

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

Cap Tércio Brum

REMEDIÇÃO AMBIENTAL DE ÁREAS CONTAMINADAS POR EXPLOSIVOS

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia de Defesa do Instituto Militar de Engenharia, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências em Engenharia de Defesa

Orientador: Prof. José Carlos Cesar Amorim - Ph. D.

Co-Orientador: Prof^a Maria Esther Soares Marques – D. Sc

Rio de Janeiro

2010

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

Praça General Tibúrcio, 80 – Praia Vermelha

Rio de Janeiro – RJ CEP: 222290-270

Este exemplar é de propriedade do Instituto Militar de Engenharia, que poderá incluí-lo em base de dados, armazenar em computador, microfilmear ou adotar qualquer forma de arquivamento.

É permitida a menção, reprodução parcial ou integral e a transmissão entre bibliotecas deste trabalho, sem modificação de seu texto, em qualquer meio que esteja ou venha a ser fixado, para pesquisa acadêmica, comentários e citações, desde que sem finalidade comercial e que seja feita a referência bibliográfica completa.

Os conceitos expressos neste trabalho são de responsabilidade do autor e dos orientadores.

<p>358.17 Brum, Tércio B893r Remediação Ambiental de Áreas Contaminadas por Explosivos, Tércio Brum - Rio de Janeiro : Instituto Militar de Engenharia, 2010. 129 p. : il.</p> <p>Dissertação (mestrado) – Instituto Militar de Engenharia – 2010.</p> <p>1.Sistema de Armas. 2. Engenharia de Defesa.I. Título. II Instituto Militar de Engenharia.</p> <p>CDD 358.17</p>
--

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

CapTERCIO BRUM

REMEDIÇÃO AMBIENTAL DE ÁREAS CONTAMINADAS POR EXPLOSIVOS

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia de Defesa do Instituto Militar de Engenharia, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências em Engenharia de Defesa.

Orientador: Prof^o. José Carlos Cesar Amorim – Ph. D.

Orientadora: Prof^a. Maria Esther Soares Marques - D. Sc.

Aprovada em 03 de fevereiro de 2010 pela seguinte Banca Examinadora:

Prof^o José Carlos Cesar Amorim - Ph. D. do IME - Presidente

Prof^a Maria Esther Soares Marques – D. Sc. do IME

Prof^a. Maria Cláudia Barbosa - D. Sc. da COPPE/UFRJ - Programa de Engenharia Civil

Prof^o Maj QEM Marcelo Miranda Reis – D. Sc. do IME

Rio de Janeiro
2010

Aos meus pais, que tanto lutaram para me dar uma boa educação e formação moral, à minha esposa Zilene pela dedicação e compreensão em todos os momentos e aos meus filhos Ana Beatriz e Lucas.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Militar de Engenharia pela oportunidade de realização do Curso de Mestrado em Engenharia de Defesa.

Aos professores do Curso de Mestrado em Engenharia de Defesa do IME pelos ensinamentos transmitidos.

Aos orientadores dessa dissertação, professor. José Carlos Cesar Amorim – Ph. D. e Prof^ª. Maria Esther Soares Marques - D. Sc., que acreditaram em meu trabalho e me deram a chance de realizar um grande sonho.

A Professora Maria Cláudia Barbosa – D. Sc. da COPPE/UFRJ pelos ensinamentos na área de transporte de contaminantes.

Ao meu amigo Kary de Paiva, pelas suas orientações e conselhos que foram essenciais para o êxito deste trabalho.

Ao senhor coronel Ricardo Corrêa Leão, que me incentivou para que eu lutasse por este mestrado, graças a ele, tudo teve início.

Ao senhor coronel Andreato, pelo apoio ao trabalho.

Aos capitães Teixeira e Eudes, pelo apoio e orientações também indispensáveis.

Ao 1º Ten Cícero, pelo apoio, por ouvir sobre meu trabalho e me ajudar na elaboração deste.

À minha esposa Zilene pelo incentivo e apoio incondicional em todos os momentos dessa jornada.

A todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram ou torceram pelo sucesso deste trabalho.

A CAPES pelos recursos ao projeto: “Sistema de Gestão Ambiental para Atividades Militares” no qual o desenvolvimento de minha dissertação está inserido.

E, principalmente, a Deus por ter possibilitado a minha evolução intelectual e espiritual colocando todas estas pessoas em meu caminho.

"Não existem princípios; apenas fatos, apenas circunstâncias. O homem superior apóia fatos e circunstâncias a fim de guiá-los. Se houvesse princípios e leis fixas, as nações não as mudariam como mudamos de camisa, e não se poderia esperar de um homem que seja mais sábio de que uma nação inteira."

HONORE DE BALZAC,
1799 – 1850

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	19
1.1 Considerações Iniciais.....	19
1.2 Objetivos da Dissertação	21
1.3 Estrutura do Trabalho.....	22
2. MUNIÇÕES E EXPLOSIVOS	23
2.1Munições	25
2.1.1Munições de Armamento Leve	25
2.1.2.Munições de Armamento Pesado: Calibre Maior que 60 ”.....	29
2.2Tipos de Projéteis.....	32
2.3Explosivos Militares.....	37
2.3.1Classificação dos Explosivos	39
2.3.2PRINCIPAIS EXPLOSIVOS UTILIZADOS PELO EXÉRCITO	43
2.3.3Toxicidade dos Explosivos	46
2.4Conclusão Parcial.....	48
3. GESTÃO AMBIENTAL DE ÁREAS CONTAMINADAS POR EXPLOSIVOS	51
3.1 Gestão Americana	52
3.2 Gestão Brasileira	54
3.2.1 Gestão Federal.....	55
3.2.2 Gestão Sobre Critérios E Valores Orientadores De Qualidade Do Solo.....	56
3.2.3 A Gestão do Estado de São Paulo	60
3.3 Política Ambiental do Exército Brasileiro	62
3.4 Conclusão Parcial.....	67
4. TÉCNICAS DE REMEDIAÇÃO AMBIENTAL DE SOLOS CONTAMINADOS POR METAIS PESADOS	69
4.1Solo 70	
4.2Metais Pesados	71

4.3	Contaminação do Solo por Metais Pesados	73
4.4A	Disponibilidade de Metais Pesados No Solo.....	73
4.5	Técnicas de Remediação Ambiental	75
4.5.1	Tecnologias de Remediação de Solos Contaminados por Metais Pesados.....	77
4.5.2	Técnicas de Imobilização / Isolamento de Metais Pesados Ex Situ / In Situ.....	78
4.5.3	Técnicas de Extração de Metais Ex Situ E In Situ.....	83
4.6	Aplicabilidade das Técnicas.....	90
4.7	Práticas de Remediação Utilizadas Nos Eua E Europa.....	96
4.7.1	Tecnologias De Imobilização.....	96
4.7.2	Tecnologias de Extração	97
4.8	Exemplos de Sites Tratados	98
4.8.1	Fito Extração	98
4.8.2	Lavagem de Solo.....	100
4.8.3	Vitrificação.....	103
4.8.4	Eletrocinese	104
4.8.5	Tratamento Térmico.....	105
4.8.6	Redução/Oxidação Química.....	105
4.8.7	Lavagem do Solo In Situ (Soil Flushing).....	105
4.8.8	Solidificação e Estabilização (S/E)	106
4.8.9	Queima e Detonação ao Ar Livre.....	107
4.9	Conclusão Parcial.....	108
5.	PROPOSTA DE UM PROGRAMA DE REMEDIAÇÃO PARA ÁREAS CONTAMINADAS POR EXPLOSIVOS E MUNIÇÕES.....	112
5.1	Impactos Associados À Atividade de Disposição de Munição e Explosivos	112
5.2	Proposta de Um Programa de Remediação	113
5.3	Escolha das Técnicas Mais Viáveis Para Enquadramento nos Limites da Legislação	117
6.	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	119
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	123

LISTA DE FIGURAS

FIG 2-1 Processo de descarte de munição de tiro 105mm – (Elaboração Própria)	23
FIG 2-2 – Diferentes tipos de Munição Grosso Calibre.....	24
FIG 2-3 Cano de armamento em corte	25
FIG 2-4 Detalhe do cartucho: 1- Projétil; 2 – Estojo; 3 – Carga de Projeção; 4 – Virola de Extração; 5 - Cápsula de Deflagração ou Espoleta (http://armasdefogo.amatilha.com.br/category/municao , acesso em 2009).....	25
FIG 2-5 Diferentes tipos de munição pequeno calibre.....	26
FIG 2-6 – Estojo de latão - munição 7mm –(EsMB, 2000)	27
FIG 2-7 – Cápsula de deflagração no detalhe - EsMB, 2000.....	28
FIG 2-8 Esquema de um Tiro: 1 – Espoleta Ogival; 2 – Granada; 3 – Estopilha;.....	29
FIG 2-9 Esquema de uma Granada: 1- Ogiva; 2-Cinta de Turgência;.....	30
FIG 2-10 – Espoleta Ogival de Tempo – modelo MIL-STD-1316, Disponível http://www.mthsa.ch/products.html [capturado em Jan 2009].	31
FIG 2-11 – Desenho em corte de uma munição com carga oca - BF2 – 2000	33
FIG 2-12 Munição APDS após seu lançamento. Disponível: BF2 – 20009	34
FIG 2-13 Munição APDSFS (EsMB 2000)	35
FIG 2-14 – Classificação dos Explosivos - Apostila de Munição e.....	38
FIG. 2-15 Organograma de Explosivos – Fonte: MEYER, KÖHLER e HOMBURGER, p. 316, 2007.....	40
FIG 2-16 Cadeia Explosiva utilizada para iniciar um explosivo secundário (EsMB, 2000) ...	41
FIG 2-17 Formas de grãos de pólvoras utilizadas – Fonte: CBC, 2009 e TM 9 p. 34.....	43
FIG 2-18 – Munições destruídas de maneira incompleta (Elaboração própria)	49
FIG 2-19 – Resíduos de munições que permanecem no solo após o descarte – (Elaboração própria).....	49
FIG 3-1 Fluxograma das etapas de gerenciamento de áreas contaminadas (Resolução CONAMA nº 420/2009)	59
FIG 3-2 Fluxograma do Gerenciamento de Áreas Contaminadas (CETESB – Procedimento de Gerenciamento de Áreas Contaminadas 2008 p. 11)	61
FIG 3-3 - Organograma das Forças Armadas	63
FIG 3-4 Aparato Bélico Moderno – Disponível: http://www.exercito.gov.br/01inst/armas/Infantar/indice.htm , [Acesso: 2008].....	64

FIG 4-1– Tipos de Remediação – USEPA 2000.....	75
FIG 4-2 Processos Biológicos – USEPA 2000	75
FIG 4-3 – Processos Físico-Químicos – USEPA 2000	76
FIG 4-4 – Tecnologias para remediação de sites contaminados por metais pesados (Dermont 2008).....	77
FIG 4-5 – Processo de Oxiredução (FRTR 2009).....	82
FIG 4-6 – Processo de Extração Química (FRTR – 2009).	86
FIG 4-7 – Processo de Queima á Céu Aberto – 2009 – Área de disposição - (Elaboração própria).....	88
FIG 4-8 Processo de Detonação à Céu Aberto - Área de disposição - (Elaboração própria) ..	88
FIG 4-9 – Processo de Extração Eletrocinética (FRTR – 2009).....	89
FIG 4-10 – Técnicas utilizadas para tratamento de solos – Dermont et al (2008).....	96
FIG 4-11 – Localização de Fito Tecnologias nos EUA – USEPA 2005a.....	99
FIG 4-12 – Contaminantes tratados com Fito Tecnologia - USEPA 2005a	100
FIG 4-13 Unidade de Tratamento no Canadá (http://www.art-engineering.com/Projects/Montreal/Photos.htm [acesso 2008]).....	101
FIG 4-14 – Área de Armazenamento e Tratamento de Resíduos (http://www.art-engineering.com/Projects/Montreal/Photos.htm [acesso 2008]).....	102
FIG 4-15 Área do Projeto (ART)	102
FIG 4-16 Unidade de Lavagem do Solo - ART	103
FIG 4-17 – Módulo de vitrificação transportado e instalado em campo - (SAVANNAH 2000).	104
FIG 4-18 - Complexo desportivo, que inclui seis campos de futebol e beisebol sobre uma área recuperada em New Jersey – (EPA 540-K-01-002 – “Recreational Use of Land Above Hazardous Waste Containment Áreas”).....	106
FIG 4-19 – Esquema de Instalação Utilizada para Queima ou Detonação ao Ar Livre – FRTR 2008.....	107
FIG 4-20 Munições que foram dispostas de forma incorreta, (Elaboração própria).....	108
FIG 4-21 – Materiais explosivos espalhados dentro e fora da área de destruição (Elaboração própria).....	109
FIG 5-1 - Comandos Militares (EB 2009)	113

LISTA DE TABELAS

TAB 2-1 – Requisito para explosivos de uso civil e militar. MEYER, KÖHLER e HOMBURG, p. 312, 2007	37
TAB 2-2 Principais explosivos utilizados pelo Exército , MEYER, KÖHLER e HOMBURG, p. 146, 2007.....	44
TAB 2-3. Toxicidade de Explosivos Militares – T9 1984 – Tabela 12-1 - P.. 265 - Cap. 12. 46	
TAB 2-4 - Relação de alguns materiais contaminantes provenientes de detonação de munição e explosivos no local	49
TAB 3-1 – Classes de Qualidade dos solos e Procedimentos de Prevenção e Controle (Arts. 13 e 20 respectivamente da Resolução CONAMA nº 420/2009)	57
TAB 4-1 - Relação de Contaminantes Inorgânicos – http://www.frtr.gov/matrix2/section2/2_8.html , [Capturado em 13 de junho de 2009]).....	72
TAB 4-2 - Técnicas utilizadas nos EUA e Europa.....	97
TAB 4-3 - Exemplos de aplicação da Eletrocinese (DERMONT et al. 2008).....	104
TAB 4-4 – Principais sites que utilizaram S/E para remediação de área (ASR 12ª Ed. 2007)	106

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- AC - Área Contaminada
- AI – Área Contaminada Sob Investigação
- AMR - Área em Processo de Monitoramento para Reabilitação
- AP - Área com Potencial de Contaminação
- APS – “Armour-Piercing Shell” – Projétil Perfurante Explosivo
- APDS – “Armour-piercing discarding sabot” – Projétil de alta energia cinética
- APDSFS – “Armour Piercing Discarding Sabot Fin Stabilized” - Projétil de alta energia cinética, estabilizado por aletas
- AR - Área Reabilitada para o uso Declarado
- AS - Área Suspeita de Contaminação
- BD - Base Dupla
- BS - Base Simples
- BT - Base Tripla.
- CBC – Companhia Brasileira de Cartuchos
- CERCLA – “Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act”
- CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo;
- CIG - Campo de Instrução de Gericinó
- CM - Componentes de Munições
- Cmt Ex – Comandante do Exército
- CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente
- CTC - capacidade de troca catiônica
- DCMun – Depósito Central de Munição
- DEGAEB - Diretriz Estratégica de Gestão Ambiental do Exército Brasileiro
- DoD – “United States Department of Defense” - Departamento de Defesa
- EB – Exército Brasileiro
- EIA - Estudo do Impacto Ambiental
- EPA – “Environmental Protection Agency”
- EsMB – Escola de Material Bélico
- FRTR - Federal Remediation Technologies Roundtable

FT - Força Terrestre
HE – “High Explosive” - Projétil Alto Explosivo
IG – Instruções Gerais;
MA – Meio Ambiente
MB – Marinha do Brasil
MD – Ministério da Defesa
MMRP – “Military Munitions Response Program” – Manual do Programa de Resposta de Munições Militares – EUA
MPF - Ministério Público Federal
NASA – “National Aeronautics and Space” - Agência Espacial Americana
OM - Organizações Militares
PENT - Tetranitrato de Pentaeritrol
PGAEB - Política de Gestão Ambiental do Exército Brasileiro
PNMA - Política Nacional do Meio Ambiente
PUC – Rio - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro
RIMA - Relatório de Impacto sobre o Meio Ambiente
S/E – Solidificação e Estabilização
SISNAMA - Sistema Nacional do Meio Ambiente
SITE- Superfund Innovative Technology Evaluation
SUMATECS – “Sustainable management of trace element contaminated soils”
UFRRJ – Universidade Rural do Rio de Janeiro
EUA – Estados Unidos da América;
USACE – “US Army Corps of Engineers” - Corpo de Engenheiros
USEPA - “United State Environmental Protection Agency”
UXO – “unexploded ordnance” – Munição que não explodiu após o tiro.

RESUMO

O grande progresso científico e tecnológico experimentado pela humanidade neste último século resultou de alguma forma em agressões ao meio ambiente, estima-se que existam cerca de 1.000.000 de áreas contaminadas por metais pesados nos Estados Unidos da América. Esta contaminação ocorreu principalmente por causa das atividades industriais e militares e que provocaram um grande impacto ao meio ambiente. (EPA, 2006)

Considerando a sofisticação tecnológica e a complexidade de uma operação militar nos dias de hoje, não é de se estranhar a diversidade de atividades necessárias ao êxito de uma missão operacional realizada pelo Exército. Estas atividades muitas vezes demandam o emprego de agentes físicos, químicos e biológicos, representando tanto um risco para o militar que os manipula, quanto para o ambiente que o cerca.

Todavia, a despeito dos argumentos apresentados, não é admissível que a instituição nacional a quem cabe a defesa da Pátria, seja responsável pela degradação das instalações que usa ou dos campos de instruções em que prepara seus contingentes.

Nesse sentido, o Exército Brasileiro tem se preocupado em preservar e recuperar possíveis áreas contaminadas, para isso, é necessário se conhecer o ciclo de vida das munições, realizar processos de identificação e catalogação de áreas contaminadas e desenvolver técnicas de remediação ambiental.

Uma das atividades que o EB realiza e que causa grande impacto ambiental é a destruição de munição e explosivos inservíveis. Este procedimento é regulamentado no Manual Técnico T9, porém devido ao grande impacto que esta atividade causa ao meio ambiente, é necessário que se adote técnicas para monitorar as áreas contaminadas e recuperá-las.

Neste trabalho, pretende-se analisar as metodologias utilizadas para remediação ambiental das áreas de destruição de explosivos e munições militares tendo como objetivos gerais realizar o estudo das alternativas existentes para remediação ambiental de área de uso militar e elaborar uma proposta de programa de remediação.

Esta dissertação faz parte do projeto: “Sistema de Gestão Ambiental para Atividades Militares” do Pro – Defesa, que é financiado pela Capes e Ministério da Defesa e tem como objetivos, dentre outros, desenvolver um Sistema de Gestão Ambiental para controle das atividades militares; estabelecer metodologia para recuperação de áreas degradadas, estabelecer procedimento para gestão de resíduos e a formação de recursos humanos.

Palavras Chave: Ambiental, Contaminação, Explosivos, Metais Pesados, Munições, Resíduos, Remediação, Solo, Técnicas.

ABSTRACT

The great scientific and technological progress that humanity experienced during the last century resulted in some form in damage to the environment, it is estimated there are about 1.000.000 of soils contaminated by heavy metals in the United States of America. This contamination occurred mainly because of industrial and military activities, which caused a great impact on the environment. (EPA, 2006)

Given the technological sophistication and complexity of a military operation today, it is not surprising diversity of activities necessary for the success of an operational mission conducted by the Army. These activities often require the use of physical, chemical and biological agents, representing both a threat to the military that the handles, and for the environment that surrounds it.

However, despite the arguments, it is unacceptable that the national institution entrusted with the defense of the country, is responsible for the deterioration of facilities that use or fields of instructions in preparing their contingents.

In this sense, the Brazilian Army has been concerned with preserving and restoring contaminated areas possible, for it is necessary to know the life cycle of ammunition, implement procedures for the identification and cataloging of contaminated areas and develop techniques for environmental remediation.

One of the activities that EB performs and causes significant environmental impact is the destruction of unserviceable ammunition and explosives. This procedure is regulated in the Technical Manual T9, but due to the impact this activity causes the environment, it is necessary to adopt techniques to monitor contaminated areas, and retrieve them.

This paper seeks to examine the methodologies used for environmental remediation of the areas of destruction of explosives and military ammunition and are aimed at achieving the general study of alternatives for environmental remediation of the area of military and draft a remediation program.

This work is part of the project: "Environmental Management System for Military Activities" Pro - Defense, which is funded by CAPES and the Ministry of Defense and aims, among others, to develop an Environmental Management System for control of military activities; establish methodology for recovery of degraded areas, establish a procedure for waste management and training of human resources.

Keywords: Environmental Contamination, Explosives, heavy metals, Ammunition, Waste, Remediation, Soil Techniques.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais

O Exército Brasileiro (“EB”) tem como missão a defesa da Pátria, a garantia dos poderes constitucionais e, por iniciativa de qualquer destes, a garantia da lei e da ordem, cooperar com o desenvolvimento nacional e com a defesa civil, e ainda participar de operações internacionais de paz. Presente em todo o território nacional, em áreas urbanas e rurais, executa diversas atividades e que são classificadas como operacionais, logísticas e complementares.

As atividades operacionais são aquelas diretamente relacionadas ao objetivo primeiro da força, qual seja, a garantia da paz, da lei e da ordem, que compreendem a realização de tiro, fogos de artilharia, deslocamentos a pé e motorizados, dentre outras.

As atividades logísticas dão suporte às primeiras e são executadas pelo Serviço de Intendência e pelo Quadro de Material Bélico.

O serviço de Intendência cuida das atividades de suprimento, a distribuição de uniformes e equipamentos individuais, distribuição de munição, administração financeira e contábil.

A manutenção do material bélico (armamento, viaturas e aeronaves), suprimento de peças, conjuntos de reparação, combustíveis, óleos, graxas e lubrificantes para motores e máquinas é de responsabilidade do Quadro de Material Bélico.

As atividades complementares, por sua vez, viabilizam o funcionamento e permitem o aperfeiçoamento de todo o sistema, não estando compreendidas nas duas primeiras. São realizadas nas seguintes unidades: hospitais, fábricas, laboratórios, arsenais, escolas e campos de instrução.

Considerando a sofisticação tecnológica e a complexidade de uma operação militar nos dias de hoje, não é de se estranhar a diversidade de atividades necessárias ao êxito de uma missão. Estas atividades muitas vezes demandam o emprego de agentes físicos, químicos e biológicos, representando tanto um risco para o militar que os manipula, quanto para o ambiente que o cerca.

Todavia, a despeito dos argumentos apresentados, não é admissível que a instituição nacional a quem cabe a defesa da Pátria, seja responsável pela degradação das instalações que usa ou dos campos de instruções em que prepara seus contingentes.

Nesse sentido, o EB desde suas origens esteve comprometido com a manutenção de suas sedes fixas ou mesmo os locais de estacionamentos. Verifica-se este fato desde 1920, quando os regulamentos dos Campos de Instrução já registravam a preocupação com a preservação das matas, regulando o uso de recursos naturais. (Dec Lei nº 14.273, de 28 de julho de 1920)

Evidencia-se, também, o incremento de notícias veiculadas nos Noticiários do Exército, nos Planos de Instrução Militar e nos manuais de instrução. A publicação e edição da atual Política e Diretriz Estratégica de Gestão Ambiental do Exército Brasileiro demonstram, na prática, o envolvimento da Força com o meio ambiente.

Mesmo agindo de forma pró-ativa além de realizar atividades compensatórias tais como: apoio a comunidades indígenas, colaboração no combate a incêndios, participação em campanhas de proteção do meio ambiente dentre outras, o EB, assim como qualquer instituição federal, também está exposto ao recrudescimento da legislação ambiental da última década.

Constata-se esta fragilidade por meio da crescente demanda judicial a que os comandantes de organizações militares estão expostos, com destaque para os Campos de Instrução de Formosa e de Gericinó, os quais respondem a processo judicial por dano à fauna e por representar risco à população do entorno, respectivamente.

Portanto, é necessário que o EB se antecipe ao problema caracterizando as áreas que utiliza, identificando as atividades que oferecem risco ao meio ambiente e, principalmente, identificando formas de eliminar ou mitigar o mesmo.

Uma das atividades que o EB realiza e que causa grande impacto ambiental é a destruição de munição e explosivos inservíveis (Figura 1.1). Este procedimento é regulamentado no Manual Técnico T9, porém devido ao grande impacto que esta atividade causa ao meio ambiente, é necessário que se adote técnicas para monitorar as áreas contaminadas e recuperá-las.

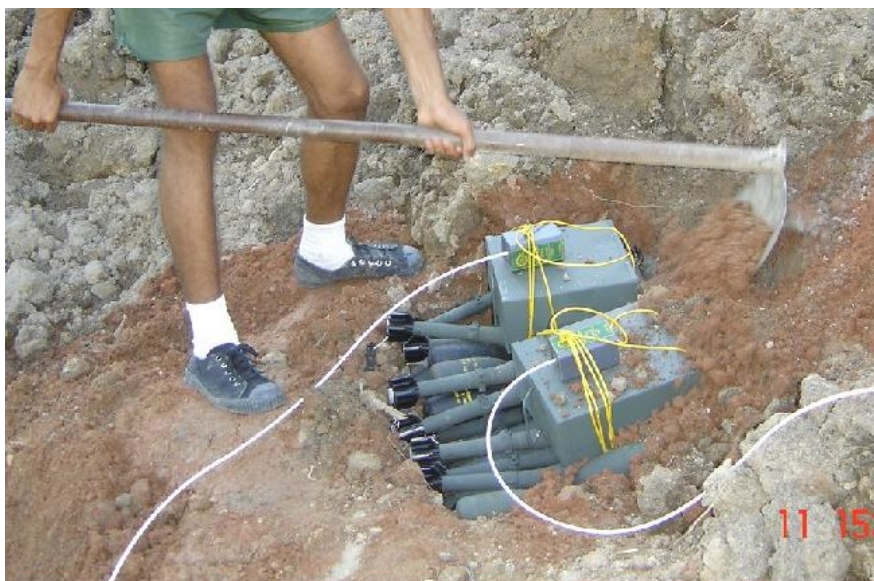


Figura 1.1– Procedimento para Destruição de Munição (Elaboração própria)

É necessário avaliar os impactos ambientais gerados pelos explosivos e munições utilizados pelo Exército Brasileiro, isto porque das análises que foram realizadas pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, UFRRJ, e pela Pontífice Universidade Católica do Rio de Janeiro, PUC-Rio para verificar a contaminação por metais pesados e aromáticos respectivamente. Somente a UFRRJ verificou que a área está contaminada por metais pesados.

