida cotidiana de todas as pessoas, seria ideal que esse recurso valioso fosse protegido e monitorado de forma a garantir sua qualidade e quantidade. No entanto, a redução dos volumes devido à super exploração e a contaminação por variados compostos, são realidades que precisam ser reconhecidas e manejadas de forma eficiente. Essas ameaças são causadas por diferentes atores, tais como governos, indústrias e propriedades agrícolas. É comum identificar municípios que preferem retirar água de aquíferos ao invés de tratar águas superficiais para distribuição. Assim como não é difícil encontrar locais onde o zoneamento urbano induziu/induz a ocupação de áreas de afloramento, que favorecem a contaminação e diminuem a recarga dos aquíferos. Em áreas agrícolas os mesmos impactos em qualidade e quantidade podem ser observados devido à retirada de grandes volumes para irrigação e à contaminação por fertilizantes e agrotóxicos usados nos cultivos. No entanto, o foco deste trabalho será no impacto do setor industrial à essas fontes de água, uma vez que muitas indústrias, seja durante sua operação ou após o encerramento de suas atividades, contribuem grandemente para a contaminação das águas subterrâneas.

A existência de legislação e monitoramento das atividades industriais não impede o aparecimento de problemas de contaminação dos recursos hídricos nessas áreas. Devido ao caráter de conectividade das águas subterrâneas, muitas vezes os impactos alcançam proporções e distâncias muito grandes, afetando diversos compartimentos ambientais. O estado de São Paulo é o que apresenta melhor arcabouço legal e aparelhamento para monitoramento das atividades que impactam os recursos naturais, incluindo as águas subterrâneas. No entanto, ainda são muitos os desafios para garantir a manutenção da qualidade das águas subterrâneas.

2. OBJETIVOS

Utilizar dados de acesso público para avaliar se poços localizados em áreas industriais com potencial de contaminação e no seu entorno são monitorados na região metropolitana de São Paulo (RMSP).

3. JUSTIFICATIVA

Diante do potencial de contaminação de águas subterrâneas em áreas industriais e da constatação de contaminantes em poços localizados nessas áreas e em seu entorno, é necessário que ocorra monitoramento da qualidade da água para garantir o gerenciamento da movimentação dos contaminantes e assim evitar o espalhamento de plumas de contaminação e o contato dessa água com os diferentes seres vivos que possam acessá-la. No entanto, apesar do potencial de contaminação, e às vezes até da confirmação da contaminação, o monitoramento não ocorre.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. Águas subterrâneas disponibilidade e usos

Da pouca água doce disponível no planeta Terra (3% do total), apenas 2% são superficiais, sendo os 98% restantes, águas subterrâneas. As águas subterrâneas são essenciais na manutenção da umidade do solo, no fluxo de rios, lagos e outras fontes superficiais e são importantes reservatórios desse recurso. Tais reservatórios nem sempre são facilmente acessíveis, mas com conhecimento e tecnologia têm sido cada vez mais explorados para fins comerciais e para abastecimento humano, tanto na área rural quanto na urbana.

O Brasil apresenta 10 províncias hidrogeológicas e cada uma delas possui condições de estocagem, fluxo e recarga natural que são considerados similares (ANA, 2004). Segundo Rebouças (2002), aproximadamente 50% do território brasileiro é formado por rochas sedimentares, onde ficam estocadas 90% das águas subterrâneas do país e essas águas se relacionam diretamente a perenidade dos rios. Os 50% restante do território nacional tem disponível menos de 10% do total. A região hidrográfica do Paraná é a mais importante do país

e representa 45% das reservas subterrâneas nacionais. De acordo com a ABAS, além de seu grande volume, tem aptidão para armazenar e liberar grandes volumes de água.

Monção e Veloso (2021) afirmam que as águas subterrâneas não devem ser vistas como solução para crise hídrica, mas sim como uma importante fonte estratégica de água para consumo humano. Dado que a reposição das águas subterrâneas pode demorar de centenas a milhares de anos, como ocorre com sistemas aquíferos High Plains e Great Plains (USA) (Johnston, 1997), o uso dessa fonte realmente deveria ser adotado em situações bem específicas. No entanto, a água subterrânea no Brasil vem sendo utilizada para consumo humano e dessedentação de animais desde o período Colonial, e isso sempre ocorreu sem nenhum controle (REBOUÇAS, 2002). Atualmente, no país 52% dos municípios são bastecidos por água subterrânea, sendo 36% de maneira total e 16% parcialmente (HIRATA et al., 2019). O Aquífero Guarani, que tem 2/3 de sua área total em território nacional, tem destaque na participação. Segundo a OEA (2009), apesar de estar presente em 4 países, 90% da extração de água do aquífero ocorre em território brasileiro, sendo que São Paulo é o estado com maior extração. De acordo com a Cetesb, no estado de São Paulo cerca de 80% dos municípios usam água subterrânea para abastecer sua população. Além do uso para abastecimento populacional, indústrias de diferentes gêneros e a agricultura geram grande pressão por esse recurso em todas as regiões. O levantamento realizado pelo CPRM (2018) apontou que a maior parte da água subterrânea é usada no Brasil para abastecimento doméstico 30%, a agricultura e pecuária representam consumo de 24%, e a indústria representa 10%, com variações em cada estado. Cada um desses usos apresenta impactos na qualidade e na quantidade de água subterrânea que necessitam de acompanhamento para melhor gestão desse recurso, que tem se mostrado cada vez mais necessário nas últimas décadas.

A extração desordenada das águas subterrâneas de uma bacia hidrográfica pode afetar o escoamento de base de rios, o nível de água de açudes e lagos e influenciar a umidade do solo que fornece suporte à diferentes ecossistemas (REBOUÇAS, 2002). Diante do cenário de intenso uso e dos impactos que esses geram nas águas subterrâneas, é importante que se conheçam as características e capacidades dos aquíferos, para que assim o gerenciamento possa ser realizado de maneira mais eficiente. Caso contrário, o desconhecimento da hidrogeologia regional dos aquíferos eleva as chances de poços secos, baixa produção e má qualidade da água (NEVES et al., 2021).

4.2. Classificação da Qualidade da Água subterrânea

Ao longo do percurso da água até ser armazenada nos poros ou fissuras, uma série de processos físico-químicos e bacteriológicos agem sobre ela, alterando suas características. Muitas vezes esses processos promovem a depuração da água tornando-a apta ao consumo humano (SILVA, 2003). Outras vezes, a água subterrânea acaba sendo contaminada por ações antrópicas e necessita de algum tipo de tratamento antes do consumo. Assim como ocorre para as águas superficiais, as águas subterrâneas têm legislação para enquadramento e outras providências relacionadas ao seu uso na Resolução CONAMA No. 396 de 2008.

Em seu artigo 3º são apresentadas as 6 classes definidas para água subterrânea, de acordo com condições de qualidade que atendam os usos atuais e futuros: valores máximos permitidos (VMP) e valores de referência de qualidade (VRQ).

Classe especial: águas destinadas à preservação de ecossistemas em unidades de conservação de proteção integral e as que contribuam diretamente para os trechos de corpos de água superficial enquadrados como classe especial.

Classe 1: águas sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que não exigem tratamento para quaisquer usos preponderantes devido às suas características hidrogeoquímicas naturais.

Classe 2: águas sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais.

Classe 3: águas com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, para as quais não é necessário o tratamento em função dessas alterações, mas que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais.

Classe 4: águas com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que somente possam ser utilizadas, sem tratamento, para o uso preponderante menos restritivo.

Classe 5: águas que possam estar com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, destinadas a atividades que não têm requisitos de qualidade para uso.

De acordo com Mestrinho (2012), após a aprovação dessa norma com o enquadramento das águas subterrâneas, ocorreu uma dinamização de normativas relacionadas às águas subterrâneas, favorecendo assim o melhor gerenciamento desse recurso no país.

4.3. Ameaças às águas subterrâneas – alteração de qualidade natural e de origem antrópica

A qualidade da água subterrânea sofre influência de atividades antrópicas, do uso do solo e de características naturais das áreas por onde percolam e ficam armazenadas (SMA, 2003). Dessa forma, apresentam características bem variadas. Normalmente, apresentam vantagem em relação a águas de rios, pois por serem filtradas naturalmente ao longo do processo de percolação, e o armazenamento nas camadas inferiores do solo mantê-las mais protegidas do contato com contaminantes, acabam tendo melhor qualidade e por isso são cada vez mais exploradas. No entanto, diversas ações antrópicas causam degradação da qualidade das águas subterrâneas, dentre elas super-exploração, o destino inadequado de efluente industrial, esgoto doméstico e resíduos sólidos e o uso de fertilizantes (RAJU et al., 2016; NEVES et al., 2021).

Apesar do uso cada vez mais intenso das águas subterrâneas, a preocupação com qualidade e quantidade desse recurso ainda não faz parte do dia-a-dia dos usuários. No caso das águas superficiais, os usuários confiam que as concessionárias irão garantir a qualidade da água de consumo e não se apropriam das informações sobre qualidade. No consumo de águas subterrâneas, existe a crença de que é um recurso de qualidade, garantido pela natureza. No entanto, muitas vezes ela apresenta características impróprias para consumo. Essas características podem ser de origem natural, devido ao intemperismo e dissolução de rochas, que adicionam mais comumente ferro, manganês e dureza, e mais raramente, flúor, cromo, bário e arsênio (HIRATA et al., 2006; BERTOLO et al., 2007). Já as contaminações antrópicas, Hirata et al. (2015) destacam a relevância dos esgotos, que causam as maiores contaminações em volume e área no Brasil. Nesse sentido, trabalhos como Hirata et al., 2015; Varnier et al., 2018 e Hirata et al., 2019 apontam que cidades que tiveram a instalação de suas redes coletoras de esgoto antes de 1990 apresentam elevado potencial de contaminação de aquíferos pelo vazamento do esgoto causado pela deterioração do material das redes. Com isso, grande parte das cidades brasileiras estão atualmente contribuindo para essa contaminação. Há também grandes contribuições devido a estocagem inadequada de resíduos e produtos perigosos, assim como lançamento de efluentes industriais (HIRATA et al., 2019).

