

1 INTRODUÇÃO

O uso do calor como meio alternativo para a remediação de áreas contaminadas por compostos orgânicos – organoclorados, hidrocarbonetos derivados de petróleo, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, pesticidas, dentre outros – tem se mostrado competitivo quando comparado a outras soluções, principalmente levando-se em consideração questões práticas como a eficiência dos seus resultados, o seu tempo de execução e o custo de operação (fontes diversas). Isto vem sendo comprovado no exterior há mais de dez anos, quando algumas instituições, como a **TerraTherm Inc.**, começaram a desenvolver protótipos que utilizassem este tipo de energia para tentar solucionar o problema dos sítios contaminados. Desde então, a partir de estudos e pesquisas relacionadas ao tema, eles vêm sendo avaliados e aperfeiçoados.

Atualmente, existem três modelos básicos de aparelhos que utilizam o princípio da dessorção térmica:

1. Bastonete térmico;
2. Cobertor térmico;
3. Unidade *ex situ*.

Apesar de se basearem no mesmo princípio, cada um deles possui diferentes características e elementos estruturais, o que modifica a sua forma de atuação, conforme será mostrado ao longo desta dissertação. Outro fator importante é a aplicabilidade de cada um, onde se observa que os dois primeiros modelos podem ser utilizados diretamente no local contaminado (remediação *in situ*), enquanto o terceiro necessita da remoção do solo do seu local de origem para tratá-lo na superfície do terreno ou em local apropriado (remediação *on site* ou *ex situ / off site*).

Embora bastante conhecidos no exterior, sobretudo nos Estados Unidos – país pioneiro na implementação deste tipo de tecnologia conforme se tem notícia – no Brasil ainda não se têm muitos registros sobre a sua utilização, com exceção de

raras empresas prestadoras de serviços ambientais, como a **Essencis – Soluções Ambientais**, que utilizam aparelhagens importadas do exterior, em geral as unidades *ex situ*. No entanto, há cerca de sete anos, a **Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC-Rio**, através do seu **Núcleo de Geotecnia Ambiental – NGA**, vem desenvolvendo pesquisas relacionadas ao tema “dessorção térmica”, com autores como Duarte (2004), Pires (2004) e Baptista (2004), proporcionando a criação de novos protótipos, com base nos modelos já existentes, com o objetivo de se tentar disseminar e consolidar o uso desta tecnologia no país.

Seguindo esta linha de pesquisa, a presente dissertação se propõe a aperfeiçoar e avaliar o desempenho do bastonete térmico, instrumento desenvolvido inicialmente por Baptista, em 2004, e que obteve bons resultados quando testado para remediar solos contaminados por resíduos orgânicos oleosos utilizando a aplicação direta de calor no material.

Vale ressaltar que este instrumento também pode ser utilizado para outras aplicações que exijam que o meio poroso atinja determinadas temperaturas, conforme será mostrado ao longo deste trabalho.

Portanto, foi construído um novo protótipo e, com relação a ele, foram feitas algumas modificações estruturais com o objetivo de aumentar o seu poder de aquecimento, lhe fornecer maiores resistência e durabilidade, e facilitar a sua introdução no solo sob quaisquer profundidades. Além disso, outros componentes auxiliares foram acoplados ao sistema, com o intuito de torná-lo apto a suportar e avaliar os problemas tipicamente apresentados em experiências de campo. Um deles com o intuito de fornecer a energia elétrica ao sistema em campo, enquanto outros foram criados de forma a melhor avaliar o seu desempenho em termos de propagação de calor no solo.

Depois de concebido, o novo sistema de dessorção térmica *in situ* foi testado em duas áreas que não apresentavam qualquer presença de contaminantes: a primeira localizada no bairro Jardim Botânico, e a outra no bairro Gávea, ambas na cidade do Rio de Janeiro - RJ. Para cada ensaio procurou-se avaliar, além do seu comportamento quando submetido a condições naturais de campo, a quantificação da propagação do calor ao longo do tempo para pontos distribuídos em diferentes direções e distâncias em relação ao bastonete. Ou

seja, a partir de uma temperatura emitida pelo aquecedor, qual seria o tempo de resposta em diversos pontos ao seu entorno, em termos de variação de temperatura e para aquele determinado tipo de solo sob condições naturais.