Portanto, este trabalho é inédito no Brasil, pois é o primeiro a tratar sobre técnicas de remediação ambiental de explosivos e munições de uso civil e militar.

1.2 Objetivos da Dissertação

Neste trabalho, pretende-se analisar as metodologias utilizadas para remediação ambiental das áreas de destruição de explosivos e munições tendo como objetivos gerais realizar o estudo das alternativas existentes para remediação ambiental de área de descarte de explosivos e elaborar uma proposta de programa de remediação visto que não existe no Brasil um programa de remediação de áreas de uso militar.

Para o desenvolvimento deste trabalho foi adotada, como local de estudo, uma área de destruição de munições e explosivos do Exército Brasileiro. Foram feitos levantamentos topográficos da área de destruição, estudo geofísico para se avaliar a concentração de contaminantes no solo bem como o seu perfil através de sondagens a percussão.

Essa dissertação também faz parte do projeto: “Sistema de Gestão Ambiental para Atividades Militares” que é financiado pela CAPES e Ministério da Defesa.

1.3 Estrutura do Trabalho

Para alcançar estes objetivos, foram definidos três objetivos específicos, que são:

1. Estudar o Ciclo de Vida da Munição;
2. Desenvolver uma Metodologia de Desmilitarização;
3. Propor técnicas de remediação de áreas contaminadas com explosivos militares;

Para se alcançar os objetivos aqui tratados, o trabalho está dividido da seguinte maneira:

No capítulo dois serão apresentadas as principais munições e explosivos que foram destruídas numa área de destruição do Exército, bem como a sua composição, abordando assim, o seu ciclo de vida. Estes dados serão importantes, pois a partir de valores levantados na área de estudo uma estimativa de outras áreas onde a mesma atividade é realizada poderá ser realizada.

No capítulo três será apresentada a legislação e manuais que tratam do assunto no âmbito do Exército, a nível federal e nos Estados Unidos da América, EUA.

O levantamento das atividades de disposição de munição será apresentado no capítulo quatro, onde serão apresentados os procedimentos adotados para o descarte de munição e explosivos nos Estados Unidos e Europa e como existe uma área militar contaminada com explosivos, é importante conhecer as técnicas de remediação adotadas no Brasil e no exterior em relação a remediação ambiental de solos contaminados.

Por fim, no capítulo cinco, será apresentada uma proposta do programa de remediação ambiental apresentando as diversas técnicas de remediação ambiental de solos contaminados.

2. MUNIÇÕES E EXPLOSIVOS

Antes de realizar a remediação ambiental deve-se investigar a origem da contaminação. A área de estudo é utilizada para descarte de diferentes tipos de munições de pequeno e grosso calibre e explosivos, de uso civil e militar desde 2004 (FIG. 2.1). Neste capítulo, será apresentada uma descrição detalhada dos componentes, a composição química e de materiais de alguns tipos de munições e explosivos que foram destruídos na área contaminada.



FIG 2-1 Processo de descarte de munição de tiro 105mm – (Elaboração Própria)

O termo munição e explosivos por vezes se confundem como sendo a mesma coisa, todavia não são. Munição é um artefato completo, pronto para carregamento e disparo de uma arma, ou seja, são corpos carregados com explosivos ou agentes químicos destinados a produzir danos (FIG 2-2). Consideram-se munições também os tiros de exercício, que não possuem carga de explosão, mas apenas de lançamento, tiros de salva, utilizados em cerimônias militares e que produzem somente ruído e a munição de festim utilizada nos treinamentos da tropa.



FIG 2-2 – Diferentes tipos de Munição Grosso Calibre
Site: www.cbc.com.br, acesso em 2009.

Os explosivos são substâncias ou um conjunto de substâncias que sofrem reações químicas produzindo grande quantidade de calor e gases (produtos). Esta reação denomina-se explosão e caracteriza-se por ocorrer num espaço de tempo muito pequeno. O volume dos produtos é maior que os reagentes e, dependendo do local onde esteja localizado o explosivo, poderá provocar a ruptura do mesmo causando ruído, ondas de choque e calor. Os explosivos são substâncias instáveis, logo quando manuseados e armazenados de maneira incorreta, podem provocar a sua decomposição em produtos mais estáveis com a liberação de grande quantidade de energia.

(<http://www.globalsecurity.org/military/systems/munitions/explosives.htm>-acessada em dezembro de 2008).

2.1 Munições

2.1.1 Munições de Armamento Leve

Considera-se munição de armamento leve àquelas que possuem calibre menor do que 0,60 polegadas (1,52 cm) (ApMB, p. 18). Calibre é a medida do diâmetro interno da arma, medido entre cheios opostos, expressos em polegadas (armas americanas) ou em milímetros (FIG 2-3).(AMMUNITION 2008).

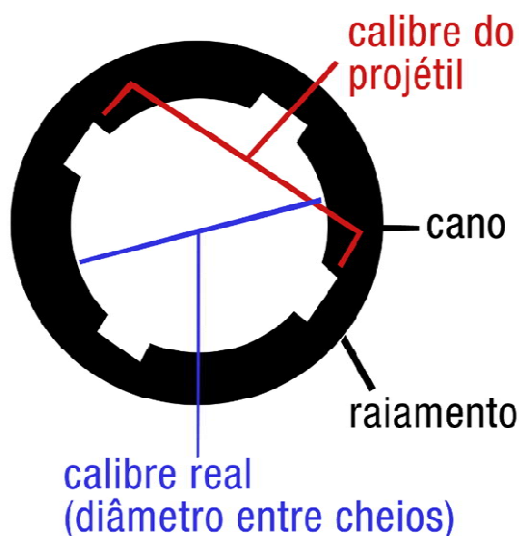


FIG 2-3 Cano de armamento em corte (AMMUNITION)

A munição de armamento leve é denominada cartucho, que é composto pelo projétil, estojo, cápsula de deflagração e carga de projeção (FIG 2-4).

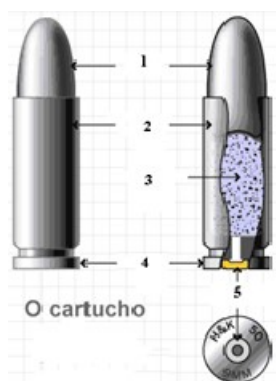


FIG 2-4 Detalhe do cartucho: 1- Projétil; 2 – Estojo; 3 – Carga de Projeção; 4 – Virola de Extração; 5 - Cápsula de Deflagração ou Espoleta (<http://armasdefogo.amatilha.com.br/category/municao>, acesso em 2009).

2.1.1.1. Projétil

Tem por finalidade causar danos, são construídos por um núcleo recoberto por uma capa externa chamada camisa ou jaqueta. A camisa é normalmente fabricada com ligas metálicas de: cobre e níquel; níquel e zinco; cobre e zinco; cobre; zinco e estanho ou aço. O núcleo é constituído geralmente de chumbo praticamente puro, conferindo o peso necessário e um bom desempenho balístico (Rel CBC, 2009)

Os projéteis encamisados podem ter sua capa externa aberta na base e fechada na ponta (projéteis sólidos) ou fechada na base e aberta na ponta (projéteis expansivos). Os projéteis sólidos têm destinação militar, para defesa pessoal ou para competições esportivas. Destaca-se sua maior capacidade de penetração e alcance (FIG.2-5).



FIG 2-5 Diferentes tipos de munição pequeno calibre.
Catálogo CBCD

Os diferentes tipos de munição se distinguem pela sua finalidade e conseqüentemente pela diferença de material com que são fabricados conforme a seguinte relação:

- a) Comum: emprego contra pessoal e alvos não blindados, núcleo de chumbo, antimônio ou aço, sem pintura;
- b) Traçante: para a observação de tiro e sinalização, também causa incêndios, núcleo de chumbo e antimônio e à retaguarda composição traçante de resinato de cálcio, perclorato de potássio, peróxido de bário, oscalato ou nitrato de estrôncio, tetracloreto de carbono, cloreto de polivinila, vermelho de taluidina, estearato de zinco e magnésio em pó, ogiva vermelha, alaranjada ou marrom;
- c) Perfurante: emprego contra aviões e veículos de blindagem leve, abrigos de concreto e outros alvos resistentes à munição comum, possui o núcleo de aço endurecido com liga de cromo e tungstênio(Cr-W) ou liga de magnésio e molibdênio, com enchimento de chumbo na ogiva, tampão, ogiva preta;
- d) Incendiária: causa efeito incendiário especialmente contra aviões, núcleo de mistura incendiária que pode ser de nitrato de bário; óxido de ferro; liga de alumínio; magnésio e perclorato de potássio; tampão de chumbo e antimônio no culote, ogiva azul;

e). Perfurante-Incendiária (AP-CH): combina os efeitos perfurante e incendiário, núcleo de aço endurecido e mistura incendiária na ogiva, ao invés de enchimento de metal, ogiva azul com anel cor de alumínio;

f) Perfurante-Incendiária-Traçante (ETPT “Match”): combina esses efeitos, são semelhantes às anteriores, contendo uma composição traçante na parte final do culote, ogiva vermelha com um anel cor de alumínio;

g) Alto-Explosivo Incendiária: empregada em metralhadoras de aviões, contém composição incendiária na ogiva, que se inflama no contato com o alvo, o impacto gera a detonação do alto-explosivo.

2.1.1.2. Estorjo

O estorjo possibilita que todos os componentes,(projétil, cápsula de deflagração, carga de projeção), necessários ao disparo fiquem unidos dentro da arma, facilitando o manejo, e acelera o intervalo entre cada disparo.(FIG. 2-6).

A maioria dos estojos é fabricado em metais não-ferrosos, principalmente o latão 70/30 (liga de cobre e zinco), mas também são encontrados estojos construídos com diversos tipos de materiais como polímeros orgânicos (plásticos) e papelão em munição de treinamento e de espingardas.(FIG 2-6).



FIG 2-6 – Estorjo de latão - munição 7mm –(EsMB, 2000)

2.1.1.3. Cápsula de Deflagração ou Espoleta.

Após excitação externa, tem como função iniciar a queima da carga de projeção. O explosivo utilizado é o estifinato de chumbo (Trinitroressorcinato de Chumbo ($C_6H_3O_9N_3Pb$))

ou azida de chumbo ($Pb(N_3)_2$) ou fulminato de mercúrio ($Hg(ONC)_2$). (MEYER, KÖHLER, HOMBURG, p. 45, 2007)(FIG.2-7).

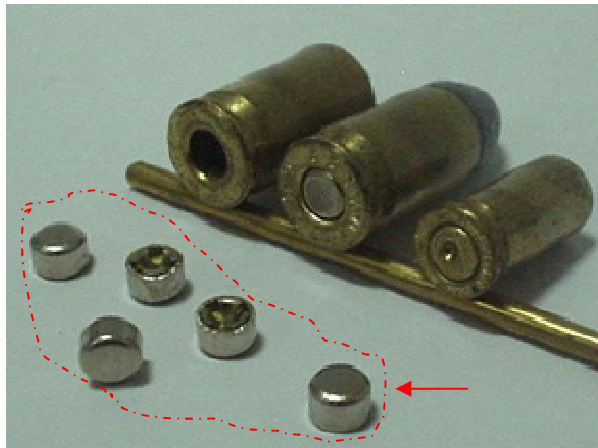


FIG 2-7 – Cápsula de deflagração no detalhe - EsMB, 2000

2.1.1.4. Carga de Projecção

O propelente ou carga de projecção é a fonte de energia química capaz de arremessar o projétil a frente, imprimindo-lhe grande velocidade. A energia é produzida pelos gases resultantes da queima do propelente, que possuem volume muito maior que o sólido original. O rápido aumento de volume de matéria no interior do estojo gera grande pressão para impulsionar o projétil.

A queima do propelente no interior do estojo, apesar de mais lenta que a velocidade dos explosivos, gera pressão suficiente para causar danos na arma, isso não ocorre porque o projétil se destaca e avança pelo cano, consumindo grande parte da energia produzida.

Quando a munição precisa ser descartada, ocorre a dispersão de poluentes na atmosfera através destes gases.

Atualmente, o propelente usado nos cartuchos de armas de defesa é a pólvora química ou pólvora sem fumaça (ALBRIGHT, 2008 p. 42)

Desenvolvida no final do século passado, substituiu com grande eficiência a pólvora negra que é usada em estopins que são tubos flexíveis preenchidos com pólvora negra destinados a transmitir chama para iniciação de espoletas; quando comercializados em pedaços, acoplados a uma espoleta, são denominados "espoletados"; podem ser hidráulicos ou comuns, conforme sejam capazes ou não, respectivamente, de transmitir chama dentro d'água.

A pólvora química produz pouca fumaça e muito menos resíduos que a pólvora negra, além de ser capaz de gerar muito mais pressão, com pequenas quantidades (SHREVE e

BRINK, p. 252 e 316,1997). Dois tipos de pólvoras sem fumaça são utilizados atualmente em armas de defesa:

a) Pólvora de base simples: fabricada à base de nitrocelulose, gera menos calor durante a queima, aumentando a durabilidade da arma;

b) Pólvora de base dupla: fabricada com nitrocelulose e nitroglicerina, tem maior conteúdo energético.

c) Pólvora de base tripla: são utilizadas nas munições de grosso calibre que é mistura de base dupla a nitroguanidina ($\text{CH}_6\text{N}_4\text{O}_3$).

Estas munições são descartadas através do processo de incineração e detonação diretamente no solo. Este é um processo foi utilizado no fim da 2ª guerra mundial e ainda é empregado no Brasil (ALBRIGHT, 2008. p.77). A área de estudo é utilizada para o descarte de diferentes munições e explosivos tanto civis quanto militares e está contaminada por metais pesados.

2.1.2. Munições de Armamento Pesado: Calibre Maior que 60 ”

Considera-se munição de armamento pesado aquelas que possuem calibre maior que 0,60 polegadas (1,52 cm), e recebe a denominação de “Tiro”. O tiro possui, basicamente, as seguintes partes: estojo, estopilha, carga de projeção ou propelente, granada, espoleta, detonador/ reforçador (FIG.3.8)

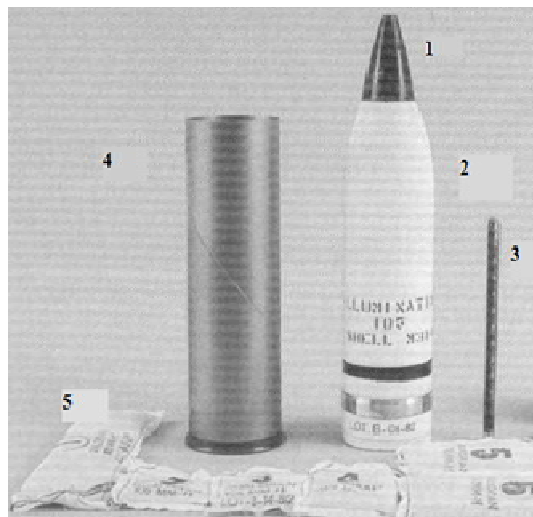


FIG 2-8 Esquema de um Tiro: 1 – Espoleta Ogival; 2 – Granada; 3 – Estopilha; 4 – Estojo; 5 – Cargas de Projeção - EsMB, 2000

2.1.2.1. Estojo

O estojo aloja a carga de projeção. O tiro que não utiliza estojo é denominado “munição desencartuchada”(EsMB, 2000).

São fabricados de aço, latão, alumínio ou de material combustível, apresentando a vantagem de se queimar junto com o propelente, evitando o acúmulo de estojos durante o tiro, oferecendo porém menor proteção à arma.

2.1.2.2. Estopilha

Artefato pirotécnico que produz inflamação da carga de projeção dos projéteis. Quando excitada, produz a chama que inicia a carga de projeção.

A estopilha pode ser de latão, aço ou alumínio. Na munição encartuchada, ela pode ser atarrachada ou estampada no seu alojamento no culote do estojo.

2.1.2.3. Carga de Projeção

Sua deflagração gera gases cuja energia promove o lançamento do projétil. Utiliza-se como carga as pólvoras de base simples (BS), base dupla (BD) ou de base tripla (BT). Possuem geometria do grão e o seu tamanho variados e que influenciam a queima do propelente, podendo ser cilíndrico, tubular, tubular cortado, laminar, heptaperfurado.

2.1.2.4. Projétil ou Granada

Projetados para causar dano, impacto, penetração ou perfuração, conduzir carga química ou explosiva apresenta as seguintes formas geométricas: cilindro-ogival, biogival, ogiva alongada, culote tronco-cônico, buscando sempre uma boa aerodinâmica devido à resistência do ar. As partes constituintes de um projétil são apresentadas na (FIG 2-9):

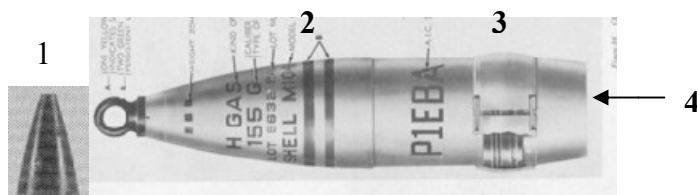


FIG 2-9 Esquema de uma Granada: 1- Ogiva; 2-Cinta de Turgência; 3–Cinta de Forçamento; 4-Culote - EsMB, 2000

2.1.2.5. Espoleta ou Ogiva

Inicia a carga explosiva ou química do projétil no momento e nas condições desejadas, pode se situar na ogiva ou no culote do projétil. (FIG 2-10).



FIG 2-10 – Espoleta Ogival de Tempo – modelo MIL-STD-1316, Disponível <http://www.mthsa.ch/products.html> [capturado em Jan 2009].

A espoleta contém um detonador (alto explosivo) e escorvas que são misturas físicas de substâncias químicas muito sensíveis ao impacto, cuja combustão gera gases quentes e partículas sólidas incandescentes; são utilizadas para a iniciação de ignitores de propelentes e detonadores, esta com a finalidade de iniciar a carga explosiva do projétil, após ter sido iniciada pelo detonador (EsMB, p.9, 2000)

Os explosivos utilizados nestas são muito sensíveis como o estifinato de chumbo, Azida de Chumbo ou Mercúrio. Por ter chumbo e mercúrio quando do seu descarte, contaminam o solo (SHREVE e BRINK, p. 253, 1997)

Quanto à sua ação se classificam em:

a) Percussão: um percussor aciona o detonador chocando-se contra ele por ocasião do impacto do projétil no alvo. Dependendo do tempo que leva para iniciar a carga explosiva, classifica-se em : super instantânea, instantânea, com retardo ou regulável;

b) Tempo: o mecanismo de disparo é ajustado para iniciar o detonador no instante desejado. Pode ser: mecânico (mecanismo de relojoaria) ou de combustão (rastilho de explosivo pirotécnico);

c) Proximidade: envia sinais (ondas eletromagnéticas) que são por ela captados após se refletirem no alvo. É acionada quando os sinais recebidos denunciam que o alvo está próximo o suficiente para ser atingido;

d) Elétrica: se conecta a uma bateria e inicia a queima através de uma corrente elétrica (não possui dispositivos mecânicos);

e) Mista: aciona o detonador através de dois ou mais diferentes métodos. Ex.: munição antiaérea, onde se usam espoletas de proximidade e de tempo ou de percussão e tempo, para evitar que o projétil exploda no chão caso não atinja o alvo;

2.1.2.6. Cinta de Forçamento

Para que a munição possa realizar o movimento de rotação, tem-se no corpo da granada uma cinta com diâmetro ligeiramente maior que o diâmetro do fundo das raias. Esta cinta engraza-se nos cheios do raiamento, proporcionando a rotação do projétil e realizando a obturação dos gases, impedindo que estes ultrapassem o projétil durante o seu percurso no interior do cano. Para facilitar o engrazamento, a cinta de forçamento é fabricada de um material mais macio do que o da alma do tubo, como o cobre, latão, ferro fundido ou polímeros orgânicos (plásticos).

2.1.2.7. Cinta de Turgência

A cinta de turgência serve como apoio ao deslizamento do projétil no cano da arma evitando os efeitos de batimento, causados pelo excesso de folga diametral. Os efeitos do batimento causam vibrações indesejáveis, que afetam tanto a vida dos tubos como a precisão e a acurácia durante o tiro.

2.2 Tipos de Projétilis

Dependendo da finalidade a que se destina, existem diferentes tipos de projétilis, tais como: alto explosivo, explosivo perfurante, carga oca, anti-tanque, de alta energia cinética, HESH, Sharpnel, químicos, assistidos por foguete, Base Bleed e guiados. Neste tópico, serão apresentadas as suas características principais bem como os materiais e explosivos utilizados.

2.2.1. Projétil Alto Explosivo – (HE) (High explosive shell)

Este tipo de projétil é utilizado contra pessoal e veículos blindados e também como munição antiaérea. Contém no seu interior uma carga de alto explosivo. O Trinitro Tolueno (TNT) é o mais utilizado, porém o amatol, mistura de Nitrato de Amônio (NH_4NO_3) e TNT, que confere mais estabilidade e segurança ao explosivo e picrato de amônio, conhecido como explosivo “D”, são encontrados. (SHREVE e BRINK, p. 252 e 316, 1997).

Seu poder de destruição baseia-se em dois fenômenos:

- a) Produção de estilhaços (mais eficaz contra pessoal);
- b) Deslocamento de ar (sopro – mais eficaz contra edificações);

Estes efeitos dependem da variação da espessura da parede do projétil e da quantidade de carga explosiva. Pode também ter efeitos incendiários, misturando-se substâncias incendiárias na carga explosiva.

2.2.2. Projétil Perfurante Explosivo – APS (Armour-Piercing Shell)

Utilizado contra alvos blindados, embarcações de guerra, fortificações. Seus efeitos são os mesmos do projétil (HE), porém a detonação do alto explosivo é iniciada após a perfuração da blindagem. Contém uma cobertura perforante de material extremamente duro de tungstênio e formato otimizado para melhor penetração.

Além dos explosivos que são utilizados no projétil (HE), utiliza como carga de detonação o Pentolite, explosivo com alto poder de brizancia, sendo fabricado a partir da dessensibilização do PENT (tetrinitrato de pentaeritrol $[C(CH_2ONO_2)_4]$.) (MEYER, KÖHLER, HOMBURG, p. 175, 2007).

Emprega uma ogiva balística para se reduzir o arrasto aerodinâmico, possuindo paredes grossas para resistir ao alto impacto, trazendo uma quantidade menor de alto explosivo (o efeito de estilhaçamento é maior que o sopro)

2.2.3. Projétil Carga Oca (Shaped-charge shell).

Utilizado para perfurar blindagens; possui um cone metálico com 50% de cobre e uma quantidade menor de elementos como zinco, alumínio, entre outros. A fabricação deste cone é realizada através da tecnologia do pó (FIG. 2-11).



FIG 2-11 – Desenho em corte de uma munição com carga oca - BF2 – 2000

O objetivo do cone é criar, com a detonação do explosivo, um jato gasoso de plasma de altíssimas velocidades, temperaturas e pressões, contendo partículas metálicas do próprio cone. Este jato tem um imenso poder perfurante e destrutivo. À frente do cone metálico há uma ogiva balística fina para melhorar a performance aerodinâmica e alojar a espoleta.

A detonação da carga explosiva começa pela parte de trás da munição, tornando possível a formação do jato, que se dirige para o alvo com velocidades entre 5000 e 7000 m/s.

2.2.4. Projétil Anti-Tanque –Heat (High Explosive Anti-Tank)

Tem o mesmo princípio de funcionamento que o anterior, isto é, utiliza a tecnologia de carga oca, com aprimoramentos que resultam em maior poder perfurante e capacidade de destruição.

A carga de arrebentamento que utiliza é o composto “B”, mistura de RDX e TNT (EsMB, 2000, p. 8).

A espoleta é alojada na ponta de um cilindro existente na sua parte frontal. Este cilindro é alongado de modo que o dispositivo seja acionado a uma distância maior do alvo, tornando maior o poder perfurante da carga oca

Quando este material é descartado, a detonação é feita com o tiro completo. Esta espoleta possui explosivo iniciador que contém chumbo (Ex.: Azida de chumbo, $Pb(N_3)_2$, ou estifinato de chumbo.)

2.2.5. Projétil de Alta Energia Cinética – Armour-piercing discarding sabot (APDS) e Armour Piercing Discarding Sabot Fin Stabilized (APDSFS)

Esta munição não carrega explosivos, utilizam projétils sub-calibre de alta energia cinética, podendo causar incêndios, devido à produção muito intensa de calor que ocorre durante a perfuração da blindagem.

Os projétils sub-calibre são feitos de um material extremamente duro como o tungstênio possuindo um grande comprimento em relação ao seu calibre.

Para se obter uma maior energia cinética, estes projétils sub-calibre tem diâmetro significativamente menor do que o calibre do armamento e possuem um envólucro ou calço descartável, que após a passagem do projétil pela boca da arma se solta devido à resistência do ar (FIG.2-12) Este calço se engraza no raiamento promovendo a obturação dos gases no interior da alma e a rotação necessária à estabilização do projétil.



