

POSTOS DE COMBUSTÍVEIS NA GERAÇÃO DE ÁREAS CONTAMINADAS EM ZONAS URBANAS E SEUS IMPACTOS NA SUSTENTABILIDADE

Data de aceite: 02/05/2024

Wagner França Aquino

Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP)
Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba (ICTS), Câmpus de Sorocaba
Sorocaba/SP

Simone Aquino

Faculdade Método de São Paulo (FAMESP)
Laboratório de Microbiologia Clínica, de Alimentos e Ambiental
Câmpus de São Paulo
São Paulo/SP

RESUMO: O comércio varejista de combustível é essencial para o desenvolvimento das atividades econômicas em diversos segmentos da sociedade. Em contrapartida, essas atividades são as de maior frequência na geração de áreas contaminadas, conforme o cadastro da Companhia Ambiental do estado de São Paulo (CETESB), devido aos vazamentos nos sistemas de tanques subterrâneos e linhas de abastecimento e às práticas inadequadas de descarte irregular nas

redes subterrâneas dos resíduos gerados e efluentes, com agravante de estarem instaladas em zonas urbanas com grande densidade demográfica e diferentes ocupações e serviços na circunvizinhança. Em função da proximidade dessas fontes de contaminação com moradores do entorno é fundamental o repasse de conhecimento pelos órgãos ambientais de fiscalização e controle aos interessados sobre os primeiros sinais de possíveis vazamentos ou contaminações para minimização dos possíveis danos materiais ou ao meio ambiente. Na ocorrência deste tipo de impacto ambiental, são estabelecidos riscos à saúde da população residente pela presença de compostos contaminantes de alta toxicidade e periculosidade, bem como grandes transtornos às outras atividades próximas pelas ações necessárias de intervenção para saneamento da contaminação subterrânea, o que afeta o equilíbrio, o bem estar social e a sustentabilidade da área impactada e que pode até demandar a interdição total do local impactado conforme a gravidade do quadro verificado.

PALAVRAS-CHAVE: poluição ambiental, solo e água subterrânea, tomadas de decisão.

INTRODUÇÃO

Dentre as atividades potencialmente contaminadoras do ambiente subterrâneo nas grandes regiões metropolitanas, ganham destaque o gerenciamento e a deposição inadequada de resíduos sólidos, sejam estes domésticos ou industriais, e de efluentes líquidos, além da poluição proveniente de infiltrações ou vazamentos subterrâneos de instalações de armazenamento ou transporte de produtos.

Segundo a *World Health Organization* (2007), é de grande preocupação a tendência de crescimento dos impactos ambientais relacionados ao resíduos sólidos urbanos, isto porque, ao longo das últimas décadas, a falta de um plano de gerenciamento e a destinação inadequada de resíduos domésticos, industriais e dos serviços de saúde propiciaram o emprego de ações nocivas e danosas à saúde da população e ao meio ambiente, confirmado por Kist, *et al.* (2018), por exemplo, ao constatarem que os resíduos de origem domiciliar ainda são depositados, em mais da metade dos municípios brasileiros, em vazadouros a céu aberto, os chamados lixões.

Mesmo com o aumento na destinação para os aterros sanitários, que utilizam tecnologia específica para minimizar os impactos ambientais ou riscos à saúde humana, se esses foram mal operados ou mal controlados podem também comprometer a qualidade do solo, da água e do ar, por serem fontes de compostos orgânicos voláteis, pesticidas, solventes e metais pesados, entre outros (GIUSTI, 2009).

Adicionalmente a essa situação, há o passivo ambiental estabelecido nas localidades urbanas após a desativação ou abandono de algumas plantas industriais e que, além dos riscos à população do entorno, demandam elevados recursos a serem despendidos na sua remediação (SALINAS, 2015). Dessa maneira, as indústrias desativadas, independentemente de seus motivos, se constituem em fontes importantes de contaminação do solo e das águas subterrâneas nessas regiões, uma vez que o controle ambiental e o monitoramento sistemático nessas instalações são de difícil execução após o encerramento das atividades produtivas e fechamento.

Também não se pode deixar de ressaltar os efeitos ambientais negativos que outras duas fontes de contaminantes ao ambiente subterrâneo podem proporcionar e que, predominantemente, estão instaladas em áreas urbanas, que são os vazamentos em tanques e em instalações de postos de combustíveis (LIMA *et al.* 2017) e a infiltração de necrochorume no solo por cavas de cemitérios pela decomposição de corpos e de materiais enterrados (SILVA, 2018).

Deve ser ressaltado, nesse quadro, que os passivos ambientais ocasionados por diferentes fontes e formas de contaminação subterrânea geraram as denominadas Áreas Contaminadas, em sua grande maioria localizadas nas zonas urbanas, as quais atingiram 6.665 casos no estado de São Paulo desde o início dos registros a partir dos anos 2000 (CETESB, 2020). O reconhecimento dessas áreas e sua contabilização é resultado do

projeto de cooperação técnica entre a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) e a agência governamental alemã *Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit* (GTZ), cujo objetivo, a partir da década de 1990, foi a identificação, cadastramento e priorização de áreas contaminadas na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) e também o desenvolvimento de metodologias e mecanismos de gerenciamento ambiental dos locais impactados.

Com cerca de 8.300 estabelecimentos no estado de São Paulo, os postos de combustíveis são àqueles de maior frequência de casos de contaminação conforme o cadastro da CETESB (2020), com 4.523 registros, o que significa que mais de 54 % destes estabelecimentos apresentaram problemas em suas instalações e impactaram o ambiente subterrâneo no decorrer dos anos.

Em relação ao total de áreas contaminadas cadastradas nas duas últimas décadas (6.665 casos), esse número apresentado pelos postos de abastecimento equivale a 68 % dos casos registrados de contaminação (CETESB, 2020), muito maior por exemplo que os eventos de indústrias com 1.294 ocorrências (19 %), com agravante que grande parte dos vazamentos de combustíveis ocorre em localidades urbanas densamente ocupadas pela população ou por outras atividades.

Quanto aos impactos, a contaminação por postos de abastecimento se constitui numa questão de saúde pública, com efeitos nocivos agravados pela existência de contaminantes de alta toxicidade e da presença muito próxima de moradores no entorno e usuários desses estabelecimentos nas regiões urbanas, o que, conseqüentemente, demanda estudos detalhados para investigação dos riscos os quais estão submetidos, além da avaliação da degradação da qualidade dos solos e da água subterrânea.