O acompanhamento de tais contaminações ainda é muito limitado devido à grande extensão de aquíferos, à quantidade de poços não cadastrados no país e ao baixo número de poços de monitoramento que compõe a rede de monitoramento feita por órgãos governamentais, isso quando elas foram implantadas. Existe uma diferença muito grande entre o número real de poços e aqueles regularizados. O número de pedidos de outorga cresceram significativamente entre 2010 e 2015, com aumento de 9 vezes nas concessões no país (ANA, 2016). Muitos estados brasileiros não dispõem de órgão e programa de acompanhamento da qualidade das águas subterrâneas, assim a identificação de áreas contaminadas e o monitoramento das mesmas fica comprometido. No Estado de São Paulo, que conta com a Cetesb para tal função existem cadastradas aproximadamente 6.400 mil áreas classificadas como contaminadas (CETESB, 2020), mas acredita-se que o número real seja cerca de 10 vezes mais elevado (BARBOSA et al., 2017).

Dado cenário de uso atual e as perspectivas de uso futuro das águas subterrâneas, o monitoramento desse recurso deveria apresentar avanços importantes a essa altura. A interconectividade dos aquíferos também é um fator importante que deve guiar o monitoramento. Já em 1986, autores apontavam para a necessidade de evoluir do monitoramento pontual de um poço para uma caracterização do modelo hidrogeológico e do fluxo subterrâneo que ocorre em determinado local (IAHS, 1986). Modelos mostram que a exploração de um aquífero gera interações com outros vizinhos e uma série de alterações na dinâmica de recarga, descarga e processos geoquímicos (REBOUÇAS, 2002). O trabalho de SCHREINER-MCGRAW e AJAMI (2021) mostra que o tempo de recuperação de aquíferos com exploração pode ser em média de 3 anos quando não há atividade humana no aquífero, sendo ainda maior em locais com bombeamento para uso. Diversos municípios, como é o caso de São José do Rio Preto, SP, têm visto o rebaixamento do nível potenciométrico do aquífero (LOURENCETTI et al., 2013).

4.4. As ZPIS e a qualidade das águas subterrâneas

De acordo com Oliveira (2013), durante muitos anos a indústria foi livre para desenvolver suas atividades sem se preocupar com o passivo deixado. Tal situação só começou a mudar na década de 90, com o poder público munido de legislação para minimizar os impactos. Um dos instrumentos para regulamentação das indústrias foi a delimitação da sua

localização nos municípios. O estado de São Paulo, em Fevereiro de 1987 estabeleceu, através da Lei 5.597, diretrizes para o zoneamento industrial. No referido documento foram definidas 6 categorias para as áreas com instalação de indústrias, assim como orientações para que os municípios façam o zoneamento seguindo a referida lei (SÃO PAULO, 1987). Uma das classificações contidas na lei é a Zona de Uso Predominantemente Industrial (ZUPI), que no Artigo 3º é definida como áreas que

“destinam-se, sem prejuízo da instalação de estabelecimentos industriais de menor potencial poluidor, à localização daqueles cujos processos, submetidos a métodos adequados de controle e tratamento de efluentes, ainda contenham fatores nocivos, em relação às demais atividades urbanas”.

Além disso, o parágrafo 2º diz que:

“Nas zonas de uso predominantemente industrial deve haver entre as edificações e os limites da propriedade uma área mínima, com vistas a evitar a excessiva concentração de poluentes, onde serão permitidos usos que a lei municipal determinar, exceto equipamento industrial, uso residencial e uso institucional para escolas e hospitais”.

A Lei traz também orientações em relação a localização e risco ambiental apresentados pelas indústrias. Nesse sentido, elas são classificadas como: I1 - Indústrias virtualmente sem risco ambiental; I2 - Indústrias de risco ambiental leve; I3 - Indústrias de risco ambiental moderado; I4 - Indústrias de risco ambiental alto; I5 - Indústrias e pólos petroquímicos, carboquímicos e cloroquímicos, usinas nucleares e outras fontes não industriais de grande impacto ambiental ou de extrema periculosidade. As ZUPIs estão enquadradas nas categorias de risco I3, podendo também serem I2 e até I1, a depender do tipo de ZUPI (I ou II).

O município de São Paulo, ao ordenar a ocupação do solo, definiu no Projeto de Lei Nº 272/15 as diversas zonas de ocupação. As zonas foram organizadas em três grupos: transformação, qualificação e preservação, sendo a Zona Predominantemente Industrial (ZPI) 1 e 2 parte do território de qualificação (SÃO PAULO, SP, 2015). A subdivisão nessas zonas ocorre em decorrência da localização, sendo:

I - Zona Predominantemente Industrial 1 (ZPI-1): áreas destinadas à maior diversificação de usos não residenciais, localizadas na Macrozona de Estruturação e Qualificação Urbana;

II - Zona Predominantemente Industrial 2 (ZPI-2): áreas destinadas à maior diversificação de usos não residenciais compatíveis com as diretrizes dos territórios da Macrozona de Proteção e Recuperação Ambiental e dos Subsetores Noroeste e Fernão Dias do Setor Eixos de Desenvolvimento da Macroárea de Estruturação Metropolitana nos quais se localizam.

No ano de 2017 a nova lei de zoneamento (lei 16.402/17) alterou regras de licenciamento das indústrias em território paulistano. A partir da sua promulgação, novas indústrias, classificadas como IND-2 só podem ser instaladas nas Zonas de Desenvolvimento Econômico (ZDE) e Zona Predominantemente Industrial (ZPI). Para as indústrias já instaladas em locais diferentes dessas zonas, a nova lei oferece possibilidades de regularização (ESCUDERO, 2017).

As Zonas predominantemente Industriais são frequentemente contaminadas pelas atividades desenvolvidas nas áreas (ANDREAS, 2008; IPT, 2018). Nesses casos, pode haver contaminação de diferentes compartimentos ambientais como solo, águas superficiais e subterrâneas e atmosfera. O tipo de contaminante depende do ramo de atividade dos locais, mas os mais comumente encontrados são solventes aromáticos, PAHS, metais, TPH, solventes halogenados etc (CETESB, 2018). A causa da contaminação é, normalmente o uso de práticas ultrapassadas no processamento, armazenamento e descarte de produtos perigosos (IPT, 2018).

4.5. Diretrizes e órgãos envolvidos na instalação de poços de captação de água para consumo

De acordo com a Constituição Federal, a gestão do uso de águas subterrâneas é de responsabilidade dos estados brasileiros. No estado de São Paulo os órgãos responsáveis por essa gestão são o DAEE e a CETESB. Além de outorgar o direito ao uso do recurso, eles também realizam o monitoramento da qualidade e quantidade as águas subterrâneas. Seja para abastecimento ou para monitoramento das características dos aquíferos, os poços são um importante instrumento no gerenciamento.

No Brasil, existem duas normas que regulamentam a construção de poços para captação de água subterrânea. Uma delas é a NBR12.212, que define os requisitos exigíveis para a elaboração de projetos de poço tubular para captação de água subterrânea. A outra é a NBR 12.244, que define os requisitos para a construção de poço tubular para captação de água subterrânea, visando procedimentos técnicos que garantam o acesso seguro às águas subterrâneas. De acordo com FILHO (2014), o projeto de construção de um poço de captação requer conhecimento sobre alguns aspectos como: vazão pretendida; hidrogeologia da área, levantamento dos dados geológicos, geofísicos e de poços existentes, com identificação e caracterização do(s) aquífero(s), cuja exploração é pretendida pelo(s) poço(s) a ser(em) perfurado(s), definição dos locais para a execução da(s) perfuração(ões) e da provável composição físico-química da água; avaliação preliminar da vulnerabilidade à poluição dos aquíferos; estimativa do número de poços a constituir

o sistema; planta topográfica da área de interesse, com a localização e o cadastro das obras e dos poços existentes e piezometria.

Previamente a construção de um poço de abastecimento num raio de 500 m de uma área contaminada, a CETESB precisa emitir um parecer técnico. O parecer pode ser favorável, mas pedir o monitoramento de determinados parâmetros em caso de risco dele sofrer a influência da contaminação detectada no seu entorno. Pode também ser desfavorável ao solicitante, e neste caso o poço deverá ser tamponado. Passada essa etapa inicial, o órgão de gestão das águas municipal, fornecerá a licença de perfuração do poço. Além desses dois órgãos, a Vigilância sanitária também tem papel importante no cadastramento de poços, uma vez que atua no monitoramento da qualidade das águas subterrâneas, através da alimentação do Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (SISAGUA). Após a concessão e instalação do poço, anualmente o processo de renovação da outorga deve ser requerido e para isso, o solicitante deve consultar o cadastro de áreas contaminadas da CETESB e verificar a existência de áreas contaminadas num raio de 500 m do poço.

Para a construção do poço é necessária contratação de empresa especializada e responsável que siga as orientações nas etapas construtivas, com revestimento das partes que podem oferecer risco de contaminação e/ou desmoronamento e a instalação de filtros e pré-filtros. A exploração das águas subterrâneas envolve diversos riscos associados, entre eles Hirata et al. (2019) destacam a ocorrência de baixas vazões, baixa qualidade devido à contaminações por atividades ou por causas naturais, diminuição da produção devido a super-exploração de poços próximos e interdição devido à aspectos legais.

Dado o potencial poluidor de diversas atividades, a definição de um perímetro de proteção de poços (PPP) é um procedimento que visa reduzir o risco de contaminação das águas subterrâneas e a dissipação dos poluentes pelo aquífero (FORMENTINI, 2018), protegendo assim poços de abastecimento público (FERNANDES et al., 2017). Esse perímetro de alerta está definido no Decreto Estadual nº 32.955/1991, é um dos instrumentos legais que enfocam a proteção das captações de água subterrânea utilizada para o abastecimento das populações (Fernandes et al. 2017).

