

1 Introdução

A água subterrânea é uma das principais fontes de água para potabilização em diferentes lugares ao redor do mundo. Estima-se que as águas subterrâneas são utilizadas para abastecer cerca de 1,5 bilhão de pessoas no mundo, sendo que destacam-se no uso deste recurso hídrico a Alemanha, França, Rússia, Dinamarca, Arábia Saudita, Líbia e Austrália (Leal, 1999). Além do consumo humano, as águas subterrâneas são fortemente utilizadas na irrigação de áreas agrícolas. Em alguns países, a água subterrânea é responsável por grande fração das áreas irrigadas e podemos destacar a Índia (50%), EUA (43%) e China (27%).

No Brasil, aproximadamente 61% da população é abastecida, para fins domésticos, por águas subterrâneas, conforme publicação da Agência Nacional de Águas (ANA). Cerca de 15,6% dos domicílios brasileiros utilizam exclusivamente água subterrânea. Em diversos estados, várias cidades são abastecidas total ou parcialmente por água do subsolo, como por exemplo, em 80% das cidades do Piauí e 70 % no Maranhão. Em São Paulo, 71,6% dos municípios são total ou parcialmente abastecidos por água subterrânea, onde se destacam Ribeirão Preto, Pradópolis e São José do Rio Preto. A Figura 1.1 mostra a exploração de águas subterrâneas no Aquífero Cabeças, no Piauí, na região do semiárido brasileiro, que é marcada por longos períodos de estiagem, o que torna a água subterrânea ainda mais importante para o abastecimento domiciliar.

No ano de 2014, o Estado de São Paulo passa por uma das maiores estiagens da história, o que fez com que os níveis dos reservatórios chegassem a níveis extremamente baixos, afetando o fornecimento de água. O sistema de abastecimento Cantareira, maior fornecedor de água da região metropolitana, atendendo a cerca de 6,5 milhões de pessoas, apresentou nível acumulado de apenas 9,8% em 10/09/2014, segundo informou o portal eletrônico de notícias G1. Em reportagem publicada no portal R7 Notícias, em 27/07/2014, o professor de engenharia Antonio Carlos Zuffo, da UNICAMP, afirma que o lençol freático pode ser a alternativa emergencial para cidades afetadas pela estiagem. No

entanto, faz um alerta para a necessidade de fiscalização da perfuração de novos poços que, com um rebaixamento exagerado do aquífero, podem afetar a vazão de poços já existentes.



Figura 1.1: Exploração de água subterrânea no Aquífero Cabeças - PI
(Fonte: ANA, 2008)

Fruto do trabalho de homens visionários e idealistas, ou componente de estratégias de enriquecimento, acumulação de capital e dominação – como as ferrovias construídas no século XIX pelos ingleses em seu vasto império –, as grandes obras de infraestrutura e os empreendimentos industriais são ainda hoje tidos e vistos como pressuposto do desenvolvimento econômico e do “progresso”, ao mesmo tempo que simbolizam, representam esse mesmo desenvolvimento. (SÁNCHEZ, 2001). No entanto, é justamente em função do crescimento das áreas industriais, que a contaminação das águas subterrâneas é cada vez mais comum nos dias atuais, o que podemos tratar, em função do caráter estratégico desta fonte, como um problema de saúde pública.

Segundo o INEA (2012), durante o último século, o desenvolvimento da industrialização ocorreu em diversas áreas do Estado do Rio de Janeiro sem os devidos cuidados ambientais. As atividades potencialmente poluidoras não possuíam uma política ambiental adequada e o uso e a ocupação do solo urbano e rural ocorriam sem planejamento e controle. Isto ocasionou a contaminação de

solo e água subterrânea em diversas áreas, limitando os possíveis usos do solo e induzindo restrições ao desenvolvimento urbano. Tal situação não é diferente da maioria dos lugares ao redor do mundo, que também observaram um crescimento industrial acelerado. A vantagem do Brasil, quando em comparação com países da Europa, é que a história da indústria brasileira, principalmente sua fase de maior amadurecimento, é muito recente, e ocorreu apenas após a abertura de mercado, o que obrigou as indústrias nacionais a se modernizarem e se tornarem mais competitivas. O maior significado disso é que a indústria brasileira se desenvolve ao mesmo tempo em que fortalecem a preocupação e a consciência ambiental e com elas as políticas públicas para a proteção dos recursos naturais, com destaque para os recursos hídricos, e sua utilização de maneira sustentável (MMA, 2006).

Apesar disso, o solo foi considerado por muito tempo um receptor ilimitado de substâncias nocivas descartáveis, como o lixo doméstico e os resíduos industriais, com base no suposto poder tampão e potencial de autodepuração, que leva ao saneamento dos impactos criados. Porém essa capacidade, como ficou comprovado posteriormente, foi superestimada e, somente a partir da década de 70, direcionada maior atenção à sua proteção (CETESB, 2001).

Outro importante ponto a ser observado é que, atrelado ao avanço industrial, ocorre também o abandono de antigas áreas industriais. Em função do processo de globalização vivenciado e devido a mudanças estruturais na economia, muitas fábricas foram fechadas em função da competição com produtos estrangeiros, que apresentam condições financeiras melhores. Segundo Sanchez (2001), este fenômeno, antes restrito aos países de industrialização antiga, já atinge o Brasil e em particular o Estado de São Paulo. A desativação destas áreas acontece muitas vezes sem que ocorra a correta desmobilização do maquinário e das áreas funcionais que possuem potencial de contaminação do solo e da água subterrânea. A Figura 1.2 exemplifica duas áreas industriais abandonadas, no Estado do Rio de Janeiro, onde é possível identificar a disposição inadequada de resíduos e a conseqüente contaminação do solo, podendo causar impactos também na água subterrânea.