Diante desta situação, é fundamental aplicação de uma gestão ambiental efetiva pelos órgãos de fiscalização e controle com repasse de informações, conhecimentos e esclarecimentos aos moradores ou usuários próximos dos locais afetados pela contaminação por combustíveis sobre os melhores procedimentos a serem adotados da ocorrência desse tipo de evento e em função dos riscos associados, tanto para a segurança e saúde da população, como para o meio ambiente como um todo.

Além disso, Côrtes *et al.* (2011), reportam que a ausência de planejamento na gestão de casos de contaminação pode trazer conseqüências não apenas para o ambiente subterrâneo impactado, mas também para continuidade dos negócios do empreendimento, sendo de grande importância a identificação, avaliação e gerenciamento de passivos ambientais, o que reflete a necessidade de ações de preservação ambiental e o desenvolvimento de políticas públicas e o aprimoramento das demandas legais.

PROCEDIMENTOS DO GERENCIAMENTO DE ÁREAS CONTAMINADAS

A ação humana como atividade modificadora do meio ambiente, através de diversas atividades tais como obras civis, atividade agrícola ou de mineração, além de outras formas de uso e ocupação do solo, tem produzido processos de alteração das propriedades ou características físicas, químicas ou biológicas de determinados ambientes, interferindo ou impactando os mesmos, dando origem às áreas degradadas (SÁNCHEZ, 2004).

De modo geral, a Resolução CONAMA nº 001 (BRASIL, 1986) define área degradada como aquela que sofre qualquer alteração das propriedades físicas, químicas ou biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas, que direta ou indiretamente afetem:

- I. a saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- II. as atividades sociais e econômicas;
- III. as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;
- IV. a qualidade dos recursos ambientais.

De maneira conceitual, é importante estabelecer distinções entre os termos poluição e contaminação, mesmo que muitas vezes sejam usados como sinônimos. Apesar de ser sutil a diferença, poluição se refere aos impactos adversos a um determinado meio de maneira mais genérica, água, ar ou solo, e é definido como a degradação deste meio por difusão de um agente material provocado pela atividade humana, tornando-o insalubre, perigoso ou inadequado às condições de vida.

Quanto ao termo contaminação, este possui um conceito mais específico e é definido pela Resolução CONAMA 420/2009 (BRASIL, 2009) como a presença de substâncias químicas no ar, água ou solo, decorrentes de atividades antrópicas em concentrações que restrinjam a utilização desse recurso ambiental para usos atual e futuro com base em risco à saúde humana e outros bens a proteger (por exemplo fauna e flora).

Em relação aos processos de degradação, Bitar (1997) aponta que o surgimento de Áreas Degradadas ocorre quando há perda de adaptação às características físicas, químicas e biológicas (conceito mais amplo) e é inviabilizado o desenvolvimento socioeconômico.

Deste modo, são bem abrangentes os diversos tipos de fontes de degradação que afetam a qualidade ambiental de um determinado meio, cujos impactos, por exemplo, podem resultar em poluição do solo, da água e do ar, compactação do solo, modificações da paisagem, desmatamento, redução da biodiversidade, redução da disponibilidade de recursos naturais e minerais, contaminação por disposição inadequada de resíduos, entre outros.

Segundo Sánchez (2004), os locais impactados, ou degradados, a partir da ação antrópica e presença comprovada de substâncias químicas poluentes alterando a qualidade dos solos e/ou das águas subterrâneas são conceitualmente denominados de Áreas Contaminadas (Figura 1). Portanto, conforme este autor, uma área contaminada pode ser considerada um caso particular de uma área degradada, onde ocorrem alterações principalmente das propriedades químicas, ou seja, provocadas por contaminação.

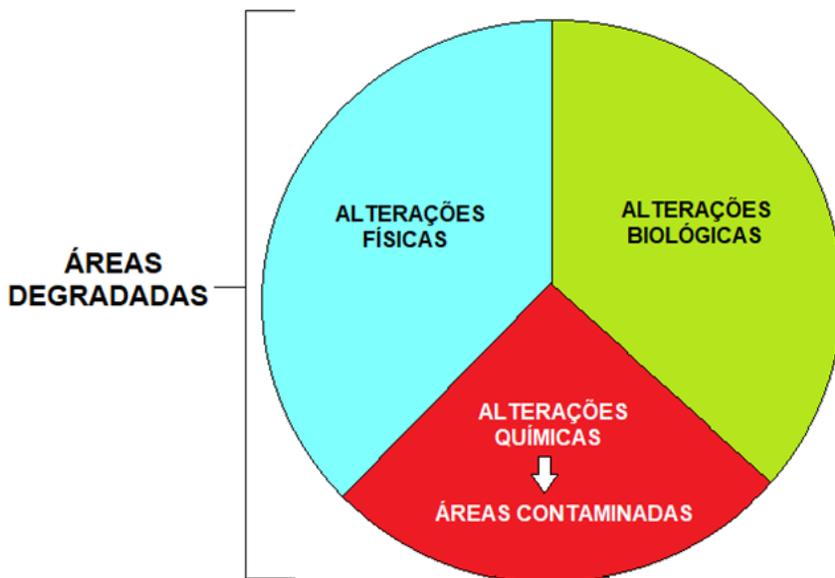


Figura 1. Tipos de alterações antrópicas geradoras de Áreas Degradadas.

Fonte: adaptado de Sanchez, 2004.

Portanto, simplificando esses conceitos para melhor compreensão, pode-se afirmar que as áreas degradadas podem ocorrer em duas formas principais: as áreas degradadas (ADs) predominantemente por processos físicos e as áreas degradadas predominantemente por processos químicos, ou áreas contaminadas (ACs), destacando-se que em determinadas áreas os dois processos podem ocorrer simultaneamente (CETESB, 2001).

Tomando-se como referência as zonas urbanas, onde é grande e constante a necessidade de reuso do solo para diferentes fins em função da falta de espaço, é de suma importância a identificação prévia dos locais com atividades potenciais à geração de contaminações subterrâneas, isto porque, segundo a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2020), os passivos ambientais ocasionados pelas áreas contaminadas geraram inúmeros registros no decorrer das últimas duas décadas, como apontado anteriormente.

Na Figura 2 a seguir, é possível observar a correspondência direta entre a localização geográfica das áreas contaminadas cadastradas pela CETESB (2020) e os limites do município de São Paulo (SP), o que indica a grande frequência de ocorrências de contaminação na área urbana metropolitana e onde, portanto, a ocupação populacional é muito intensa.