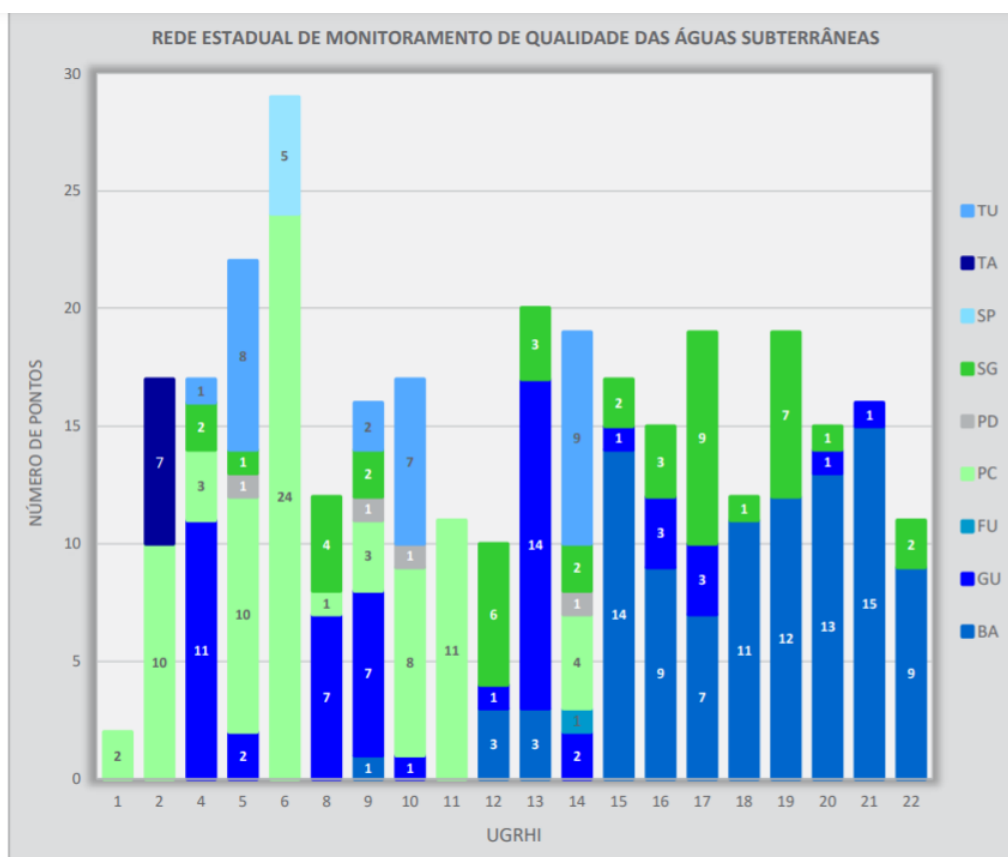
4.6. Monitoramento das águas subterrâneas

No estado de São Paulo existem 2 tipos de monitoramento das águas subterrâneas, um desenvolvido pela CETESB, que tem como objetivo a avaliação da qualidade da água bruta em

poços tubulares profundos com função de abastecimento público. Com esse monitoramento é possível definir valores de referência de qualidade (VRQ), avaliar tendências nas concentrações das substâncias monitoradas, identificar alterações na qualidade e auxiliar ações de prevenção e controle de poluição, dentre outras finalidades (CETESB, 2021). O outro tipo de monitoramento é desenvolvido pela CETESB e DAEE para avaliar qualidade e quantidade da água de aquíferos freáticos. Atualmente, essa rede conta com 64 pontos de amostragem, sendo 14 pontos no aquífero Guarani e 50 no sistema Bauru, que apresenta maior área de afloramento.

O monitoramento estadual feito pela Cetesb teve início em 1990 e tem como função subsidiar ações de prevenção e controle de poluição do solo e da água. O programa de monitoramento ocorre de forma dispersa nos aquíferos do estado, com pontos de amostragem em quase todas as Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHs) e conta com coletas semestrais de água, nas quais são analisados mais de 50 parâmetros. A rede de monitoramento das águas subterrâneas tem sido ampliada ao longo dos anos e em 2020 contou com 316 poços ativos (CETESB, 2021).

Figura 1: Pontos de monitoramento por sistema de aquífero e UGRHI em 2020. Fonte: CETESB, 2021

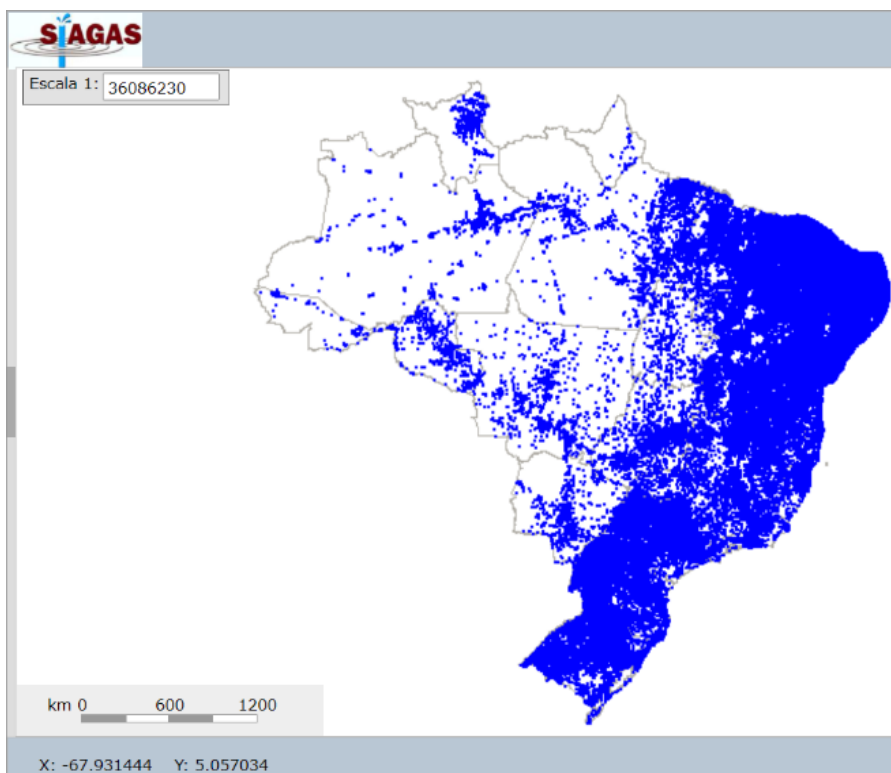


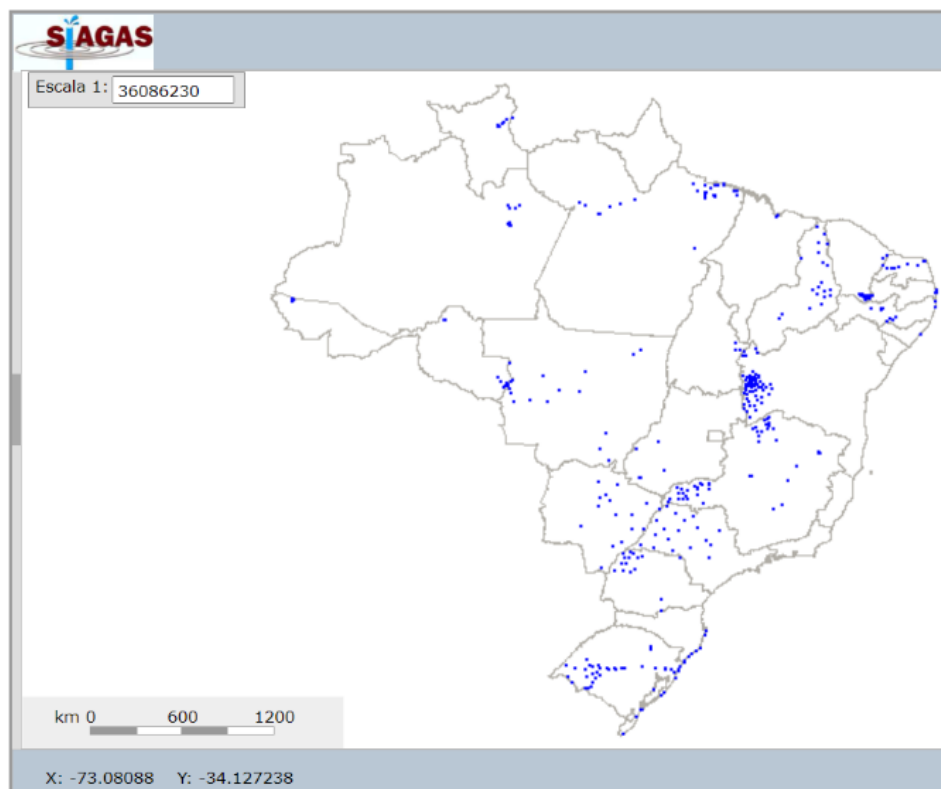
BA-Bauru; GU-Guarani; FU-Furnas; PC-Pré-Cambriano (Cristalino); SG-Serra Geral; SP-São Paulo; TA-Taubaté; TU-Tubarão; e PD-Aquitarde Passa Dois

O monitoramento da qualidade conta com parâmetros fixos para todos os locais e também alguns específicos, a depender das características hidrogeológicas dos aquíferos, dos usos preponderantes de cada região, fontes de poluição, entre outros critérios. Esses critérios são definidos pela CETESB e CPRM. No relatório de qualidade das águas subterrâneas de 2020, 31% das amostras apresentaram parâmetros em não conformidade como padrões de potabilidade. As inconformidades abrangem parâmetros microbiológicos (bactérias e *E. coli*), substâncias inorgânicas (Alumínio, Bário, Chumbo, Crômio, Ferro, Manganês, Urânio, Fluoreto, Nitrato e Sulfato) e uma combinação desses dois grupos de parâmetros.

O Brasil tem atualmente 2,5 milhões de poços tubulares (HIRATA et al., 2019), mas o monitoramento desses poços é muito precário. O Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) é um serviço do Sistema Geológico do Brasil e reúne uma base de dados sobre os poços no país. Nesse sistema existem 347.327 poços e fontes naturais cadastrados. No entanto, a Figura 2 mostra que apesar do número de cadastros no sistema (esquerda), apenas uma pequena quantidade é monitorada pela Rede Integrada de Monitoramento de Águas Subterrâneas (RIMAS) (direita). A baixa quantidade de poços monitorados expõe a vulnerabilidade das águas subterrâneas no país e indica a necessidade de ampliação no levantamento de informações sobre esses recursos, principalmente em áreas com concentração de indústrias.

