

## **ÁREAS CONTAMINADAS POR COMBUSTÍVEIS DERIVADOS DE PETRÓLEO: CRIANDO DIRETRIZES PARA A REQUALIFICAÇÃO DE SOLO ATRAVÉS DA DESCONTAMINAÇÃO POR BIORREMEDIAÇÃO**

CARLOS HENRIQUE BERTOLA<sup>1\*</sup>; CAROLINA COROA<sup>2</sup>; FERNANDA DELMUTTE<sup>3</sup>; GISELLE ROQUE<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Engenheiro Civil, estudante de pós-graduação, PECE-USP, São Paulo – SP, carloshpbertola@gmail.com

<sup>2</sup>Arquiteta e Urbanista, estudante de pós-graduação, PECE-USP, São Paulo – SP, carolina@ipiu.org.br

<sup>3</sup>Arquiteta e Urbanista, estudante de pós-graduação, PECE-USP, São Paulo – SP, fdelmutte@gmail.com

<sup>4</sup>Engenheira Civil, estudante de pós-graduação, PECE-USP, São Paulo – SP, gicaeng@gmail.com

Apresentado no  
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2016  
29 de agosto a 2 de setembro de 2016 – Foz do Iguaçu, Brasil.

**RESUMO:** Durante o processo de urbanização da cidade de São Paulo os procedimentos para o manejo de substâncias perigosas foram muitas vezes desconsiderados, agravando a ocorrência de vazamentos nos processos produtivos, no transporte ou no armazenamento de produtos contaminantes, originando-se assim áreas contaminadas nas cidades. Ao longo dos anos, com a alteração do perfil econômico da cidade, decorreram também mudanças no uso e ocupação do solo, que corroborou para se detectar diversas áreas contaminadas. Seguindo a premissa de cidade compacta e sustentável, a Prefeitura Municipal de São Paulo tem trabalhado em operações urbanas que abrangem antigas áreas industriais e com atividades possivelmente poluentes, com a intenção de adensamento destes locais, para criar novas moradias e serviços e retomar a vitalidade urbana de áreas subutilizadas. Visando a descontaminação de terrenos que serão reocupados na cidade de São Paulo, foram verificadas localidades com necessidade de despoluição de solos contaminados por produtos químicos combustíveis, apontando para as áreas da Operação Urbana Consorciada Bairros do Tamanduateí (OUCBT), com foco para as regiões da Mooca e Vila Carioca, explorando metodologias de remediação. Este trabalho aponta a biorremediação como um método efetivo para descontaminação de sítios poluídos na região estudada, removendo cerca de 70% dos contaminantes derivados do petróleo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Áreas poluídas, descontaminação, operação urbana, biorremediação.

### **CONTAMINATED AREAS BY FUEL OIL PRODUCTS: CREATING GUIDELINES FOR REGENERATION SOIL THROUGH DECONTAMINATION BY BIOREMEDIATION**

**ABSTRACT:** During the urbanization process of São Paulo City the procedures of handling dangerous substances were often disregarded, aggravating the occurrence of leakage in the production processes, shipping or storing process of products contaminants, originating contaminated areas in the cities. Along the years, changing the economic profile of the city, were held also changes in services and land use, corroborating to detect several contaminated areas. Following the assumption of compact city and sustainable, the city hall of São Paulo has worked in urban operations what include industrial areas and activities pollutants aiming the densification of these places and creating new housing and services to retake the urban health of ancients underutilized areas. However, this intention is facing environmental issues, like the contamination of those areas by chemicals, causing negative impacts on population health and the environment, that cloud block the success of these projects. Aimed at decontamination of these lands that will be reoccupied in São Paulo were found locations in need of decontamination that were contaminated by fuel chemicals, pointing to areas of Urban Operation Syndicated of Tamanduateí Neighborhoods, focusing for the regions of Mooca and Vila Carioca, exploring remediation methodologies. This paper points to bioremediation as an effective method for decontamination of polluted sites, removing about 70 % of petroleum contaminants.

**KEYWORDS:** polluted areas, decontamination, urban operations, bioremediation.

## INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas verificou-se, em escala mundial, uma situação de crescente avanço do meio urbano sobre o meio rural, o processo de urbanização, que tem influenciado diretamente nas características socioeconômicas e ambientais das cidades. Em São Paulo/SP a urbanização ocorreu de forma pungente durante as últimas décadas, causando alterações drásticas do perfil econômico e produtivo da cidade, fomentando constantes mudanças do uso e da ocupação do solo em um “contínuo processo dialético da construção e desconstrução do tecido urbano” (Araki, 2010).