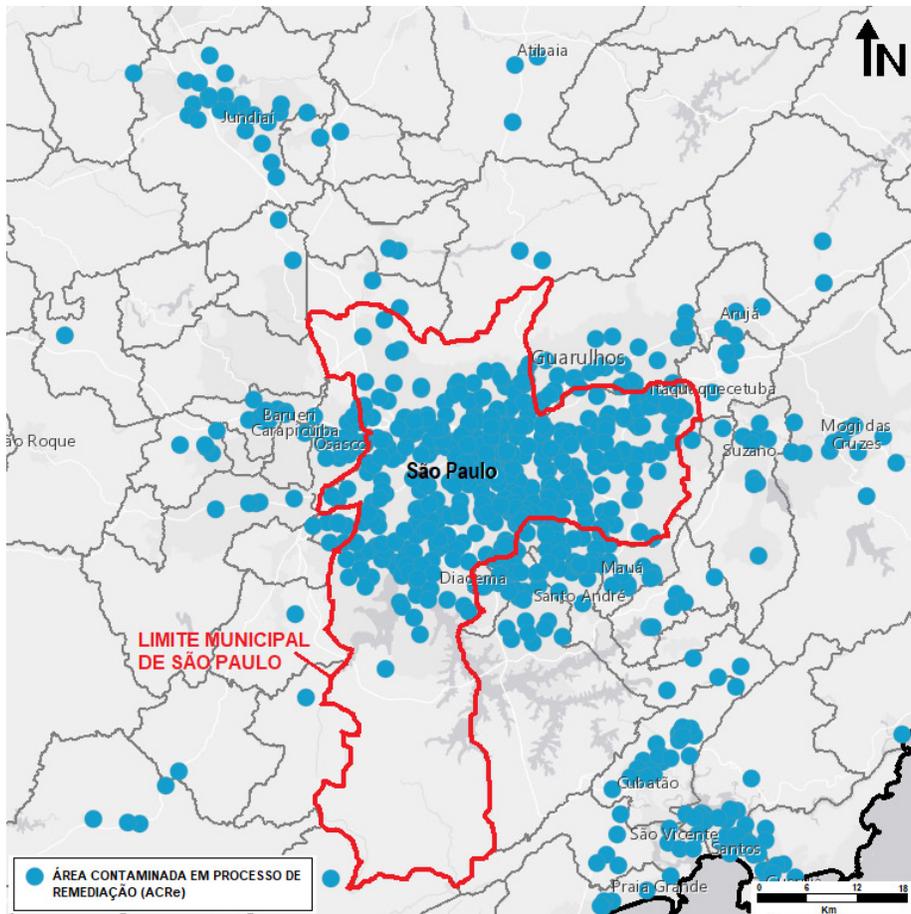


Figura 2. Limite municipal de São Paulo e localização das áreas contaminadas.

Fonte: modificado de CETESB, 2020.

A presença de contaminação em solos e na água subterrânea nas localidades urbanas pode gerar o acúmulo de gases em residências, garagens e porões por substâncias voláteis originadas, por exemplo, de vazamentos de combustíveis ocorridos em postos de serviço ou pela produção de gases, como o metano, em áreas de disposição ou de descarte de resíduos domésticos (SANCHEZ, 2004).

Nesses casos, conforme afirma esse autor, os principais problemas ocasionados pela presença de áreas contaminadas em zonas urbanas são os riscos à segurança das pessoas e das propriedades pela possibilidade de explosões e incêndios, riscos à saúde pública pelo aumento da incidência de doenças em pessoas expostas às substâncias químicas presentes nos solos e em águas subterrâneas coletadas em poços, pelo contato dermal e ingestão de solos contaminados por crianças ou trabalhadores e aos impactos aos ecossistemas ocasionados por processos que se manifestam, em sua maioria, a longo prazo.

Além disso, a existência de áreas contaminadas pode implicar em restrições ao desenvolvimento urbano e redução do valor imobiliário das propriedades pela limitação dos usos possíveis do solo onde a atividade que impactou o ambiente está instalada, bem como em necessidade de prevenir a ocupação de áreas industriais desativadas ou abandonadas contaminadas de maneira clandestina antes de sua completa remediação.

Quanto aos aspectos legais, a Lei Estadual de São Paulo nº 13.577 de 2009 (SÃO PAULO, 2009) define área contaminada como sendo “*área, terreno, local, instalação, edificação ou benfeitoria que contenha quantidades ou concentrações de matéria em condições que causem ou possam causar danos à saúde humana, ao meio ambiente ou a outro bem a proteger*”.

Esta lei determina os procedimentos do Gerenciamento de Áreas Contaminadas (GAC) e trata da proteção do solo contra alterações nocivas por contaminação, da definição de responsabilidades, da identificação e do cadastramento de áreas contaminadas e da remediação dessas áreas de forma a tornar seguros seus usos atual e futuro, envolvendo, portanto, ações dos órgãos públicos de fiscalização e controle, do responsável legal pelo local impactado e das empresas executantes pelos trabalhos de diagnóstico e remediação.

Deste modo, conforme o Gerenciamento de Áreas Contaminadas estabelecido na referida lei, antes de uma área ser confirmada como contaminada (AC) através de análises químicas de solo ou água subterrânea, esta pode ter sido inicialmente classificada como área potencialmente contaminadora (AP), que é inerente à atividade desenvolvida no local, ou mesmo suspeita de contaminação (AS), caso haja indícios visíveis ou notificações sobre eventos poluidores, o que requer diferentes etapas de avaliação.

Inicialmente, segundo Gloeden (1999), uma atividade antrópica potencialmente contaminadora é aquela onde ocorre a produção, manipulação ou armazenamento de materiais nocivos que podem afetar de maneira prejudicial os bens a proteger, por exemplo saúde humana, solo e recursos hídricos subterrâneos, no caso destes terem contato com as substâncias contaminantes subterrâneas.

Quanto à avaliação preliminar, esta tem como objetivo principal constatar evidências, indícios ou fatos, como por exemplo ocorrência de vazamentos, que permitam suspeitar da existência de contaminação numa área para defini-la como suspeita de contaminação (AS) por meio do levantamento de informações disponíveis sobre o seu uso (CROZERA, 2001).

De acordo ao definido pela CETESB (2001), a etapa de avaliação preliminar consiste, basicamente, da elaboração de um diagnóstico prévio das áreas potencialmente contaminadoras, por meio da realização de um levantamento de informações existentes, obtidas pela consulta às documentações e/ou pela execução de inspeções de reconhecimento em cada área de interesse, cujos dados obtidos são registrados numa ficha cadastral. Portanto, quando a área em questão for classificada como uma suspeita de contaminação (AS), os dados registrados serão a base para o planejamento de futura investigação confirmatória e definição dos pontos de coleta de amostras, desencadeando outras etapas previstas do Gerenciamento de Áreas Contaminadas (GLOEDEN, 1999).