Figura 2: Poços registrados no SIAGAS e poços monitorados com registro no SIAGAS. Fonte: SIAGAS, 2022.





MATERIAIS E MÉTODOS

5.1. Área de estudo

A área de estudo do presente trabalho é a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). O município de São Paulo tem área de 1.521,110 km² e população estimada de 12 milhões de habitantes (IBGE, 2020). Devido a sua grande extensão, é dividido em subprefeituras, distritos e bairros.

O município está inserido na Bacia Hidrográfica do Alto Tietê e o Rio Tietê, que é o principal do estado, corta a cidade e apresenta grande influência na sua dinâmica desde o início da sua ocupação. O clima é o Subtropical Úmido, com temperatura média de 22° C, mas amplitude térmica bem acentuada. A capital do estado está inserida no bioma Mata Atlântica.

A área de estudo está localizada sobre o aquífero São Paulo tem área de área de 1000km². Segundo a CETESB, apresenta litologia variada, com predominância de camadas argilosas, intercaladas por lentes de areia distribuídas irregularmente na porção central da Bacia do Hidrográfica do Alto Tietê, o que lhe confere vazões explotáveis que variam de 10m a 40m³/h. Apesar da boa qualidade, apresenta contaminações regionais por nitrato, solventes

organoclorados e hidrocarbonetos aromáticos, devido ao adensamento populacional e desenvolvimento industrial. Embora recubra apenas 25% da área da Bacia do Alto Tietê, é o mais intensamente explorado.

5.2. Levantamento de dados

O levantamento de dados foi realizado em diferentes plataformas a fim de se obter os dados mais recentes para cada informação necessária. O formato buscado para os dados foi o de shapefile, mas em alguns casos o arquivo kmz pôde ser utilizado também. Os dados sobre as Zonas Predominantemente Industriais foram obtidos no site da cidade de São Paulo dedicado à gestão urbana (www.gestaourbana.prefeitura.sp.gov.br). Nele são disponibilizados arquivos do zoneamento da cidade em diversos formatos.

No portal DATAGEO estão disponíveis diversos dados sobre o estado de São Paulo. Nesse portal foram obtidas as informações sobre áreas contaminadas e reabilitadas cadastradas na CETESB e áreas com restrição de uso cadastradas na CETESB e no DAEE.

As outorgas para uso das águas cadastradas na esfera da união e na estadual estão disponíveis no Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos (CNARH).

Os pontos de monitoramento da qualidade e quantidade das águas subterrâneas foram obtidos no site da CETESB e DAEE.

Para maior detalhamento do monitoramento das águas subterrâneas nas áreas contaminadas, buscaram-se os registros de poços nas áreas contaminadas (AC), mas esses dados não são disponibilizados pela Cetesb.

5.3. Tratamento dos dados

Os dados obtidos foram organizados em banco de dados e cruzados para análises geoespaciais com o software de geoprocessamento livre, com código aberto, QGIS, versão 3.16.3.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Áreas contaminadas nas Zonas Predominantemente Industriais

As Zonas Predominantemente Industriais são áreas de zoneamento que abrigam indústrias cujos processos, mesmo com controle e tratamento de efluentes, ainda ofereçam risco à outras atividades urbanas. As ZPIs no município de São Paulo estão espalhadas mais ao norte do território (Figura 3a) e compreendem 17 sub-prefeituras. Apesar da importância das ZPIs para instalação das indústrias que apresentam elevado risco de contaminação dos compartimentos ambientais, a Figura 3b mostra que as áreas contaminadas vão muito além delas. Dos 2398 registros de áreas contaminadas, a maioria (1674) são de “Postos de serviço”, o que ajuda a explicar a disseminação das áreas contaminadas pelo município todo. As outras atividades são “Indústria” com 497 pontos, atividade de “Comércio” com 153, “Resíduos” com 59, 2 pontos classificados como “Acidentes” e 13 pontos como “Desconhecidos”. Desse total de AC, 109 pontos estão localizados na ZPI-1 e 7 estão na ZPI-2 (Figura 4). Em ambas as ZPIs, a maioria das AC são referentes às atividades de indústria e posto de serviço. No entanto, na ZPI-1 o número de indústrias é bem mais alto (58) (Tabela 1).

Figura 3: a) Zonas Predominantemente Industriais na RMSP. b) Áreas contaminadas na RMPS. Fonte: autora

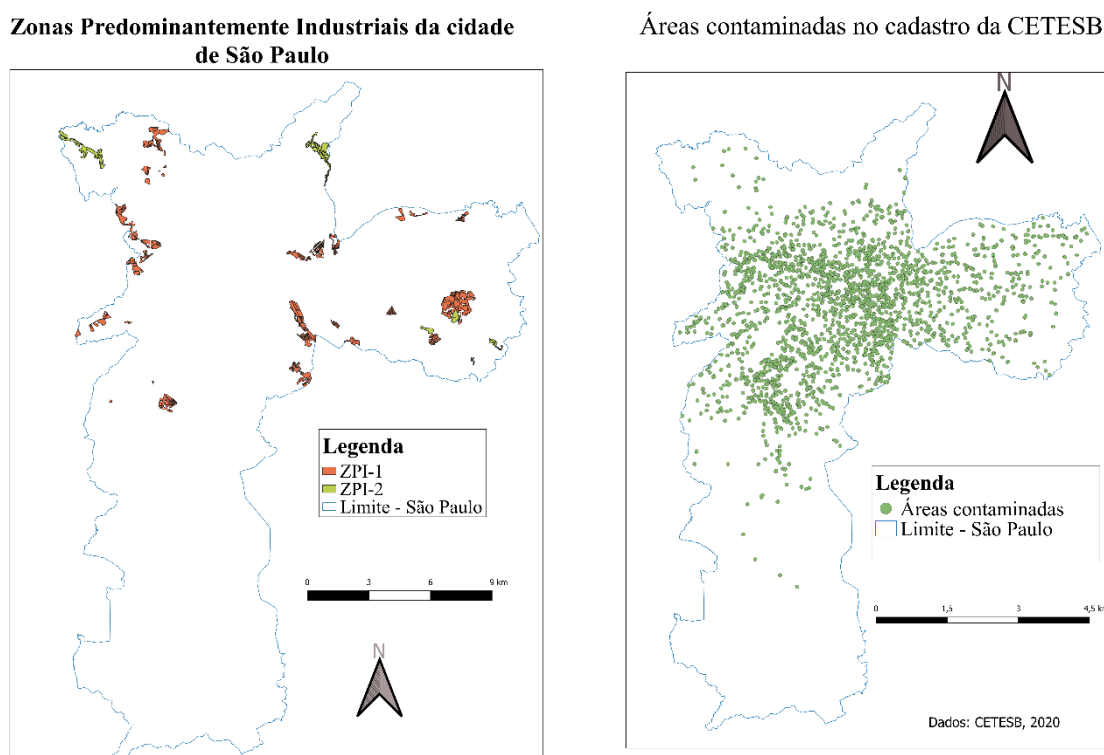


Figura 4: Áreas contaminadas localizadas nas ZPIs da cidade de São Paulo

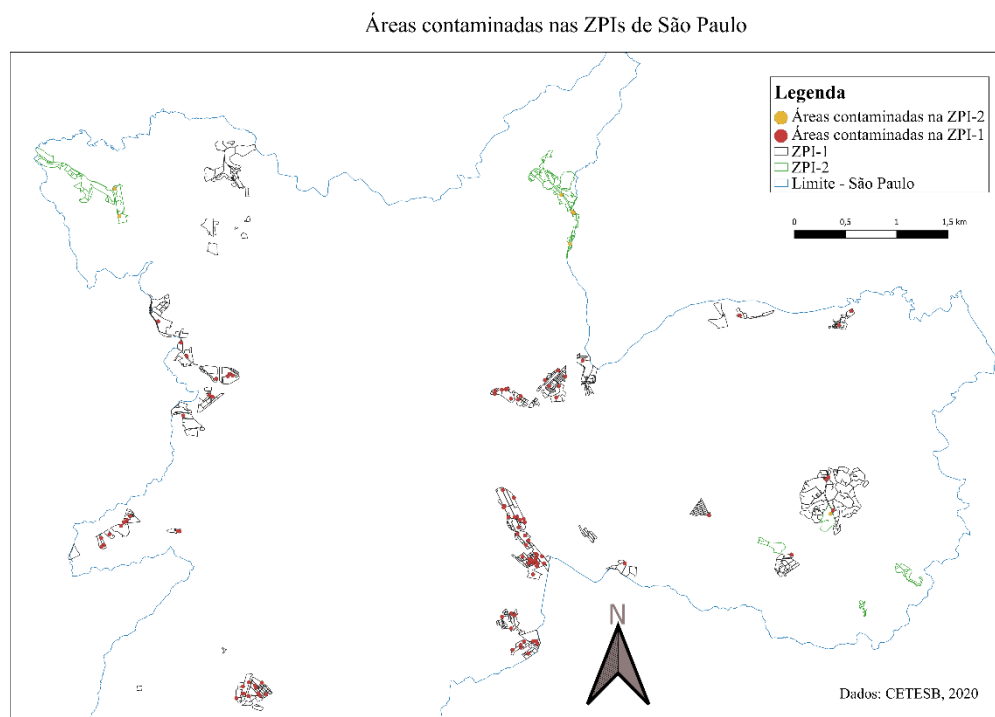


Tabela 1: Classificação de atividade das AC localizadas nas ZPIs de São Paulo.