FIG 2-12 Munição APDS após seu lançamento. Disponível: BF2 – 20009

A munição APDS apresenta o inconveniente de não permitir uma relação entre o comprimento do projétil e o seu calibre maior que sete, por não se conseguir em tubos raiados convencionais a rotação necessária à sua estabilização. Para solucionar este problema utiliza-se a munição flecha APDSFS (Armour Piercing Discarding Sabot Fin Stabilised) estabilizada por aletas ou empenas.(FIG. 2-13)



FIG 2-13 Munição APDSFS (EsMB 2000)

2.2.6. Projétil Hesh (High Explosive Squash Head)

É utilizada contra alvos blindados, tem seu poder de destruição baseado na propagação de ondas de choque através da blindagem ao invés de perfurá-la.

As ondas de choque surgem com a detonação de um alto explosivo em contato com a superfície externa da blindagem e, ao atingir a superfície interna, causam a fragmentação desta, produzindo estilhaços que têm um efeito letal contra a guarnição do blindado.

Para se ter maior eficiência, o explosivo só é iniciado por uma espoleta de retardo localizada no culote do projétil, quando a carga explosiva estiver bem espalhada na superfície externa da blindagem, de forma a produzir a propagação das ondas de choque para o interior da blindagem e a produção de estilhaços (o explosivo deve ser iniciado apenas pela ação da espoleta e não pelo impacto).

Para garantir, busca-se reduzir o impacto do explosivo com a blindagem, utilizando-se uma substância inerte à frente do explosivo, para absorver esse impacto e limitando-se a velocidade do projétil a até cerca de 700 m/s, o que é uma desvantagem desse projétil.

2.2.7. Projétil Shrapnel

Esta munição é utilizada contra pessoal e pela artilharia anti-aérea. Carrega no seu interior esferas metálicas de aço que ficam grudadas em uma resina, na sua ponta há uma espoleta de proximidade e tempo, pode ser também de percussão e tempo.

No culote há uma carga explosiva (pólvora negra), que é separada das esferas por um diafragma. A espoleta, ao ser iniciada, queima a pólvora negra, através de um canal de ligação; esta, ao se expandir, empurra para frente o diafragma que ejeta para frente as esferas, juntamente com a espoleta, sem que haja ruptura do projétil.

Como o projétil executa um movimento de rotação, as esferas, sofrendo a ação da força centrífuga, se deslocam radialmente, após deixar o seu alojamento na munição, formando um cone de dispersão, atingindo uma maior área.

A pólvora negra (74% de salitre, 15% de carvão e 10,4 % de enxofre); ao explodir, produz uma nuvem negra, que mostra ao atirador onde ocorreu a explosão, para que se façam as correções de pontaria necessárias (EsMB,2000, p. 25).

2.2.8. Projetis Químicos

Os projetis químicos transportam uma determinada carga química que podem ser substâncias fumígenas, incendiárias ou iluminativas (SHREVE e BRINK, p. 317,1997).

Utiliza uma pequena quantidade de alto explosivo que é acionado por uma espoleta, geralmente de tempo, situada na ogiva ou no culote do projétil, suficiente apenas para causar a ruptura da granada, liberando conseqüentemente a carga química.

A carga química também pode ser ejetada do projétil por uma pequena quantidade de propelente no interior do projétil, que ao ser acionado por uma espoleta, acarreta um aumento da pressão interna, provocando a ejeção da carga química pela frente ou pelo culote do projétil; a espoleta se situa do lado contrário ao da ejeção.

2.2.9. Projétil Assistido por Foguete (Rocket assisted projétil)

Este projétil possui projeção própria que é acionada após ter percorrido certa distância em sua trajetória e lançamento que pode ser feito por um canhão ou obuseiro. Esta propulsão inicial aumenta o alcance do projétil, em cerca de 20% a 30%

Esta propulsão adicional é conseguida através de um motor de foguete. Este motor contém um propelente, situado no culote do projétil, que se inicia através de um ignitor, gerando gases que escoam através de um bocal, aumentando a velocidade e formando um jato que produz o empuxo necessário para empurrar o projétil na sua trajetória. O bocal fica

fechado por uma tampa que se desprende pelo aumento da pressão interna, causado pela deflagração do propelente.

2.2.10. Projétil “Base Bleed”

Tem o mesmo princípio de funcionamento do projétil assistido por foguete, porém o jato é de potência bem inferior e não visa produzir um maior empuxo e sim diminuir o arrasto aerodinâmico, leva menos propelente, tendo mais espaço para a carga explosiva. O aumento de alcance conseguido com esse tipo de projétil varia de 10% a 20%.

2.2.11. Projéteis Guiados

Ao contrário dos anteriores, estes tipos de projéteis “buscam” o alvo após terem sido lançados pelo armamento

A carga explosiva fica armazenada na cabeça de guerra do projétil, situada logo atrás da seção de guiamento.

2.3 Explosivos Militares

Os explosivos militares, bastante diferentes dos explosivos industriais, precisam ter longa vida em armazenagem precária, além de carecerem de mais atenção quanto aos efeitos de manuseio pelo pessoal encarregado. A tabela abaixo (TAB.2.1) apresenta os requisitos a que devem atender os explosivos militares e industriais (MEYER, KÖHLER e HOMBURG, 2007, p.312).

TAB 2-1 – Requisito para explosivos de uso civil e militar. MEYER, KÖHLER e HOMBURG, p. 312, 2007

Desempenho	Explosivos Industriais – Uso Civil	Explosivos Militares
	<p>Volume intenso de gases e elevadas temperaturas de explosão provocando grande poder de cisalhamento</p> <p>As velocidades de detonação não precisam ser elevadas, exceto para o caso de prospecção sísmica</p>	<p>Depende do tipo de munição em que será utilizado: minas, bombas anti - tanque ou anti - pessoal, projéteis para destruição de área ou perfuração de blindados.</p> <p><u>Cargas:</u> Munição de grande energia cinética e que necessitam de explosivo que gere grande volume de gases. Elevadas temperaturas de explosão. (não é necessário alta velocidade de detonação).</p> <p><u>Granadas:</u> Alto poder de brisância (poder de estilhaçamento);</p>

		Densidade de carga elevada; Alta velocidade de detonação; Necessita de uma força de iniciação média. <u>Efeito Carga Oca:</u> Valores extremamente altos de densidade e velocidade de detonação (HMX é o explosivo mais indicado para este fim), alta resistência e poder de Brisância.
Sensibilidade	Seguro para o manuseio, porém os agentes acionadores de explosivos possuem alta sensibilidade. Seguro quando colocado em colunas de detonação em rochas.	Seguro para o manuseio, disparo e carregamento da munição em uma arma.
Estabilidade e comportamento quando armazenado	Pode ser armazenado em média por seis anos.	Tempo de armazenamento de até 10 anos. Não reagem com metais.
Resistência em água	Quando encartuchados, resistem até duas horas dentro da água. Em prospecções sísmicas este tempo é maior	São totalmente impermeáveis, pelo menos quando carregados em armas.
Consistência	Gelatina ou em pó para que possa ser introduzida em perfurações de rochas.	Fundido ou prensado
Comportamento térmico	Não deve congelar a temperaturas inferiores a - 25°C, e deve suportar temperaturas de até 60°C por exemplo em minas.	Deve funcionar entre -40°C e +60°C ou em temperaturas mais elevadas em casos especiais.

Os explosivos militares são materiais que, sob a influência de um choque térmico ou mecânico, se decompõem rápida e espontaneamente gerando uma grande quantidade de calor e gases. Quando confinado em um espaço, como é o caso dos estojos e granadas, estes gases quentes provocam uma pressão elevada e sua ruptura. Existem três tipos fundamentais de explosivos: mecânicos, atômicos e os químicos. Apresentaremos apenas os explosivos químicos por serem estes usados nas munições militares, conforme a sua classificação específica (FIG.2-14). (SHREVE e BRINK,p. 311, 1997).

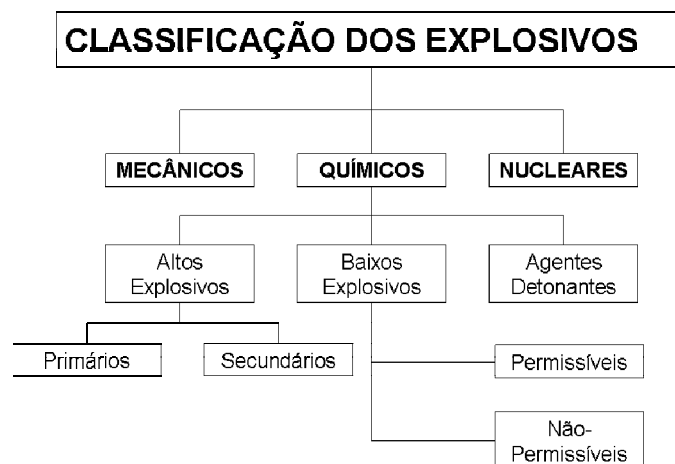


FIG 2-14 – Classificação dos Explosivos - Apostila de Munição e

2.3.1 Classificação dos Explosivos

Os explosivos químicos são classificados em duas categorias de acordo com os respectivos comportamentos em explosivos detonantes ou alto-explosivos e explosivos deflagrantes ou baixo-explosivos. O organograma a seguir (FIG. 2.15) apresenta esta divisão, bem como os principais elementos químicos que constituem o explosivo.

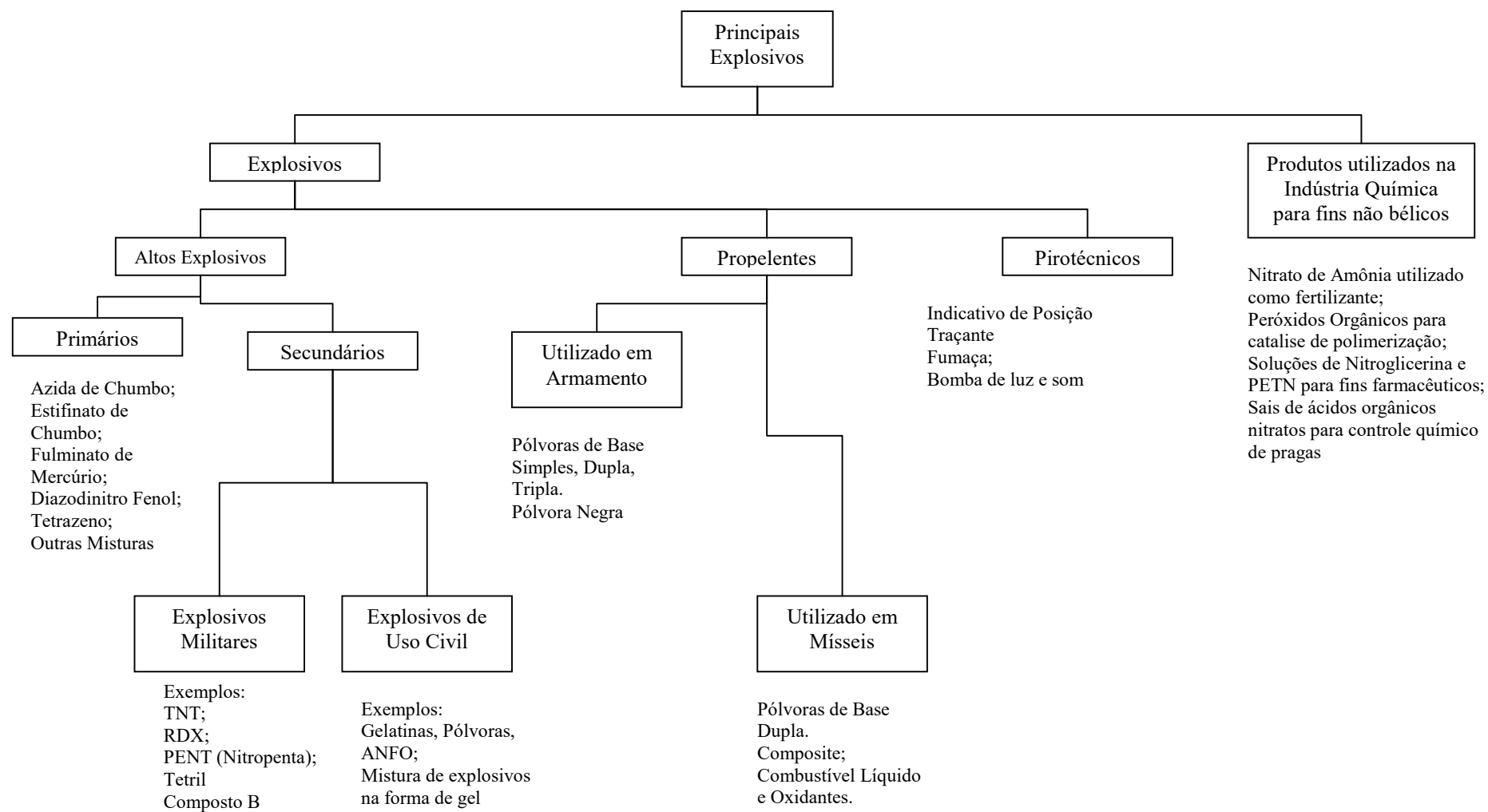


FIG. 2-15 Organograma de Explosivos – Fonte: MEYER, KÖHLER e HOMBURGER, p. 316, 2007.

Os altos explosivos se subdividem em explosivos primários e secundários.

2.3.1.1 Altos explosivos Iniciadores ou Primários

São materiais muito sensíveis que podem explodir sob ação do fogo ou pelo impacto de um golpe. São muito perigosos de manusear e usados em quantidades comparativamente pequenas para iniciar uma explosão de quantidades maiores de explosivos menos sensíveis. Estes são utilizados nas espoletas, detonadores e espoletas de percussão. São substâncias inorgânicas das quais se destacam a azida de chumbo, fulminato de mercúrio, estifinato de chumbo - trinitroresorcinato de chumbo - (MEYER, KÖHLER e HOMBURG, p. 125, 2007).

2.3.1.2 Alto Explosivos Secundários

São materiais bastante insensíveis ao choque mecânico e à chama, mas explodem com grande violência, quando ativados por um choque explosivo, como o que se provoca com a detonação de pequena quantidade de explosivo iniciador posta em contato com alto explosivo. Este arranjo é denominado cadeia explosiva (FIG. 2-16).

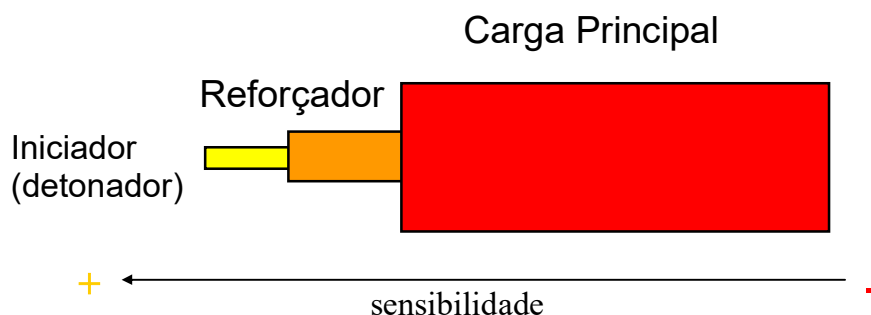


FIG 2-16 Cadeia Explosiva utilizada para iniciar um explosivo secundário (EsMB, 2000)

Os reforçadores são acessórios explosivos destinados a amplificar a onda de choque, para permitir a iniciação de explosivos em geral não sensíveis à espoleta comum nº 8 ou cordel detonante; normalmente são tipos específicos de cargas moldadas de TNT, nitropenta ou pentolite.

A explosão gera uma decomposição que avança mediante a detonação, que é a destruição química rápida, progredindo diretamente através da massa do explosivo. A detonação é uma reação em cadeia que tem velocidades que podem chegar a 6.000 m/s. Esta grande taxa de liberação de energia é que determina uma substância ser explosiva.

A maioria dos altos explosivos queima simplesmente quando é inflamada em ambiente aberto, e não sofre impacto detonante (SHREVE e BRINK, p.316, 1997). Este fato é importante, pois o descarte deste explosivo pode ser feito através de queima controlada, evitando assim a contaminação ambiental. Os principais explosivos secundários são o Trinitro Tolueno (TNT), RDX, composto B, RDX de base plástica, Torpex entre outros.

Os baixo-explosivos, ou propelentes, são diferentes dos altos explosivos no modo de decomposição, eles simplesmente queimam. A combustão é um fenômeno que não avança pela massa do material, mas ocorre em camadas paralelas à superfície do material. Sua velocidade de queima é lenta, não excedendo a 0,25 m/s, por isso sua ação é menos destrutiva e são normalmente utilizados como carga de projeção de munições por gerar grandes volumes de gás de combustão de maneira definida e controlada.

Os principais propelentes de uso militar são a pólvora sem fumaça (Nitrato de celulose coloidal), pólvora negra e algodão pólvora.

A pólvora sem fumaça é utilizada há um longo período nos armamentos militares. Ela pode ser classificada como sendo de base simples, base dupla e base tripla.

A pólvora de base simples utilizada é composta quase que totalmente de pura nitrocelulose ($C_{24}H_{29}O_9(NO_3)_{11}$). Quando combinada com até 50% de nitroglicerina ($C_3H_5(NO_3)_3$) é denominada de pólvoras de base dupla. Quando se adiciona à mistura de base dupla a nitroguanidina ($CH_6N_4O_3$) tem-se a pólvora de base tripla que é embebida em pequenas pelotas esféricas ou lâminas e cilindros extrudados usando éter como solvente (MEYER, KÖHLER e HOMBURG, p. 168,2007).

A pólvora "sem fumaça" queima somente na superfície dos grãos. Grãos maiores queimam mais vagarosamente, e a taxa de queima é controlada por uma camada superficial de detenção de chama. A intenção é regular a taxa de queima de modo a que uma pressão relativamente constante seja exercida para propelir o projétil ao longo de todo o seu percurso dentro do cano da arma para se obter a maior velocidade possível (MEYER, KÖHLER e HOMBURG, p.17, 2007).

Pólvora para canhões possui os maiores grãos, cilíndricos com até sete perfurações (uma central e as outras seis formando um círculo na metade do caminho entre o centro e a face externa). As pólvoras de queima rápida para armas de fogo são feitas por extrusão com maior área superficial como lâminas ou então por achatamento dos grãos esféricos (FIG. 2-17). A mistura é então prensada em blocos que podem ser integrados na prensa de extrusão e máquina de corte (FSC, 2009).

Os grãos são também revestidos com grafite para prevenir faíscas provenientes de eletricidade estática e que podem causar ignições indesejadas, além de reduzir ou acabar com a tendência dos grãos em se aglutinarem, o que torna o manuseio e carregamento mais fácil.

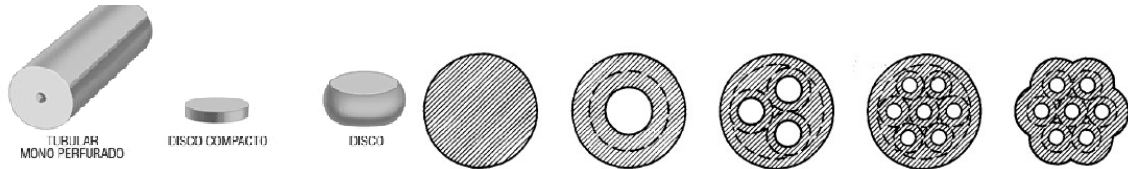
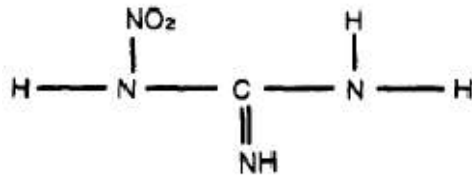


FIG 2-17 Formas de grãos de pólvoras utilizadas – Fonte: CBC,2009 e TM 9p. 34

2.3.2 PRINCIPAIS EXPLOSIVOS UTILIZADOS PELO EXÉRCITO

Pretende-se neste item apresentar a composição química e os produtos da reação dos principais explosivos utilizados em munições militares (TAB2.2) (MEYER, KÖHLER e HOMBURG, p. 146, 2007).

TAB 2-2 Principais explosivos utilizados pelo Exército , MEYER, KÖHLER e HOMBURG, p. 146,2007

Composto	Explosivo Principal	Equação	Produto da reação	Utilização
Composto Nitro	Trinitro Tolueno (TNT)	$C_7H_5(NO_2)_3 \rightarrow 6CO + C + 2,5H_2 + 1,5N_2$	CO; C; H ₂ , N ₂	Utilizado como carga de arrebentamento, como carga secundária e como componente de propulsores de mísseis (Meyer, p. 338).
Nitraminas Aromáticas	Tretil (2,4,6-trinitrofenilmetilnitroamina [C ₆ H ₂ (NO ₂) ₃ NCH ₃ NO ₂]),	$C_7H_5N_5O_8 \rightarrow 7CO + H_2O + 1,5H_2 + 2,5N_2$	CO; C; H ₂ , N ₂ e H ₂ O	Utilizado nas cargas básicas em espoletas de detonação e explosivo reforçador.
Nitraminas Alifáticas	RDX (Hexogen), HMX (Octogen), Nitroguanidina Explosivo D (Picrato de Amônio)	Fórmula estrutura Nitroguanidina - TM 9, p. 130. 	CO; C; H ₂ , N ₂ , H ₂ O, Al e O ₂	Bombas, cargas de torpedo, explosivo de granadas, cordéis detonantes que são tubos flexíveis preenchidos com nitropenta, RDX ou HMX, destinados a transmitir a detonação do ponto de iniciação até a carga explosiva; seu tipo mais comum é o NP 10, ou seja, que possui 10 g de nitropenta/RDX por metro linear e explosivos plásticos Quando misturado com TNT e alumínio é denominado Torpex. Neste grupo também se encontra a nitroguanidina usada em propelentes de munições grosso calibre (TM 9, p.20, 1984) e Explosivo D, ou Picrato de Amônio. Utilizado na munição perfurante de blindagens por ser insensível aos choques mecânicos. É feito pela neutralização de soluções aquosas quentes de ácido pírico (2,4,6 trinitrofenol) e pela amônia (NH ₃ (aq)) aquosa.
Nitrato Esters	Nitroglicerina (C ₃ H ₅ (NO ₃) ₃):			Explosivos comerciais, nas pólvoras “sem fumaça” e em propelentes de mísseis.
	PETN	$C(CH_2ONO_2)_4 \rightarrow 3CO_2 + 2CO + 4H_2O + 2N_2$ (SHREVE e BRINK, p. 317, 1997)	CO; C; H ₂ , N ₂ , H ₂ O e O ₂	Alto explosivo secundário que possui grande brizância sendo utilizado como carga reforçadora em arranjos explosivos e em cordéis detonantes.

Composto	Explosivo Principal	Equação	Produto da reação	Utilização
Nitrato Esters	Nitrocelulose	$C_{24}H_{29}O_9(NO_3)_{11} \rightarrow 20,5CO + 3,5CO_2 + 14H_2O + 5,5N_2$ (SHREVE e BRINK, p. 313, 1997)	CO; C; H ₂ , N ₂ , H ₂ O e O ₂	Componente mais importante de pólvoras de base simples, dupla, em propelentes de mísseis e dinamites.
Explosivos Iniciadores	Fulminato de Mercúrio (Hg(ONC) ₂) e outros Fulminatos	$Hg(ONC)_2 \rightarrow Hg + 2CO_2 + 2N_2$ (SHREVE e BRINK, p. 313, 1997)	CO ₂ ;N ₂ , Hg	Pouco utilizados
	Azida de Chumbo	$PbN_6 \rightarrow Pb + 3N_2$ (SHREVE e BRINK, p. 313, 1997)	Pb e N ₂	Cápsulas iniciadoras de todos os tipos de munições e espoleta comum (tubo de alumínio, contendo, em geral, uma carga de nitropenta, e um misto de azida e estifinato de chumbo, destinado à iniciação de explosivos, sendo o tipo mais utilizado a espoleta comum nº 8; também é conhecida como espoleta não elétrica ou pirotécnica)
	Estifinato de Chumbo (Trinitroressorcinato de Chumbo)	$C_6H_3O_9N_3Pb$	CO ₂ ;N ₂ , Pb	Mistura que pode conter tetrazeno e também é utilizado em cápsulas iniciadoras (MEYER, KÖHLER e HOMBURG, p. 38, 2007)
Agentes Fulmígenos	Fósforo branco e o Hexacloroetano "HC" (mistura de alumina pulverizada e pó de óxido de zinco)	$2Al + 3ZnO \rightarrow 3Zn + Al_2O_3$ (SHREVE e BRINK, p.320, 1997)	Zn e Al ₂ O ₃	visam esconder o movimento de tropas ou a observação do inimigo
Agentes Incendiários	Nitrato de Bário (Ba), Alumínio e Termita (mistura de pó de alumínio e óxido de ferro, Eq. 8)	$3Fe_3O_4 + 8 Al \rightarrow 4Al_2O_3 + 9Fe$ (SHREVE e BRINK, p.321)	4Al ₂ O ₃ e Fe	Bombas, munição de artilharia e de granadas

2.3.3 Toxidade dos Explosivos

Os explosivos, por causa de suas propriedades químicas estruturais, são pouco tóxicos. Para ser um explosivo militar, este deve ter uma toxidade mínima. Atenção especial deve ser dada a esta característica, pois os efeitos da toxicidade podem variar de leve dor de cabeça ou uma dermatite, ou até sérios danos aos órgãos internos.

É apresentado na tabela 2.3 um resumo dos explosivos, os riscos associados à saúde e as medidas de proteção.