Do ponto de vista legal, um determinado local é classificado como uma Área Contaminada (AC) quando comprovada a presença de contaminantes no ambiente por análises químicas do solo e/ou da água subterrânea e cujos resultados estejam acima das concentrações dos padrões ambientais (valores orientadores de referência) estabelecidos para diferentes elementos ou substâncias (CETESB, 2001).

Neste contexto, o local ou instalação onde foi gerada a poluição do ambiente é a fonte de contaminação, destacando-se como atividades potenciais, apontadas anteriormente, as indústrias que armazenam e manipulam produtos químicos e geram efluentes e resíduos sólidos; as áreas de estocagem, tratamento e descarte de resíduos domésticos ou industriais; as mineradoras; as áreas agrícolas; os locais de aplicação de efluentes e resíduos nos solos, os postos de combustível e os cemitérios.

A partir da constatação de concentrações no solo acima do Valor de Intervenção (VI), definido na Resolução CONAMA 420/2009 como o limite de concentração de certa substância que ao ser ultrapassado implica em riscos potenciais à saúde humana numa situação genérica, obrigatoriamente, são implementados os procedimentos do Gerenciamento de Áreas Contaminadas (GAC) que, por definição, é o conjunto de medidas tomadas com o intuito de minimizar o risco à população e ao meio ambiente proveniente da existência subterrânea de contaminantes e que devem proporcionar os instrumentos necessários à tomada de decisão quanto às formas de intervenção mais adequadas (BRASIL, 2009).

Porém, em alguns casos mais críticos, são deflagradas algumas ações de controle imediato para conter eventuais riscos emergenciais e que, por exemplo, podem ser a remoção da fonte de contaminação, a interrupção de consumo de água subterrânea contaminada, a proibição de escavações e acesso à área, a ventilação e/ou exaustão de determinado local para reduzir a possibilidade de intoxicação aguda da população afetada ou mesmo de explosão em ambientes confinados, entre outros.

Posteriormente a estas ações emergenciais, são desenvolvidas três etapas principais de atividades do GAC para diagnóstico da situação e recuperação ambiental do local e que são executadas na seguinte sequência (GLOEDEN, 1999):

1. Investigação detalhada;
2. Avaliação de risco específica;
3. Medidas de intervenção (médio prazo) e de remediação (longo prazo).

Antes da implementação das ações de intervenção e remediação, é necessária a execução de investigações detalhadas no local impactado para determinação das dimensões da área afetada, dos tipos dos contaminantes presentes e de suas concentrações, além do mapeamento da extensão da contaminação da água subterrânea (pluma), visando obter dados suficientes para a realização da avaliação de risco e do plano de recuperação.

Assim, para elaboração do diagnóstico do passivo ambiental, são empregados métodos diretos e métodos indiretos de investigação para avaliação dos impactos causados ao ambiente subterrâneo pela presença de contaminantes. Nos métodos diretos, a aquisição de informações sobre o meio ou extensão da contaminação é realizada através da coleta e análise de amostras de solo e águas subterrâneas, utilizando-se diferentes técnicas de perfuração do terreno (sondagens). Em contrapartida, nos métodos indiretos, são realizadas medições de certas propriedades químicas ou físicas do meio e que podem indicar as características da área e a presença de contaminantes subterrâneos sem a realização de coleta de amostras para análise, como exemplo os métodos geofísicos (AQUINO, 2022).

Em relação à avaliação específica de risco crônico (e não emergencial) numa situação de contaminação do solo, é importante destacar que devem coexistir três componentes principais (simultaneidade) para eventual adoção de ações para remediação da área afetada (Figura 3):

- Substância química contaminante acima de determinada concentração;
- Presença de receptores (moradores, usuários ou trabalhadores) no local impactado;
- Existência de vias de exposição à contaminação (inalação, ingestão, contato dérmico por exemplo).



Figura 3. Componentes do risco em contaminação do solo.

Fonte: CETESB (2020a).

Desta forma, se qualquer um desses componentes anteriores não estiver presente num determinado evento de contaminação subterrânea, não haverá risco. Portanto, em algumas ocorrências, as medidas de intervenção podem eliminar um desses componentes e controlar uma eventual situação passível de risco.

Em muitos casos, entretanto, apenas tais ações não são possíveis em função dos resultados obtidos pelo diagnóstico ambiental e do risco comprovado, exigindo a aplicação de uma ou mais técnicas de recuperação, apropriadas e legalmente permissíveis

Em função dos resultados da investigação detalhada da área impactada e da avaliação de risco aos receptores existentes nas proximidades é que será definido o plano de recuperação e onde estarão descritas, de forma pormenorizada, as tecnologias de tratamento dos solos contaminados a serem aplicadas no saneamento do local e que dependerão basicamente das características geológicas e hidrogeológicas encontradas, do tipo e do comportamento do contaminante presente e das metas de redução de suas concentrações para que não haja riscos.

Deste modo, as medidas a serem adotadas terão por objetivo reduzir a contaminação subterrânea para níveis de concentração aceitáveis, cujas ações e tecnologias no saneamento de Áreas Contaminadas são denominadas de remediação, mais especificamente, e têm por objetivo eliminar, neutralizar ou transformar contaminantes presentes no solo ou na água subterrânea (GÜNTHER, 2006).

IMPACTOS DOS POSTOS DE COMBUSTÍVEIS EM ÁREAS URBANAS

Formas de ocorrências e ações necessárias

Como fontes principais de contaminação subterrânea nas áreas urbanas dos municípios podem ser citados os postos de abastecimento de combustível devido ao grande número existente desses tipos de estabelecimentos no estado de São Paulo e dos inúmeros registros computados pela CETESB (2020), como já mencionado.

Os vazamentos de hidrocarbonetos líquidos, seja a partir de tanques de armazenamento subterrâneos, de linhas de abastecimento ou bombas, trazem como consequência a contaminação do solo e das águas subterrâneas, e podem provocar tanto riscos à saúde humana, como a possibilidade, em casos mais extremos, de ocorrências de incêndios e explosões.

