

**Gennyfer Beatriz Pegolo**

UNISUAM

**Renan Fontes Barros Luz**

UNISUAM

**Paulo Pinheiro Castanheira Neto**

UNISUAM

**Leonardo Reis dos Santos**

UNISUAM

**Rachel Cristina Santos Pires**

UNISUAM

## RESUMO

Durante muito tempo os tipos de descontaminação vêm sendo estudadas e aprimoradas enfocando o histórico de derrames e vazamentos para que tenha mais eficiência e mais rapidez, porque quando ocorre de forma rápida e menos custosa, acaba ficando melhor tanto para quem está executando o serviço, quanto para o proprietário do empreendimento. A descontaminação do solo tem por objetivo interromper a exposição dos receptores, atuando sobre os caminhos de migração dos contaminantes. As técnicas são usadas conforme o tipo de contaminação encontrado no solo, as descontaminações não feitas por completo poderão acarretar danos à vida da comunidade circunvizinha, cronograma físico e financeiro. A Engenharia civil é parte do processo com relevante participação na descontaminação e nas medidas de engenharia contidas no plano de intervenção da área, entretanto quando os resultados das outras técnicas são ineficientes ou quando se tem o prazo reduzido usa-se as técnicas que envolvem a Engenharia civil, pois são técnicas que tem o seu custo mais elevado que as outras técnicas, porém oferece o resultado da descontaminação mais rápido e mais eficiente.

**Palavras-Chave:** Descontaminação; Medidas de engenharia; Técnicas; Contaminantes

## INTRODUÇÃO

As medidas de engenharia com foco na descontaminação do solo têm por objetivo interromper a exposição dos receptores, atuando sobre os rastros da migração dos contaminantes, envolvendo investigações, dimensionamentos, projetos, implantações, gerenciamento e monitoramento de atividades tais como escavação, recobrimento, encapsulamento, impermeabilização, pavimentação, entre outras. Desde minimizar a

contaminação a níveis aceitáveis até extinguir a exposição de um receptor a substâncias químicas que possam manifestar risco a saúde humana, o tema do presente artigo encontra grande interesse por parte da sociedade.

As medidas de Engenharia têm objetivos diferentes das medidas de remediação, pois aquelas visam o controle e alívio da exposição dos receptores possivelmente expostos em uma área contaminada enquanto estas objetivam a diminuição da massa do contaminante nas seções de interesse do meio físico das concentrações máximas aceitáveis (MORAES et al, 2014).

Em geral, a aplicabilidade de um método de remediação depende de vários fatores, como, por exemplo, as características do meio contaminado, dos contaminantes, objetivos da remediação, localização da área, tempo e recursos disponíveis.

Em função dos resultados obtidos nos levantamentos, são planejadas e executadas investigações, utilizando-se de métodos indiretos e diretos para caracterização da contaminação nos diferentes compartimentos, definindo-se, dessa forma, o seu posicionamento e taxa de propagação e as concentrações que atingem os receptores ou bens a proteger (LAGREGA et al., 1994).

Estas medidas, por possuírem um controle de exposição, deverão ser espacialmente localizadas nas áreas contaminadas firmando-se a sua relação física com as plumas de contaminação, com os pontos de exposição dos receptores possivelmente expostos e com pontos de monitoramento da eficiência da medida adotada ao longo do tempo em que ela estiver sendo adotada (MORAES et al, 2014).

Toda medida de Engenharia deverá ser acompanhada de um minucioso plano de monitoramento de sua eficiência. Esse acompanhamento deverá ser informado ao o órgão ambiental responsável e o seu período e o seu teor técnico devem estar previstos no plano de intervenção da área que será reabilitada. É importantíssimo que antes de implementar uma medida de engenharia para acarretar a reabilitação de uma área contaminada, o planejamento desta medida de engenharia deverá ser formalmente aprovado pelo órgão ambiental competente, dado que está medida poderá estar imediatamente relacionada à dinâmica de ocupação futura desta mesma área, configurar uma obra perene ao longo de o período de ocupação e por não fatalmente causar a redução de massa contaminante (MORAES et al, 2014).

Optou-se pelo tema devido à necessidade de demonstrar a importância da Engenharia Civil na descontaminação do solo. Apresentar de forma sucinta quais os tipos de técnicas utilizadas para acabar com a contaminação.