Para absorver as mudanças e reordenar o crescimento da cidade em seu contexto pós-industrial, passou a haver maior interesse na reutilização de antigas áreas industriais desativadas. A Prefeitura Municipal de São Paulo (PMSP) empenha-se em intervenções de revitalização e requalificação de áreas consolidadas e bem servidas de infraestrutura para a reocupação populacional, promovendo corredores de centralidade, desenvolvendo espaços que cumpram sua função social para promover um desenvolvimento mais sustentável, entretanto, problemas de ordem ambiental podem restringir o desenvolvimento urbano futuro. Muitos desses problemas são oriundos da ocupação junto aos eixos ferroviários, predominantemente áreas de várzea, durante o processo de industrialização da cidade. A instalação de indústrias nestas áreas, que possuem nível de lençol freático elevado, se tornou um fator decisivo para contaminações do solo e das águas subterrâneas. (Morinaga, 2013)

Considerando os diversos poluentes, verificou-se que a contaminação do solo e das águas por combustíveis derivados de petróleo é uma preocupação crescente, uma vez que os postos de combustível respondem por 83,6% (Ramires et al., 2011). Tal constatação faz alarmar ainda mais para a necessidade de solução imediata dos problemas relacionados à referida contaminação e a adoção de medidas adequadas de remediação ou intervenção, visando garantir a saúde pública, a qualidade ambiental e eliminar entraves para o adensamento da cidade que rumo para ser, além de compacta, sustentável.

Será possível promover a requalificação urbana mesmo em áreas detectadas com contaminação por combustíveis derivados de petróleo?

## MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia do presente estudo consistiu em levantamento bibliográfico e avaliação das áreas contaminadas, conforme relatórios e mapas da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB). Em um primeiro momento buscou-se compreender o conceito de áreas contaminadas, como estas se configuraram em decorrência da atividade industrial, e, por fim, o que pode ser feito para revitalizá-las assegurando condições saudáveis para tal.

Foram identificadas as extensões das áreas contaminadas por produtos químicos combustíveis nas áreas destinadas à operação urbana, com foco para as regiões da Mooca e Vila Carioca, e propor medidas para descontaminação, visando os mecanismos necessários para tornar viável o uso das áreas supracitadas, os chamados *brownfields*, a fim de promover o adensamento local e minimizar a necessidade de ocupação de terrenos periféricos, carentes de infraestrutura.

## DISCUSSÕES E RESULTADOS

Considerando que a maior parte dos contaminantes das águas subterrâneas e do solo são provenientes de áreas utilizadas para estoque de produtos químicos combustíveis, conforme apresentado por Ramires et al (2011), na atual condição, as áreas degradadas e/ou contaminadas provocam discontinuidades urbanas, contribuindo para uma desvalorização, não somente da área onde se localiza, mas também de seu entorno (Leite & Cortez, 2006).

O local deste estudo apresenta sérios problemas ambientais, com concentração de áreas com potencial de contaminação do solo por resíduos tóxicos, acumulados durante seu passado de estocagem de combustíveis líquidos, entretanto, com potencial de transformação (Araki, 2010). Esta constatação gera uma problemática que pode causar embates à reabilitação e reestruturação urbana, tornando-se um fator limitante ao desenvolvimento, que precisa acontecer sem maiores prejuízos ao meio ambiente e à saúde da população.

Desta forma, visando alcançar os objetivos da PMSP em implantar equipamentos estratégicos para o desenvolvimento urbano, adensar áreas envolvidas em intervenções urbanísticas, reciclar áreas consideradas subutilizadas e dinamizá-las visando a geração de empregos, premissas básicas das operações urbanas consorciadas do município, se torna imprescindível o direcionamento de estudo específicos para o saneamento dos problemas ligados à contaminação.

Com a decadência dos antigos bairros industriais, as edificações e instalações fabris, embora com boas características de localização e infraestrutura, guardam restrições para novos usos em função da potencial presença de contaminações. Diante dessa realidade, é um desafio reverter este quadro e redefinir as possibilidades de uso destas áreas, conferindo a elas uma real função social e reintegrando-as a dinâmica econômica do município (Marker et al., 2008).

A Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente do Município de São Paulo (SVMA), com base na Lei Estadual nº 13.577, de 8 de julho de 2009, define Área Contaminada como sendo a “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”. Sánchez (1998) aponta quatro problemas principais gerados pelas áreas contaminadas:

1. Existência de riscos à segurança das pessoas e das propriedades;
2. Riscos à saúde pública e dos ecossistemas;
3. Restrições ao desenvolvimento urbano;
4. Redução do valor imobiliário das propriedades.

De acordo com Ramires et al. (2011), os vazamentos em dutos e tanques de armazenamento subterrâneos de combustível estão entre as principais fontes de contaminação do solo e das águas subterrâneas, sendo 621 casos (83,6%) dentre as 763 registradas no município até o ano de 2007, seguida da indústria (66 casos; 8,9%), atividade comercial (32 casos; 4,3%), resíduos (22 casos; 3,0%) e acidentes/desconhecidos (2 casos; 0,3%).