Segundo Gouveia (2004), quando da ocorrência e constatação de perda de produto num compartimento de armazenamento subterrâneo, é necessário que se adotem medidas de controle sistemático de possíveis vazamentos, além de ações imediatas, caso necessárias, para reduções dos riscos emergenciais e implementação de atividades subsequentes para diagnóstico de um passivo ambiental existente objetivando a remediação futura da área contaminada.

Destaca-se aqui que a adoção de ações emergenciais nesses casos é de fundamental importância, pois, frequentemente, a constatação do problema se dá por afloramento de combustível em pontos distantes da fonte primária de contaminação, muitas vezes abrangendo áreas extensas decorrente das características de migração do hidrocarboneto em subsuperfície ou pela presença de caminhos preferenciais de escoamento subterrâneo, principalmente em zonas urbanas e onde se constata inúmeras galerias de utilidades existentes.

Portanto, nos procedimentos do Gerenciamento de Áreas Contaminadas, é obrigatória a identificação e cadastramento dos postos de combustíveis como áreas potenciais pelo órgão responsável pelo licenciamento ambiental, principalmente levando-se em conta que a maioria desse tipo de estabelecimento está instalada em áreas urbanas densamente ocupadas por moradores ou por outras atividades. Neste caso, é fundamental a execução de inspeções para avaliação preliminar pelos técnicos de controle ambiental para coletas de informações in situ, diagnóstico das condições de integridade dessas fontes potenciais de contaminação com objetivo de fornecerem subsídios às ações preventivas dos impactos ao meio físico ou para minimizar seus efeitos à população afetada no caso de ocorrências.

Muitas vezes, numa avaliação preliminar de um posto de combustível, já se torna possível observar evidências que levem a se suspeitar da presença de contaminação na área e de sua localização mais provável, por exemplo: as condições das instalações do posto (bombas, tanques aéreos, filtros, etc), presença de fissuras ou rachaduras no piso onde são manejadas as substâncias com potencial de contaminação ou são armazenadas embalagens descartadas ou outros resíduos; a existência de coloração ou manchas no pavimento ou mesmo a presença física de contaminantes sobre a superfície (CROZERA, 2001), além de outras informações que podem apontar esta suspeição, como por exemplo altos índices de explosividade em ambientes confinados e que demandam equipamentos específicos para este tipo de medição.

A interpretação dos dados coletados nesta fase preliminar também permite elaborar um modelo conceitual (Ex. Figura 4) sobre a possível contaminação subterrânea e onde as evidências, em determinadas circunstâncias, poderão indicar a necessidade de adoção imediata de medidas emergenciais, para a proteção da saúde da população ou outros bens a proteger, e identificar, basicamente, a fonte primária de contaminação e os mecanismos de liberação, as fontes secundárias e os mecanismos de transporte, os caminhos e pontos de exposição à contaminação, as vias de ingresso e os receptores dentro e fora do local (GLOEDEN, 1999).

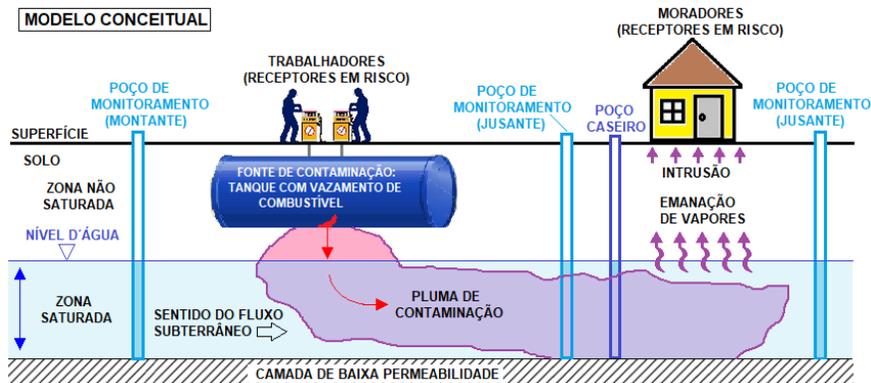


Figura 4. Exemplo de modelo conceitual de vazamento em posto de combustível.

Fonte: elaborado pelo autor.

Deste modo, a partir das informações coletadas na inspeção ao local, poderão ser propostas medidas corretivas e/ou preventivas para melhorar a forma de operação e manejo das substâncias na área do posto de combustível, visando evitar novas infiltrações, vazamentos, disposições inadequadas, entre outros.

Outro motivo de grande preocupação se refere à forma como os eventos se manifestam nos postos de abastecimento, pois, na grande maioria dos casos, tanto as contaminações superficiais provocadas por constantes lavagens do piso impregnado com produto e sucessivos derrames junto às bombas e bocais de enchimento dos reservatórios, como os vazamentos em tanques e tubulações subterrâneas somente são percebidos após o afloramento do produto em galerias de esgoto, redes de drenagem de águas pluviais, no subsolo de edifícios, em túneis, escavações e poços de abastecimento d'água, razão pela qual as ações emergenciais para atendimento a estas situações demandam o envolvimento de diversos órgãos públicos, além das empresas privadas envolvidas (GOUVEIA, 2004).

Portanto, considerando os fatos anteriormente expostos, constata-se o grande potencial de impacto que os vazamentos em Sistemas de Armazenamento Subterrâneo de Combustíveis (SASCs) e os derrames oriundos dos postos de combustíveis podem causar à qualidade do solo e água subterrânea e os riscos gerados ao ambiente urbano pelo alto índice de explosividade dos combustíveis, cuja consequência são graves transtornos à segurança e saúde dos residentes próximos, usuários e trabalhadores desses estabelecimentos, além de prejuízos financeiros às instituições públicas que atendem estas ocorrências para intervenções emergenciais ou decorrente dos trabalhos de saneamento das áreas por ventura impactadas.

Mesmo que a população residente próxima aos postos com vazamentos de combustíveis ou aqueles que exerçam atividades na área sejam os mais afetados, considerados como receptores de risco portanto, é fundamental que esses tomem

conhecimento sobre os procedimentos de identificação de indícios perceptíveis de ocorrência de contaminação subterrânea, com intuito de serem adotadas práticas para eliminação dos riscos emergenciais relacionados ao confinamento dos compostos voláteis em ambientes fechados e para prevenção dos riscos à saúde humana pela exposição aos contaminantes existentes (GOUVEIA, 2004).

Nas residências adjacentes aos postos de abastecimento, é importante a coleta de informações relativas à existência de odor característico de combustível ou presença física de produto em garagens subterrâneas ou poços de rebaixamento, como também em ralos e sifões das residências ou edifícios, além de odor, gosto, oleosidade ou constatação visual de hidrocarboneto sobrenadante (iridescência) na água de poços cacimbas.