	ZPI-1	ZPI-2	TOTAL
Resíduos	1	0	1
Acidentes	0	0	0
Desconhecido	0	0	0
Posto de serviço	33	3	36
Comércio	17	1	18
Indústria	58	3	61
TOTAL	109	7	116

A partir da suspeita de uma contaminação, iniciam-se as etapas do processo investigação e remediação de áreas contaminadas. As etapas sequenciais desse processo compõem o Gerenciamento de Áreas Contaminadas (GAC) e, no estado de São Paulo, elas foram definidas na Decisão de Diretoria vigente desde 2017 (DD-038-2017). O GAC visa reduzir, até níveis aceitáveis, os riscos de contaminação por meio de medidas que garantam o conhecimento da área e dos riscos decorrentes da contaminação. A metodologia proposta na DD-038 tem como objetivo otimizar os recursos econômicos e técnicos, por isso as informações de uma etapa são base para a seguinte. Ela é dividida em dois processos: Processo de Identificação de Áreas

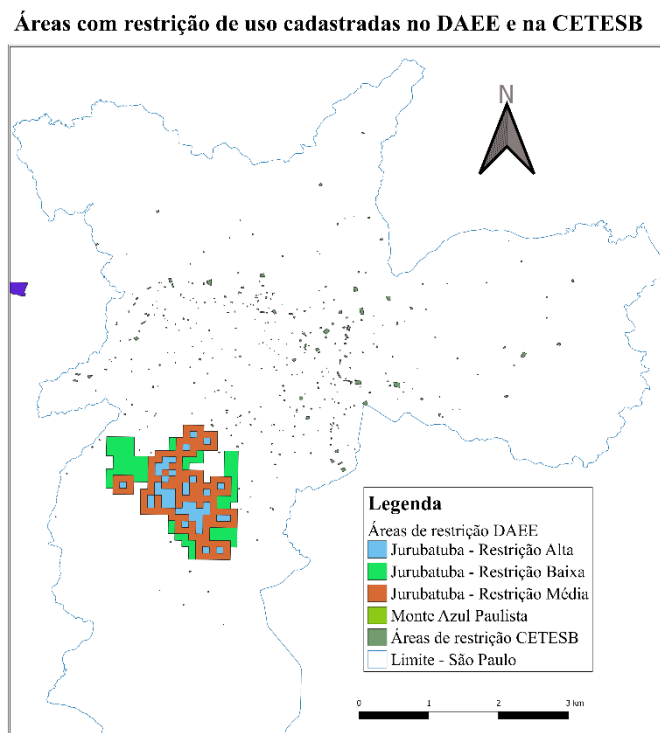
Contaminadas e o Processo de Reabilitação de Áreas Contaminadas. O primeiro caracteriza o local, as fontes de contaminação, os riscos associados a essa contaminação e permite avaliar a necessidade da adoção de medidas de intervenção. Tal processo é composto por seis etapas: identificação de áreas com potencial de contaminação; priorização de áreas com potencial de contaminação; avaliação preliminar; investigação confirmatória; investigação detalhada; avaliação de risco. O Processo de Reabilitação das Áreas Contaminadas visa selecionar e executar medidas de intervenção para reabilitar a área contaminada para o uso declarado, e é composto por três etapas: elaboração do plano de intervenção; execução do plano de intervenção; monitoramento para encerramento.

Da confirmação até a reabilitação da área, todas as ações de diagnóstico, avaliação de risco, definição e execução das medidas de intervenção e monitoramento são realizadas pelo responsável legal pela contaminação. Os dados são inseridos em uma plataforma que pode ser acessada pela CETESB, que é o órgão responsável pelo acompanhamento do GAC. Esses dados, no entanto, são coletados por diferentes equipes técnicas e possuem informações variadas, em formatos diversos que, não são integrados às informações da CETESB em um banco de dados único, dificultando a compreensão do que ocorre no local (BARBOSA, 2015). O processo de gerenciamento das áreas contaminadas tem como objetivo recuperar a qualidade do compartimento contaminado até valores adequados ao uso que se pretende dar para a área. Nesse sentido, muitas vezes, após os todas as etapas de gerenciamento, a área ainda apresenta níveis de contaminação de algum composto, mas aceitáveis diante do uso declarado pelo responsável pela área, recebendo a classificação de reabilitada para o uso declarado. O motivo para tal procedimento é, normalmente, o custo/benefício de remediação que permita amplo uso da área, fazendo com que muitas áreas dentro das cidades tenham restrição de uso, principalmente do recurso hídrico subterrâneo. Na maioria dos casos, que são referentes à contaminação causada por postos de combustíveis, a área de restrição é aplicada às porções mais superficiais dos aquíferos, que não são utilizadas para abastecimento. Já nas áreas industriais, a restrição de uso das águas subterrâneas depende das informações levantadas durante o GAC para saber quais compartimentos estão comprometidos. De acordo com a Deliberação CRH Nº 052, DE 15 DE ABRIL DE 2005 as “Áreas de Restrição e Controle (ARCs), assim classificadas devido à contaminação das águas subterrâneas, serão delimitadas em conformidade com os dados disponíveis no cadastro de áreas contaminadas sob investigação da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB)” e serão delimitadas com base em estudos hidrogeoquímicos. A Figura 5 apresenta as Áreas de Restrição de uso da água

subterrânea de áreas rehabilitadas (ARs) na RMSP, porém, nestes cadastros não há especificação de volume de água ou das camadas com restrição, apenas a projeção espacial. As restrições de uso das AS são medidas de Controle Institucional (MCI) estabelecidas durante o Processo de Reabilitação de Áreas Contaminadas. Esse é um mecanismo de viabilização de encerramento dos trabalhos de reabilitação da área que não tem por objetivo a recuperação completa da qualidade do meio, especificamente, a qualidade da água subterrânea, determinando apenas que conste na documentação da área que um determinado volume de água subterrânea não deve ser consumida por um determinado tempo ou até por tempo indeterminado. Na mesma figura é possível identificar também as áreas de restrição de uso cadastradas pelo DAEE, com destaque para a região de Jurubatuba, com antigo histórico de ocupação por indústrias (desde 1950) e que, atualmente se encontra com diferentes níveis de restrição. A região é considerada pela CETESB como um mosaico de contaminação com grande extensão de água subterrânea contaminada por solventes organoclorados, que são tóxicos e cancerígenos. As águas superficiais que cortam a região, seguem em direção à represa Billings, que tem importante papel no abastecimento público de São Paulo (FIRPO, 2010).

Os principais compostos encontrados na área são cloreto de vinila, dicloroetano, dicloroeteno, tetracloroeteno e tricoloeteno. O espalhamento dessas substâncias se deu pelas condições hidrogeológicas e também pela exploração da água subterrânea por meio de poços de abastecimento (BARBOSA, 2015). Segundo Firpo (2010) o monitoramento de poço em uma das empresas apresentou cloreto de vinila em concentração de 234 g/L e tetracoloeteno, em concentrações de 775 g/L, muito acima dos valores máximos permitidos pelo padrão de potabilidade. Ao constatar a contaminação de dezenas de poços, o Poder Público definiu uma zona de restrição ao uso da água subterrânea (CBH-AT, 2011). A região de Jurubatuba apresenta atualmente ocupação mista, com indústria, residência e comércio, por isso o acompanhamento do encerramento de atividades industriais e o zoneamento urbano são importantes ferramentas na proteção da saúde coletiva. Assim como a revisão dessas ferramentas à medida que mais informações são obtidas, pois há muitos pontos de contaminação fora das ZPIs. Nesse sentido, a integração dos dados obtidos pelo responsável legal com os dados gerados pelos órgãos de monitoramento (como CETESB e DAEE) é importante para tomada de decisão.

Figura 5: Zonas de restrição da água subterrânea cadastradas no DAEE 2020 e Cetesb 2019

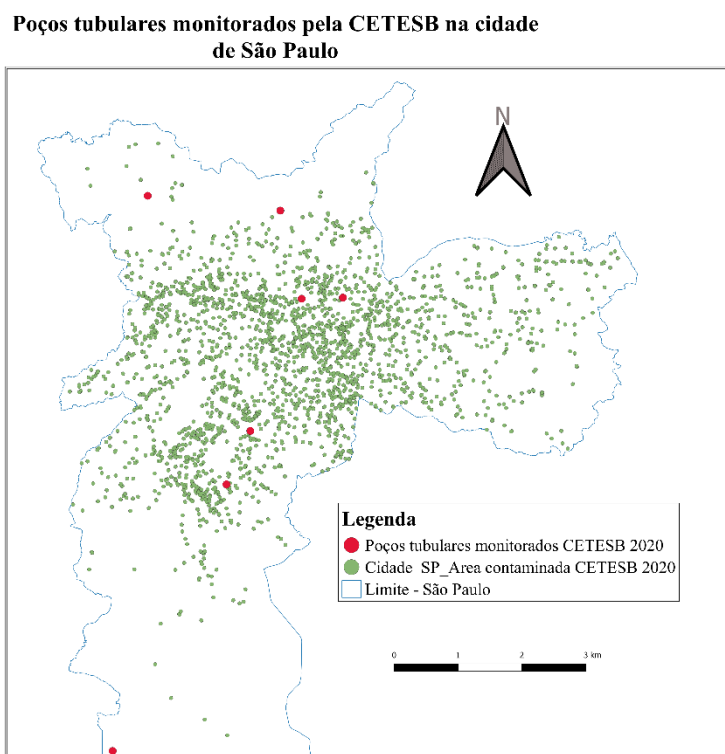


6.2. Contaminação e Monitoramento de Águas Subterrâneas nas ZPIs

Dada a quantidade e os tipos de compostos usados em áreas industriais, essas áreas apresentam elevado potencial de contaminação de diversos compartimentos ambientais tais como ar, solo e águas superficiais e subterrâneas. Diante da conectividade dos compartimentos, o potencial de espalhamento de muitas das substâncias poluidoras causa preocupação por poder alcançar locais que distam quilômetros da fonte poluidora, em algumas situações específicas. O monitoramento da movimentação de massas de poluentes e da remediação dos compostos, quando realizada, é feito pelo poluidor e reportado ao órgão responsável. No entanto, esses dados ficam disponíveis para o público em geral, mas o acesso não é simples, uma vez que requer que se faça uma solicitação de vistas aos processos administrativos nos quais estão inseridos. Como forma de complementar o monitoramento realizado pelas empresas poluidoras, a CETESB realiza um programa de monitoramento das águas e junto com o DAEE um segundo programa amplia as áreas de amostragem no estado de São Paulo.