Foram feitas análises de difração de Raios-X com o material coletado, a fim de se tentar esclarecer alguns dos efeitos das altas temperaturas no comportamento físico-químico do mineral presente nos solos locais.

Por outro lado, o trabalho também incluiu a realização de análises microbiológicas para se tentar avaliar o comportamento da microbiota nativa em períodos antes, durante e após a aplicação de calor no solo. E, como se espera que a sobrevivência destes microrganismos seja mínima, ou nenhuma, serão feitos alguns pós-tratamentos com o objetivo de se tentar possibilitar a sua regeneração em termos de aptidão à existência de novos seres vivos. Há algum tempo tais questões vêm sendo discutidas no âmbito geotécnico ambiental e, em um patamar mais alto, pela legislação ambiental e, de certa forma, contrapõem-se ao uso do princípio da dessorção térmica na remediação de áreas contaminadas.

Aliado a este ponto, está a possibilidade de compostos orgânicos liberarem dioxinas quando submetidos a elevadas temperaturas, o que também serve como restrição ao uso da técnica. Porém, este segundo fator não será analisado no presente momento.

Os ensaios de laboratório, dentre os quais se incluem os de caracterização física do material, de determinação dos seus parâmetros térmicos e de microbiologia, foram realizados no **Laboratório de Geotecnia e Meio Ambiente da PUC-Rio – LGMA/PUC-Rio**.

Ressaltando os seus benefícios em termos de projeto, o presente trabalho pretende fornecer um maior embasamento prático sobre o uso do bastonete térmico em campo. Como a sua eficiência na remediação de solos contaminados por resíduos oleosos, sob condições controladas, já está comprovada pelo trabalho de Baptista (2004), busca-se com este trabalho mais um passo em se tentar inseri-lo no mercado brasileiro, abrindo assim novas portas para a sua utilização, além da demonstração de que é possível fazer uma boa tecnologia no Brasil, sem a necessidade de se buscá-la no exterior.

O presente trabalho encontra-se dividido em mais sete capítulos, além desta introdução.

O segundo capítulo trará uma revisão bibliográfica sobre o assunto abordando, inicialmente, algumas questões ambientais gerais para, em seguida, chegar ao tema dessorção térmica. A partir daí, será dado um enfoque principal ao bastonete térmico, onde serão apresentados, além de uma parte teórica, alguns casos de projetos realizados no exterior e trabalhos publicados na literatura. Para complementar, serão relatadas algumas explicações de profissionais da área sobre a influência das altas temperaturas no solo e ao ecossistema. Com isso, pretende-se fornecer os embasamentos teóricos e técnicos necessários para a compreensão do assunto.

No terceiro, serão apresentados o projeto e a concepção do novo protótipo desenvolvido para este trabalho, bem como de todo o sistema de apoio à utilização e avaliação do seu desempenho.

No quarto capítulo, serão mostradas as aplicações do bastonete térmico nos campos experimentais, ensaios de campo preliminares e complementares, além dos ensaios realizados em laboratório. Para cada um deles são apresentados os resultados obtidos, os quais serão analisados e comentados.

No quinto capítulo, serão mostrados os ensaios de microbiologia, com destaque para a avaliação e análise da sobrevivência da microbiota sob as temperaturas utilizadas para aplicação da dessorção térmica nos ensaios de campo, juntamente com tentativas de recuperação deste solo e da sua suscetibilidade a abrigar novos organismos após o tratamento térmico.

Por fim, o sexto capítulo trará as conclusões obtidas neste trabalho, juntamente com algumas sugestões para novos aperfeiçoamentos.

Ao final do trabalho, encontram-se os Anexos I, II e III, nos quais são apresentadas algumas planilhas e gráficos obtidos a partir dos ensaios realizados.