TAB 2-3. Toxicidade de Explosivos Militares – T9 1984 – Tabela 12-1 - P.. 265 - Cap. 12

Explosivos	Risco à saúde	Medidas de Proteção
<u>Iniciadores:</u> -Azida de Chumbo	A inalação de suas partículas (poeira) deve ser evitada, pois provoca dor de cabeça e dilatação dos vasos sanguíneos.	Evitar a Inalação. O Nível de tolerância é de 0,2 miligramas por metro cúbico de ar.
-Fulminatode Mercúrio	Causa sintomas de intoxicação de envenenamento por mercúrio. Em baixas concentrações provoca dermatite e irritação das mucosas.	Evitar todo tipo de exposição. O nível de tolerância é inferior a 0,01 miligramas por metro cúbico de ar.
<u>Explosivos reforçadores:</u> -PETN	PETN não é excessivamente tóxico, uma vez que é praticamente insolúvel em água e, geralmente, é tratado enquanto molhado. Portanto, não pode ser absorvido através da pele e inalação do pó é improvável. Testes mostraram que pequenas doses de PETN provocam diminuição da pressão arterial; doses maiores causam dispnéia e convulsões.	
-Tretil	Moderadamente tóxico por inalação ou ingestão. A coloração do tetryl em contato com a pele humana pode causar uma dermatite. A inalação de resíduos (poeira) de tetryl tem efeito tóxico	Evitar inalação ou ingestão. Para minimizar os efeitos durante o manuseio deve-se utilizar creme contendo 10 % de perborato de sódio. Evitar a inalação. O nível de tolerância é menor do que 1,5 miligramas por metro cúbico por metros no ar
- RDX	Excessivamente tóxico. Militares que manusearam os explosivos tiveram inquietação e irritação; dor de cabeça, fraqueza, tonturas, náuseas e vômitos; agravadas e prolongadas crises epiléptiformes (convulsões generalizadas) que são muitas vezes repetidas; inconsciência entre ou após as convulsões, espasmos musculares e dores, torpor, delírio, desorientação e confusão, em seguida, acompanhado de recuperação gradual no início de amnésia. Em alguns casos, os trabalhadores sofreram irritações na pele, membranas	Evitar a inalação ou ingestão.

Explosivos	Risco à saúde	Medidas de Proteção
	<p>mucosas e conjuntivite por partículas finas de RDX. Os resultados clínicos da intoxicação por RDX podem incluir febre, pulso rápido; hematúria devido aos efeitos sobre os túbulos proximais dos rins; proteinúria, azotemia; anemia leve ocasional, leucocitose neutrofílica; TGO elevado (soro transaminase oxalacética glutomica), que podem explicar a dor muscular; nitritos no suco gástrico, e anomalias eletroencefalográficas. O RDX provoca intoxicação no sistema nervoso central gastrointestinal, e renal. As vias potenciais de exposição são a inalação de partículas finas ou vapores, ou ingestão. Por ter um alto ponto de fusão o RDX é um sólido não muito lipossolúvel, a absorção pela pele é muito improvável. Embora os sintomas podem ser graves, as mortes parecem ter sido muito poucas, e nenhum dano permanente parece ter resultado entre os sobreviventes</p>	
<u>Altos Explosivos Secundários</u>		
- Amatol – Mistura de TNT e Nitrato de Amônio, usado em granadas	Toxicidade moderada que pode ocorrer por inalação, ingestão e absorção. O contato pode causar dermatite	Evitar inalação, ingestão ou contato com a pele.
- Picrato de Amônio	Altamente tóxico por inalação, ingestão e absorção pela pele.	Usar equipamento de proteção individual (EPI), minimizar o tempo de exposição do militar que manipula o explosivo e após os trabalhos tomar banho e lavar as roupas.
- HMX	Efeito semelhante ao RDX.	Evitar inalação e ingestão.
- Pentolite	Veja TNT e PENT	
- Picatrol	Veja TNT e Picrato de amônia	
- TNT	<p>A contaminação por TNT pode ocorrer por inalação da poeira, através da ingestão e absorção da pele. Entre os primeiros sinais de intoxicação de TNT alterações no sangue foram encontrados: o conteúdo da contagem de glóbulos vermelhos e hemoglobina diminuem; anomalia de células vermelhas foi observada, e um aumento transitório nos leucócitos e linfócitos. O aumento da fragilidade capilar provoca o sangramento do nariz e hemorragias da pele e mucosas. Em exposição prolongada fenômenos mais graves no sangue podem aparecer. Estes incluem a metahemoglobinemia, com conseqüente cianose; hiperplasia da medula óssea levando à anemia aplástica (porque a medula não produz mais células do sangue) e uma perda drástica de plaquetas do sangue. Petéquias muitas vezes ocorrem em conjunto com anemia aplástica.</p> <p>Um segundo tipo de sintoma, icterícia tóxica, indica hepatite tóxica. Esta última leva à atrofia amarela do fígado. A morte pode ocorrer em qualquer anemia (especialmente em pessoas mais jovens) ou por hepatite tóxica.</p> <p>Efeitos do TNT no rim são manifestos em aumento das taxas de filtração. Nos casos leves de intoxicação por</p>	Evitar a inalação e contato com a pele. O Nível de tolerância é menor do que 1,5 miligramas por metro cúbico de ar.

Explosivos	Risco à saúde	Medidas de Proteção
	TNT, tem-se freqüência urinária e dor lombar podem ser os únicos sintomas. Indivíduos expostos a TNT podem queixar-se de um gosto amargo constante, salivacão excessiva, náuseas, vômitos, e gastrite. O último é devido à redução da secreção de enzimas do pâncreas. Segundo dados europeus, os trabalhadores que ficaram expostos a TNT tiveram cataratas nos olhos. Houve vários relatos de intoxicação do sistema nervoso central, neurastenia (polineurite). Nenhum caso de câncer por TNT para os seres humanos têm sido relatados.	
Torpex	Idem TNT	
<u>Propelentes</u> <u>Base Simples</u>		
- Nitrocelulose	A nitrocelulose é uma fibra polimérica insolúvel em água, conseqüentemente, não é absorvida pelas paredes intestinais ou membranas celulares	Ventilação adequada deve ser utilizada.
<u>Base Dupla</u>		
- Nitroglicerina	Na medicina, a nitroglicerina é utilizada como vaso dilatador, principalmente no tratamento por angina.	Evite inalação e contato com a pele
<u>Agentes</u> <u>Pirotécnicos</u>		
Pólvora negra	Moderadamente tóxico por inalação e ingestão	Evitar inalação e ingestão

2.4 Conclusão Parcial

A área que está sendo estudada está contaminada com metais pesados conforme análises realizadas pela UFRRJ, os possíveis elementos contaminantes do solo que estão provocaram a contaminação da área de destruição são metais constituintes das munições e explosivos. Pois os produtos da reação, na maioria das detonações, são carbono (C), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), nitrogênio (N₂), Hidrogênio (H₂) e água (H₂O).

A exceção são os iniciadores, que contêm chumbo e mercúrio. Depois da detonação, estes materiais se decompõem e contaminam o solo. Apesar de não ter sido encontrado na análise realizada pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC, 2007), poderá haver contaminação por compostos orgânicos, isto porque o processo de disposição utilizado não está destruindo completamente a munição Estes explosivos poderão no futuro contaminar o solo.(FIG 2.18).



FIG 2-18 – Munições destruídas de maneira incompleta(Elaboração própria)

Os resíduos metálicos que compõem as munições e explosivos permanecem no solo (FIG 2-19). Os explosivos e as munições destruídas devem ser a principal fonte da contaminação (metais livres).



FIG 2-19 – Resíduos de munições que permanecem no solo após o descarte – (Elaboração própria).

A tabela 2.4 apresenta os contaminantes prováveis de uma área de destruição.

TAB 2-4 - Relação de alguns materiais contaminantes provenientes de detonação de munição e explosivos no local - (Elaboração própria)

Munições	Explosivos
1. Ligas de cobre e níquel;	1. Estifinato de chumbo (Trinitroressorcinato de Chumbo (C ₆ H ₃ O ₉ N ₃ Pb));
2. Cobre;	2. Azida de chumbo (Pb(N ₃) ₂);
3. Níquel e zinco;	3. Azida de Mercúrio;
4. Cobre e zinco;	4. Fulminato de mercúrio (Hg(ONC) ₂);
5. Zinco;	5. 74% de salitre, 15% de carvão e 10,4 % de enxofre(Pólvora Negra);
6. Estanho;	6. Resinato de cálcio;
7. Chumbo;	7. Peróxido de bário;
8. Antimônio;	8. oscalato ou nitrato de estrôncio;
9. Aço endurecido com liga de cromo e tungstênio (Cr-W);	9. tetracloroeto de carbono, cloreto de polivinila, vermelho de taluidina;
10. Liga de magnésio e molibdênio;	10. Estearato de zinco e magnésio em pó;
11. Tombac (Cu e Zn);	11. Torpex: TNT e alumínio;
12. Óxido de ferro;	12. Magnésio e perclorato de potássio;
13. Alumínio;	13. Nitrato de bário;
14. Latão 70/30 (liga de cobre e zinco);	
15. Polímeros orgânicos (plásticos);	
16. Ferro Fundido;	
17. Tungstênio;	

O processo de disposição de munição utilizado não está destruindo totalmente a munição, o que poderá provocar contaminação por produtos orgânicos e os resíduos de metais devem ser removidos após a destruição. Para que este processo seja realizado, deve-se ter certeza de que todos os explosivos e munições foram completamente detonados. Outros processos de disposição devem ser adotados, principalmente o de munição de pequeno calibre que não deve ser destruído diretamente no solo, pois o projétil, que contém grande quantidade de chumbo, fica exposto no solo gerando a contaminação.

3. GESTÃO AMBIENTAL DE ÁREAS CONTAMINADAS POR EXPLOSIVOS

O grande progresso científico e tecnológico experimentado pela humanidade neste último século resultou de alguma forma em agressões ao meio ambiente, estima-se que existam cerca de 1.000.000 de áreas contaminadas por metais pesados nos Estados Unidos da América. Esta contaminação ocorreu principalmente por causa das atividades industriais e militares e que provocaram um grande impacto ao meio ambiente.(EPA 2006).

A EPA (Environmental Protection Agency), criada em 1970, é o órgão responsável pelo estabelecimento de diretrizes para a questão ambiental e a execução de programas federais de controle de contaminação nos Estados Unidos da América (EUA).

A política e o sistema nacional do meio ambiente foram disciplinados na Lei 6.938, de 31 de agosto de 1981 (Sirvinskas, 2002, p. 51), que iniciou a fase da legislação ambiental brasileira (Rocco p.21) e que ficou conhecida como Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), a qual instituiu o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA). Esta lei ganhou força pela promulgação da constituição federal de 1988, a qual dedica um capítulo inteiro à questão ambiental. Um conjunto de normas estabelecidas pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) entrou em vigor no fim do ano de 2009 e que trata da contaminação e identificação de áreas contaminadas.

O estado de São Paulo iniciou um trabalho de identificação de áreas contaminadas sendo que os principais grupos de contaminantes encontrados, dentre outros, foi o de metais pesados. É importante ressaltar que este trabalho ainda não está completo e vem sendo atualizado, o que pode aumentar ainda mais o número de áreas contaminadas.

O Exército Brasileiro desde suas origens esteve comprometido com a manutenção de suas sedes fixas e locais de estacionamentos, o que pode ser comprovado pelos regulamentos dos Campos de Instrução de 1920, quando já se registrava preocupação com a preservação das matas e regulando o uso de recursos naturais. (Dec Lei nº 14.273, de 28 de julho de 1920), todavia, ainda não possui um corpo de engenheiros voltados à recuperação e gestão ambiental de suas atividades.

3.1 Gestão Americana

Os Estados Unidos foram pioneiros na maioria das leis ambientais modernas. A EPA foi criada na década de 70 e serviu de modelo para outros países no mundo sendo sua missão a de proteger a saúde humana e salvaguardar o ambiente natural - ar, água e terra (USEPA 2009). Dentre seus objetivos, destacam-se:

- a) Divulgação científica de informações disponíveis para toda a sociedade, comunidades e indivíduos, empresa e países para reduzir os riscos ambientais;
- b) Implementação de leis federais que protegem a saúde humana e o ambiente;

A EPA criou diversas leis ambientais, todavia, a preocupação com os solos só iria ocorrer anos mais tarde após a sua criação. Segundo Sanches, o reconhecimento de que o solo contaminado também pode causar um problema de saúde pública e representar riscos para os ecossistemas só se consolidou muito tempo depois que a poluição da água e do ar fosse objeto de vasta e detalhada legislação.

As preocupações ambientais ligadas à poluição em relação ao meio afetado, historicamente, teve início com os debates sobre a contaminação das águas superficiais, em seguida foi a qualidade do ar que passou a receber as principais atenções e por último, a contaminação dos solos passou a ser discutida (Sanches p. 82). Somente em 1980 foi editada a primeira lei a tratar de áreas contaminadas e qualidade do solo: “Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act (CERCLA)” e que ficou conhecida como Superfund.

A responsabilidade de recuperação de áreas de uso militar ficou a cargo do Departamento de Defesa (DOD). Este, por sua vez, determinou que esta tarefa fosse realizada pelo Corpo de Engenheiros (US Army Corps of Engineers – USACE).

A USACE se tornou líder na preservação ambiental e agência de restauração. Atualmente é responsável por programas de recursos naturais e culturais, gestão dos projetos de água e regula as atividades nas zonas úmidas da nação. Além disso, a USACE assiste os serviços militares na gestão ambiental e recuperação de suas instalações militares (USACE 2009).

A criação do Programa de Recuperação de Defesa Ambiental, instituído por uma lei de 1983, ampliou o trabalho ambiental da USACE em matéria de instalações militares. Neste programa estava previsto a eliminação de resíduos perigosos de antigas instalações militares

ea remoção das construções inseguras bem como de munições e outros detritos ativos de antigas instalações militares.

O Corpo de Engenheiros, que já tinha começado a prestar assistência de engenharia para a Agência de Proteção Ambiental (EPA) na remoção de resíduos tóxicos civis no âmbito do programa Superfund promulgada em 1980, além de apoiar a população civil em casos de acidentes ambientais, assumiu a gerência do programa em 1984, para a restauração ambiental de todas as antigas instalações.

Depois de décadas de atividades relacionadas com munições foi observado que era necessário manter a disponibilidade das áreas de atividades militares, para tanto estas deveriam ser recuperadas, ou seja, era preciso a remoção de munições que não explodiram durante o tiro (UXO - unexploded ordnance), fazer o descarte de munições vencidas e componentes de munições (CM) que poderiam estar presentes de alguma forma ou até mesmo ativas e apresentando alto risco de acidentes.

Foi então instituído, no ano de 2002, o “Programa de Resposta de Munições Militares”(MMRP). O programa aborda os potenciais riscos de segurança apresentados pelos explosivos e munições de uso militar, que incluem engenhos explosivos que precisam ser descartados, e as concentrações de constituintes de munições altas o suficiente para constituir um risco de explosão e potencial contaminação ambiental.

Anteriormente, o programa de recuperação ambiental do Exército Americano tinha por objetivo a restauração de sítios com contaminantes potencialmente perigosos. O MMRP agora oferece um programa voltado para enfrentar os desafios apresentados em locais chamados sítios de munições que estão localizados em diferentes áreas e utilizados para atividades distintas.

O programa prevê ações de investigação, remoção de engenhos falhados, descarte correto de munições vencidas e correção de áreas contaminadas, sendo portanto uma ação que visa a segurança de explosivos, a saúde humana e eliminação dos riscos ambientais associados aos explosivos militares.

O Ministério da Defesa Americana estabeleceu o MMRP para melhor refletir as metas estabelecidas em seu programa oficial de recuperação ambiental, ter uma melhor compreensão das áreas contaminadas por munições e assim ter um gerenciamento eficaz das atividades relacionadas a munições. O Exército americano mantém um inventário de seus sítios de munições e atribui uma prioridade em relação a cada um.

O principal objetivo do inventário é recolher a quantidade adequada de informação para tomar uma das seguintes decisões:

- a) Execução de uma investigação para ação corretiva e se a ação é viável em um local;
- b) Avaliar se é necessária uma resposta imediata ou
- c) Se a área não se qualifica para nenhuma ação.

Os objetivos secundários do sistema de inventário são a coleta de dados para a realização de um protocolo de priorização e uma melhor avaliação do custo completo com as estimativas de investigação e remediação ambiental.

Os recursos utilizados neste programa não podem ser utilizados para remediação de áreas contaminadas fora dos EUA. A recuperação deverá ser exclusivamente de munições utilizadas em combate ou áreas de treinamento e áreas que não são de responsabilidade do Departamento de Defesa (DoD).

Pela política do DoD, o Exército americano pretende concentrar esforços na resolução dos problemas relacionados a engenhos falhados, pois apresentam maior risco em relação a resíduos de descarte de munições. Ele classifica os sítios com base em uma variedade de critérios e permite que o Exército possa agir nos locais que têm o maior risco relativo primeiro. (USACE 2009)

3.2 Gestão Brasileira

A legislação federal sobre contaminação de solos, bem como uma norma que oriente a identificação destas áreas no Brasil é recente, e foi sancionada em dezembro de 2009. Todavia, a legislação ambiental que havia já oferecia uma base tratando da questão indiretamente sob diferentes aspectos. (CETESB,2001, Cap 2, p. 1).

Existem leis Federais e estaduais que abordam o assunto como, por exemplo, o controle de poluição o parcelamento do solo urbano, a obrigatoriedade de um Estudo de Impacto Ambiental antes da realização de um projeto, dentre outras. Neste item, serão abordadas a legislação federal e a do estado de São Paulo.

3.2.1 Gestão Federal

A Constituição Federal (CF) do Brasil promulgada em 1988 estabeleceu os princípios da política nacional do meio ambiente:

“Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.”(capítulo VI, Artigo 225 da CF).

Neste artigo, fica clara a preocupação com a preservação do meio ambiente, sendo um bem de uso comum e que deve ser mantido para as gerações futuras. No entanto, já mesmo antes da CF de 88, já havia sido editada a lei sobre a “Política Nacional do Meio Ambiente – Lei 6938 de 1981.

Essa lei introduz alguns instrumentos de planejamento ambiental e determina a responsabilidade e penalidade para casos de poluição.

“Art. 2º – A Política Nacional do Meio Ambiente tem por objetivo a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar, no país, condições de desenvolvimento socioeconômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana, atendidos os seguintes princípios: (...)”
VIII – recuperação de áreas degradadas;

No Art. 4º – A Política Nacional do Meio Ambiente visará: (...) VII – à implantação, ao poluidor e ao predador, da obrigação de recuperar e/ou indenizar os danos causados (...).

O responsável pela poluição tem a obrigação de reparar os danos causados por suas atividades, ao meio ambiente ou a terceiros, e deve pagar indenização correspondente se necessário.

“Art. 14, IV, § 1º – Sem obstar a aplicação das penalidades previstas neste artigo, é o poluidor obrigado, independentemente da existência de culpa, a indenizar ou reparar os danos causados ao meio ambiente e a terceiros, afetados por sua atividade. (...)”

A Lei Federal 6.766 de 1979 define as competências do Estado e do Município sobre a questão do parcelamento do solo em áreas poluídas. Este é um importante instrumento no controle de áreas contaminadas devido ao desenvolvimento urbano. A lei não permite o parcelamento do solo em áreas poluídas.

Art. 3º, Parágrafo único: Não será permitido o parcelamento do solo: (...)
II – em terrenos que tenham sido aterrados com material nocivo à saúde pública, sem que sejam previamente saneados; (...)
V – em áreas (...) onde a poluição impeça condições sanitárias suportáveis, até a sua correção.

As sanções penais e administrativas derivadas de lei de crimes ambientais, condutas e atividades lesivas ao meio ambiente foram sancionadas em 1998 (Lei dos Crimes Ambientais 9.605/98)

Na Seção IV é prevista a reclusão de até 5 anos para os crimes previstos no Art.54:

“Causar poluição de qualquer natureza em níveis tais que resultem ou possam resultar em danos à saúde humana, ou que provoquem a mortandade de animais ou a destruição significativa da flora.”

3.2.2 Gestão Sobre Critérios E Valores Orientadores De Qualidade Do Solo

O conjunto de normas estabelecidas pela Resolução nº 420 do Conama estabelece critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e também estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas. (Art. 1º).

O artigo 6º, capítulo I, “Das Disposições Gerais” da resolução apresenta os termos e definições sobre avaliação de risco e preliminar, contaminação, investigação confirmatória e detalhada, monitoramento, perigo, remediação, reabilitação, valores orientadores, valor de referência de qualidade, valor de prevenção, valor de investigação, dentre outros:

“I - Avaliação de risco: processo pelo qual são identificados, avaliados e quantificados os riscos à saúde humana ou a bem de relevante interesse ambiental a ser protegido;”

“II - Avaliação preliminar: avaliação inicial, realizada com base nas informações históricas disponíveis, inspeção do local, com o objetivo principal de encontrar evidências, indícios ou fatos que permitam suspeitar da existência de contaminação na área;”

“V - Contaminação: presença de substância(s) química(s) no ar, água ou solo, decorrente de atividades antrópicas (...)”

“VIII - Investigação confirmatória: etapa do processo de identificação de áreas contaminadas que tem como objetivo principal confirmar ou não a existência de substâncias de origem antrópica nas áreas suspeitas, no solo ou nas águas subterrâneas, em concentrações acima dos valores de investigação;”

“IX - Investigação detalhada: etapa do processo de gerenciamento de áreas contaminadas, que consiste na aquisição e interpretação de dados em área contaminada sob investigação, a fim de entender a dinâmica da contaminação nos meios físicos(...)”

“XIII - Monitoramento: medição ou verificação, que pode ser contínua ou periódica, para acompanhamento da condição de qualidade de um meio ou das suas características;”

“XVI - Perigo: Situação em que estejam ameaçadas a vida humana, o meio ambiente ou o patrimônio público e privado, em razão da presença de agentes tóxicos, patogênicos, reativos, corrosivos ou inflamáveis no solo(...)”

“XVII - Remediação: uma das ações de intervenção para reabilitação de área contaminada, que consiste em aplicação de técnicas, visando a remoção, contenção ou redução das concentrações de contaminantes;”

“XVIII - Reabilitação: ações de intervenção realizadas em uma área contaminada visando atingir um risco tolerável, para o uso declarado ou futuro da área;”

“XXI - Valores Orientadores: são concentrações de substâncias químicas que fornecem orientação sobre a qualidade e as alterações do solo e da água subterrânea;”

“XXII - Valor de Referência de Qualidade-VRQ: é a concentração de determinada substância que define a qualidade natural do solo, sendo determinado com base em interpretação estatística de análises físico-químicas de amostras de diversos tipos de solos;”

“XXIII - Valor de Prevenção-VP: é a concentração de valor limite de determinada substância no solo (...).”

“XXIV - Valor de Investigação-VI: é a concentração de determinada substância no solo ou na água subterrânea acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana(...).”

Os solos são classificados segundo a concentração de substâncias químicas em classes e após a classificação procedimentos específicos devem ser adotados, conforme tabela abaixo (Tab. 3.1)

TAB 3-1 – Classes de Qualidade dos solos e Procedimentos de Prevenção e Controle (Arts. 13 e 20 respectivamente da Resolução CONAMA nº 420/2009)

Classes	Especificação (Art. 13)	Prevenção Controle (Art. 20)
Classe 1	Solos que apresentam concentrações de substâncias químicas menores ou iguais ao VRQ;	Não requer ações;
Classe 2	Solos que apresentam concentrações de pelo menos uma substância química maior do que o VRQ e menor ou igual ao VP;	Poderá requerer uma avaliação do órgão ambiental, incluindo a verificação da possibilidade de ocorrência natural da substância ou da existência de fontes de poluição (...)
Classe 3	Solos que apresentam concentrações de pelo menos uma substância química maior que o VP e menor ou igual ao VI;	Requer identificação da fonte potencial de contaminação, avaliação da ocorrência natural da substância, controle das fontes de contaminação e monitoramento da qualidade do solo e da água subterrânea;
Classe 4	Solos que apresentam concentrações de pelo menos uma substância química maior que o VI.	Requer as ações estabelecidas no Capítulo IV.

As diretrizes para o gerenciamento de áreas contaminadas, capítulo IV da norma, estabelece como princípio básico a geração e a disponibilização de informações. Logo, haverá um grande trabalho por parte do Exército pois terá que realizar um levantamento de todas as suas áreas para que possa atender a norma em vigor. Outro fato que chama atenção ainda no mesmo artigo é a responsabilização do causador pelo dano e suas conseqüências (Art. 21, I e V respectivamente).

Os procedimentos que devem ser adotados no gerenciamento destas áreas estão previstos bem como os objetivos que devem ser alcançados no Art. 22:

“Art. 22. O gerenciamento de áreas contaminadas deverá conter (...)”

I - eliminar o perigo ou reduzir o risco à saúde humana;

II - eliminar ou minimizar os riscos ao meio ambiente;

III - evitar danos aos demais bens a proteger;

IV - evitar danos ao bem estar público durante a execução de ações para reabilitação;

e

V - possibilitar o uso declarado ou futuro da área, observando o planejamento de uso e ocupação do solo

O órgão ambiental competente deverá instituir os procedimentos e as etapas de investigação e de gestão de áreas, Art. 23.

“Art. 23. Para o gerenciamento de áreas contaminadas, o órgão ambiental competente deverá instituir procedimentos e ações de investigação e de gestão, que contemplem as seguintes etapas (...)”

I - Identificação: etapa em que serão identificadas áreas suspeitas de contaminação com base em avaliação preliminar, e, para aquelas em que houver indícios de contaminação, deve ser realizada uma investigação confirmatória, às expensas do responsável, segundo as normas técnicas ou procedimentos vigentes.