Este projeto expõe bases para a elaboração de um artigo de cunho científico tendo como sustentáculo referências bibliográficas, normas, artigos científicos, revistas e sites especializados e pretende-se elucidar sobre como a Engenharia civil pode ajudar a acabar e/ou ajudar na descontaminação do solo.

O objetivo deste estudo é demonstrar como a engenharia civil pode ajudar a acabar com a contaminação que possa existir no solo ou na contenção desta, para que não possa causar danos a saúde pública e possa inviabilizar a construção em cima deste solo.

## REVISAO BIBLIOGRÁFICA

### Definição de área contaminada

A Cetesb (SÃO PAULO, 1999) define área contaminada como:

Área, local ou terreno onde há comprovadamente poluição ou contaminação, causada pela introdução de quaisquer substâncias ou resíduos que nela tenham sido depositados, acumulados, armazenados, enterrados ou infiltrados de forma planejada, acidental ou até mesmo natural. Nessa área, os poluentes ou contaminantes podem concentrar-se em subsuperfície nos diferentes compartimentos do ambiente, por exemplo no solo, nos sedimentos, nas rochas, nos materiais utilizados para aterrar os terrenos, nas águas subterrâneas ou, de uma forma geral, nas zonas não saturada e saturada, além de poderem concentrar-se nas paredes, nos pisos e nas estruturas de construções. Os poluentes ou contaminantes podem ser transportados a partir desses meios, propagando-se por diferentes vias, como, por exemplo, o ar, o próprio solo, as águas subterrâneas e superficiais, alterando suas características naturais ou qualidades e determinando impactos negativos e/ou riscos sobre os bens a proteger, localizados na própria área ou em seus arredores.

O processo de identificação de uma área contaminada envolve uma avaliação preliminar, investigação confirmatória, investigação detalhada, avaliação de risco e ações para reabilitação da área, até as concentrações das substâncias detectadas atingirem níveis aceitáveis para uso pretendido futuro. O uso determinará a eficiência de remoção das substâncias da área, bem como as tecnologias de remediação, o tempo de operação e seu custo (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2020).

São áreas que sofrerão contaminação por conta do lançamento de substâncias, não importa a forma, quantidade e concentração que possam tornar o solo impróprio e nocivo (Figura 1) para os seres vivos podendo assim impedir construções de serem realizadas e a “vida” de prosperar.

**Figura 1:** Solo contaminado



Fonte: IDEIA SOCIOAMBIENTAL (2019)

## Definição das técnicas

### Escavação

A Escavação é um método utilizado para retirar completamente o solo contaminado (Figura 2), quer ele seja uma curta ou longa faixa de terreno após a escavação do solo contaminado, ele é colocado em um caminhão que fará o transporte deste solo e será descarregado em algum lugar autorizado pela pelo órgão ambiental responsável. Mas nem sempre é utilizado pois o custo dele é elevado (MORAES et al, 2014).

**Figura 2:** Escavação de área contaminada



Fonte: CONAM (2020)

### Recobrimento

O recobrimento é a cobertura dos resíduos e o material utilizado para esta cobertura é o solo (Figura 3). Este recobrimento é executado diariamente, para que possa ser evitado a proliferação de insetos, odores,

etc. Por esse método ter um custo elevado, faz-se necessário um estudo para verificar se esta técnica é realmente necessária, para identificar o tipo de material que será utilizado e a frequência do recobrimento. Para que possa ser necessária a utilização desta técnica o recobrimento deve ser feito com um solo que possua a argila como material predominante e não deve ser verificada a presença de resíduos sem recobrimento (SÃO PAULO, 1999).

**Figura 3:** Recobrimento de área contaminada



**Fonte:** PREFEITURA DE PENÁPOLIS (2018)

## Encapsulamento

O encapsulamento (Figura 4) consiste em um isolamento de um local contaminado usando barreiras para impedir a lixiviação dos contaminantes presentes no solo para o aquífero. Estas barreiras de baixa permeabilidade podem ser uma cobertura uma barreira vertical e uma horizontal (PETER & CAPUTO, 2012).

