

REMEDIÇÃO SUSTENTÁVEL: UMA ABORDAGEM PARA DESTRUIÇÃO COMPLETA DE MASSA DE CONTAMINANTES EM CAMADAS DE ARMAZENAMENTO COM BASE EM DADOS DE ALTA RESOLUÇÃO

Sandro Souto¹, Cesar Malta¹, Felipe Sisto¹, Taisi Marrone¹, Mateus Evald¹

¹Finkler Sustainable Technologies, Rua Arnaldo Roque Brisque 68, Vinhedo, SP, Brasil, ZIP 13285330;
sandro@finkler.eng.br; cesar@finkler.eng.br; felipes@finkler.eng.br; taisi@finkler.eng.br;
mateus.evald@finkler.eng.br

PALAVRAS-CHAVE: remediação sustentável, alta resolução, destruição de massa

ESTUDO DE CASO

O local do estudo está situado na área metropolitana de São Paulo e anteriormente era um local industrial onde o Tricloroeteno (TCE) era utilizado como solvente no processo. A principal fonte de contaminação era não documentada ou desconhecida, mas algumas áreas ao redor dos armazéns foram identificadas como potenciais fontes de infiltração de TCE no subsolo. O impacto ambiental é compreendido por 55 kg de TCE em fase retida no solo subsuperficial e cerca de 6,2 kg em água subterrânea, a degradação destes compostos para atingimento de padrões legais aplicáveis foi estimada em mais de 1000 anos através da modelagem matemática de fluxo e transporte.

Foram realizadas duas campanhas utilizando o sistema de *Membrane Interface Probe – Hydraulic Profiling Tool* (MiHPT) para localizar as áreas fonte e avaliar as condições hidrogeológicas do local. Os pontos de contaminação e a massa de contaminantes foram identificados, e ações de remediação foram planejadas e implementadas na área fonte de contaminação.

A massa de contaminação estava predominantemente localizada acima do nível do lençol freático em camadas com permeabilidade geralmente baixa ($<10^{-5}$ cm/s).

Dado que o principal composto de interesse era o TCE, mas também considerando as limitações apresentadas no local em estudo, a oxidação química in-situ (ISCO) foi o método de remediação selecionado, mesmo diante dos desafios de permeabilidade no local. O projeto de remediação considerou os dados do HPT para determinar os parâmetros ótimos de volume e pressão que o solo poderia acomodar. Dados de amostras de solo não perturbado também foram utilizados em combinação com o HPT para avaliar de forma precisa as prováveis dinâmicas de fluxo que poderiam afetar a entrega dos oxidantes.

Os oxidantes selecionados foram persulfato de sódio e percarbonato de sódio na proporção de 1:1. Essa combinação permite a correção do pH do solo, aumentando a eficiência da oxidação ao mesmo tempo que reduz a demanda natural de oxigênio do meio.

O processo de injeção foi conduzido por meio de injeção por *direct push* e utilizou uma sonda de injeção especialmente projetada pela Finkler, com pressão e volume controlados, e múltiplos pontos de injeção. Uma unidade automatizada foi utilizada para preparar e misturar os oxidantes, reduzindo a exposição do operador e aumentando a segurança e eficiência do processo. Um total de 3 toneladas de oxidantes foram injetadas em um volume de 20 mil litros de água a uma concentração de 15%. Os intervalos de injeção foram definidos em 0,5 metros, e um raio de influência projetado de 1,5 a 2 metros era esperado com base no volume de injeção.

Os pontos de injeção foram espaçados uniformemente em um arranjo triangular ao redor do centro de massa identificado durante a campanha de investigação HRSC. A pressão, fluxo e volume dos oxidantes foram controlados minuto a minuto para garantir a saturação das camadas que continham a maior massa de contaminantes. As taxas de fluxo foram mantidas abaixo de 1000 litros/hora para evitar fraturamento e a criação de caminhos preferenciais de fluxo que não permitiriam a entrega dos oxidantes à massa de contaminantes.