Neste inciso, é importante ressaltar que os custos pela identificação confirmatória serão do responsável pela área a ser verificada, sendo o mesmo observado na fase de diagnóstico, inciso II do mesmo artigo:

II - Diagnóstico: etapa que inclui a investigação detalhada e avaliação de risco, às expensas do responsável, segundo as normas técnicas ou procedimentos vigentes, com objetivo de subsidiar a etapa de intervenção, após a investigação confirmatória que tenha identificado substâncias químicas em concentrações acima do valor de investigação.

Portanto, caso exista a contaminação, será necessário intervir para que seja eliminado ou mesmo controlado o impacto ambiental, sendo portanto a intervenção detalhada no inciso III abaixo:

III - Intervenção: etapa de execução de ações de controle para a eliminação do perigo ou redução, a níveis toleráveis, dos riscos identificados na etapa de diagnóstico, bem como o monitoramento da eficácia das ações executadas, considerando o uso atual e futuro da área, segundo as normas técnicas ou procedimentos vigentes.

O fluxograma das etapas de gerenciamento de áreas contaminadas é detalhado na figura abaixo (Fig.3.1)

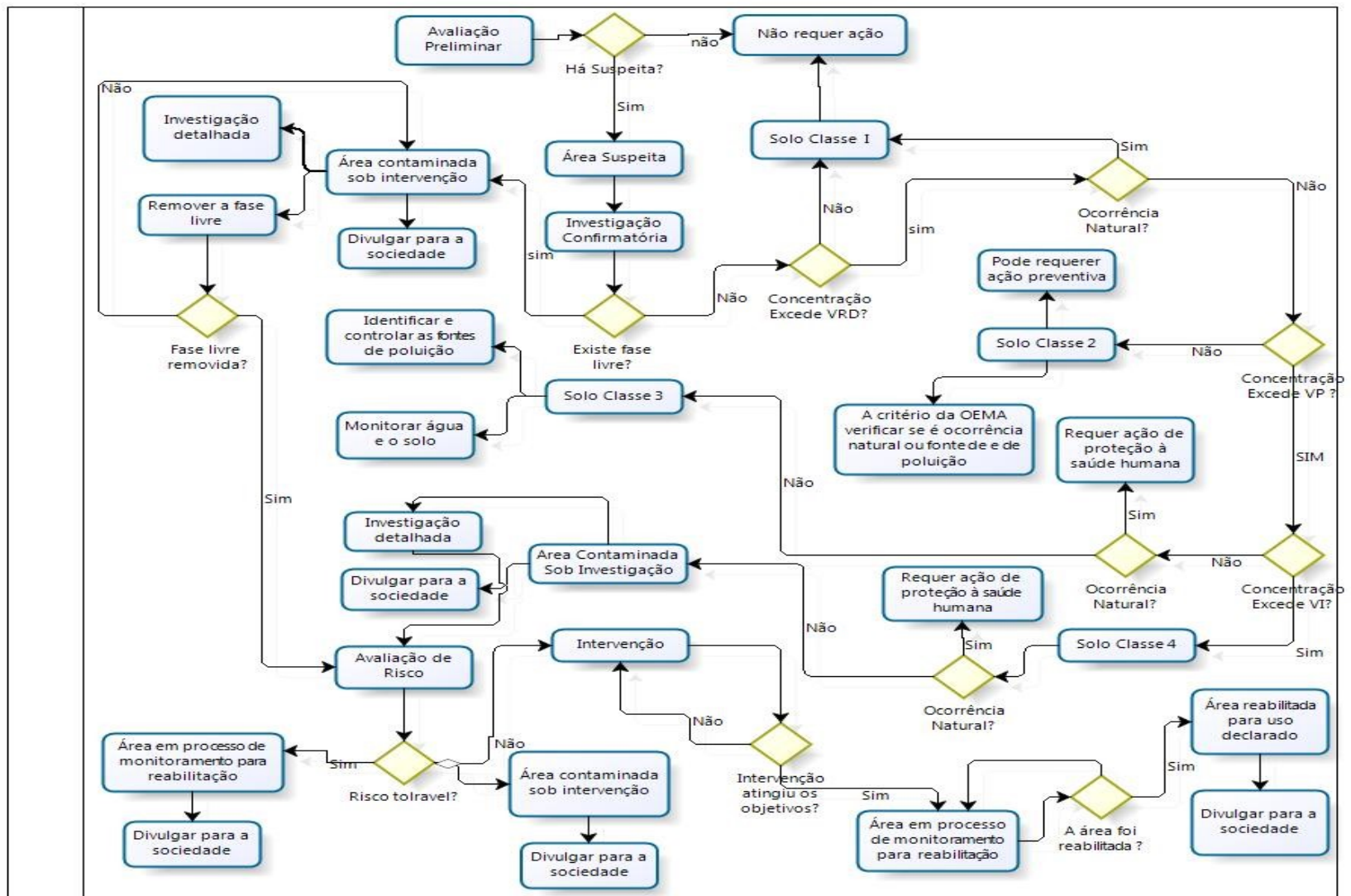


FIG 3-1 Fluxograma das etapas de gerenciamento de áreas contaminadas (Resolução CONAMA nº 420/2009)

Por fim, o artigo 34 apresenta os procedimentos que deverão ser adotados pelos responsáveis pela contaminação no processo da ação da intervenção que será executada:

Art. 34. Os responsáveis pela contaminação da área devem submeter ao órgão ambiental competente proposta para a ação de intervenção a ser executada sob sua responsabilidade, devendo a mesma, obrigatoriamente, considerar:

I - o controle ou eliminação das fontes de contaminação;

II - o uso atual e futuro do solo da área objeto e sua circunvizinhança;

III - a avaliação de risco à saúde humana;

IV - as alternativas de intervenção consideradas técnica e economicamente viáveis e suas consequências;

V - o programa de monitoramento da eficácia das ações executadas; e

VI - os custos e os prazos envolvidos na implementação das alternativas de intervenção propostas para atingir as metas estabelecidas.

Parágrafo único. As alternativas de intervenção para reabilitação de áreas contaminadas poderão contemplar, de forma não excludente, as seguintes ações:

I - eliminação de perigo ou redução a níveis toleráveis dos riscos à segurança pública, à saúde humana e ao meio ambiente;

II - zoneamento e restrição dos usos e ocupação do solo e das águas superficiais e subterrâneas;

III - aplicação de técnicas de remediação; e

IV - monitoramento

3.2.3 A Gestão do Estado de São Paulo

A legislação do Estado de São Paulo é citada porque até a publicação da Resolução CONAMA 420 esta era a referência nacional definição de limites de contaminação de solos e também, porque o trabalho de investigação realizado pela UFRRJ utilizou os limites referenciais dos teores de metais pesados proposto pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB 2005).

Para a CETESB a área pode estar com algum potencial de contaminação (AP), suspeita de contaminação (AS), contaminada sob investigação (AI), contaminada (AC), em processo de monitoramento para reabilitação (AMR) e reabilitada para uso declarado (AR) conforme as definições abaixo:

a) Área com potencial de contaminação (AP): área, terreno, local, instalação, edificação ou benfeitoria onde são ou foram desenvolvidas atividades que, por suas características, apresentam maior possibilidade de acumular quantidades ou concentrações de matéria em condições que a tornem contaminada.

b) Área suspeita de contaminação (AS): área, terreno, local, instalação, edificação ou benfeitoria com indícios de ser uma área contaminada (AC).

c) Área contaminada sob investigação (AI): área, terreno, local, instalação, edificação ou benfeitoria onde há comprovadamente contaminação, constatada em investigação confirmatória, na qual estão sendo realizados procedimentos para determinar a extensão da contaminação e identificar a existência de possíveis receptores, bem como para verificar se há risco à saúde humana. A área também será classificada como área contaminada sob investigação (AI), caso seja constatada a presença de produtos contaminantes (por exemplo, combustível em fase livre), ou quando houver constatação da presença de substâncias, condições ou situações que, de acordo com parâmetros específicos, possam representar perigo.

d) *Área contaminada (AC): área, terreno, local, instalação, edificação ou benfeitoria, anteriormente classificada como área contaminada sob investigação (AI) na qual, após a realização de avaliação de risco, foram observadas quantidades ou concentrações de matéria em condições que causem ou possam causar danos à saúde humana. A critérioda CETESB, uma área poderá ser considerada contaminada (AC) sem a obrigatoriedade de realização de avaliação de risco à saúde humana quando existir um bem de relevante interesse ambiental a ser protegido.*

e) *Área em processo de monitoramento para reabilitação (AMR): área, terreno, local, instalação, edificação ou benfeitoria, anteriormente classificada como contaminada (AC) ou contaminada sob investigação (AI), na qual foram implantadas medidas de intervenção e atingidas as metas de remediação definidas para a área, ou na qual os resultados da avaliação de risco indicaram que não existe a necessidade da implantação de nenhum tipo de intervenção para que a área seja considerada apta para o uso declarado, estando em curso o monitoramento para encerramento.*

f) *Área reabilitada para o uso declarado (AR): área, terreno, local, instalação, edificação ou benfeitoria, anteriormente classificada como área em processo de monitoramento para reabilitação (AMR) que, após a realização do monitoramento para encerramento, for considerada apta para o uso declarado.*

As informações sobre a área bem como os riscos a ela associada são importantes pois visam subsidiar a definição do planejamento e da implantação de medidas de remediação, de controle institucional, de engenharia ou emergenciais. A metodologia de identificação de AC é importante para que se possa prever, portanto, etapas de priorização quando necessário.

Os critérios utilizados para realizá-las consideram, basicamente, as características da fonte de poluição, das vias de transporte dos contaminantes e dos receptores a serem protegidos (Fig. 3-2). As etapas do gerenciamento são feitas em seqüência, e as áreas contaminadas bem como o modo como os dados foram obtidos são cadastrados.

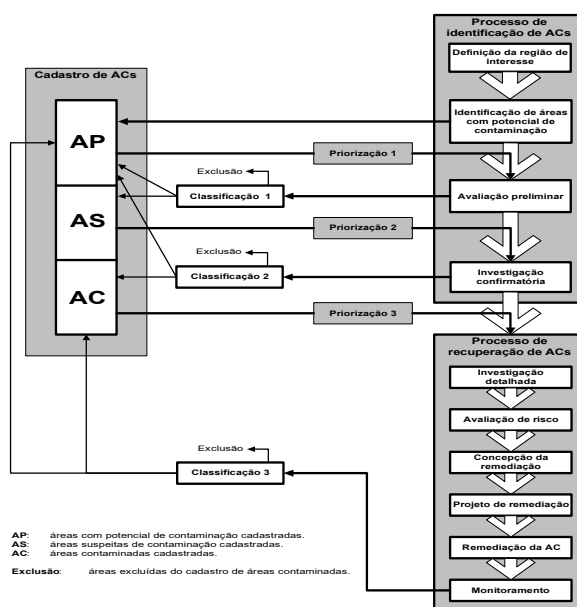


FIG 3-2 Fluxograma do Gerenciamento de Áreas Contaminadas (CETESB – Procedimento de Gerenciamento de Áreas Contaminadas 2008 p. 11)

O gerenciamento é dividido em duas etapas: identificação e reabilitação de áreas contaminadas.

O objetivo principal da identificação de áreas contaminadas é definir a existência e a localização das áreas contaminadas sob investigação sendo constituído por quatro etapas:

- a) Definição da região de interesse;
- b) Identificação de áreas com potencial de contaminação;
- c) Avaliação preliminar; e,
- d) Investigação confirmatória.

O processo de reabilitação visa possibilitar a adoção de medidas com a aplicação de metas estabelecidas para que a área possa ser reutilizada para um fim específico. Esta segunda etapa é dividida em seis partes:

- a) Investigação detalhada;
- b) Avaliação de risco;
- c) Concepção da remediação;
- d) Projeto de remediação;
- e) Remediação; e,
- f) Monitoramento.

Em função do nível das informações ou dos riscos existentes em cada uma das áreas em estudo, durante a realização das etapas dos processos de identificação e de reabilitação de áreas contaminadas, as áreas são classificadas como área com potencial de contaminação (AP), área suspeita de contaminação (AS), área contaminada sob investigação (AI), área contaminada (AC), área em processo de monitoramento para reabilitação (AMR) e área reabilitada para o uso declarado (AR).

3.3 Política Ambiental do Exército Brasileiro

As Forças Armadas brasileiras estão divididas em três segmentos singulares: a Marinha, o Exército e a Aeronáutica. Cada qual possui atribuições, equipamentos e estruturas de Comando e Controle específicos e estão subordinadas administrativamente ao Ministério da Defesa – MD, tendo o Presidente da República como seu Comandante Supremo (FIG 3-3).

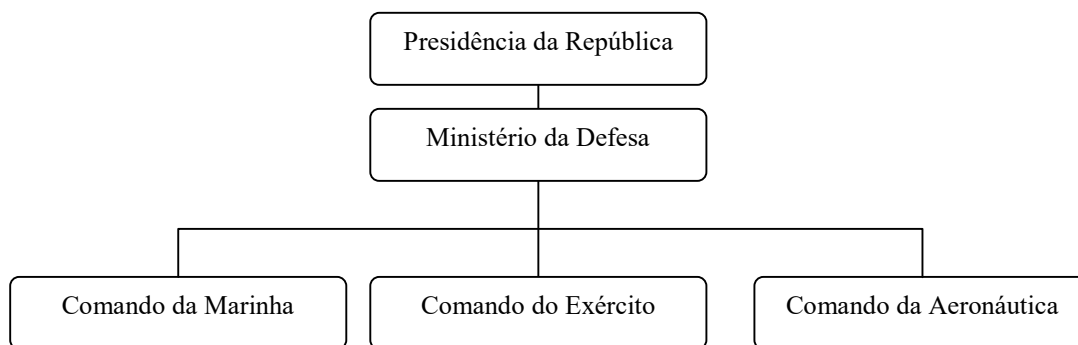


FIG 3-3 - Organograma das Forças Armadas

Este sistema de defesa destina-se à preservação da integridade territorial, à garantia da soberania nacional e, mais recentemente, ao combate de ameaças presentes após o fim da guerra fria, que decorrem do crescente desemprego, da marginalidade social, das migrações descontroladas, do narcotráfico, do terrorismo em todas as suas formas, do crime organizado, das violações dos direitos humanos, das discriminações diversas e da degradação do meio ambiente, entre outros.

O braço terrestre desta complexa estrutura que busca a paz pela manutenção de uma Força Armada dotada de poder dissuasório para repelir tais ameaças é o Exército Brasileiro – EB, instituição nacional permanente e regular, organizada com base na hierarquia e disciplina, destinada à defesa da Pátria, à garantia dos poderes constitucionais e, por iniciativa de qualquer destes, da lei e da ordem (Art. 142, Constituição Federal).

Com o passar dos anos, seja para fixar a população nos mais longínquos rincões do País, seja para eliminar o hiato entre a tecnologia nacional e a estrangeira, seja para a defesa das fronteiras ou para manutenção da soberania sobre a região amazônica, foram construídas no País diversos aquartelamentos ou Organizações Militares - OM, tanto em áreas rurais quanto urbanas.

Essas OM, por necessidade do aparelhamento da tropa e adequação às especificidades dos modernos equipamentos de guerra, ampliaram seu espectro de atuação e podem ser classificadas como: quartéis, campos de instrução, campos de testes, depósitos de suprimentos, fábricas e depósitos de armamentos e munições, parques de manutenção, hospitais, escolas e todo um conjunto de outras unidades de apoio.

Assim a função do EB transcende a defesa territorial, cabendo-lhe cumulativamente a formação e o aperfeiçoamento de seus recursos humanos bem como o desenvolvimento de

ciência e tecnologia de modo a fomentar a indústria bélica nacional que, em última análise, irá aparelhar a Força Terrestre - FT com os mais modernos equipamentos de combate.

Na atualidade, a FT possui mais de 1440 OM distribuídas por todo o território nacional, atuando de forma sinérgica em diversas áreas do conhecimento e desenvolvendo tecnologias voltadas para o emprego da tropa, podendo ser destacados veículos de combate e transporte de tropa, radar de acompanhamento de alvos aéreos, mísseis superfície-superfície, morteiros leves e pesados, equipamentos de visão noturna, dentre outros equipamentos essenciais ao combate na atualidade (Fig 3-4).



FIG 3-4 Aparato Bélico Moderno – Disponível:
<http://www.exercito.gov.br/01inst/armas/Infantar/indice.htm>, [Acesso: 2008]

Considerando a sofisticação tecnológica e a complexidade de uma operação militar nos dias de hoje, não é de se estranhar a quantidade de atividades necessárias ao êxito de uma missão. Essas atividades, muitas vezes, demandam o emprego de agentes físicos, químicos, e biológicos, representando tanto um risco para o militar que os manipula, quanto para o ambiente que o cerca, não só pelo aparato bélico que demandam, mas principalmente pelo fim a que se destinam. Não obstante o risco que o adestramento da tropa representa, este se constitui em fator primordial para o alcance eficaz de objetivos definidos a partir de ameaças e cenários futuros de conflito e contribui, definitivamente, para a redução de baixas, prevenção de acidentes e demais impactos ambientais negativos.

Do exposto, é inquestionável a importância da FT e o adestramento de seus contingentes no âmbito da defesa e da soberania nacionais. Contudo, não se pode admitir que a instituição nacional à qual cabe a defesa da Pátria, seja responsável por desastres ecológicos, pela degradação dos locais que usa na construção e manutenção de artefatos de guerra ou dos campos de instruções em que prepara seus contingentes.

Apesar dessas iniciativas, foi apenas em 2001 que o Comandante do Exército publicou a portaria nº 570 que aprova a Política de Gestão Ambiental do Exército Brasileiro - PGAEB. Com o objetivo de orientar a Força Terrestre, a política fundamenta-se em premissas que abordam:

- a) A observância de toda legislação ambiental e diretrizes vigentes;
- b) A implementação e o desenvolvimento de um sistema próprio de Gestão Ambiental;
- c) A promoção, dentro do Sistema de Ensino do Exército, da Educação Ambiental;
- d) As cooperações; as ações de prevenção, preservação, conservação e recuperação das áreas sob jurisdição do EB e também daquelas que, eventualmente, possam vir a ser utilizadas pela Força Terrestre, e
- e) As preocupações com o meio ambiente devem estar sempre presentes nas atividades e empreendimentos do Exército, mas não devem inibir ou deformar as características próprias das ações militares.

Baseada nessas premissas, a PGAEB tem os seguintes objetivos:

- a) Incutir, no público interno, a mentalidade de prevenção, preservação, conservação, melhoria e recuperação do meio ambiente;
- b) Classificar as atividades e empreendimentos, segundo a legislação de meio ambiente em vigor, solicitando, quando necessário, o Estudo do Impacto Ambiental -EIA e o Relatório de Impacto sobre o Meio Ambiente - RIMA;
- c) Fiscalizar e controlar os recursos ambientais expostos às ações das atividades e empreendimentos;
- d) Praticar a preservação ou a conservação ambientais, desenvolvendo programas e projetos, racionalizando o uso dos recursos ambientais disponíveis e incluindo a proteção e a preservação do meio ambiente como aspectos críticos no planejamento e na execução das atividades e dos empreendimentos militares;
- e) Executar a recuperação do meio ambiente, sempre que possível, nas áreas que venham a ser degradadas pelas atividades e empreendimentos realizados, e
- f) Buscar a cooperação com os órgãos comprometidos com a promoção do desenvolvimento e proteção do meio ambiente, por intermédio de atividades de apoio e de representações junto a esses órgãos.

Outras portarias também foram publicadas com a finalidade de regulamentar estas determinações: a portaria nº 571, de 6 de novembro de 2001, que aprova a Diretriz Estratégica de Gestão Ambiental do Exército Brasileiro - DEGAEB e a portaria N.º 050, de 11 de julho de 2003 que aprova a orientação para a elaboração dos Planos Básicos de Gestão Ambiental em todas as Organizações Militares do Exército oferecendo subsídios à elaboração dos Planos Básicos de Gestão Ambiental e apresentando exemplos de programas voltados para a viabilização ambiental das atividades e empreendimentos militares.

Já a portaria nº 934-Cmt Ex, de 20 Dez 07 determina a atualização do Sistema de Gestão Ambiental do Exército Brasileiro e a portaria nº 386, de 09 Jun 08, aprova as Instruções Gerais para o Sistema de Sistema de Gestão Ambiental no Âmbito do Exército (IG 20-10) orientando as ações da Política Militar Terrestre bem como definindo responsáveis e responsabilidades.

Mesmo agindo de forma pró-ativa e realizando atividades compensatórias como apoio a comunidades indígenas, colaboração no combate a incêndios, participação em campanhas de proteção do MA dentre outras, o EB está exposto ao recrudescimento da legislação ambiental da última década. A crescente demanda judicial a que os comandantes de OM vêm sendo expostos evidencia esta fragilidade. Exemplo desta demanda encontra-se na interdição do Campo de Instrução de Gericinó - CIG pelo Ministério Público Federal, por considerar que a realização do tiro de armas coletivas atenta contra a segurança da população que reside na periferia da área de instrução bem como causa desconforto à população da mesma pelo ruído que provoca. Assim, encontra-se tramitando um procedimento administrativo, instaurado na Procuradoria da República do Estado do Rio de Janeiro, com a finalidade de apurar possíveis danos ambientais em razão das atividades militares conduzidas pelas Forças Armadas no CIG (JUSTIÇA FEDERAL, 2003, p. 2).

O Campo de Instrução Marechal Hermes, em Santa Catarina, o Campo de Instrução de Formosa, em Brasília e o Campo de Provas da Marambaia, no Rio de Janeiro, já sofrem também pressões sobre suas atividades em virtude de demandas judiciais atualmente em curso, por vizinhos das referidas regiões.

A revista Veja, em sua edição Nr 1619, de 13 outubro 99, à página 101, apresenta uma reportagem que relata a morte de animais em extinção por integrantes do EB. Estas e outras notícias mostram que a conduta do EB em face das questões ambientais deve ser atualizada com a implementação de um Sistema de Gestão Ambiental próprio, específico para a atividade militar, baseado e adaptado das metodologias de gestão mais modernas existentes no mundo e no País.

A contaminação de solo em áreas de destruição de munição é um grave problema. Cabe ao Exército Brasileiro, dentre outras missões, a destruição das suas munições inservíveis e, quando determinado, das munições apreendidas pelas polícias Civil, Militar e Federal. A atividade de destruição consiste em manter a segurança contra possíveis explosões causadas por estes materiais. Atualmente, adota-se a destruição diretamente no solo, (queima e

destruição ao ar livre), previstos nos manuais técnicos T9 e 105 todos do Exército Brasileiro, sendo esta atividade realizada nas diferentes regiões militares no Brasil.

O Ministério Público Federal, MPF, encaminhou, no fim do ano de 2007, ao Comando da 1ª RM questionamentos relativos a impactos ambientais que a unidade poderia estar provocando com a sua atividade de destruição. Outras áreas podem estar contaminadas e oferecendo risco de impactos ambientais.

Portanto, é primordial que a FT caracterize as áreas que utiliza, identificando as atividades que provocam potencial risco ao MA e, principalmente, identificando formas de eliminar ou mitigar o mesmo. Segundo Fogliatti et al. (2008), esse comportamento insere-se no contexto de uma legislação cada vez mais exigente que incentiva políticas econômicas destinadas à proteção ambiental e segundo a qual quem cria passivo ambiental, voluntária ou involuntariamente, direta ou indiretamente, está sujeito à sua recuperação conforme Lei Nr 9605, de 12 Fev 98. (Lei de Crimes Ambientais).

3.4 Conclusão Parcial

As primeiras legislações específicas sobre ACs promulgadas no final dos anos 80 têm caráter predominantemente corretivo, sem tratar muito de aspectos preventivos no sentido de evitar futuras contaminações e de garantir a qualidade ambiental em relação ao solo e às águas subterrâneas. (Manual de Áreas Contaminadas CETESB -2001).

A lei federal usou como base a metodologia e legislação utilizada pela CETESB, visto que o trabalho realizado no estado de São Paulo já vem sendo utilizado como parâmetro para diversos trabalhos de identificação de solos contaminados.

Na metodologia desenvolvida para o gerenciamento de áreas contaminadas da CETESB, destacam-se as etapas de priorização, intervenção, medidas emergenciais e o cadastro das áreas contaminadas. Os critérios utilizados para realizá-las consideram, basicamente, as características da fonte de poluição, das vias de transporte dos contaminantes e dos receptores a serem protegidos.

O Exército Brasileiro com suas portarias e normas tem se adequadado as exigências legais no que diz respeito à preservação ambiental, possui uma secretaria voltada para as questões ambientais e se preocupa em manter as suas áreas de instrução, todavia, ainda não possui um

grupo de trabalho voltado especificamente para a questão de identificação e remediação de áreas contaminadas.

É necessário que se faça um trabalho de identificação de possíveis áreas contaminadas, para que em seguida, se execute um processo de remediação dentre àquelas que merecem maior atenção e urgência em recuperação.

Portanto, este trabalho, poderá servir como parâmetro para estudos futuros e uma forma de incentivo para se continuar buscando soluções que possam ser utilizadas tanto nas Forças Armadas bem como no meio civil.

4. TÉCNICAS DE REMEDIAÇÃO AMBIENTAL DE SOLOS CONTAMINADOS POR METAIS PESADOS

A contaminação do solo e das águas subterrâneas por metais pesados é uma séria ameaça à saúde e ao meio ambiente (Adriano, 1986, Cameron, 1992). Solos podem ser altamente contaminados por metais como resultado de descarte de resíduos de fábricas e aterros sanitários, sendo sua maior ocorrência em áreas industrializadas e de atividades militares, como por exemplo, de descarte de munições e explosivos inservíveis. Existem solos que apresentam altos valores de metais pesados no solonaturalmente

Todavia, a remediação ambiental destes solos não é uma tarefa fácil de ser executada, isto porque envolve o conhecimento de vários fatores como: as características ambientais e a configuração topográfica da área, as propriedades hidráulicas do meio e os fatores intervenientes no transporte do contaminante no solo. Tais propriedades são de difícil obtenção devido à heterogeneidade do meio e à complexidade dos processos envolvidos demandando, para tanto, o uso de modelos teóricos e computacionais para a sua previsão.