É necessário destacar aqui que, caso se confirmem essas constatações, os residentes, que é o público alvo, devem ficar informados da necessidade de comunicação aos órgãos de controle para a adoção de medidas emergenciais e corretivas, visando minimizar os impactos ou seu agravamento, e, ao mesmo tempo, estarem cientes de manter os locais ventilados, vedar ralos, pias e outros locais de emanção dos odores, evitar o acionamento ou mesmo a aproximação de qualquer fonte que possa gerar calor ou faíscas, além da interrupção de eventual uso ou consumo de água subterrânea contaminada ou mesmo, em casos mais extremos, da possibilidade de interdição da área.

Consequentemente, se constatada pelos técnicos especializados uma situação de perigo, deverão ser implementadas ações emergenciais que, conforme a situação encontrada, poderão ser o isolamento e proibição de acesso à área afetada, ventilação e/ou exaustão de ambientes confinados, monitoramento dos índices de explosividade e ambiental, remoção de materiais principalmente aqueles inflamáveis ou explosivos, fechamento ou interdição de poços de abastecimento, interdição de edificações, proibição de atividades de escavação e contenção do avanço das plumas de contaminação (CETESB, 2001), por meio da construção de trincheiras e/ou instalação de poços subterrâneos de bombeamento e que, consequentemente, podem afetar o trânsito de veículos ou pessoas, o funcionamento de algumas atividades, além de ocuparem espaço físico, seja no próprio posto, seja em edificações adjacentes.

Verifica-se, portanto, que todas essas medidas de intervenção, que são extremamente necessárias de acordo com o quadro de emergência constatado, acarretam uma grande interferência no cotidiano de moradores, trabalhadores, usuários e proprietários do local, sem contar os riscos à saúde dos receptores existentes como já mencionado anteriormente, além de impactos ou prejuízos a outras atividades desenvolvidas na área afetada pelo vazamento, entre essas os serviços de utilidades subterrâneas.

Comportamento, toxicidade e limites ambientais dos hidrocarbonetos

Para avaliação de uma determinada situação de vazamento e até mesmo na elaboração de um modelo conceitual sobre uma determinada situação, é fundamental o conhecimento do comportamento dos hidrocarbonetos combustíveis no solo ou na água subterrânea. Assim, quanto às características da gasolina, ou diesel, segundo Ferreira *et al.* (2004), é importante salientar que esses contaminantes se caracterizam por serem imiscíveis e menos densos que a água subterrânea (*light non aqueous phase liquid – LNAPL*) e cujos comportamentos hidrogeológicos constituem as seguintes fases quando da ocorrência de vazamentos subterrâneos (Figura 5):

- fase adsorvida: parte do combustível que fica adsorvida na matéria orgânica, tanto na zona não saturada do solo, como na zona saturada;
- fase residual: porção do hidrocarboneto que percola o solo e fica retido nos poros sob forma de glóbulos desconectados;
- fase gasosa ou fase vapor: parcela de compostos voláteis presentes na zona não saturada do solo e é originada principalmente das fases livre e adsorvida;
- fase livre: produto sobrenadante em estado puro na água subterrânea (altas concentrações), denominado também de fase líquida;
- fase dissolvida: fração dissolvida na água subterrânea e cujas concentrações são menores que a fase livre, mas, frequentemente, superiores aos limites de potabilidade, o que pode restringir o uso da água de poços para abastecimento público nos locais impactados.

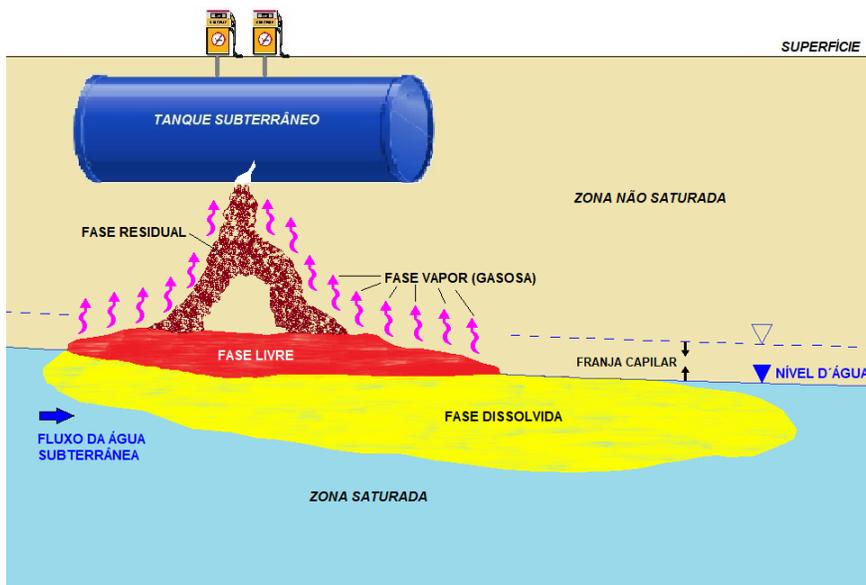


Figura 5. Distribuição das fases de combustível em vazamentos subterrâneos.

Fonte: modificado de Ferreira *et al.*, 2004.

Referente à fase gasosa e fase livre, estas constituem as principais fontes de liberação de compostos voláteis para ambientes confinados, tais como galerias, garagens subterrâneas, residências, entre outros, o que demanda suas imediatas remoções através da extração de vapores e bombeamento da água subterrânea (ações emergenciais). Na sequência, após os trabalhos de diagnóstico, análise de risco e cálculo das metas de remediação, é avaliada também a possibilidade da descontaminação da fase dissolvida, principalmente se houver o consumo de água subterrânea pelos receptores existentes ou na consideração desta ser prioritária como um bem a proteger (CETESB, 2001).