Após a injeção, foram realizados registros adicionais de MiHPT para comparar os sinais XSD e foram coletadas amostras de solo para avaliar a eficácia da destruição em massa do estudo piloto.

A comparação entre os registros de MiHPT antes e depois da injeção é mostrada na Figura 1 abaixo. É possível perceber que os sinais XSD (roxo) foram reduzidos para próximo da linha de base do detector, indicando que a massa de contaminantes foi direcionada e alcançada com sucesso, mesmo em camadas menos permeáveis da formação. Também foi possível observar as anomalias no detector de condutividade elétrica, que responderam às alterações nas propriedades elétricas do meio causadas pelos oxidantes.

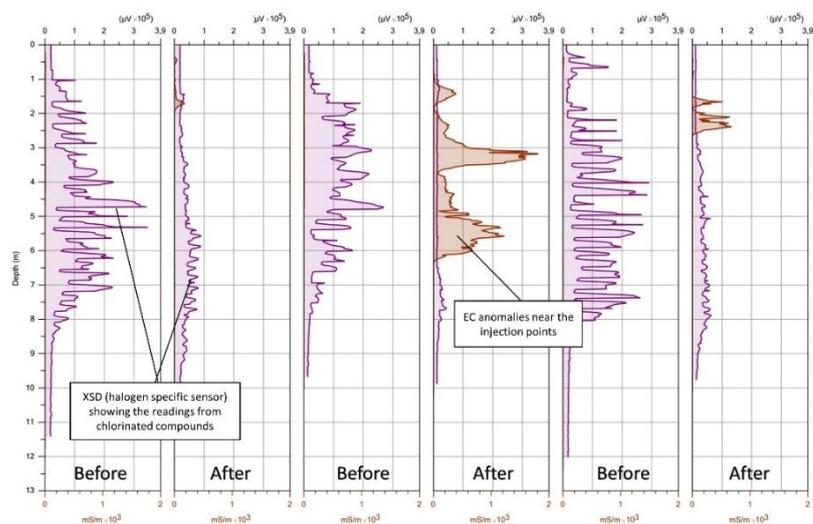


Figura 1: Sinais de XSD antes e após a oxidação (roxo) bem como anomalias de condutividade elétrica decorrente da injeção dos oxidantes (Fonte: autores)

A comparação da concentração nas amostras de solo apresentou uma redução da massa alcançada no local de cerca de 97% em média na zona fonte, eliminando a necessidade de ações de remediação adicionais. A maioria dos pontos apresentou redução de 100%, apresentando concentrações abaixo dos padrões legais. Apenas uma campanha de injeção foi necessária para alcançar essa taxa de destruição. A massa residual de contaminantes é pequena o suficiente para ser gerenciada a longo prazo sem causar riscos à saúde humana ou ao meio ambiente.

CONCLUSÃO

A aplicação de processos de remediação é complexa e depende fortemente das propriedades hidrogeológicas de um determinado local. Zonas de armazenamento, que contêm a maior parte da massa de contaminantes e apresentam maiores desafios em termos de acessibilidade e tratamento, requerem uma caracterização de alta resolução e a integração de múltiplas linhas de evidência para projetar esforços de remediação com maior probabilidade de sucesso.

Apesar das desafiadoras condições de permeabilidade observadas no local, a metodologia de oxidação química in-situ (ISCO) mostrou-se eficiente na destruição da massa. Essa eficiência pode ser atribuída à compreensão abrangente das condições do local e à entrega precisa dos oxidantes às camadas com maior concentração de contaminantes, realizada por meio de uma aplicação controlada utilizando-se de equipamentos e processos especialmente projetados para as condições da área.

Em conclusão, o sucesso do projeto de remediação depende de um MCA robusto, enquanto a implementação efetiva de métodos de remediação em zonas de baixa permeabilidade exige um bom entendimento das condições do local, do uso de equipamentos adequados e do controle meticuloso dos processos aplicados. Essas condições aumentam significativamente as chances de sucesso na remediação de zonas de baixa permeabilidade, que geralmente abrigam a maior massa de contaminantes