Monitoramento da qualidade realizado pela CETESB é feito em poços tubulares. Dos 316 pontos monitorados no estado, apenas 7 deles estão na cidade de São Paulo (Figura 6). Já a rede de monitoramento da CETESB com o DAEE, que é voltada para monitoramento da qualidade e quantidade de água dos poços, não apresenta ponto na RMSP. O Relatório de Qualidade das Águas Subterrâneas de 2020, mostra que a pandemia de COVID-19 interferiu no monitoramento, fazendo com que a UGRHI 6 (Bacia do Alto Tietê), onde está inserida a cidade de São Paulo, fosse a menos amostrada no período. Clorofórmio foi a substância orgânica em não conformidade em amostras, além de parâmetros como alumínio, ferro, manganês, bactérias heterotróficas e coliformes totais. A quantidade de poços de monitoramento sob responsabilidade do órgão estadual é muito pequena e inadequada para a quantidade de áreas contaminadas e para o volume de poços de abastecimento na cidade de São Paulo.

Figura 6: Poços tubulares monitorados pela Cetesb na cidade de São Paulo



Esse cenário expõe a alta vulnerabilidade da população a exposição a compostos perigosos. O Cadastro Nacional de Usuário de Recursos Hídricos (CNDARH) tem registro de 5168 usuários no município de São Paulo. Desse total, 282 estão localizados na ZPI-1, sendo 212 poços (Figura 7). Na ZPI-2 há 58 cadastros, sendo 19 deles referentes a poços (CNDARH,

2021). Dado o elevado número de poços com outorga e, sabendo que existem muitos que funcionam sem outorga, somado ao fato de que normalmente as pessoas apresentam confiança na água subterrânea, a ponto de não fazerem nenhum tipo de tratamento antes do consumo, o cenário da capital paulista é de extrema preocupação. Por isso, seria importante que os poços, dentro e no entorno de áreas contaminadas, fossem monitorados com base nos contaminantes identificados nas áreas contaminadas e com base nos estudos hidrogeoquímicos da área. Nesse sentido, o acompanhamento dos dados gerados durante o gerenciamento das áreas contaminadas são importantes para que o órgão responsável possa ampliar a rede de monitoramento das águas subterrâneas.

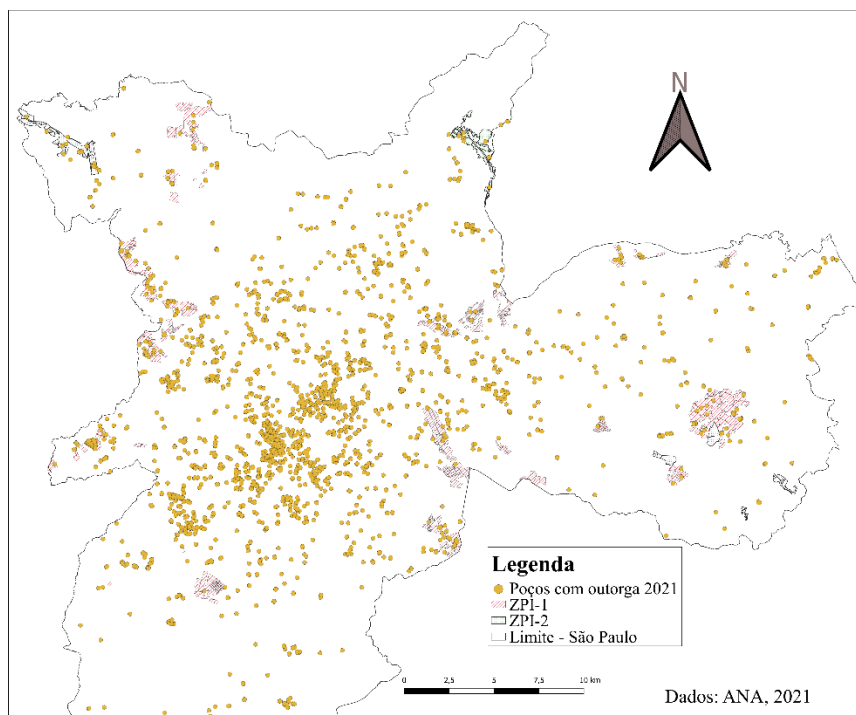
A região de Jurubatuba, por apresentar ocupação industrial e por já ter sido foco de diversos estudos científicos, dispõe de informação que ilustra a situação relatada. Segundo Barbosa (2015), grande parte da demanda de água da região de Jurubatuba é fornecida por cerca de 12.000 poços, sendo que mais de 70% deles opera ilegalmente, com pouco ou nenhum controle sobre suas condições de operação. Este cenário de Jurubatuba reflete a condição vista no país, onde é estimado que apenas cerca de 1% dos poços tem situação regular (HIRATA et al., 2009).

O acompanhamento dos dados gerados durante o processo de GAC está previsto em leis e deve ser rigorosamente realizado, pois esses dados obtidos pelo poluidor influenciam na definição das áreas de restrição e na aprovação de pedidos de outorga para uso da AS, que são realizadas pelos órgãos públicos. Nas áreas de restrição, existem regras para a operação dos poços e apresentação de monitoramento. Ao sobrepor as informações do poluidor com as dos órgãos públicos, é possível identificar novas áreas com suspeita de contaminação que não estão sendo monitoradas, e assim indicar novos pontos de monitoramento, ampliando assim a rede de monitoramento de qualidade da água. Nos pedidos de outorga, se já tiverem sido identificadas áreas contaminadas em um raio de 500 metros, é necessário solicitar um Parecer Técnico da CETESB, no qual será avaliado o risco da contaminação afetar a qualidade da água captada pelo poço de abastecimento. Será definido o monitoramento das substâncias químicas de interesse (SQIs) e a periodicidade das amostragens, e esses dados serão repassados ao DAEE. Todos esses dados obtidos durante o GAC não são de órgãos oficiais, mas são muito importantes para as tomadas de decisão referentes à AC. Por isso deveriam ser reunidos em uma base de dados única, com informações como localização geográfica e informações sobre as SQIs. Se essas informações fossem acessíveis e também compartilhadas com a SABESP e

demais agências distribuidoras, poderíamos ter uma ação conjunta no controle da poluição e também no combate aos usos não regularizados da AS.

O estado de São Paulo caminha há anos no sentido de fortalecer legislação para melhorar o gerenciamento das AS. Esse caminho tem como base as experiências com áreas contaminadas, como é o caso de Jurubatuba. A Resolução Conjunta nº003 de 2006. SES/SERHS/SMA “dispõe sobre procedimentos integrados para controle e vigilância de soluções alternativas coletivas de abastecimento de água para consumo humano proveniente de mananciais subterrâneos”. Ela foi proposta tendo como base os aprendizados obtidos em Jurubatuba. Essa e outras resoluções têm proposições práticas de como melhorar o regulamento da AS, mas muitas vezes não são seguidos integralmente.

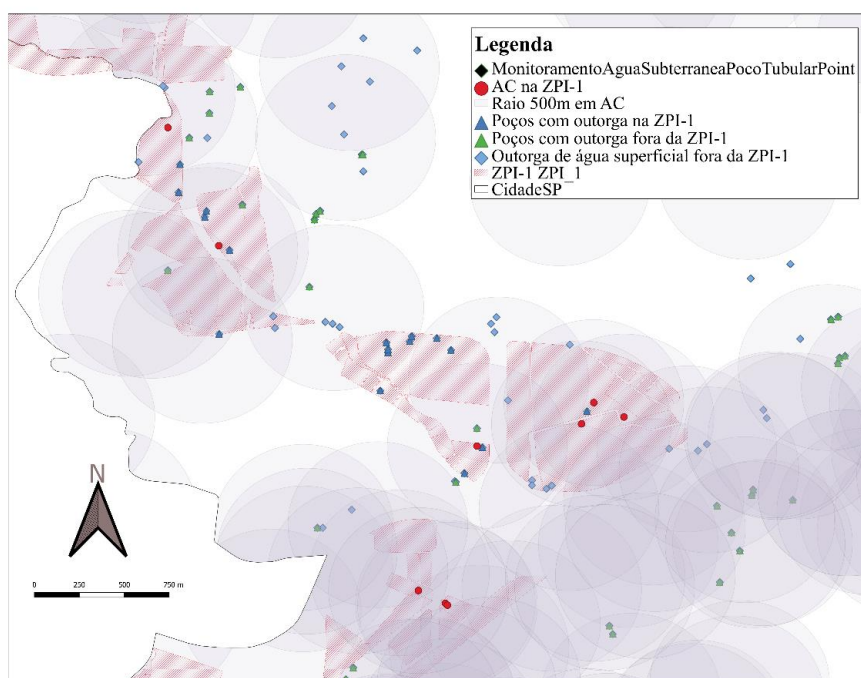
Figura 7: Poços com outorga na cidade de São Paulo



A Figura 8 mostra uma área da ZPI_1 na região oeste da cidade. A imagem mostra um raio de 500 m em cada área contaminada, proposto como medida de orientação na outorga de água. É possível notar que esse raio abrange diversos pontos de outorga, sejam eles superficiais (losango azul) ou subterrâneos (triângulos), dentro das AC (triângulo azul) ou fora delas (triângulo verde e losango azul). Nota-se também que nessa região não existe ponto de

monitoramento da água subterrânea pela CETESB. O mesmo acontece para as demais ZPIs na cidade e também para áreas contaminadas fora das zonas predominantemente industriais (Figura 9). Rodrigues (2015) relatou situações semelhantes analisando a contaminação por postos de combustíveis na RMSP, nos quais o raio de 500 m sobrepunha poços de abastecimento com outorga. Diante da grande quantidade de AC e da já existente rede de poços com outorga no município, seria interessante ampliar o monitoramento das AS, de forma a cobrar de maneira mais eficiente os poluidores e também proteger o meio ambiente e a população que usufrui dele. Legalmente, a exploração de água subterrânea requer que haja monitoramento de diversos parâmetros. A Portaria 888/21 dispõe de procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Em relação às águas subterrâneas indica o monitoramento dos seguintes parâmetros: turbidez, cor verdadeira, pH, fósforo total, nitrogênio amoniacal total, condutividade elétrica e dos parâmetros inorgânicos, orgânicos e agrotóxicos. Dessa forma, nota-se que existe um arcabouço legal que permite a ampliação do sistema de monitoramento das águas subterrâneas. A Portaria acima mencionada e as demais resoluções existentes para tratar da obtenção e renovação de outorgas, assim como os procedimentos de monitoramento de AC fornecem o arcabouço legal necessário à melhoria do gerenciamento das AS e na redução de riscos da população à contaminação. Nota-se, portanto uma falta de articulação e cumprimento de tais mecanismos, assim como a implementação legal dos mesmos em outros estados do país.