Os principais combustíveis presentes em eventos de vazamento de tanques de armazenamento ou linhas de abastecimento subterrâneas em postos de serviço são o diesel e gasolina, cujas compostos apresentam complexidade e mobilidade no ambiente subterrâneo, além da alta toxicidade ao ser humano. A exposição à gasolina ou ao diesel de maneira aguda em diversas formas de exposição (inalação, ingestão, contato dérmico), conforme Donato (2019), pode causar tontura, dor de cabeça, dificuldade respiratória, perda da consciência, irritação das vias aéreas, de pele, dos olhos ou da parede do estômago, náuseas, conjuntivite crônica e dermatites,

Quanto à composição, os principais constituintes da gasolina são os compostos monoaromáticos do grupo BTEX (Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xileno), que são tóxicos, tanto ao meio ambiente como ao ser humano, e atuam como depressores do sistema nervoso central e apresentam toxicidade crônica. Neste grupo, o Benzeno é o composto de maior toxicidade, com agravante de ser também carcinogênico, mesmo em concentrações da ordem de $\mu\text{g/L}$ (micrograma por litro). Por outro lado, Etilbenzeno e Tolueno não são considerados carcinogênicos, mas são compostos tóxicos, da mesma forma que os Xilenos (orto, meta e para-xileno) que, apesar de serem menos perigosos que os demais, podem causar doenças do fígado, rins e sistema nervoso (DONATO, 2019).

Esses compostos do grupo BTEX possuem alta solubilidade e baixa adsorção no solo, os quais implicam em grande mobilidade em subsuperfície e favorece o risco de contaminação das águas subterrâneas em grandes extensões nas suas fases dissolvidas e podem atingir poços nas imediações dos postos que apresentam contaminações. No Brasil, o Etanol é adicionado à gasolina e, por conta do seu efeito de cossolvência aumentando a solubilidade dos compostos BTEX em água, pode influenciar o transporte e a dispersão dos hidrocarbonetos proporcionando uma maior abrangência na contaminação dos aquíferos (FERREIRA *et al.*, 2004).

De acordo com Marques (2014), o diesel consiste de uma mistura complexa de hidrocarbonetos, BTEX, parafinas, cicloparafinas e olefinas, bem como possui em sua composição os Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos (HAPs) e que constituem uma família de compostos orgânicos caracterizados por possuírem dois ou mais anéis aromáticos. As toxicidades desses HAPs são fatores primordiais para avaliação de risco à saúde humana por exposição a essas substâncias e cujos efeitos estão associados a um

aumento de incidência de vários tipos de câncer, em especial pelo benzo(a)pireno, que é o composto mais estudado devido à sua potente ação carcinogênica.

Na sequência, são apresentados os níveis aceitáveis de concentração (limites ambientais) dos principais compostos da gasolina e diesel no solo conforme seu uso agrícola, residencial ou industrial, conforme determinado pela CETESB (2021).

VALORES ORIENTADORES PARA SOLO E ÁGUA SUBTERRÂNEA NO ESTADO DE SÃO PAULO - 2021							
Substância	CAS Nº	Solo (mg kg ⁻¹ peso seco)					Água Sub. (µg L ⁻¹)
		VRQ	VP	VI			
				Agrícola	Residencial	Industrial	VI
HIDROCARBONETOS AROMÁTICOS VOLÁTEIS							
Benzeno	71-43-2	-	0,002	0,02	0,08	0,2	5
Estireno	100-42-5	-	0,5	50	60	480	20
Etilbenzeno	100-41-4	-	0,03	0,2	0,6	1,4	300
Tolueno	108-88-3	-	0,9	5,6	14	80	30
Xilenos	1330-20-7	-	0,03	12	3,2	19	500
HIDROCARBONETOS POLICÍCLICOS AROMÁTICOS							
Antraceno	120-12-7	-	0,3	2300	4600	10000	900
Benzo(a)antraceno	56-55-3	-	0,2	1,6	7	22	0,4
benzo(b)fluoranteno	205-99-2	-	0,7	2	7,2	25	0,4
Benzo(k)fluoranteno	207-08-9	-	0,8	27	75	240	4,1
Benzo(g,h,i)perileno	191-24-2	-	0,5	-	-	-	-
Benzo(a)pireno	50-32-8	-	0,1	0,2	0,8	2,7	0,4
Criseno	218-01-9	-	1,6	95	600	1600	41
Dibenzo(a,h)antraceno	53-70-3	-	0,2	0,3	0,8	2,9	0,04
Fenantreno	85-01-8	-	3,6	15	40	95	140
Indeno(1,2,3-c,d)pireno	193-39-5	-	0,4	3,4	8	30	0,4
Naftaleno	91-20-3	-	0,7	1,1	1,8	5,9	60

Tabela 1. Limites de concentração dos hidrocarbonetos no solo e na água subterrânea.

Fonte: modificado de CETESB, 2021.

Merece atenção especial os valores definidos pelo Valor de Intervenção (VI) que, ao ser ultrapassado pela concentração de uma determinada substância, indica que o solo no qual este contaminante está presente não possui mais uma qualidade ambiental suficiente para manter sua multifuncionalidade, degradando e afetando sua sustentabilidade (perda de atributos). Esta constatação adversa implica em risco à saúde humana (receptores potenciais) e desencadeia a adoção dos procedimentos do Gerenciamento de Áreas Contaminadas (GAC) para diagnóstico ambiental detalhado da situação e proposição de futura remediação para atingir níveis aceitáveis em que não haja riscos.

Quanto à preocupação com a qualidade ambiental dos recursos hídricos subterrâneos, que se refere aos limites de concentração na água subterrânea da tabela anterior, os valores apresentados para os hidrocarbonetos são geralmente muito baixos (da ordem de partes por bilhão) e estão associados à potabilidade e, portanto, são bem restritivos em função da necessidade de preservação deste bem a proteger.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como foi verificado nas discussões anteriores, os postos de combustíveis se apresentam como as principais fontes de contaminação do solo e da água subterrânea nas zonas urbanas, cujas consequências são muito preocupantes pelo tipo de contaminantes causadores dos impactos, que são primordialmente gasolina e diesel, e suas formas de contaminação por meio de vazamentos subterrâneos. Neste caso, tais ocorrências provocam, não apenas transtorno aos residentes e às atividades do entorno, mas também uma situação de risco emergencial com possibilidade de incêndios e explosões pela presença de substâncias voláteis, como também de risco agudo e crônico à saúde humana em função da toxicidade e de potencial carcinogênico de alguns compostos hidrocarbonetos e pela proximidade da população em condição de vulnerabilidade perante essas fontes de contaminação. Nas últimas décadas, mesmo com desenvolvimento de protocolos de segurança e avanços técnicos nas instalações e nos métodos para monitoramento de vazamentos de combustíveis, os postos de abastecimento continuam apresentando a maior frequência de ocorrências nos registros de áreas contaminadas do órgão de controle ambiental do estado de São Paulo, cujos eventos continuam a demandar muitos recursos monetários, materiais e humanos para atendimento desde a fase imediata de intervenção e emergência até os trabalhos de remediação para saneamento do local afetado, tornando muito desafiadora a missão de redução dos casos a médio e longo prazo. Quanto a preservação da qualidade do solo e da água subterrânea como bens a proteger, observa-se que os impactos ocasionados pelos hidrocarbonetos contaminantes em subsuperfície afetam sobremaneira a sustentabilidade desses ambientes, muitas vezes afetando seus usos atuais e futuros e que podem trazer danos irreversíveis a suas multifuncionalidades, sem levar em conta a redução dos valores imobiliários das propriedades afetadas pela contaminação.