Apesar de toda complexidade que envolve a remediação de áreas degradadas, existem diferentes técnicas de remediação e contenção de contaminantes que são divididas segundo Dermont et al., 2008, nas seguintes soluções: imobilização ou isolamento dos metais e extração do metal.

O objetivo deste capítulo é fazer uma síntese das técnicas que são utilizadas nos Estados Unidos e na Europa para remediação de solos contaminados por metais pesados provocados por diferentes atividades (industrial, militar, etc). Para isso, foi utilizado como fonte de consulta relatórios da Agência Americana de Meio Ambiente (USEPA), Relatório final sobre Gestão Sustentável de Remediação Ambiental de solos contaminados por Metais Pesados – Desenvolvimento de Ferramentas para Tomada de Decisão e Avaliação para Aplicação Prática (SUMATECS – Viena, Alemanha, Europa) além de sites do Exército, Marinha e Aeronáutica americana e artigos diversos.

4.1 Solo

Segundo dados da USEPA, existem nos Estados Unidos cerca de 1.000.000 de áreas potencialmente contaminadas, sendo que destes, 69% por metais pesados. Na Europa, segundo relatório da SUMATECS, os sítios potencialmente contaminados também chegam a este valor, porém com uma porcentagem inferior de 31% de solos contaminados por metais traço.

O solo é um corpo de material inconsolidado que recobre a superfície emersa terrestre entre a litosfera e a atmosfera. É o resultado da ação do relevo, do clima e da vegetação sobre a matriz da superfície terrestre ao longo de milhares de anos e da ação antrópica. É um sistema heterogêneo e complexo constituído por componentes orgânicos, minerais, gasosos e líquidos que desempenham um papel fundamental na sustentabilidade do ecossistema terrestre.

O solo é responsável pelo crescimento das plantas, pela degradação e reciclagem da biomassa microbiana e serve de habitat para diversos organismos, (ALLOWAY, 1995). Ademais, o solo comporta-se como um “filtro” para a remoção de contaminantes da biosfera (BOLAN et al., 1999), além de ser o reservatório de água e nutrientes para os ecossistemas terrestres que, por sua vez, suprem o homem com alimentos, fibras e madeira.

Os meios biótico e abiótico estão intimamente ligados no solo e sua capacidade depuradora reflete uma qualidade necessária a todos os organismos, ou seja, a funcionalidade do solo em seu máximo potencial envolve um compromisso com: a manutenção da biodiversidade, da qualidade da água e do ar, da ciclagem de nutrientes e da produção de biomassa. Enfim, o solo é um grande fornecedor de serviços ambientais assim como um elemento de ligação e manutenção da vida na Terra e, por este motivo, é essencial que sua capacidade produtiva seja preservada.

Segundo Alloway (1995), a maior parte dos solos foi poluída, ao menos em alguma extensão, por poluentes depositados da atmosfera, fertilizantes, agroquímicos e esterco. Em comparação com o ar e a água, o solo é de composição mais complexa e de difícil investigação, agindo, desse modo, como coletor, filtro e difusor de poluentes para o meio ambiente. Neste contexto, a poluição do solo, associada a outros tipos de degradação como o desmatamento, a erosão e a urbanização desordenada representam uma ameaça à sustentabilidade deste recurso precioso.

4.2 Metais Pesados

Todos os elementos metálicos de origem litogênica estão presentes no ambiente desde a formação do planeta e encontram-se distribuídos de forma relativamente homogênea nos solos. Como parte dos ciclos biogeoquímicos, a fração natural destes elementos é liberada das rochas por processos de intemperismo sendo ciclados, através dos vários compartimentos, por processos bióticos e abióticos, até que encontram seu destino final nos oceanos ou nos sedimentos (KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 1984).

Os metais de origem antropogênica, por outro lado, apresentam-se no solo por processos adicionais que culminam na redistribuição e no aumento das taxas de transferência dos metais entre os diversos compartimentos dos ecossistemas. São entendidos como elementos de poluição, e são, freqüentemente, produtos do desenvolvimento tecnológico. Fontes antropogênicas, o que inclui emissões industriais, efluentes, biossólidos, fertilizantes e pesticidas, podem contribuir para o aumento da concentração de metais no solo. (CAMARGO et al., 2001)

O termo metais pesados é impreciso, mas é amplamente utilizado. Outros nomes como metais tóxicos, elementos potencialmente tóxicos e metais traço podem ser adotados alternativamente. Os metais pesados têm uma densidade superior a 6 g cm^{-3} (ou $>5 \text{ g cm}^{-3}$ para alguns autores) e número atômico maior que 20. Metais pesados pertencem ao grupo dos elementos descritos na geoquímica de elementos traço, porque eles compreendem coletivamente <1% das rochas na crosta terrestre. (TAN, 2000)

Embora o termo metal pesado tenha conotação de toxicidade, alguns destes elementos atendem aos critérios de essencialidade às plantas, aos animais e ao homem e são ditos biogênicos, isto é, sua presença é essencial para permitir o funcionamento normal de algumas rotas metabólicas (Aguiar et al., 2002). Cálcio (Ca), crômio (Cr), manganês (Mn), ferro (Fe), cobalto (Co), cobre (Cu), zinco (Zn), selênio (Se) e molibdênio (Mo) são elementos essenciais à fisiologia humana (Schroeder, 1966); outros, como o mercúrio (Hg), o chumbo (Pb), o cádmio (Cd), são altamente tóxicos aos seres humanos, mesmo quando presentes em baixas concentrações, e respondem pela maioria dos problemas de saúde devido à poluição do meio ambiente (WHO, 1996).

Esta toxicidade está associada à uma contaminação limite, em geral estabelecida por regulamentações. No Brasil, a norma que trata do assunto é a Resolução CONAMA 420.

Os metais pesados mais importantes no que diz respeito ao potencial de perigos e ocorrência em solos contaminados são: Cd, Cu, Cr, Hg, Pb e Zn (FRTR 2009). A tabela 4.1 apresenta uma relação dos contaminantes listados pela “Federal Remediation Technologies Roundtable (FRTR)”. Criada em 1990, reúne os principais gestores na área ambiental da U. S. Department of Defense (Departamento de Defesa): U. S. Força Aérea (Força aérea), U. S. Army (Exército) e U. S. Navy (Marinha). Ainda engenheiros do U. S. Department of Energy (Departamento de Energia), U. S. Department of the Interior (Departamento do Interior), U. S. Environmental Protection Agency (Agência de Meio Ambiente Americana) e National Aeronautics and Space (Agência Espacial - NASA). (<http://www.frtr.gov/>. [Capturado em 20 de Janeiro de 2009]).

TAB 4-1 - Relação de Contaminantes Inorgânicos – http://www.frtr.gov/matrix2/section2/2_8.html, [Capturado em 13 de junho de 2009].

Alumina	Cobalto	Selênio
Alumínio	Cobre	Prata
Antimônio	Ferro	Sódio
Arsênio	Chumbo	Tálio
Bário	Magnésio	Estanho
Berílio	Manganês	Titânio
Bismuto	Mercúrio	Vanádio
Boro	Cianetos Metálicos	Zinco
Cádmio	Molibdênio	Zircônio
Cálcio	Níquel	
Cromo	Potássio	

Análises realizadas pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro na área de disposição de munição do Exército Brasileiro identificaram a contaminação por metais pesados: chumbo, cádmio e cobre no solo. Dos metais apresentados, o que oferece maior preocupação ao Exército é o chumbo, pois, devido à sua massa específica elevada, é parte integrante de praticamente toda munição de baixo calibre e iniciadores utilizados. Porém, há de se ressaltar, que nesta área também são descartados explosivos civis e munições que são destruídos por ordem da justiça e que não se dispõem de dados.

4.3 Contaminação do Solo por Metais Pesados

De acordo com McBride,1982, solo contaminado é aquele que apresenta concentrações de determinado elemento químico acima do esperado em condições naturais. A poluição do solo encerra um perigo à saúde humana quando substâncias potencialmente tóxicas movem-se através das águas subterrâneas ou até mesmo pela cadeia alimentar e chegam ao homem em concentrações elevadas. A exposição ao chumbo, é claro, inclui o ar, a poeira e os alimentos, assim como a água.

A contaminação por metais pesados é oriunda de atividade antrópica ou da acumulação resultante de processos biogeoquímicos ocorridos na natureza. As principais rotas antrópicas de entrada de metais pesados no solo são a deposição de rejeitos industriais, fertilizantes e pesticidas e resíduos urbanos como compostos de lixo e lodo de esgoto. No solo, estes rejeitos sofrem transformações químicas que podem liberar metais pesados para a solução do solo e causar toxidez às plantas e organismos do solo, ou ainda adsorvidos às argilas ou complexados à matéria orgânica, representando uma fonte poluidora potencial e importante via de exposição dos metais poluentes.

A contaminação do solo é uma das preocupações ambientais, uma vez que geralmente interfere no ambiente global da área afetada (solo, águas superficiais e subterrâneas, ar, fauna e vegetação), podendo originar problemas de saúde pública. Estimativas feitas por organismos internacionais e pela CETESB revelam um alarmante quadro de contaminação do solo em áreas urbanas e industriais. A contaminação como resultado da guerra, treinamento militar e de fabricação e armazenamento de materiais explosivos é outro fator de preocupação já que resultaram em grandes áreas contaminadas em países como Alemanha e EUA.(USEPA, SUMATECS)

4.4 A Disponibilidade de Metais Pesados No Solo

A toxicidade e a mobilidade de metais pesados dependem fortemente da sua forma química e das ligações específicas (precipitado com minerais primários ou secundários, complexado por ligantes orgânicos, entre outros). Mudanças nas condições ambientais tais como acidificação, mudanças dos potenciais de oxirredução ou aumento da concentração dos

ligantes orgânicos, podem causar a mobilização dos elementos traços da fase sólida para a fase líquida favorecendo, assim, a contaminação das águas adjacentes. Nesse caso, a identificação da fase associada aos elementos traços nos solos e sedimentos pode ajudar na compreensão do processo geoquímico, a fim de avaliar o potencial de remobilização e os riscos induzidos (SUTHERLAND et al., 2000).

Como o solo é formado por diferentes componentes, a concentração total de qualquer micronutriente ou metal pesado poderá estar disperso e distribuído entre esses componentes e ligados a eles por meio de ligações fracas até aquelas com alta energia. Os micronutrientes e metais pesados estão associados principalmente: (i) à solução do solo; (ii) à superfície inorgânica (troca iônica e adsorção específica); (iii) à matéria orgânica; (iv) aos óxidos e (v) aos minerais primários e secundários.

Sem dúvida a massa de solo é o centro de todos os processos químicos importantes e de onde as plantas absorvem os nutrientes. Na massa de solo os micronutrientes e metais pesados podem estar na forma solúvel como íons livres ou complexados com ligantes orgânicos e inorgânicos. De acordo com Lindsay (1979) a maioria dos metais não está na forma livre, mas complexados.

Os mecanismos envolvidos na adsorção dos micronutrientes na superfície inorgânica são a troca iônica (adsorção não específica) e a adsorção específica. A adsorção é o processo mais importante relacionado à disponibilidade de micronutrientes às plantas, pois controla a concentração dos íons e complexos na solução do solo, exercendo influência muito grande na sua absorção pelas raízes das plantas. (LOPES, ABREU e SANTOS, 2006).

Os metais pesados podem, ainda, ocorrer no solo sob diversas formas: na forma iônica ou complexada na solução do solo, como íons trocáveis no material orgânico ou inorgânico de troca ativa, como íons mais firmemente presos aos complexos de troca, como íons quelatos em complexos orgânicos ou organominerais, incorporados em sesquióxidos precipitados ou sais insolúveis, incorporados nos microrganismos e nos seus resíduos biológicos, ou presos nas estruturas cristalinas dos minerais primários ou secundários.

Sua distribuição é influenciada pelas seguintes propriedades do solo: pH, potencial redox, textura, composição mineral, características do perfil, capacidade de troca catiônica (CTC), quantidade e tipo de componentes orgânicos do solo e na solução, presença de outros metais pesados, temperatura do solo, conteúdo de água e outros fatores que afetam a atividade microbiana e a distribuição dos metais pesados no sistema solo controlam sua solubilidade,

mobilidade no meio e disponibilidade às plantas (ADRIANO, 1986; KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 2001).

4.5 Técnicas de Remediação Ambiental

Os tipos de remediação ambiental, segundo classificação da USEPA, compreendem 68% em solo e 32% em águas subterrâneas. Os tratamentos mais utilizados são a extração física_ química 52%, biológica 28%, térmica 18% e tratamento de gases 2% (FIG. 4-1).

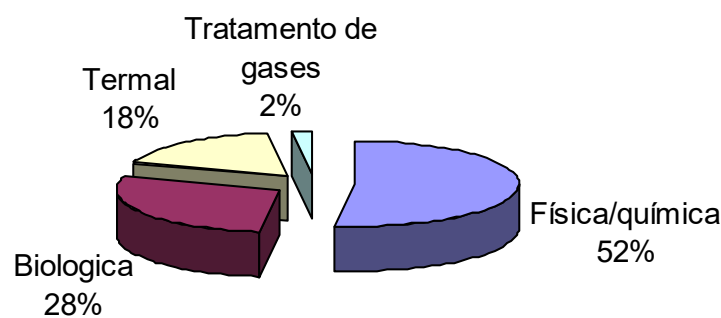


FIG 4-1– Tipos de Remediação – USEPA 2000

Dentre os tratamentos Biológicos tem-se: Biorremediação, Bioventilação, Bioreator, Fitorremediação, Biopilhas e outras técnicas Biológicas(USEPA 2000), (FIG 4-2).

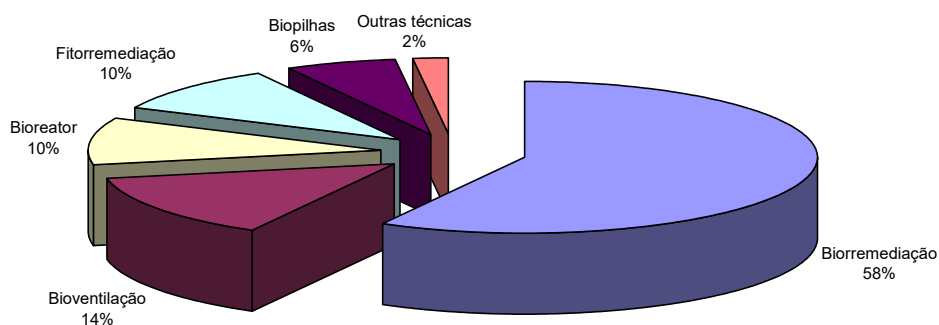


FIG 4-2 Processos Biológicos – USEPA 2000

Os processos Físicos e Químicos utilizam as seguintes técnicas: Barreiras Reativas Permeáveis; Processo de lavagem de solos; Oxidação; Separação de mistura; Solidificação e Estabilização; Extração de Vapor do Solo; Tratamento Químico; Extração por Solvente;

Separação Física; Eletrocinética; Contenção; Parede de Circulação; Outros processos Físicos e Químicos (USEPA 2000), (FIG 4-3).

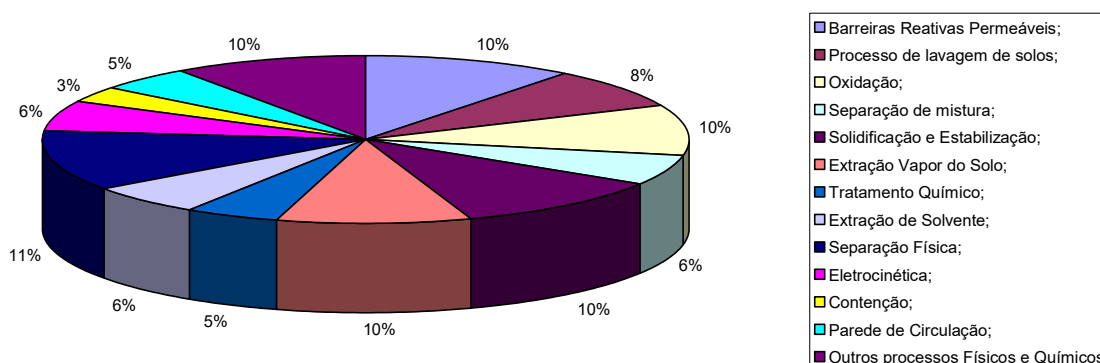


FIG 4-3 – Processos Físico-Químicos – USEPA 2000

Existem dois procedimentos, Ex Situ e In situ. O primeiro ocorre com a remoção do material contaminante para tratamento e pode ser realizado na mesma área (on site) através de unidades de tratamento móvel, ou fora da área contaminada em unidades fixas de tratamento (off site). No segundo, In Situ, não há a remoção do solo contaminado. Segundo Martin e Ruby (2004), três objetivos se buscam neste procedimento: redução da lixiviação de metais e da toxicidade deste no solo, e finalmente, promover re-vegetação do site.

Segundo G. Dermont, et al., 2008, embora os tratamentos in situ sejam mais aceitos como uma tecnologia confiável por gestores de sites e outros profissionais da área de remediação, a generalização de um método in situ é difícil porque cada local apresenta características únicas. Além disso, os métodos de extração in situ apresentam mais desvantagens do que o método ex-situ. Honders et al, 2003, cita a agencia ambiental holandesa, com mais de 20 anos de experiência em descontaminação de solos, a qual conclui que os métodos in situ não podem competir com tecnologias ex situ. Todavia, o ex-situ apresenta como grande desvantagem o fato de transferir o material contaminado para uma área não contaminada, e a questão dos custos envolvidos no transporte deste material.

Para determinar a técnica de remediação a ser utilizada, é necessário verificar qual a origem e o tipo de contaminante presente, ou seja, as classes e as concentrações dos elementos químicos, como eles são distribuídos na área, os perfis horizontais e verticais de contaminação, que devem ser definidos sempre que possível, e em que meios eles aparecem (solo, ar, água). Ainda é necessário conhecer as condições hidrogeológicas e a situação do sítio contaminado, isto é, se o local é uma área industrial, urbana, rural ou de preservação

ambiental bem como o tamanho da área a ser remediada. Para isto é necessário o mapeamento da área através de ensaios in situ e de laboratório.

O projeto de investigação e remediação ambiental de resíduos, bem como a pré-seleção de tecnologias dependem da viabilidade de execução, e a obtenção dessas informações exige, em geral, considerável tempo, esforço e finanças.

Os contaminantes estão divididos em duas grandes áreas: inorgânicos e orgânicos, como a área de estudo está contaminada com componentes inorgânicos oriundos de explosivos e munições civis e militares inservíveis (chumbo, cádmio e cobre), este trabalho apresentará um resumo das principais técnicas adotadas para tratamento de solos contaminados por metais pesados.

4.5.1 Tecnologias de Remediação de Solos Contaminados por Metais Pesados.

Segundo Dermont et all (2008), as tecnologias de recuperação para solos contaminados por metais pesados podem ser classificadas da seguinte forma:

1. A natureza da ação que será aplicada nos metais, isto é, imobilização ou extração;
2. A localização onde o processo será aplicado (in situ ou ex situ);
3. O tipo de tecnologia, ou seja, métodos de contenção e/ou disposição (químicos, físicos, térmicos, e os tratamentos biológicos) ou atenuação natural monitorada.

Os conceitos de reparação e tecnologias existentes para solos contaminados com metais são resumidos na Figura 4.4.

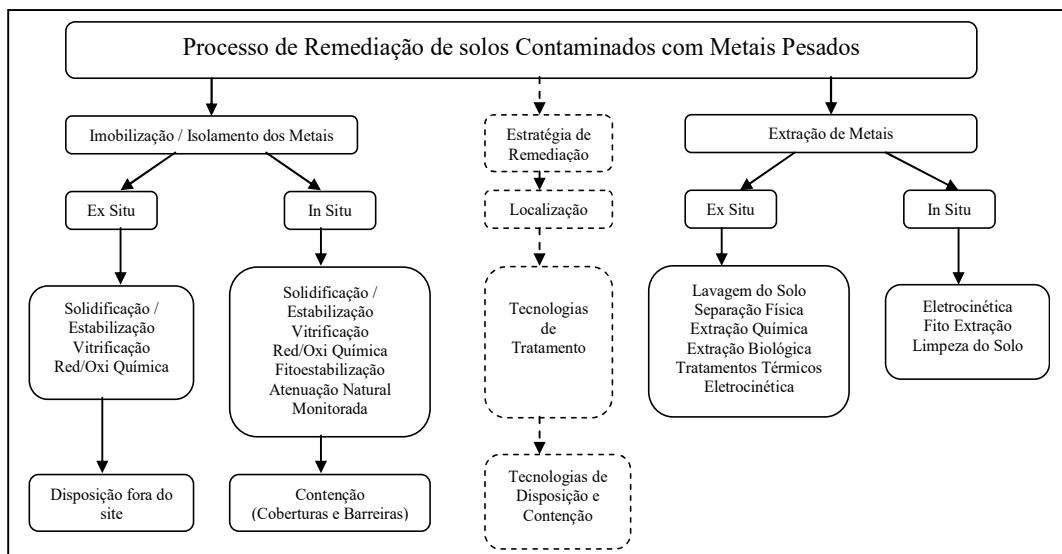


FIG 4-4 – Tecnologias para remediação de sites contaminados por metais pesados (Dermont 2008)

4.5.2 Técnicas de Imobilização / Isolamento de Metais Pesados Ex Situ / In Situ

Os métodos de imobilização e isolamento de metais são utilizados para prevenir a contaminação de águas subterrâneas ou outros meios. As tecnologias de remediação utilizadas são: solidificação ou estabilização, vitrificação, redução ou oxidação química, disposição em outro local como aterros ou áreas pré-definidas, fito estabilização, estabilização biológica e processo de contenção.

4.7.2.1. Solidificação/Estabilização (S/E)

Nesta tecnologia, os contaminantes ou são ligados fisicamente, “fechado”, dentro de uma massa estabilizada (solidificação), ou reações químicas são induzidas entre o agente de estabilização e dos contaminantes para reduzir a sua mobilidade e o potencial de periculosidade de um resíduo (estabilização). Quando o procedimento é ex situ, o material resultante do processo exige o transporte e disposição dos materiais resultantes em aterros.

Na aplicação desta técnica, vários agentes podem ser utilizados: cal, cimento, polímeros orgânicos, materiais termoplásticos, materiais absorventes, materiais cerâmicos, além do processo de vitrificação. Os objetivos segundo BARTH e PERCIN (1990) são melhorar o manuseio e as características físicas dos resíduos, como na adsorção de líquidos livres, reduzir a área superficial ao longo da massa de resíduo e limitar a solubilidade de qualquer constituinte perigoso do resíduo através de um ajuste de pH ou pelo fenômeno da adsorção.

Ainda citando BARTH e PERCIN (1990) os processos de solidificação/estabilização podem ser divididos em inorgânicos e orgânicos. Segundo o autor os processos inorgânicos com cimento e pozolanas têm sido utilizados mais frequentemente do que as outras tecnologias. Os processos orgânicos com termoplásticos e polímeros orgânicos têm sido aplicados para resíduos perigosos específicos.

Existem várias tecnologias inovadoras de estabilização e solidificação. A maioria das inovações são modificações de processos comprovados e são direcionadas para encapsular ou imobilizar os componentes nocivos e envolvem o processamento dos resíduos ou solo contaminado. Os processos ou grupos de processos incluem: 1 - betumenização, 2 - asfalto emulsionado, 3 - cimento enxofre modificados, 4 - extrusão de polietileno, 5 - pozolana / cimento Portland, 6 - a solidificação dos resíduos radioactivos, 7 - a estabilização de lamas, 8 - fosfatos solúveis, e 9 - vitrificação / vidro fundido. (FRTR -2009).

Destes, para o tratamento de solos contaminados com metais pesados destacam-se as técnicas de cimento Portland, a estabilização de lamas, fosfatos solúveis e vitrificação. (Dermont et al., 2008).

a) Cimento Portland /Pozolana

O processo pozolana/cimento portland consiste essencialmente de silicatos de pozolana baseada em materiais como cinzas, pó de forno, pedra-pomes e escória de alto forno e materiais cimento-base como o cimento Portland. Estes materiais reagem quimicamente com a água para formar uma matriz sólida, que impede a movimentação dos resíduos. Eles também elevam o pH da água que pode ajudar a precipitar e imobilizar alguns contaminantes de metais pesados. O cimento pozolana baseado em aglutinantes é normalmente apropriado para contaminantes inorgânicos.

b) Estabilização de Lamas

O processo de estabilização de lodo consiste na adição de um reagente, escórias ou materiais cimentícios, para transformar os materiais perigosos em forma menos móveis ou tóxicas. Lamas que lixiviam metais pesados ou outros contaminantes são frequentemente estabilizadas para imobilizar os constituintes perigosos.

c) Fosfatos Solúveis

O processo de fosfatos solúveis envolve a adição de várias formas de fosfato e alcalinos para o controle do pH, bem como para formação de moléculas de complexos metálicos de baixa solubilidade para imobilizar os metais em uma ampla faixa de pH. Ao contrário da maioria dos outros processos de estabilização, os processos de fosfato solúvel não convertem os resíduos em uma massa endurecida e monolítica. Uma aplicação de fosfatos solúveis e cal irá estabilizar cinzas, por exemplo, por imobilizar o chumbo e cádmio destas.