Figura 8: Raio de 500m das AC sobre outorgas em ZPI-1 na região oeste de São Paulo



Exemplificando a possibilidade dessa ampliação de monitoramento, analisou-se uma ZPI-1 na zona leste, localizada na marginal direita da Rodovia Anchieta, região dos bairros Jardim Santa Emília e Vila Natália. Na área existem 13 áreas contaminadas (Tabela 2), sendo a maioria referente a indústrias e apesar das diferentes etapas em que se encontram no processo de GAC, quase todas aplicaram como Medida de Controle Institucional a restrição do uso das águas subterrâneas. Isso é decorrente da constatação de contaminação da AS na propriedade e fora dela. Duas das áreas contaminadas listadas nessa ZPI reportaram à CETESB contaminação de água subterrânea dentro e fora da propriedade. Os contaminantes presentes nessas AC são solventes halogenados, solventes aromáticos, PAHs, combustíveis automotivos e TPH. A área destacada em amarelo na Figura 9 é uma dessas duas e é possível notar que o raio de outorga de 500 m dessa AC abrange diversos poços, dentro e fora da AC, assim como um corpo hídrico superficial na direção norte. Dessa forma, os poços com outorga possivelmente afetados poderiam ser monitorados pelo poluidor, no processo de gerenciamento da AC, ou pelo órgão responsável, adicionando mais pontos à rede oficial de monitoramento das AS. Esse procedimento tem base legal na Resolução nº003 de 2006, mas se ocorrem, esses dados não disponibilizados para consulta.

Tabela 2: Lista de áreas contaminadas na ZPI-1 da zona leste da RMSP

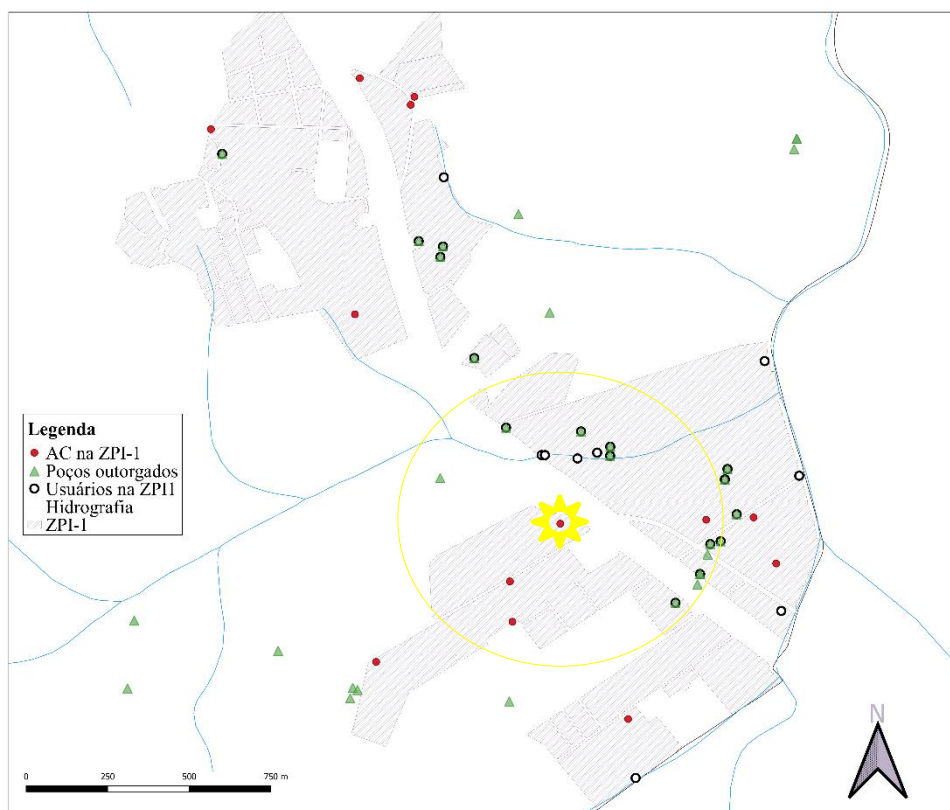
ID	Atividade	Classificação	Fonte de contaminação	Meio impactado	Local do impacto	Contaminantes	MCI
1	Indústria	ACRe	Produção	AS	dentro-fora da propriedade	solventes halogenados e solventes aromáticos halogenados	Restr. uso das AS
2	Indústria	ACRi	armazenagem e manutenção	água superficial	dentro da propriedade	solventes halogenados e outros vapores	Restr. uso das AS
3	Indústria	ACRe	Produção	AS e subsolo	dentro da propriedade	solventes halogenados e solventes aromáticos halogenados	-
4	Indústria	ACRi	Produção	AS e subsolo	dentro da propriedade	metais, outros inorgânicos, solventes halogenados e aromáticos, PAHs, TPHs, outros	Restr. uso das AS
5	Indústria	ACRi	Produção	AS	dentro-fora	metais, solventes halogenados	-
6	Indústria	AME	produção, infiltração, desconhecida	AS, solo superficial	dentro da propriedade	metais	Restr. uso das AS

7	Indústria	ACRe	armazenagem e produção	AS, solo superf., subsolo	dentro (todos)-fora (AS) da propriedade	metais, solventes halogenados e aromáticos, aromáticos halogenados, PAHs, combustíveis automotivos	Restr. uso das AS
8	Indústria	ACRe	Produção	AS e subsolo	dentro da propriedade	solventes halogenados e aromáticos, PAHs, combustíveis automotivos, TPH	Restr. uso das AS
9	Indústria	ACRi	Produção	AS e subsolo	dentro da propriedade	metais, solventes halogenados	Restr. uso das AS
10	Posto de serviço	AR	armazenagem	AS e subsolo	dentro da propriedade	solventes aromáticos, combustíveis automotivos	Restr. uso das AS
11	Posto de serviço	AR	armazenagem	AS e subsolo	dentro(ambos)-fora (AS) da propriedade	solventes aromáticos, PAHs, combustíveis automotivos, TPH	Restr. uso das AS
12	Indústria	ACRu	Produção	AS	dentro da propriedade	metais, combustíveis automotivos	Restr. uso das AS
13	Indústria	ACRi	produção, desconhecida	AS	dentro da propriedade	solventes halogenados	-

Fonte: Autora, com dados do Relatório do Áreas Contaminadas da CETESB

L'Apicciarella et al (2009) desenvolveram estudo na área de Jurubatuba com intuito de definir áreas de restrição para AC com organoclorados como solventes halogenados alifáticos que, quando em fase livre, são mais densos que água, podendo atingir profundidades maiores ou se dissiparem na água, fazendo com que a concentração dos compostos apresente variações que conduzem ao erro durante o monitoramento e tomada de decisão. Além disso, as plumas dissolvidas geradas em contaminações não tão profundas, podem migrar verticalmente (descendente) em função dos gradientes gerados pelo uso intenso da água subterrânea mais profunda. Os autores identificaram 14 áreas declaradas como contaminadas pelos compostos de interesse e 523 poços com outorga na área de estudo. Ao realizar análises em 86 desses poços, encontraram 46 resultados positivos, confirmando a necessidade de ampliação do monitoramento de contaminantes em AC. Ao usar os dados dessa amostragem em uma modelagem para definição da área de restrição, os autores ressaltam que a eficiência do método depende de ação integrada entre os órgãos gestores e desses com os usuários.

Figura 9: Influência da área contaminada sobre poços com outorga



Uma vez identificada a contaminação em poços de abastecimento é importante levantar informações que auxiliam a compreensão da dinâmica da água no local. Assim, dados como o perfil construtivo e a realização de amostragens estratificadas e de perfilagem ótica podem ajudar a identificar falhas construtivas e/ou fraturas que favorecem a movimentação da água. De posse dessas informações a tomada de decisão sobre o acompanhamento dessa área pode ser feita com segurança.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O zoneamento é uma ferramenta importante na gestão do uso do solo e dos recursos hídricos, mas diante das elevadas chances de contaminação em áreas industriais, os avanços na legislação de áreas contaminadas também merecem destaque. Ambos instrumentos não têm sido suficientes para garantir a restrição de uso das AS. Apesar da definição de locais mais restritos para atividades industriais e da legislação que impõe ao poluidor fazer o monitoramento das movimentações do poluente, o alcance do impacto das contaminações

causadas por diversas atividades faz com que o monitoramento dos compartimentos ambientais necessite de intensificação. Em grandes cidades como São Paulo, com antigo histórico de ocupação, são muitos os passivos ambientais para sanar, por isso, o investimento público, via órgão responsável é importante nesse cenário. A RMSPP conta com muitas áreas contaminadas, sendo postos de serviço e indústrias as principais causadoras dos danos. O espalhamento de substâncias nocivas já seria preocupante devido à quantidade de AC, mas o elevado número de poços regulares e irregulares na cidade faz com que o cenário se agrave ainda mais, uma vez que o bombeamento da AS pode favorecer a movimentação de contaminantes, colocando em risco pessoas que moram distantes das áreas contaminadas. Somado a esse alto risco de exposição, o baixo número de pontos de monitoramento da Cetesb faz com que as informações sobre a presença, concentração e remediação dos contaminantes, fique a cargo dos poluidores. No entanto, existe necessidade e possibilidade de ampliação dessa rede de monitoramento com base na quantidade de poços já instalados no entorno das AC. Essa ampliação poderia ser realizada nos locais onde há maior concentração de áreas contaminadas, para garantir a identificação de contaminantes e assim, a proteção das águas subterrâneas.