REFERÊNCIAS

AQUINO, W.F. **Método geofísico de Resistividade Capacitiva na avaliação ambiental de contaminação subterrânea por diferentes fontes**. Tese de Doutorado em Ciências Ambientais. Universidade Estadual Paulista (UNESP) - ICTS, Sorocaba, SP, Brasil. 214 p. 2022. Disponível em <http://hdl.handle.net/11449/236836>

BITAR, O.Y. **Avaliação da recuperação de áreas degradadas por mineração na Região Metropolitana de São Paulo**. Tese de Doutorado em Engenharia. Universidade de São Paulo – Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Minas. 185 p. 1997. <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3134/tde-25102001-165349/publico/Tese.PDF>.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – IBAMA. **Resolução CONAMA nº 001, de 23 de janeiro de 1986**. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/MMA/RE0001-230186.PDF>>.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009. **Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo**. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/wp-content/uploads/sites/17/2017/09/resolucao-conama-420-2009-gerenciamento-de-ac.s.pdf>>.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas**. Programa CETESB/GTZ. São Paulo. 389p. 2001. Disponível em https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5584477/mod_resource/content/1/Manual%20Cetesb%20Completo_%C3%A1reas%20contaminadas.pdf

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Relatório de áreas contaminadas e reabilitadas no estado de São Paulo. São Paulo**, 12p, 2020. Disponível em <https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/wp-content/uploads/sites/17/2021/03/TEXT0-EXPLICATIVO-2020.pdf>

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. Valores orientadores para solo e água subterrânea, 4p. 2021. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/solo/valores-orientadores-para-solo-e-agua-subterranea/>.

CROZERA, E.H. **Identificação das áreas contaminadas no município de Ribeirão Pires - São Paulo**. Tese de Doutorado em Recursos Minerais e Hidrogeologia. Universidade de São Paulo. Instituto de Geociências. 202p. 2001. DOI: 10.11606/T.44.2002.tde-11112015-144918. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44133/tde-11112015-144918/pt-br.php>.

CÔRTEZ, P.L, ALVES A. P., FILHO, RUIZ M.S., & TEIXEIRA, C.E. **Revista de Administração e Inovação**, n. 8 (v. 2). p. 132-163. 2011.

DONATO, M.A.R. Análise Preliminar de Risco em Posto de Combustível localizado em Aracaju – SE Monografia apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho São Paulo. 83 p. 2019

FERREIRA, S.M.; OLIVEIRA, E.; DUARTE, U. Comportamento da gasolina com etanol (E-20) e da gasolina pura após a simulação de um vazamento em coluna de laboratório. **Revista do Instituto de Geociências-USP**, v. 4, n. 2. P. 91-102, 2004. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/guspspc/article/view/27401/29173>>

GIUSTI L. A review of waste management practices and their impact on human health. **Waste Management**, v.29, n.8, p. 2227-2239. 2009. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.03.028>

GLOEDEN, E. **Gerenciamento de áreas Contaminadas na Bacia Hidrográfica do Reservatório Guarapiranga, São Paulo**. Doutorado em Recursos Minerais e Hidrogeologia. Universidade de São Paulo. Instituto de Geociências. 239p. 1999. DOI: 10.11606/T.44.1999.tde-12022015-152823. Disponível em <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44133/tde-12022015-152823/pt-br.php>.

GOUVEIA, J.L.N. **Atuação de equipes de atendimento emergencial em vazamentos de combustíveis em postos e sistemas retalhistas**. Dissertação de Mestrado em Saúde Pública. Universidade de São Paulo. Faculdade de Saúde Pública. 214 p. 2004. Disponível em <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/6/6134/tde-03112015-124755/es.php>

GÜNTHER, W.M.R. Áreas contaminadas no contexto da gestão urbana. **São Paulo em Perspectiva**, v. 20, n. 2, p. 105-117, 2006. Disponível em: <http://produtos.seade.gov.br/produtos/spp/v20n02/v20n02_08.pdf>. Acesso em 09 jan. 2023.

KIST L. T.; ROSA, F.R.; MORAES, J. A.R. & MACHADO, E. L. Diagnosis of hospital waste management in Vale do Rio Pardo, Rio Grande do Sul, Brazil. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade (GEAS)**, v. 7, n. 3, p. 554-569. 2018. Disponível em <https://www.redalyc.org/journal/4716/471659747012/>

LIMA, S.D., OLIVEIRA, A.F., GOLIN R., CAIXETA, D.S., LIMA, Z.M., & MORAIS, E.B. Gerenciamento de áreas contaminadas por postos de combustíveis em Cuiabá, Mato Grosso, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, v.12, n. 2, p. 299-315, 2017. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/kbh9gRmfBkkHypzXXf4FFJy/?format=pdf&lang=pt>>.

MARQUES, L.S. **Remediação de solo contaminado com óleo diesel utilizando co-produtos da produção do biodiesel**. Dissertação (Mestrado em Geoquímica: Petróleo e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, 154p 2014.

SALINAS, V. C. F. Contaminação do solo em São Paulo: O caso da operação urbana Bairros do Tamanduateí. **Revista Labverde**, v.1 (10), p. 84-102. 2015.

SÁNCHEZ, L.E. Revitalização de áreas contaminadas. In: MOERI, E.; COELHO, R.; MARKER, A. (Ed.). **Remediação e revitalização de áreas contaminadas**. São Paulo: Signus Editora, p. 79-90. 2004.

SÃO PAULO (Estado) **Lei nº 13.577, de 08 de julho de 2009** – Dispõe sobre diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento de áreas contaminadas, e dá outras providências correlatas. Disponível em www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2009/lei-13577-08.07.2009.html.

SILVA, F.C. **Avaliação de metais potencialmente tóxicos em zona não saturada da necrópole de Nossa Senhora Aparecida, Piedade, SP**. Tese de doutorado. Universidade Estadual Paulista, Instituto de Ciência e Tecnologia. Sorocaba. 249p. 2018.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Population health and waste management: scientific data and policy options. **Report of a WHO workshop Rome, Italy**, p. 29-30 March 2007. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe. 2007