No “Mapa de Localização das Áreas Contaminadas e com Potencial de Contaminação” do Estudo de Impacto Ambiental da OUCBT observa-se áreas da Mooca e Vila Carioca contaminadas por diversos poluentes, conforme figura 1. Este mapa foi realizado com base em cadastros da CETESB e SVMA.

Fig 1. Setor Mooca e Vila Carioca, respectivamente.

Fonte: SMDU, 2012



#### Legenda

<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #f08080; border: 1px solid black;"></span> Lotes das áreas contaminadas (CETESB)	<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #800000; border: 1px solid black;"></span> Área com alto potencial de contaminação
<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #ff00ff; border: 1px solid black;"></span> Lotes das áreas contaminadas (SVMA)	<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #ffa500; border: 1px solid black;"></span> Área com médio potencial de contaminação
<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #ffff00; border: 1px solid black;"></span> Lotes das áreas contaminadas (CETESB / SVMA)	<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #d3d3d3; border: 1px solid black;"></span> Área sem potencial de contaminação

De acordo com os mapas a seguir, há cerca de 16 (dezesesseis) áreas contaminadas na região da Mooca, 8 (oito) delas devido a combustíveis líquidos provenientes de empresas de posto de combustível. Já na Vila Carioca, do total de 26 (vinte e seis) áreas contaminadas, 15 (quinze) são pelos mesmos derivados, que se dividem entre empresas de postos e distribuição de combustíveis.

Atualmente, existe uma grande variedade de métodos para remediação de áreas contaminadas. No início da análise foi cogitada a remoção do solo contaminado e sua transferência para aterros sanitários ou controlados, porém, constatou-se que técnicas que propõem soluções biológicas, tal como a biorremediação, vem ganhando cada vez mais destaque. As alternativas biológicas apresentam impactos menores no subsolo, no entanto, essas soluções exigem mais tempo para a descontaminação e nem sempre são suficientes para atingir os objetivos do projeto na totalidade, devendo, na maioria dos casos, utilizá-las em complemento a outras tecnologias convencionais já existentes.

Os contaminantes possuem caminhos de migração, mobilidade e persistência no subsolo que variam substancialmente em cada caso, devido à natureza química específica de cada espécie, bem como diversidades geológicas de cada sítio. Todo o processo está intrinsecamente relacionado a inúmeras variáveis, tornando a prática de remediação de solos e aquíferos uma tarefa complexa, muitas vezes custosa e dispendiosa. A seleção de uma estratégia de remediação apropriada para um determinado caso deve ser baseada na caracterização preliminar do sítio e nos tipos de contaminantes de interesse. Essas investigações deverão incluir a avaliação da heterogeneidade física do sítio, a extensão da contaminação, localização das fontes primárias de contaminação, existência de zonas de descarga, i.e., corpos hídricos de superfície, bem como a presença do contaminante em suas fases imiscível, residual ou adsorvida no meio geológico.

Na zona saturada, camada mais profunda do solo onde se concentram as águas subterrâneas, os compostos aquosos podem estar presentes como fase contínua (frente de infiltração) ou como fase descontínua, aderindo-se diretamente na superfície do solo. A taxa de deslocamento do contaminante dependerá da gravidade, da recarga por infiltração, viscosidade do fluido e da permeabilidade relativa do solo. Imediatamente após um derramamento de produtos combustíveis, os vazios do solo serão preenchidos pelo fluido, com o passar do tempo, haverá drenagem do fluido por gravidade, deixando uma massa residual adsorvida ao meio poroso. Como a detecção da contaminação é imprescindível em qualquer circunstância, definir os processos de descontaminação torna-se indispensável, sendo a biorremediação uma opção a ser considerada.

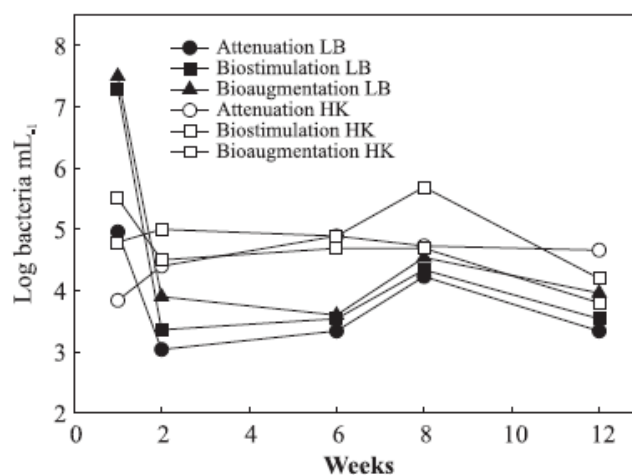
A biorremediação é uma abordagem bastante popular de descontaminação in situ de hidrocarbonetos de petróleo (HP), devido a sua fácil manutenção e aplicabilidade em grandes áreas, com custo efetivo e significativa destruição dos poluentes. Neste processo avaliou-se três métodos:

1. Atenuação natural: os contaminantes são degradados naturalmente por microrganismos endógenos;
2. Bioaugmentação: inoculação de um mix de microrganismos pré-selecionados no solo;
3. Bioestimulação: microrganismos endógenos são estimulados através da incorporação de nutrientes e oxigênio no solo a ser tratado.