Como recomendações para futuros trabalhos nesse tema, indica-se:

- levantamento detalhados dos poços de monitoramento nas AC, com perfil, SQIs;
- levantamento do perfil dos poços de abastecimento nas AC e no entorno das mesmas;
- elaboração de base de dados do monitoramento de poços de abastecimento com informações geográficas, perfil construtivo e informação de operação com série histórica do monitoramento;
- realizar o mapeamento dos aquíferos exploráveis e as camadas usadas, para assim definir o número de poços de monitoramento ideal em cada situação.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAS. Águas subterrâneas: o que são. Disponível em <https://www.abas.org/aguas-subterraneas-o-que-sao/#ind11>.

ANA (Brasil). Informações hidrogeológicas. Disponível em: <http://www.ana.gov.br/gestaoRecHidricos/InfoHidrologicas/aguasSubterr/mapaProvHidr.htm>. 2004.

ANA. (Brasil). 2016. Outorgas Emitidas pelas Unidades da Federação vigentes em Julho de 2016 (shp). Disponível em: <http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home?uuid=a13c9093-34bd-403f-88db-6ffbad2069e6>.

ANDREAS, M. Avaliação ambiental de terrenos com potencial de contaminação: gerenciamento de riscos em empreendimentos imobiliários. Brasília: Caixa, 2008. 164 p. (Guia CAIXA: sustentabilidade ambiental - Caderno 2).

BARBOSA, M.; BERTOLO, R; HIRATA, R. Method for environmental data management applied to megasites in the state of Sao Paulo, Brazil. Journal of Water Resource and Protection, v. 9, p. 322-338. 2017.

BARBOSA, M. B. **Sistema de informações geográficas aplicado ao gerenciamento da contaminação da antiga ZUPI 131, Jurubatuba, São Paulo**. Mestrado em Hidrogeologia e Meio Ambiente—São Paulo: Universidade de São Paulo, 31 jul. 2015.

BERTOLO, R; HIRATA, R; FERNANDES, A. Hidrogeoquímica das águas minerais envasadas do Brasil. Revista Brasileira de Geociências, v. 37, p. 515-529. 2007.

CBH-AT- Comitê da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê. Áreas de restrição e controle para captação e uso das águas subterrâneas no município de São Paulo, na região de Jurubatuba. São Paulo.

CEPIS. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Evaluación de los servicios de la água potable e saneamiento en las Américas. Disponível em: <<http://www.cepis.ops-oms.org/eswww/eva2000/infopais.html>>.

CETESB. Águas subterrâneas – importância. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/>. Acesso em 06.01.22.

CETESB. Relação de áreas contaminadas. São Paulo: CETESB, 2018. Disponível em: <<http://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/relacao-de-areas-contaminadas/>>.

CETESB. 2020. Gerenciamento de áreas contaminadas. <https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/relacao-de-areas-contaminadas/>.

CETESB. 2021. Qualidade das Águas subterrâneas no Estado de São Paulo 2020 [recurso eletrônico]: boletim 2020/ CETESB; Equipe técnica Rosângela Pacini Modesto et al. São Paulo: CETESB, 2021.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. 2008. Resolução no. 396. Disponível em <http://pnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLU%C3%87%C3%83O%20CONAMA%20n%C2%BA%20396.pdf>. Acesso em 05.01.22.

CPRM. 2017. Outorga de água subterrânea.

CPRM. 2018. SIAGAS: Sistema de Informações de Águas Subterrâneas. <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/>. Acesso em 06.01.22.

ESCUADERO, F. Licenciamento de atividades industriais na cidade de São Paulo. Disponível em: <https://www.migalhas.com.br/depeso/266246/licenciamento-de-atividades-industriais-na-cidade-de-sao-paulo>.

FERNANDES, A. J. et al. Ação programada de desenvolvimento e proteção de águas subterrâneas no Estado de São Paulo. p. 39, 2017.

FILHO, H. RODRIGUES P. **As normas técnicas obrigatórias para a construção de poços de água** [qualidadeonline's Blog](http://qualidadeonline.wordpress.com/2014/12/11/as-normas-tecnicas-obrigatorias-para-a-construcao-de-pocos-de-agua/), 11 dez. 2014. Disponível em: <<https://qualidadeonline.wordpress.com/2014/12/11/as-normas-tecnicas-obrigatorias-para-a-construcao-de-pocos-de-agua/>>. Acesso em: 31 jan. 2022

FIRPO, M. Jurubatuba é considerada a área com o maior passivo ambiental da cidade de São Paulo. Mais conflitos. Disponível em: <http://mapadeconflitos.ensp.fiocruz.br/conflito/sp-jurubatuba-e-considerada-a-area-com-o-maior-passivo-ambiental-da-cidade-de-sao-paulo/#fontes>.

FORMENTINI, J. Definição de perímetro de proteção de poços para o setor industrial a partir de modelagem numérica do aquífero Coxilha das Lombas, em Viamão, RS. Universidade Federal de Santa Maria Centro de Tecnologia Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. p. 57, 2018.

HIRATA, R.; ZOBBI, J; FERNANDES, A; BERTOLO, R. Hidrogeología del Brasil: Una breve crónica de las potencialidades, problemática y perspectivas. Boletín Geológico y Minero, Madrid, v. 217, n.1, p. 25-36. 2006.

HIRATA, R. et al. As águas subterrâneas e sua importância ambiental e socioeconômica para o Brasil. p. 66, 2019.

IAHS. Intl. Association of Hydrological Sciences, Developments in the analysis of groundwater flow systems, by Engelen, G. B. And Jones, G. P. Pub. 163, 201 p. (1986).

IPT. A Produção imobiliária e a reabilitação de áreas contaminadas [livro eletrônico]: contratação de serviços, responsabilidades legais e viabilidade de empreendimentos / [organização Eduardo Della Manna, Marcela Maciel de Araújo, Rivaldo França de Mello Junior]. -- São Paulo: IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo: SECOVI-SP, 2018. 122 p. ISBN 978-85-09-00194-0.

JOHNSTON, R. J. Sources of water supplying pumpage from regional aquifer systems of United States. Hydrogeology Journal, vol. 5 no 2, pp. 54-63. 1997.

L'APICCIRELLA, E.; BERTOLO, R.; HIRATA, R.; SIMONATO, M. D.; CARVALHO, A.M.; CAMPOS, J. E.; ROCHA, G.; SURITA C.; CONICELLI, B.P.; PILLON, A.M.; ABREU, M.C.; WENDLAND, E. Metodologia para a definição de área de restrição e controle de uso de água subterrânea do entorno do canal Jurubatuba. I Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo. São Paulo, 2009. ISBN 978-85-62484-02-5.

LOURENCETTI, J.; PRATES, M. M.; DE OLIVEIRA, J. N. Estimativa da Exploração Subterrânea Em São José Do Rio Preto. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013. p. 8.

MESTRINHO, S.S.P. Fundamentos da classificação da qualidade das águas subterrâneas. XVII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVIII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços. 2012 Bonito, MS.

MONÇÃO, A.G.M.; VELOSO, R.A. A importância das águas subterrâneas para a gestão integrada dos recursos hídricos: captação, controle e monitoramento na bacia do rio Verde Grande. **Águas Subterrâneas**, v. 35, n. 1, 18 abr. 2021.

NEVES, M. A. et al. Hidrogeoquímica do Sistema Aquífero Cristalino no sul do estado do Espírito Santo – Brasil. **Geologia USP. Série Científica**, v. 21, n. 4, p. 31–47, 13 dez. 2021.

ORGANIZAÇÃO DOS ESTADOS AMERICANOS (OEA) - AQUÍFERO GUARANI: PROGRAMA ESTRATÉGICO DE AÇÃO (2009): http://www.ana.gov.br/bibliotecavirtual/arquivos/20100223172711_PEA_GUARANI_Port_Esp.pdf

OLIVEIRA, M.B. Área Industrial na Região Central de Jacareí – Sp: Considerações Sobre a Mudança de Uso do Solo. Trabalho de conclusão de curso. Centro Pós-graduação Oswaldo Cruz. 12p. 2013.

RAJU, N. J., PATEL, P., REDDY, B. C. S. R., SURESH, U., REDDY, T. V. K. Identifying source and evaluation of hydrogeochemical processes in the hard rock aquifer system: geostatistical analysis and geochemical modeling techniques. *Environmental Earth Sciences*, 75, 1157. 2016. <https://doi.org/10.1007/s12665-016-5979-5>.

RODRIGUES, G. M. A. **Atividade de armazenamento e distribuição de combustível nos centros urbanos: os postos de combustíveis e a saúde pública**. Mestrado em Ambiente, Saúde e Sustentabilidade—São Paulo: Universidade de São Paulo, 28 jul. 2015.

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

SÃO PAULO. Lei Nº 5.597, de 6 de fevereiro de 1987.

SÃO PAULO. 2015. PROJETO DE LEI Nº 272/15. https://www.saopaulo.sp.leg.br/wp-content/uploads/dce/zoneamento/redacaofinal/Parecer_CPUMMA_Redacao_Final_PL_272-15_e_Anexo_Emendas_Mapas.pdf

SCHREINER-MCGRAW, A. P.; AJAMI, H. Delayed response of groundwater to multi-year meteorological droughts in the absence of anthropogenic management. **Journal of Hydrology**, v. 603, p. 126917, 1 dez. 2021.

SIAGAS. Disponível em: <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/apresentacao.php>. Acesso em 06.01.22.

SILVA, R. C. A.; ARAUJO, T. M. Qualidade da água do manancial subterrâneo em áreas urbanas de Feira de Santana (BA). Ciênc. saúde coletiva, Rio de Janeiro, v. 8, n. 4, p.1019-1028, 2003. ISSN 1413-8123. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-81232003000400023&lng=en&nrm=iso>.

VARNIER, C; HIRATA, R; ARAVENA, R. Examining nitrogen dynamics in the unsaturated zone under an inactive cesspit using chemical tracers and environmental isotopes. Applied Geochemistry, v. 78, p. 129-138. 2017.