**Figura 4:** Encapsulamento

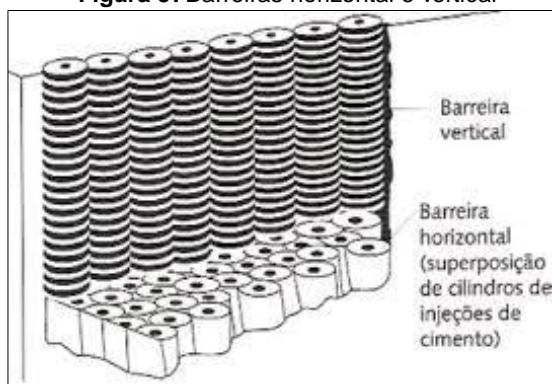


**Fonte:** PETER & CAPUTO (2012)

Estas barreiras são colocadas de forma que possa impedir do contaminante passar para o solo limpo (Figura 5). As barreiras verticais são dispostas em posicionamento circunferencial, ao redor da fonte de contaminação (GUSMÃO et al, 2019).

Já as barreiras horizontais de fundo podem ser construídas por superposição de colunas de “*jet grouting*”, por perfuração direcionada a partir da superfície e preenchimento do furo com material de baixa permeabilidade (BOSCOV, 2020).

**Figura 5:** Barreiras horizontal e vertical



Fonte: PETER & CAPUTO (2012)

## Impermeabilização

Usa-se a técnica de impermeabilização quando é identificada a necessidade de utilização da mesma e para que isto ocorra é de suma importância fazer as observações no local, inclusive para definição de qual material será utilizado para fazê-la. Ela se divide em duas maneiras, a impermeabilização superior e inferior (Figura 6). A impermeabilização inferior é para que a contaminação não passe para o lençol freático e assim contamine a saúde pública, a impermeabilização superior é para que a contaminação não suba de forma que possa causar danos à saúde de quem frequente este local (SÃO PAULO, 1999).

Em áreas de aterro sanitário, pode ser feita por camadas de argila e depois finalizar com camada de terra, também pode ser colocada uma geomembrana de polietileno e cobrir de areia ou argila (DE PAULA, 2017). Em áreas industriais são utilizadas membranas impermeabilizantes de primeira camada e geralmente são seladas por uma camada de concreto maciço. Esse tipo de técnica foi utilizado na construção da usina nuclear de Angra 3 (STORTE, 2013).

**Figura 6:** Impermeabilização superior e inferior.



Fonte: BRITTO (2015)

## Pavimentação

Esta técnica é usada quando não se encontra solução para o tratamento e/ou remediação da área, tornando assim indisponível para construções e edifícios familiares e fazendo necessário a utilização de pavimentação tanto de CBUQ quanto de cimento (Figura 7), para construção de estacionamentos pavimentados para fazer a impermeabilização deste terreno (SÃO APULO, 1999). Essa área pode sofrer recalque dependendo do tipo de construção no local, o mais comum é o rebaixamento do lençol freático, por conta do peso que pode ser colocado em cima da área contaminada, causando rachaduras em construções ou afundamento do pavimento (LOZANO, 2020).

**Figura 7:** Pavimentação de área contaminada



Fonte: G1 (2018)

## Gerenciamento de Área Contaminada (GAC)

### Definição de gerenciamento de área contaminada

O GAC é caracterizado por um conjunto de medidas que asseguram o conhecimento das características das áreas contaminadas e a definição de medidas de intervenção mais adequadas a serem exigidas, visando eliminar ou minimizar os danos e/ou riscos aos bens a proteger, gerados pelos contaminantes nelas contidos (SÃO PAULO, 2013).

O gerenciamento visa a minimizar os riscos a que estão sujeitos a população e o meio ambiente, por meio de estratégia constituída por etapas sequenciais, em que a informação obtida em cada etapa é a base para a execução da etapa posterior (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2020).

A CETESP (São Paulo, 1999), define dois grandes processos que constituem a base para o GAC, o processo de identificação e processo de reabilitação.

No CONAMA, o processo de identificação é denominado como ações que serão identificadas áreas suspeitas de contaminação, e o processo de reabilitação como ações de intervenção realizadas em uma área contaminada visando atingir um risco tolerável (BRASIL, 2009).