A tecnologia de solidificação/estabilização vem se tornando uma importante alternativa de tratamento face às normas, cada vez mais restritas, para disposição de resíduos perigosos em aterros, pois provê o melhoramento das características físicas e toxicológicas do resíduo, facilitando o seu gerenciamento de forma segura e eficaz. Além disso, o custo do processo de solidificação/estabilização tem sido considerado baixo em relação a outras técnicas de tratamento, fator este que tem impulsionado o desenvolvimento desta tecnologia nos últimos anos.

São descritas abaixo as demais técnicas de solidificação e estabilização utilizadas nos Estados Unidos e na Europa. A fonte de consulta utilizada foi a FRTR 2009.

d) Betumenização

É um processo orgânico, baseado em materiais termoplásticos, de microencapsulamento no qual os resíduos não reagem quimicamente com o material encapsulante. Na betumenização, os resíduos são incorporados em betume fundido e encapsulado quando este esfria. O processo combina betume aquecido e um concentrado do material residual, geralmente em forma de lama, em uma extrusora aquecida contendo um misturador que torne homogênea o betume e os resíduos. A água é evaporada a partir da mistura para cerca de 0,5% de umidade.

Esta técnica, segundo BARTH e PERCIN(1990), pode ser utilizada para lodos de galvanização, lodos de refinaria e de tintas contendo metais e orgânicos, cinzas de incineração, poeira de filtro, e resíduos radioativos.

e) Asfalto Emulsionado

Emulsões de asfalto são gotículas de asfalto dispersas em água que são estabilizadas por agentes químicos emulsificantes. As emulsões estão disponíveis na forma catiônica ou aniônica. O processo envolve a adição de asfalto emulsionado tendo a taxa adequada para realizar a união aos resíduos na temperatura ambiente. Após a mistura, há quebra de emulsão, a água do processo é descartada, e a fase orgânica forma uma matriz contínua de asfalto hidrofóbica em torno dos resíduos sólidos. Em alguns casos, pode ser necessária, a adição de agentes de neutralização, como a cal ou gesso. Depois de tempo suficiente para definir a cura, o asfalto sólido resultante tem os resíduos uniformemente distribuídos por todo ele e é impermeável à água.

f) Enxofre Cimento Modificado

Enxofre cimento modificado é um material termoplástico comercialmente disponível. Ele é facilmente derretido (127 ° a 149 °C) e depois misturado com os resíduos para formar uma massa homogênea fundida, que é descarregada em recipientes adequados para o resfriamento, armazenamento e descarte. Uma variedade de dispositivos de mistura podem ser usados. As temperaturas relativamente baixas utilizadas evitam as emissões de dióxido de enxofre e sulfureto de hidrogênio.

g) Extrusão de Polietileno

O processo de extrusão de polietileno envolve a mistura de aglomerante polietileno e resíduos secos utilizando um cilindro aquecido. A mistura homogênea e aquecida sai do cilindro através de um orifício onde se resfria e se solidifica. O processo foi testado em

resíduos de sal nitrato na planta em larga escala, estabelecendo assim a sua viabilidade e de vários outros resíduos no banco e escala piloto.

h) Solidificação de resíduos radioativos

No tratamento de solidificação de resíduos radioativos (rejunamento), aditivos para solidificação são usados para formar uma matriz uniforme e estável para encapsular os resíduos radioativos. Os equipamentos para realização deste processo incluem as bombas para líquidos ou suspensões, transportadores de lamas ou sólidos, silos de armazenagem, dosadores, tubulações, misturadores e eliminação ou armazenagem.

4.7.2.2. Vitrificação

Vitrificação, ou de vidro fundido, são processos de solidificação que empregam calor de até 1.200 °C para fundir e converter resíduos em vidro ou outros produtos cristalinos. As altas temperaturas destroem quaisquer componentes orgânicos com poucos subprodutos. Materiais, tais como metais pesados e radionuclídeos, são incorporados na estrutura de vidro que é, geralmente, um material relativamente forte, durável, que é resistente a lixiviação. Além de sólidos, os resíduos podem ser líquidos, lamas, ou materiais combustíveis. Borosilicato e soda-cal são os principais formadores de vidro e fornecem a matriz básica do produto vitrificado.

4.7.2.3. Redução ou Oxidação Química

O processo de Redução/oxidação (Redox) é um tratamento físico químico onde ocorre a remoção do solo contaminado para que através de processos químicos sejam convertidos os contaminantes perigosos a compostos que não apresentam riscos ou menos tóxicos, mais estáveis, menos móveis e / ou inertes. Estas reações envolvem a transferência de elétrons de um composto para outro. Especificamente, um reagente é oxidado (perde elétrons) e um é reduzido (elétrons ganhos). Os agentes oxidantes mais usados para o tratamento de resíduos perigosos são o ozônio, peróxido de hidrogênio, hipocloritos, cloro e cloro dióxido. Os processos Redox são uma tecnologia de curto a médio prazo (FIG.4.5).

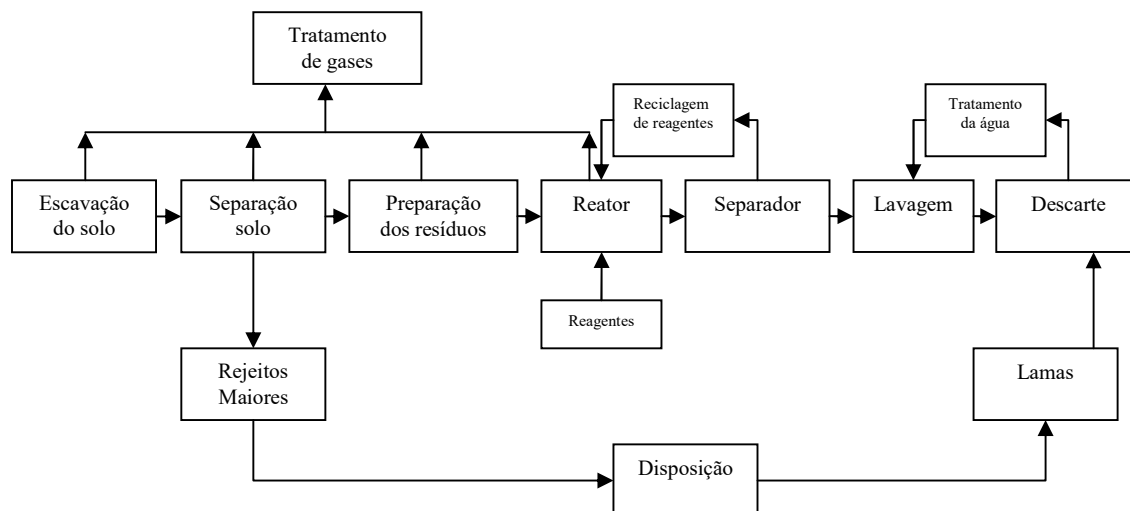


FIG 4-5 – Processo de Oxiredução (FRTR 2009)

Esta tecnologia é utilizada para contaminantes inorgânicos, todavia, mas com eficácia reduzida, é um tratamento comum para cianeto (oxidação) e cromo (redução de Cr (VI) para Cr (III) antes da precipitação) dos resíduos. Esta redução química é necessária pois os íons Cr VI são mais tóxicos do que o Cr III, e o Cr III pode ser precipitado para formar hidróxido em uma ampla faixa de pH (valores USEPA 1995c). Sistemas eficientes já estão sendo utilizados com mais frequência para o tratamento de resíduos perigosos no solo (FRTR – 2009).

4.7.2.4. Fitoestabilização

Fitoestabilização é o nome dado a um processo de fitorremediação (tecnologias que usam plantas para limpar áreas contaminadas). As plantas utilizadas para cobrir a superfície do solo têm o papel de reduzir a erosão, a lixiviação, e servem de barreira ao contacto direto com o solo. A fitoestabilização utiliza uma estratégia protetora, pois não remove os contaminantes do solo, mas sim minimiza os efeitos tóxicos dos metais, pois impede a migração de metal e os imobiliza através dos sistemas radiculares e os estabiliza através de processos bioquímicos ocorrendo nas raízes (Pivetz 2001). A fitoestabilização tem sido usada em escala de campo para estabilizar As, Cd, Cu ou Pb.

4.7.2.5. Estabilização Biológica

Esta tecnologia, segundo Dermont et al (2008) é mais adequada para o tratamento de solos contaminados com rejeitos de mineração. O procedimento de remediação se baseia na alteração de biossólidos, ou em atividades biológicas avançadas para promover a formação de

íons metálicos menos tóxicos e solúveis, quer pela criação de condições ambientais que farão com que espécies agindo diretamente sobre o metal mudem seu estado de valência (USEPA 2004a).

4.7.2.6. Coberturas e Barreiras

Barreiras físicas ou paredes de lama (mistura fina de uma substância insolúvel, como cimento, argila ou carvão, com um líquido, como água ou óleo) são usados para conter as águas subterrâneas contaminadas, e / ou fornecer uma barreira para o sistema de tratamento de águas subterrâneas.

Coberturas e barreiras são usadas geralmente quando a massa de resíduos é muito grande para o tratamento e onde os componentes solúveis e móveis representam uma ameaça iminente para uma fonte de água potável.

Essa tecnologia é utilizada há décadas como solução, a longo prazo, para o controle de escoamento. A tecnologia tem demonstrado a sua eficácia na contenção, superior a 95%, dos lençóis freáticos contaminados, no entanto, em aplicações de solo contaminado, a água e tipos específicos de contaminantes, podem degradar componentes da barreira e reduzir a sua eficácia.

A maioria das paredes é construída de lama de solo, mistura bentonita e água. A lama bentonítica é utilizada principalmente para a estabilização da parede durante a escavação de trincheira. O material de aterramento, bentonita, é então colocado na trincheira para criar o muro de corte. Paredes desta composição fornecem uma barreira de baixa permeabilidade, resistência química e baixo custo. Outras composições de parede, como cimento e bentonita, pozolana e bentonita, atapulgita, bentonita modificada organicamente, ou lama e composto de geo membrana, podem ser usados se uma maior resistência estrutural for necessária ou se houver incompatibilidades químicas entre bentonita e contaminantes no sítio existente.

Paredes de lama são normalmente colocadas em profundidades de até 30 metros com uma espessura de 0,6 a 1,2 metros.

4.5.3 Técnicas de Extração de Metais Ex Situ E In Situ

Métodos de extração referem-se a processos que podem separar metais do solo, reduzir a sua concentração, ou o seu volume na área contaminada. Tratamentos de extração visam a descontaminação completa do local, removendo os metais a partir da matriz do solo.

O objetivo numa estratégia de extração é a recuperação de metais para a reutilização e revenda, no entanto, na maioria das vezes, isso é inviável para os projetos por causa dos custos envolvidos na técnica para a extração e processos de recuperação a menos em caso de reservatório de rejeito por exemplo.

Quando a contaminação por metais no solo é heterogênea ou os metais são fortemente vinculados à matriz do solo, a extração é muito difícil, sendo em muitos casos os métodos de extração usados para reduzir o volume de solo contaminado e as concentrações de metal para um nível aceitável.

As tecnologias indicadas segundo Dermont et al (2008) para remediação de solos contaminados ex situ são: lavagem do solo, separação física, extração química, extração biológica, tratamentos térmicos e eletrocinéticos. Para tratamentos in situ, tem-se a eletrocinética, fito extração e lavagem de solo in situ (soil flushing)

4.7.3.1 Lavagem do Solo ex situ (Soil Washing)

Contaminantes adsorvidos em partículas finas do solo são separados do solo em um sistema aquoso em função do tamanho das partículas. Este processo pode ser maximizado pela adição, na água utilizada para lavagem, de um agente de lixiviação de base, surfactante, ajuste de pH, ou agentes quelantes, o que favorece a remoção de compostos orgânicos e metais pesados.

O método de lavagem do solo utiliza principalmente a separação física, que é baseada em tecnologias de processamento de minerais tais como separação por tamanho, flotação, e separação magnética. A separação física pode ser utilizada sozinha ou combinada com a lixiviação química segundo Dermont et al. (2008), este procedimento é utilizado para a remoção de chumbo (Pb) de estandes de tiro. A extração química utiliza frequentemente lixiviação ácida ou processos hidrometalúrgicos para a recuperação do metal.

O conceito de redução da contaminação do solo através do uso de separação de partículas baseia-se na constatação de que a maioria dos contaminantes orgânicos e inorgânicos tende a se vincular, quer química ou fisicamente, a argila, silte, e partículas de solo orgânico. O silte e argila, por sua vez, estão ligados a partículas de areia e cascalho, por processos físicos, principalmente compactação e aderência.

Os processos de lavagem separam partículas de argila e silte da areia grossa e cascalho do solo e assim concentram os contaminantes em um menor volume, onde podem, ainda, ser

tratados ou eliminados. A separação por diferença de densidade é eficaz para remover partículas de densidade específica alta, como metais pesados (chumbo e óxido de rádio).

4.7.3.2 Separação Física

A separação física é principalmente aplicável quando os contaminantes metálicos estão sob forma de partículas liberadas, enquanto que a extração química é essencialmente adequada para as formas iônicas (íons livres ou adsorvida no solo). Esta tecnologia é amplamente utilizada no Norte da Europa e da América para o tratamento de solo contaminado (FRTR 2009).

Os processos de separação são usados para remoção de solos contaminados com altas concentrações de contaminantes, para deixar frações relativamente não contaminadas, que podem então ser considerados como solos tratados e retornar para o local de origem. A separação ex situ pode ser realizada por vários processos, dentre estes se tem a separação gravimétrica e peneiramento que são dois processos bem desenvolvidos e têm sido os principais métodos para o tratamento de águas residuárias. Separação magnética, por outro lado, é um processo de separação muito mais novo que ainda está sendo testado.

4.7.3.3 Extração Química

Resíduos de solo contaminado e substância extratora são misturados para dissolver os contaminantes. A solução obtida é então colocada em um separador, onde o extrator e o contaminante são separados para o tratamento e posterior utilização (FIG 4-6).

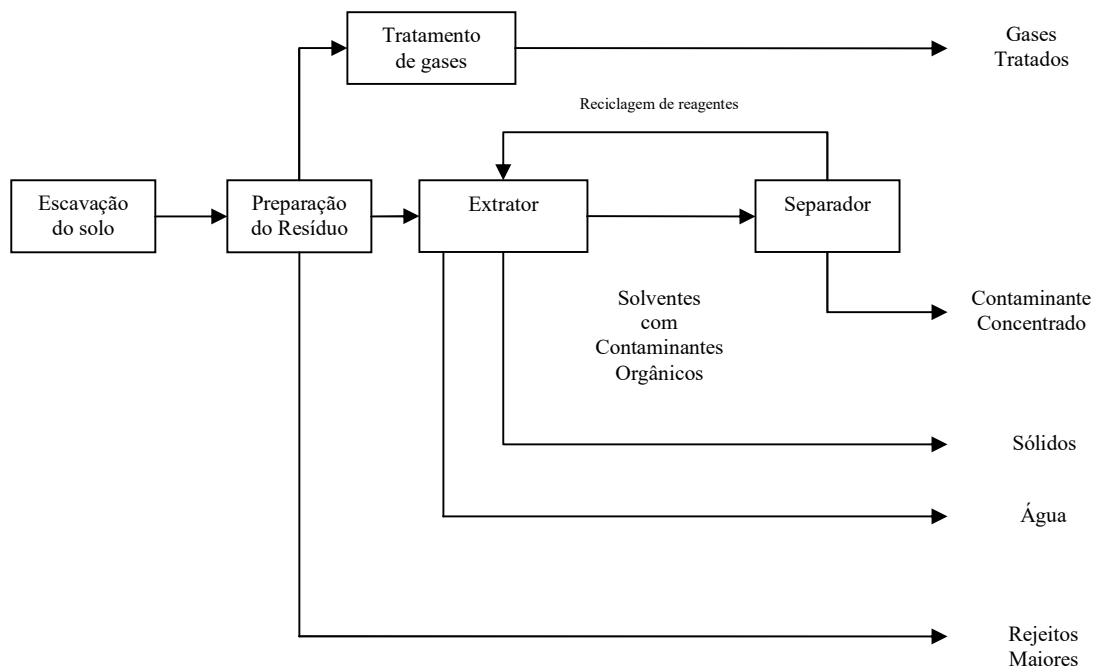


FIG 4-6 – Processo de Extração Química (FRTR – 2009).

O processo de extração química não destrói os resíduos, mas é um meio que separa os contaminantes perigosos dos solos, lamas e sedimentos, reduzindo assim o volume de resíduos perigosos que devem ser tratados. A tecnologia usa uma extração química e difere da lavagem do solo, que geralmente usa água ou água com aditivos para melhorar o processo de lavagem. (FRTR - 2009).

A separação física é utilizada, em alguns casos possíveis, antes da extração química para separar solos com granulometria grosseira e frações finas, com o pressuposto de que as frações mais finas do solo contêm a maior parte da contaminação. A separação física também pode aumentar a cinética de extração por separar partículas de metais pesados, se estes estiverem presentes no solo.

A extração ácida utiliza o ácido clorídrico para extrair contaminantes de metais pesados em solos. Neste processo, os solos são selecionados primeiro para remover sólidos grosseiros.

O ácido clorídrico é introduzido no solo. O tempo de permanência na unidade varia dependendo do tipo de solo, contaminantes e as concentrações, mas geralmente ocorre entre 10 e 40 minutos. (FRTR 2009)

Quando a extração estiver concluída, os sólidos são transferidos para o sistema de enxágüe. Os solos são lavados com água para retirar o ácido e metais. A solução de extração e águas de lavagem são regenerados usando precipitantes, tais como o hidróxido de sódio, cal, ou outras formulações, junto com um floculador que remove os metais e as formas do ácido.

Os metais pesados ficam concentrados em uma forma potencialmente adequada para recuperação. Durante a etapa final, os solos são desidratados e misturados com cal e fertilizantes para neutralizar qualquer ácido residual.

4.7.3.4 Extração biológica

Extração Biológica inclui técnicas de biolixiviação e os métodos de solubilização de bio-surfactante reforçada. Apesar da biolixiviação de metais de minérios de baixo grau, principalmente sulfetos seja bem estabelecida na indústria de mineração, OLSON, BRIERLEY e BRIERLEY(2003) relataram o uso desta técnica para extração de metais.

Diversos métodos de lixiviação, por exemplo, autotrófica via bactérias ferro-oxidantes ou enxofre oxidantes heterotróficas e lixiviação através do fungo *Aspergillus niger* foram amplamente testados em laboratório para a extração de metais a partir de lamas de depuração Chan et al. (2003).

Segundo Dermont et al (2008) vários estudos laboratoriais mostraram que os metais sob formas catiônicas podem ser extraídos de solos por soluções bio-surfactantes aniônicas, no entanto, essa técnica ainda não foi aplicada para grandes projetos de reabilitação

4.7.3.5 Tratamentos térmicos

As tecnologias de tratamento térmico incluem a alta temperatura de dessorção térmica, sendo utilizada para a extração de metais voláteis como mercúrio. Existe ainda a detonação e queima a céu aberto, nestas, não existe controle dos produtos da reação, o que causa grande contaminação. Sua aplicação é exclusivamente ex situ utilizando unidades móveis para o tratamento de solos no local.

A queima a céu aberto consiste na combustão de qualquer material sem o controle do ar de combustão, contenção da reação de combustão em um dispositivo fechado, e nem a certeza de que a combustão será completa, e o controle de emissão dos gases de combustão (produtos da reação) (FIG 4-7).



FIG 4-7 – Processo de Queima á Céu Aberto – 2009 – Área de disposição - (Elaboração própria)

A detonação à céu aberto é um processo químico utilizado para o tratamento de munições inservíveis, obsoletas ou de resíduos através do qual uma carga explosiva de explosivos inicia as demais munições para ser detonada (FIG.4.8).



FIG 4-8 Processo de Detonação à Céu Aberto - Área de disposição - (Elaboração própria)

A combustão incompleta de munições e materiais energéticos pode deixar resíduos de TNT, RDX, HMX, PETN, e outros explosivos, além dos metais constituintes destes. Portanto, pode haver a contaminação da área onde foi realizada a atividade de descarte e também das imediações, sendo portanto um problema potencial para a saúde humana e o meio ambiente. (USEPA 2005 p. 92)

4.7.3.6 Eletrocinética

O processo de remediação eletrocinética (RE) remove metais e contaminantes orgânicos do solo de baixa permeabilidade, lamas, e resíduos de dragagem marinha. “RE” utiliza processos de dessorção eletroquímica e eletrocinética, e em seguida, os metais são coletados nos catodos. (FIG 4.9).

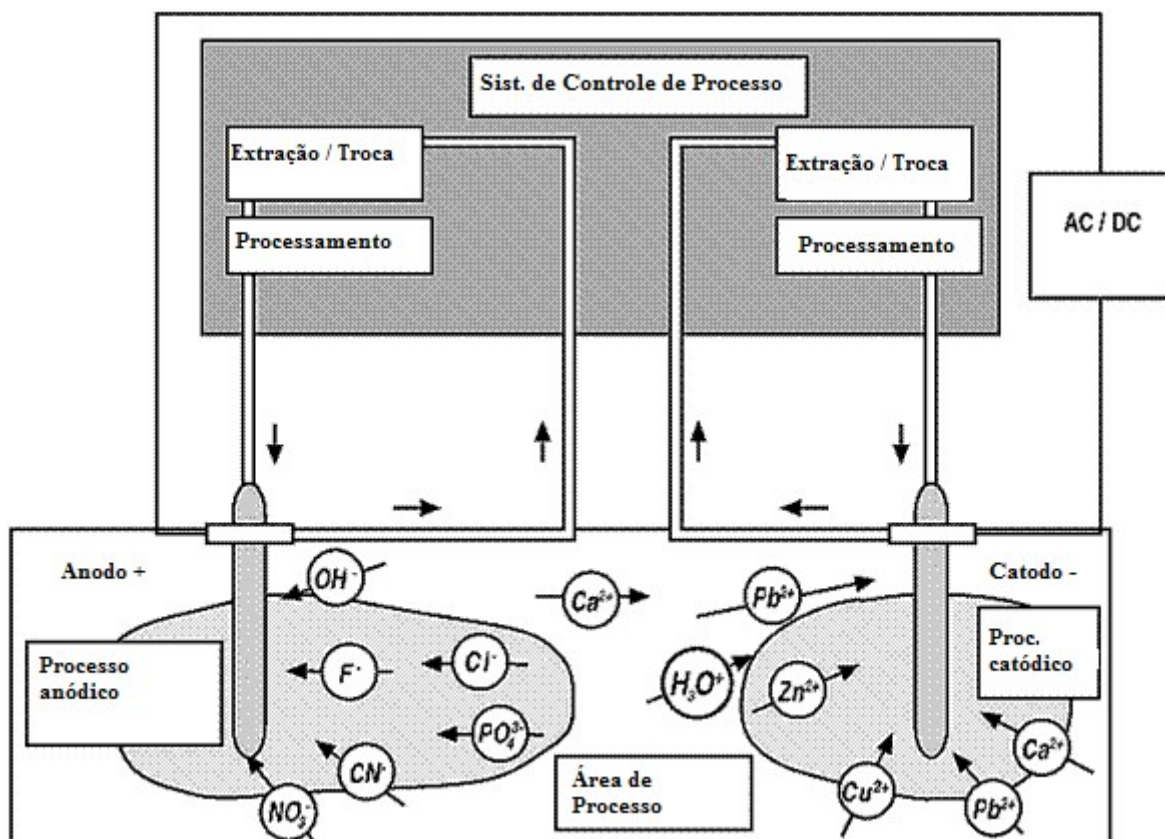


FIG 4-9 – Processo de Extração Eletrocinética (FRTR – 2009)

O princípio da remediação eletrocinética utiliza a aplicação de uma baixa intensidade de corrente através do solo entre os eletrodos que são inseridos em uma matriz sendo uma o cátodo e a outra o ânodo. Isso mobiliza espécies carregadas, fazendo com que os íons e a água se movam para os eletrodos. Íons metálicos, íons de amônio e carregados positivamente movem em direção ao cátodo. Ânions como cloreto, cianeto, fluoreto, nitrato, e carregados negativamente se movem em direção ao ânodo. O processo cria uma camada ácida no ânodo e uma básica no cátodo.

Esta geração de condição ácida "in situ" pode ajudar a mobilizar os contaminantes metálicos adsorvidos para o sistema de coleta no cátodo.

4.7.3.7 Fitoextração

A Fitoextração tem sido aplicada nos Estados Unidos em várias áreas contaminadas com metais, tais como: fábricas de bateria, fundição, instalações militares e aterros sanitários (Dermont et al 2008). Os metais mais visados na fitoextração são o chumbo e o Arsênio.

4.7.3.8 Lavagem de solo in situ (Soil Flushing)

Segundo a FRTR, a lavagem do solo in situ (soil flushing) é a extração dos contaminantes do solo com água ou outras soluções aquosas adequadas. O processo é realizado pela passagem do fluido através de unidade de tratamento local de extração. Os fluidos extraídos devem ser recuperados do aquífero e, quando possível, reciclados.

Utiliza-se a intensificação de solventes, ou seja, injeta-se uma mistura de solventes (por exemplo, a água, mais um solvente orgânico miscível, como o álcool) em qualquer zona vadosa, zona saturada, ou ambos, para extrair contaminantes orgânicos. A intensificação de solventes pode ser aplicada aos solos para dissolver, ou a fonte da contaminação ou da pluma de contaminantes que dela emana. A mistura solvente é normalmente injetada na área de maior contaminação, e os solventes com os contaminantes dissolvidos são extraídos e tratados.

4.6 Aplicabilidade das Técnicas

As tecnologias utilizadas para a remediação de áreas contaminadas geralmente são aplicadas após uma análise dos tipos de contaminantes presentes, como se encontram disponíveis e o tipo de solo da região. Este processo está sendo realizado em uma área de disposição de munição.