Conforme estudo apresentado por Bento et al (2003), avaliou-se a degradação de HP em dois solos contaminados com óleo diesel, Long Beach na Califórnia (LB) e Hong Kong na China (HK) por doze semanas. A bioaugmentação apresentou a maior degradação da fração leve (72,6%) e da fração pesada (75,2%) de HP e a atenuação natural foi mais efetiva do que a bioestimulação. A figura 2 apresenta o resultado conforme as semanas de tratamento do solo de LB e HK, sendo que a maior atividade da desidrogenase (atividade microbiana) foi observada nos tratamentos com bioaugmentação e atenuação natural, respectivamente. O número de microrganismos degradadores de diesel e a população de microrganismos heterotróficos não foi influenciada pelas técnicas de biorremediação.

Dessa forma, apresentou também que a melhor performance para a biorremediação do solo contaminado com diesel foi obtida quando foram adicionados microrganismos pré-selecionados do ambiente contaminado (bioaugmentação), conforme figura 2 de acordo com o solo de cada local.

Fig 2. Atividade microbiana estimada por desidrogenase – Atividade relativa dos solos (relativo ao solo de controle) de Long Beach e Hong Kong contaminados com óleo diesel.



## CONCLUSÕES

No início deste estudo foi considerada como medida de remediação de áreas contaminadas por combustíveis derivados do petróleo, com foco para a região da Mooca e Vila Carioca, a remoção do solo contaminado e sua transferência para aterros sanitários ou controlados. Entretanto, este método poderia encarecer o projeto, fazendo-se necessárias obras adicionais de contenção e reposição do solo, e, também, estaria se transferindo a problemática de lugar. Sendo assim, buscou-se na bibliografia técnicas de descontaminação *in situ*.

Com base nas pesquisas realizadas e na bibliografia consultada, constatou-se que a forma mais difundida e eficaz de tratamento é a biorremediação, a qual demonstrou ser mais efetiva, removendo cerca de 70% dos contaminantes combustíveis, conforme demonstrado pelos estudos de biorremediação.

Diante do exposto, foi constatado que há possibilidade de descontaminação do solo e, conseqüentemente, das águas subterrâneas, permitindo a requalificação das áreas, contribuindo assim para frear a expansão da mancha urbana em direção as áreas periféricas da cidade e os impactos ambientais daí provenientes.

## REFERÊNCIAS

- Araki, F. A. Redesenvolvimento urbano: uma proposta para a requalificação e revitalização de antigas áreas industriais na Mooca e Ipiranga. 2009. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Arquitetura e Urbanismo) - FAUUSP - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da USP
- Bento, F.M.; Camargo, Flávio Anastácio de Oliveira; OKEKE, Benedict; Frankenberger-Júnior, Willian Thomas. Bioremediation of soil contaminated by diesel oil. *Brazilian Journal of Microbiology*, São Paulo, v. 34, n. S1, p. 65-68, 2003.
- Leite, T.M. C. Entraves espaciais: Brownfields caracterizados por aterros de resíduos sólidos desativados no município de São Paulo/SP. 146 f. Tese (doutorado). Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, 2005
- Marker, A. Avaliação ambiental de terrenos com potencial de contaminação: gerenciamento de riscos em empreendimentos imobiliários. Colaboração de Andreas Nieters, Silvia Regina Merendas Raymundo, Carlos Hashimoto e João Carlos Barboza Carneiro. – Brasília: Caixa Econômica Federal, 2008. 164 p. (Guia CAIXA: sustentabilidade ambiental; Caderno 2)
- Morinaga, C. M. Áreas contaminadas e a construção da paisagem pós-industrial na cidade de São Paulo. 201 p. Tese (Doutorado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2013
- Ramires, J. Z. S.; Ribeiro, W. C. Gestão dos Riscos Urbanos em São Paulo: as áreas contaminadas. *Confins (Paris)*, v. 13, p. 13, 2011
- Sánchez, L.E. A desativação de empreendimentos industriais: um estudo sobre o passivo ambiental. São Paulo, 1998. 178p. Tese (Livre-Docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- SMDU - Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano; Consórcio CMVC. Estudo de impacto ambiental – Relatório de impacto ambiental da Operação Urbana Consorciada Mooca - Vila Carioca. São Paulo, 2012.