### Etapas dos processos

O processo de identificação é dividido em quatro etapas: definição da região de interesse, identificação de área potencialmente contaminada, avaliação preliminar e investigação confirmatória. O processo de reabilitação, é dividido em seis etapas: investigação detalhada, avaliação de risco, concepção da remediação, projeto de remediação, remediação e monitoramento. Lembrado que uma etapa é a base da execução das etapas subsequentes. Abaixo mostra (Figura 8) as etapas dos dois processos:

**Figura 8:** Etapa dos processos de identificação e reabilitação



Fonte: Adaptado de MLC Consultoria Ambiental (2020)



Para efeito da elaboração do Sistema de Áreas Contaminadas e Reabilitadas, as áreas serão separadas em classes distintas (SÃO PAULO, 2013).

Durante a realização do processo de investigação, o monitoramento deverá ser exigido pelo CETESB (São Paulo, 2009), ficando estabelecidas as seguintes classes:

- **Área com potencial de contaminação (AP):** área onde estão sendo ou foram desenvolvidas atividades potencialmente contaminadoras;
- **Área suspeita de contaminação (AS):** quando for comprovada a existência de um ou mais indícios de contaminação, mediante a avaliação preliminar;
- **Área contaminada sob investigação (Ai):** quando for comprovadamente constatada a contaminação, com concentrações de substâncias químicas no solo ou nas águas subterrâneas valores de risco, mediante a investigação confirmatória;
- **Área contaminada sob intervenção (ACI):** constatada a presença de substâncias em fase livre, ou quando for comprovada a existência de risco à saúde humana, após investigação detalhada e avaliação de risco;
- **Área em processo de monitoramento para reabilitação (AMR):** quando atingida a redução do risco a níveis toleráveis, de acordo com a avaliação de risco;
- **Área reabilitada para o uso declarado (AR):** após período de monitoramento para reabilitação, seja confirmada a eliminação do perigo ou a redução dos riscos a níveis toleráveis para o uso declarado.

Estas medidas podem ser de contenção e controle do tipo institucional (MI), de engenharia (ME) ou de redução de massa de contaminante do tipo remediação (MR). Também devem ser consideradas as medidas de monitoramento (MM) para que se avalie o desempenho das medidas de intervenção, considerando o uso atual e futuro da área. Ao fim do processo, quando o risco for considerado tolerável, a área deverá ser classificada como Área Reabilitada para uso declarado (AR).

## CONCLUSÃO

A contaminação do solo é um crescente problema ambiental que tem como consequência a degradação dos diversos compartimentos ambientais, que são interdependentes, além da possibilidade de acarretar prejuízos para a saúde humana. O solo é um sistema altamente dinâmico e complexo, sendo assim, o sucesso de sua descontaminação depende da escolha da técnica, caracterização do solo e do contaminante.

Através da engenharia civil, pode-se realizar vários mecanismos de descontaminação de áreas contaminadas, além de utilizar os conhecimentos geotécnicos e hidráulicos. Foram vistas algumas técnicas de remediação como a escavação, impermeabilização e encapsulamento, técnicas que amenizam os impactos ambientais. O GAC é uma ferramenta muito

importante que auxilia a identificação do problema e qual técnica utilizar, de suma importância para a engenharia civil.

Assim, tendo em vista a melhor utilização dos processos e recursos, almeja-se que o as informações aqui apresentadas deem suporte aos projetos de engenharia civil, visando o bem-estar da sociedade e do meio ambiente, sem prejuízos ao desenvolvimento econômico das cidades.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA Nº 420/2009 - "Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas."** Brasília, DF, dez 2009. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>>. Acesso em: 04 de maio de 2020.

BRASIL. DECRETO Nº 59.263, DE 5 DE JUNHO DE 2013. **Aprova a consolidação das leis do trabalho.** Lex: coletânea de legislação: edição federal, São Paulo, v. 7, 1943.

BOSCOV, M. E. G. **Geotecnia Ambiental – Remediação de Áreas Contaminadas.** 2020. Disponível em: <[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4331228/mod\\_resource/content/1/%C3%81REAS%20CONTAMINADAS.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4331228/mod_resource/content/1/%C3%81REAS%20CONTAMINADAS.pdf)>. Acesso em: 03 de maio de 2020.

BRITTO, C. **Aterro sanitário controlado beneficiará municípios do Sertão do São Francisco.** 2015. Disponível em: <<https://www.carlosbritto.com/aterro-sanitario-controlado-beneficiara-municipios-do-sertao-do-sao-francisco/>>. Acesso em: 03 de maio de 2020.