Figura 1.2: Disposição de resíduos em áreas industriais abandonadas no Rio de Janeiro (Acervo próprio)

No Brasil, o instrumento mais eficaz para identificação das áreas contaminadas é o processo de licenciamento ambiental que, por vezes, requer a realização de estudos geoambientais. A identificação destas áreas também ocorre em função do crescimento imobiliário observado no país nos últimos anos. Nos grandes centros urbanos, a quantidade de áreas para instalação de novos empreendimentos imobiliários, tanto de caráter residencial, quanto comercial, é cada vez mais escassa. Em função disso, as construtoras acabam recorrendo a terrenos outrora ocupados por atividades industriais e que já possuem um histórico de degradação do solo e da água subterrânea. Devido à possibilidade de se estar adquirindo um passivo ambiental, proveniente das antigas atividades, tornou-se praxe a realização de estudos de avaliação ambiental das áreas, antes mesmo da aquisição. Muitas vezes, apesar de identificado o passivo ambiental,

as empresas imobiliárias mantêm o interesse na área e incluem o custo necessário para o tratamento do local na negociação do terreno. O crescimento imobiliário e a conseqüente mudança de uso do solo, quando bem fiscalizados, acabaram tornando-se importantes aliados na recuperação de áreas órfãs e degradadas.

Apresentado este cenário, é de crucial importância a evolução e o desenvolvimento dos processos relacionados ao tratamento destas áreas, visando reduzir os riscos à saúde humana e ao meio ambiente, associados à presença dos contaminantes no meio subterrâneo.

Uma das técnicas mais utilizadas no processo de remediação das áreas contaminadas é o sistema *pump and treat*, que consiste, basicamente, no bombeamento e tratamento, *ex-situ*, das águas subterrâneas contaminadas. Sendo assim, a evolução desta técnica está diretamente relacionada ao desenvolvimento de técnicas processuais capazes de tratar os efluentes gerados, adequando-os aos padrões de lançamento, antes que os mesmos sejam descartados nas redes públicas ou reinjetados no subsolo. Normalmente, o tratamento deste efluente é realizado através de um sistema separador de água e óleo, para remover a fase livre dos contaminantes, seguido por um sistema de filtração, geralmente com carvão ativado, para que seja tratada a fase dissolvida.

Esta dissertação tem como objetivo principal avaliar a eficiência de diferentes técnicas processuais, que poderiam ser aplicadas no tratamento de águas subterrâneas contaminadas. Para isso, foram realizados alguns ensaios de tratabilidade no laboratório do *Institute of Sanitary and Environmental Engineering*, da Universidade Técnica de Braunschweig, na Alemanha. No entanto, antes da apresentação dos ensaios realizados, será introduzido o cenário das áreas contaminadas no Brasil, apresentando a quantidade de áreas identificadas, os aspectos legais envolvidos e as normas que balizam a realização dos estudos que fazem parte do processo de Gerenciamento de Áreas Contaminadas.

Os ensaios de tratabilidade realizados foram divididos em 3 etapas, representando assim 3 objetivos específicos.

A primeira etapa consistiu de um tratamento de caráter biológico, utilizando lodo ativado, coletado em estações de tratamento de efluentes sanitários, para a degradação de compostos orgânicos presentes em efluentes, artificiais e naturais,

que simularam um efluente oriundo de um sistema de tratamento de uma área contaminada.

A segunda etapa utilizou como técnica de tratamento, para o mesmo efluente, a ozonização, promovendo assim uma oxidação química dos contaminantes.

Por fim, foi utilizada uma combinação dos dois processos, sendo realizada a ozonização do efluente antes da degradação biológica com o uso de lodo ativado. O objetivo desta etapa foi avaliar o incremento da biodegradabilidade do efluente por meio da ozonização.

Vale ressaltar que este trabalho é fruto de um projeto de colaboração global “*EXCEED – Excellence Center for Development Cooperation – Sustainable Water Management in Developing Countries*”, do qual participam 35 universidades e centros de pesquisa, de 18 países, em 4 continentes.

1.1. Organização do trabalho

Esta dissertação está estruturada em seis capítulos, que são brevemente descritos a seguir.

Após o Capítulo 1 – Introdução, no Capítulo 2 é apresentada a revisão bibliográfica realizada para esta dissertação. A revisão está subdividida em 5 tópicos, que abordam assuntos relacionados ao gerenciamento de áreas contaminadas, incluindo aspectos legais, tais como a legislação aplicável e as normas técnicas a serem seguidas, e aspectos técnicos, que incluem propriedades hidrogeológicas, hidráulica de poços, técnicas de remediação e técnicas processuais.

No Capítulo 3 são apresentados os materiais e os métodos utilizados durante a realização dos ensaios de tratabilidade, através da utilização de lodo ativado e ozônio, no laboratório da Universidade Técnica de Braunschweig. Neste capítulo são apresentadas as fontes de bactéria utilizadas nos ensaios de biodegradação, os nutrientes adicionados aos processos, os efluentes que foram

alvo dos tratamentos e os materiais utilizados para desenvolvimento dos ensaios. A metodologia de cada ensaio realizado é apresentada em seguida.

No Capítulo 4 são apresentados e interpretados os resultados obtidos ao longo dos ensaios de tratabilidade, via biodegradação e ozonização.

Por fim, no Capítulo 5 são apresentadas as conclusões do trabalho e as sugestões para a continuidade do estudo.

Após os cinco capítulos descritos acima, são apresentadas as Referências Bibliográficas utilizadas nesta dissertação, tais como, artigos científicos, normas técnicas, resoluções e livros. A presente dissertação conta ainda com um apêndice, onde se encontram os arquivos das análises químicas efetuadas.