CONAM. **Remoção de Solo Contaminado (Gestão de Resíduos - CADRI).** 2020. Disponível em: <<http://www.conam.eng.br/remocao-de-solo-contaminado>>. Acesso em: 04 de maio de 2020.

DE PAULA, S, G. Investigação das Técnicas de Impermeabilização de Aterros Utilizadas no Estado do Paraná. 2017. Disponível em: <<http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/8302/1/tecnicasimpermeabilizacaoaterrosparana.pdf>>. Acesso em: 16 junho de 2020.

G1 – Campinas e Região. **Com aterro Delta A inoperante, Prefeitura inaugura nova estação de transferência de lixo em Campinas.** São Paulo. 2018. Disponível em: <<https://g1.globo.com/sp/campinas-regiao/noticia/nova-estacao-de-transferencia-de-lixo-em-campinas-beneficia-solo-mas-aterro-delta-a-segue-inoperante.ghtml>>. Acesso em 03 de maio de 2020.

GUSMÃO, L. R. C.; JUCÁ, J. F. T.; HEINECK, K. S. **Utilização de Barreiras Verticais na Remediação Ambiental**. 2019. Disponível em: <<http://docs.geors2019.com.br/geotecnia-ambiental/UTILIZAC%CC%A7A%CC%83O%20DE%20BARREIRAS%20VERTICAIS%20NA%20REMIAC%CC%A7A%CC%83O%20AMBIENTAL.pdf>>. Acesso em: 03 de maio de 2020.

IDEIA SOCIOAMBIENTAL. **Áreas contaminadas e Relatório Ambiental**. 2019. Disponível em: <<http://www.ideiasocioambiental.com.br/tirando-suas-duvidas-sobre-areas-contaminadas-e-relatorios-ambientais/>>. Acesso em: 01 de abril de 2020.

LAGREGA, M. D.; BUCKINGHAM, P. L.; EVANS, J. C. **Hazardous waste management**. New York, McGraw-Hill, 1994.

LOZANO, H.M. **Recalque por Rebaixamento do Lençol Freático**. 2020. Disponível em: <<http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=9&Cod=148>>. Acesso em: 16 junho de 2020.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Áreas Contaminadas**. 2020. Disponível em: <<https://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-perigosos/areas-contaminadas.html>>. Acesso em: 02 de maio de 2020.

MLC CONSULTORIA AMBIENTAL. **Gerenciamento de Área Contaminada**. São Paulo. 2020. Disponível em: <<https://mlcambiental.com.br/gerenciamento-de-areas-contaminadas/>>. Acesso em: 19 de maio de 2020.

MORAES, S. L.; TEIXEIRA, C.; MAXIMIANO, A. M. S. **Guia de Elaboração de Planos de Intervenção para o Gerenciamento de Áreas Contaminadas**. Edição IPT e BNDES. São Paulo. 2014.

PETER, M. I.; CAPUTO, A. **Geotecnia Ambiental**. Brasfound. 2012.

PREFEITURA DE PENÁPOLIS. **Aterro sanitário de Penápolis recebe nota 9,7 da Cetesb**. São Paulo. 2018. Disponível em: <<https://penapolis.sp.gov.br/portal/noticias/0/3/6340/aterro-sanitario-de-penapolis-recebe-nota-97-da-cetesb>>. Acesso em: 04 de maio de 2020.

SÁNCHEZ, L. E. **A desativação de empreendimentos industriais: um estudo sobre o passivo ambiental**. Tese (Livre-Docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. 1998. 178p.

SÃO PAULO. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Manual de gerenciamento de áreas contaminadas**. São Paulo, 1999. Disponível em: <<http://areascontaminadas.cetesb.sp.gov.br/manual-de-gerenciamento/>>. Acesso em: 28 de abril de 2020.

SÃO PAULO (Estado). **Decreto nº 59.263, de 5 junho de 2013. Regulamenta a Lei nº 13.577, de 2009, que dispõe sobre diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento de áreas contaminadas, e dá providências correlatas**. Diário Oficial do Estado, São Paulo, 6 jun. 2013.

STORTE, M. **Visão Sobre a Impermeabilização da Usina Nuclear de Angra 3**. 2013. Disponível em: <<http://www.casadagua.com/wp-content/uploads/2014/02/PAP-014-SS03.pdf>>. Acesso em: 16 junho de 2020.