Foram feitos levantamentos topográficos da área de destruição, estudo geofísico para se avaliar a concentração de contaminantes no solo bem como o seu perfil através de sondagens a percussão. Análises laboratoriais como extração seqüencial, estão sendo realizadas para que estes dados possam ser verificados pela COPPE no trabalho de dissertação de mestrado da aluna Alessandra Almeida Dias da Silva de título: “Estudo experimental da contaminação por metais pesados em área de destruição de munição do Exército Brasileiro” e que também integra o projeto “Sistema de Gestão Ambiental para Atividades Militares” que é financiado pela CAPES e Ministério da Defesa.

Após análise, serão selecionadas algumas das técnicas de remediação, isto porque, normalmente, uma única não consegue remediar ou realizar a extração total de uma área. Sendo assim, técnicas são combinadas para um processo de remediação ambiental. As vantagens, desvantagens e limitações das técnicas mais importantes utilizadas para remediação ambiental de solos contaminados por metais pesados são apresentadas nas tabelas abaixo (Tab. 4.1 e 4.2)

Tabela 4-1 - Vantagens e Desvantagens das Tecnologias de Imobilização e Isolamento de metais adaptado (Dermont et al. 2008)

Tecnologia	Vantagem	Desvantagem
Contenção In Situ (cobertura e barreira)	Limita a área contaminada evitando o contato por pessoas e outros meios (fauna e flora). Pode ser aplicado a diferentes tipos de solos e reduz a exposição da área contaminada.	A longo prazo, sua eficácia e desempenho devem ser verificados.
Disposição em aterro	Trabalho executado, dependendo das dimensões da área contaminada, em pouco tempo e remove completamente o risco de contaminação ambiental de outros meios.	Não reduz a toxicidade e solubilidade dos metais, e essas áreas são nos EUA restritas e no Brasil áreas devem ser preparadas para receber este material.
Atenuação Natural Monitorada	O custo para esta técnica é menor pois não há a necessidade de se instalar uma estrutura para descontaminação	Pode não ser eficaz para a remediação dos diversos tipos de contaminação por metais. Não é adequado para o caso de risco eminente de contaminar outros meios e o custo pode ser tornar alto a longo prazo devido ao monitoramento que deve ser realizado
Solidificação / Estabilização (S/E) e Estabilização Química	S/E é aplicado para um grande número de contaminantes e diferentes tipos de solos. In situ podem promover a estabilização do contaminante e ajudar no processo de “revegetação” e é aplicado para grandes áreas.	Este processo aumenta o volume do material a ser tratado. A Presença de compostos orgânicos interfere na eficácia do processo. A longo prazo é necessário o monitoramento para avaliar a integridade da S /E.

Vitrificação	Tratamento permanente com grande eficácia comprovada. Reduz o volume de contaminantes e os produtos têm grande potencial de reuso.	Os gases gerados durante o processo devem ser tratados. O custo é muito alto por causa da energia que é gasta no processo.
Redução/Oxidação Química	Esta técnica é frequentemente utilizada como pré-tratamento antes S / E para reduzir Cr VI para uma forma menos tóxica Cr III.	Esta técnica requer a colocação de agentes químicos que podem ter um custo alto além de serem perigosos.
Fito estabilização	Potencialmente aplicáveis para diferentes metais. Grandes áreas podem ser tratadas. Não há a necessidade de disposição da biomassa.	Aplicações limitadas a zona de profundidade da raiz. É necessária a sua manutenção por período indeterminado tempo e a área deve ter controle de uso.
Estabilização Biológica	Biodisponibilidade dos metais é reduzida.	Requer mais estudos-piloto para avaliar a sua eficiência. Requer manutenção por tempo indeterminado.

As vantagens e desvantagens das tecnologias de extração de metais irão depender da forma em que se encontram os metais, da sua concentração e do tipo de solo e são apresentadas na tabela 4.2

Tabela 4-2- Vantagens e Desvantagens das Tecnologias de Extração de Metais (Dermont 2008)

Tecnologia	Aplicabilidade (forma - concentração)	Vantagens	Desvantagens
Lavagem do Solo e Separação Física	Partícula – Alta	A fração separada do solo contaminado pode ser reutilizada e o tempo de tratamento é pequeno	Solos argilosos, conteúdo húmico e contaminantes orgânicos com grande viscosidade dificultam o processo.

Lavagem do Solo e Extração Química	Iônica – Alta	O tempo de tratamento é relativamente curto. Possibilidade de reuso do metal	Exige grandes equipamentos e área disponível para instalação dos mesmos. Dificuldade com solos que contêm alto teor de argila e conteúdo húmico. Utilização de agentes químicos que pode ser caro e perigoso.
Extração Biológica	Iônica – Média	Caráter não tóxico dos agentes biológicos, em comparação com os agentes químicos.	Não existem dados disponíveis, pois a técnica não foi empregada em escala
Extração Térmica	Metais voláteis – alta	Método eficaz para extrair Hg. Recuperação Potencial do metal.	Requer tratamento dos gases emitidos e instalações especializadas. O custo é muito alto.
Eletrocinese	Iônica – Média	Remoção eficaz dos metais in situ	Sítios contaminados com diferentes metais pode tornar o processo difícil.
Fito Extração	Formas fito disponíveis – Média	Grandes áreas podem ser tratadas, boa aceitação pela população e não envolve escavação, tratamento e eliminação.	Processo de longa duração, limitada a zona de ação das raízes, preocupação com a gestão da biomassa que contenha alto teor de metais.
Lavagem do solo in situ (Soilflushing)	Iônicas – Média	Tem duração de curto a médio período. Pode imobilizar uma vasta gama de compostos orgânicos ou contaminantes inorgânicos em solos de granulação grossa.	Os reagentes utilizados no tratamento podem afetar as propriedades do solo,

As tecnologias de extração geram resíduos sólidos ou líquidos e que precisam de pós-tratamento para ser descartados. A Tabela 4.3 resume os processos que podem ser usados como pré-tratamento e pós-tratamento em cada tecnologia. (Dermont et al -2008).

Tabela 4-3 – Pré-tratamento e Pós-tratamento utilizados para remediação de solos contaminados (Dermont et al 2008)

Tecnologias	Pré-tratamento	Pós-tratamento
Contenção in situ		Monitoramento de águas subterrâneas, potencial revegetação, controle do uso da área.
Disposição em Aterros	Redução e oxidação, S/E, redução do volume por separação física e lavagem do solo.	Nivelamento do resíduo e monitoramento.
Solidificação e Estabilização (S/E)	Redução e oxidação, redução do volume por separação física e lavagem do solo e barreiras para aplicação in situ.	Tratamento dos gases, controle de uso da área.
Estabilização química in situ	-	Estabilização biológica, fito estabilização e controle de uso da área.
Vitrificação	Redução do volume por separação física, lavagem do solo ou extração térmica. Barreiras para aplicação in situ.	Tratamento dos gases, reaproveitamento dos resíduos na construção civil para estabilização.
Redução/oxidação química	Colocação de barreira em aplicação in situ.	S/E, Disposição em aterros.
Fito estabilização	Estabilização química in situ (melhoramento com a adição de silicatos, fosfatos, calcário, fertilizantes minerais entre outros.	Controle de uso da área.
Estabilização Biológica	Estabilização biológica in situ	Fitorremediação e controle de uso da área.
Lavagem do solo / Separação Física	Redução do volume por esmagamento ou aglutinação	Tratamento da água utilizada, recuperação dos metais através extração química ou térmica.
Lavagem do solo / Extração química	Redução do volume por separação física.	Tratamento da água utilizada, disposição dos resíduos, recuperação do metal do meio aquoso pelo processamento de extração aquosa, como por exemplo troca iônica
Extração Biológica	-	Recuperação do metal do meio aquoso pelo processamento de extração aquosa, como por

		exemplo troca iônica
Tratamentos térmicos	Redução do volume por lavagem de solo.	S/E, Disposição em aterros, recuperação e reciclagem de metais.
Eletrocinese	Adição de reagentes/fluido para mobilizar os metais.	Disposição ou tratamento de líquidos ou sólidos residuais
Fito extração	Adição de reagentes/fluido para mobilizar os metais	Gerenciamento da biomassa resultante (disposição, incineração ou recuperação do metal).
Lavagem do solo in situ (Soilflushing)	Barreiras, Adição de reagentes/fluido para mobilizar os metais.	Tratamento dos líquidos utilizados no processo, disposição em aterros e tratamento das águas subterrâneas.

O artigo sobre o estado da arte das técnicas de remediação elaborado por Dermont et al., (2008), mostra que de 3.000 projetos pesquisados apenas 275 são de remediação de solos contaminados por metais pesados. Isto se explica pelo fato de que 50% das ações do “Superfund” são corretivas e visam o tratamento de águas subterrâneas e 75% dos projetos de remediação de solo tratam de contaminantes orgânicos. O período avaliado foi de 1982 e 2006 e as fontes de dados ou relatórios utilizados foram a FRTR 2006, USEPA 1995c, 2000a, USEPA / ASR 2007, e USEPA / CLU-IN 2007.

A tecnologia mais utilizada para remediação, ainda segundo Dermont et al., (2008) é a solidificação e estabilização (S/E) (FIG 4.10), porém, nos últimos dez anos a sua seleção tem sido menor. A S/E ex situ é um método bem estabelecido: 147 projetos, com 115 ações corretivas realizadas pelo Superfund. O ex situ S / E, que representa mais da metade dos projetos, é, portanto, considerado como o tratamento convencional, enquanto as outras tecnologias são consideradas técnicas alternativas.

Técnicas de Remediação

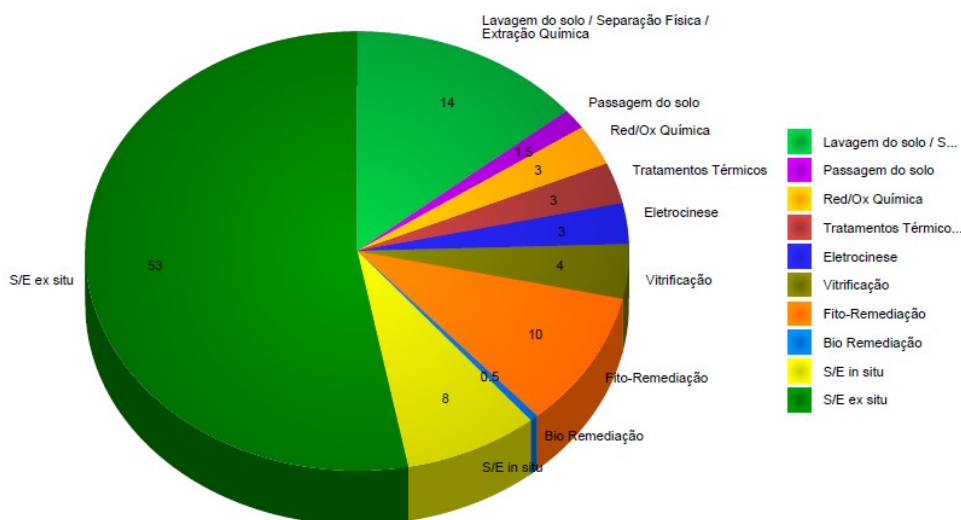


FIG 4-10 – Técnicas utilizadas para tratamento de solos – Dermont et al (2008).

4.7 Práticas de Remediação Utilizadas nos Eua e Europa

As práticas de remediação empregadas na Europa e nos Estados Unidos para o tratamento de solos contaminados com metais diferem principalmente no que diz respeito à aplicação direta nos solos, isto porque, na Europa, em comparação com a América do Norte, as leis são mais restritivas.

4.7.1 Tecnologias De Imobilização

Dentre as tecnologias de imobilização, destaca-se a S/E nos EUA, pois é uma técnica consolidada e que vem sendo utilizada por longos anos, todavia, ela não é muito empregada na Europa (UKEA, 2004). Dentre os métodos de estabilização in situ emergentes, a fitoestabilização tem sido bem testada na Europa e nos Estados Unidos. Na Europa, a adição de estabilizador químico é muitas vezes utilizada em conjunto com fitoestabilização (Dermont et al., 2008, apud, Van der Lelie et al. 2001).

Em geral, a estabilização química in situ ainda está na fase de desenvolvimento na Europa e nos Estados Unidos. Vários campos de testes têm sido relatados em países europeus e nos Estados Unidos, que usam principalmente compostos de fosfato, cal, e / ou cinzas de

carvão (Dermont et al. 2008, apud Adriano et al. 2004 e Martin e Ruby 2004). Nos Estados Unidos, a bioestabilização em conjunto com a estabilização química foi testado em escala de campo. Na Europa, a estabilização do metal, em solos por via biológica vem sendo investigada e está em fase de desenvolvimento (CLARINET, 2002; Dermont et al. 2008 apud Diels et al. 2002).

4.7.2 Tecnologias de Extração

A tecnologia de lavagem do solo é utilizada já em escala comercial nos Estados Unidos e Europa, porém, na América, seu uso não é extensivo quando comparado à Europa (FRTR 2007). Lavagem do solo com base na separação física é usada principalmente na Holanda, Bélgica, Alemanha, Noruega, e Suécia para tratar solos contaminados por metais pesados (CLARINET, 2002). O país que foi pioneiro nesta técnica foi a Holanda e empresas holandesas têm contribuído para o desenvolvimento nos Estados Unidos da tecnologia (Mann 1999). No ano de 2001, 21 unidades fixas e 4 plantas móveis estavam operando na Holanda, e 855 quilos-tonelada / ano tinham sido tratados entre 1991 e 2001, Dermont et al., Apud Honders et al. 2003.

Eletrocinese tem sido amplamente utilizado na Europa em comparação com os Estados Unidos. Na Holanda há aplicações comerciais e que envolve o tratamento de solo e águas subterrâneas contaminados com metais pesados (Dermont et al. Apud Holland 2007) e nos EUA, segundo a FRTR (2007a), houve poucas aplicações comerciais de eletrocinese. A Fitoextração de metais tem sido utilizada com sucesso em escala de campo, tanto nos Estados Unidos como na Europa, no entanto, sua aplicação é mais desenvolvida nos Estados Unidos em escala comercial USEPA 2005, Van der Lelie et al. 2001. Estes dados são resumidos na tabela 4.4.

TAB 4-2 - Técnicas utilizadas nos EUA e Europa (Dermont et al.)

Tecnologia	Nível de Desenvolvimento	Aplicação
Contenção In Situ (cobertura e barreira)	Larga Escala	Comumente utilizado na Europa e nos Estados Unidos
Disposição em aterro	Larga Escala	Comumente utilizado na Europa e nos Estados Unidos
Solidificação/ Estabilização (S/E)	Larga Escala	Amplamente utilizado nos Estados Unidos, não é muito empregado na Europa

Estabilização Química In situ	Projeto piloto	Em fase de desenvolvimento na Europa e nos EUA.
Vitrificação	Larga Escala	Aplicações específicas (não é usado com frequência).
Redução/Oxidação Química	Larga Escala	Moderadamente utilizado nos EUA e não há registros sobre a Europa
Fito estabilização	Larga Escala	Em fase de desenvolvimento na Europa e EUA
Estabilização Biológica	Projeto piloto nos EUA e pesquisa / desenvolvimento na Europa	Aplicações limitadas
Lavagem do solo	Larga Escala	Não é amplamente utilizado nos EUA, porém comumente utilizado na Europa.
Extração Biológica	Teste de bancada	Não foi utilizado em larga escala ainda
Tratamentos Térmicos	Larga Escala	Aplicações específicas
Eletrocinese	Larga Escala	Não é frequentemente utilizado nos EUA e na Europa seu uso é moderado.
Fito Extração	Larga Escala	Está em desenvolvimento, sendo utilizado com mais frequência nos EUA do que na Europa.
Passagem do solo	Larga Escala (com utilização de água para limpeza) e pesquisas para utilização de reagentes.	Aplicações limitadas nos EUA e não existem dados sobre a sua utilização na Europa.

4.8 Exemplos de Sites Tratados

Existem inúmeros trabalhos de remediação empregado nos EUA, Canadá e na Europa. Nesta seção, será apresentada apenas as técnicas que remediaram solos contaminados por chumbo, cobre e cádmio, isto porque, a área que está sendo estudada apresenta estes contaminantes sendo portanto, este capítulo, um apoio a tomada de decisão sobre qual o tipo de técnica poderá ser empregada. Sobre os sites, será citado o nome, se é projeto piloto e por fim um resumo do projeto.

4.8.1 Fito Extração

Esta tecnologia é utilizada em diversos sítios dos EUA e representa 10% dos casos de remediação, dentre estes se destacam os projetos de “Atlas Tack Corporation”, que iniciou no ano de 2000 e ainda continua sendo executado, e também o do Fort Dix que foi utilizado para remediar solos contaminados por chumbo e que teve início no ano de 1997 terminando em 2002, a figura abaixo (Fig. 4.11), apresenta uma visão geral do emprego da fito tecnologia nos diversos estados americanos e na Fig. 4.12 os diversos contaminantes que são remediados através desta tecnologia, destaca-se a remediação de metais, 37% e recentemente para remediar contaminação por resíduos de explosivos e propelentes com 3% (USEPA 2005a).

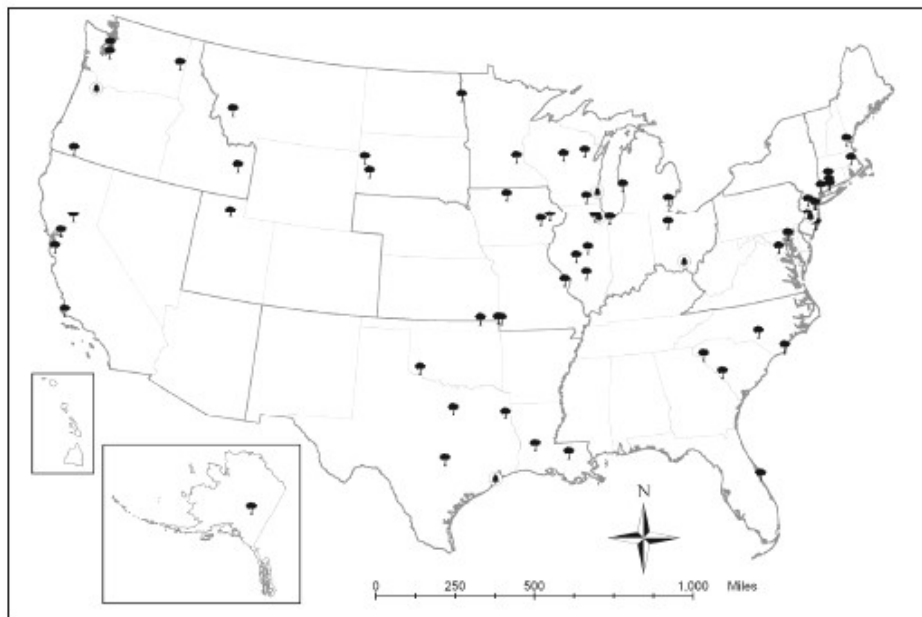


FIG 4-11 – Localização de Fito Tecnologias nos EUA – USEPA 2005a

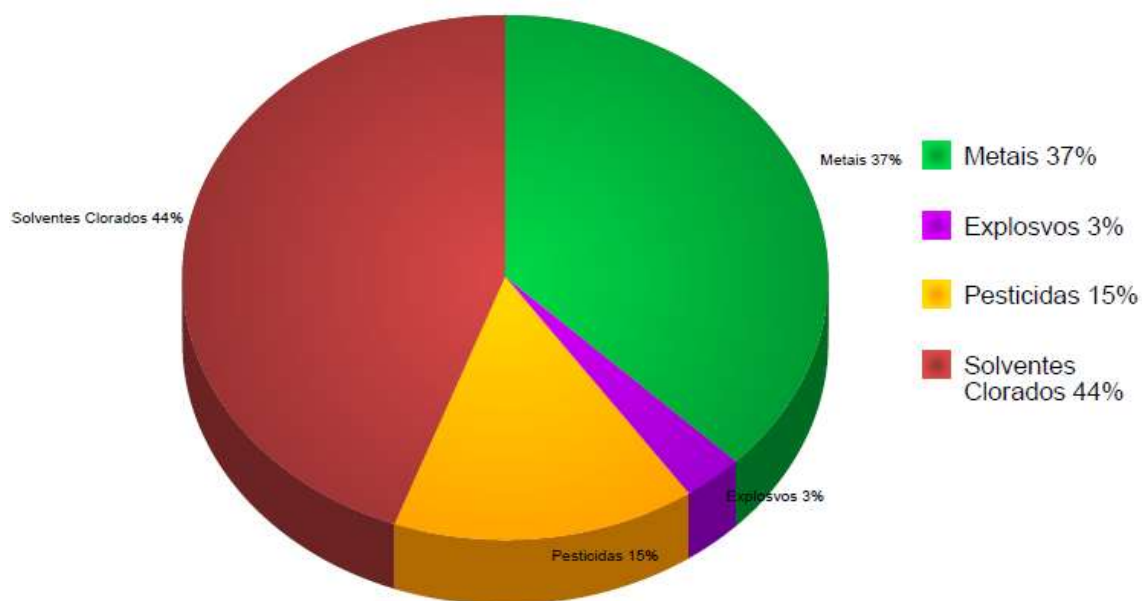


FIG 4-12 – Contaminantes tratados com Fito Tecnologia - USEPA 2005a

No Canadá o projeto “Green Island and Pachena Point” está em fase de testes. Esta área possui uma contaminação generalizada provocada por resíduos metálicos e tinta de processos de incineração. Os sites têm cerca de 27.000 km de costa acidentada e o acesso é limitado a transporte aéreo (helicóptero). O custo e logística de remoção do solo contaminado seriam elevadíssimos devido às peculiaridades da área, por isso, ensaios de campo e projeto piloto foram estabelecidos em dois sites específicos nessa região, isto porque a fito remediação foi a única solução encontrada.

4.8.2 Lavagem de Solo

Em Montreal, no Canadá foi executado por um “joint venture” da ART e Environnement Cintec, Inc., que realizaram o tratamento do solo em grande escala de sítios industriais diversos em toda a cidade. A empresa Cintec, localizada em Montreal, é proprietária de unidades de tratamento térmico, um aterro de solo contaminado nas províncias do leste do Canadá e realiza a reabilitação de diferentes áreas contaminadas. A contaminação foi proveniente de áreas industrializadas ou imóveis comerciais urbanos que foram abandonados. Este projeto combina a capacidade de tratamento do solo com a de descarte de resíduos.

Os solos foram contaminados, principalmente, com cobre, chumbo e zinco, com baixos níveis de óleo, graxa e polinucleares aromáticos de um antigo setor industrial de Montreal. A despoluição desses solos é parte de um programa que foi financiado pela cidade de Montreal, em cooperação com a província de Québec e Ministério do Meio Ambiente, para remediar estas áreas, desenvolvendo tecnologias que têm o objetivo de contribuir efetivamente com a descontaminação e habilitar as propriedades para uso produtivo.

Uma unidade de tratamento foi montada em novembro de 1995 dentro de um edifício existente de uma fábrica desativada e foi concluída em janeiro de 1996, dando início à operação (FIG. 4.13).



FIG 4-13 Unidade de Tratamento no Canadá (<http://www.art-engineering.com/Projects/Montreal/Photos.htm> [acesso 2008])

Solos de sete locais da cidade foram escavados, pré-selecionados no campo, transportados e armazenados dentro do edifício (FIG 4.14). Antes da aplicação da técnica, estudos de tratabilidade foram realizados em solos de cada local para determinar o “trem de tratamento” adequado. Solos de cada local foram corrigidos individualmente, e após a confirmação de que os critérios de remediação foram atingidos, o material foi devolvido ao local de origem como aterramento. Resíduos da operação foram eliminados no aterro da Cintec. Alguns solos de sites que estavam acima dos critérios de correção e não era viável o tratamento pelo processo de lavagem do solo, foram disposto diretamente no aterro da Cintec (ART).



FIG 4-14 – Área de Armazenamento e Tratamento de Resíduos (<http://www.art-engineering.com/Projects/Montreal/Photos.htm> [acesso 2008]).

Outro projeto também realizado pela ART, foi a remediação de uma área em Winslow Township, Nova Jersey, a cerca de 48,28 quilômetros a sudeste da Filadélfia. O local está localizado próximo da Reserva Nacional Pinelands, e ao lado do Estado de Winslow de Nova Jersey (FIG.4.15).



FIG 4-15 Área do Projeto (ART)

A empresa “King of Prussia Technical Corporation (KOP)” comprou o site em 1970, para operar um centro de reciclagem de resíduos industriais de metais. A operação não foi bem sucedida, e em 1985 o site foi colocado na lista de prioridades nacionais. Em 1990, o site entrou na lista de prioridades da SUPERFUND para a recuperação de solos (ART).

ART realizou estudos em 1991 para determinar a aplicabilidade de lavagem do solo para o site e os resultados indicaram que esta técnica seria a mais indicada. A planta da estação de tratamento foi concebida e fabricada com a capacidade de lavar 25 toneladas por hora de solo.

Após a construção da fábrica no local, uma fase-piloto foi realizada com 1.000 toneladas de solos contaminados escavado a partir do site. Esta fase inicial foi executada com êxito sendo que os níveis de limpeza estavam bem abaixo dos padrões especificados. Como

resultado, a EPA concedeu aprovação imediata para proceder à reparação em larga escala. (FIG. 4.16).



Entrada do solo na unidade



Processo de Lavagem



Unidade de tratamento

FIG 4-16 Unidade de Lavagem do Solo - ART

O projeto tratou 19.200 toneladas de solo com uma redução de volume superior a 90% em uma base de sólidos secos. Os contaminantes presentes eram níquel, cromo e cobre.

4.8.3 Vitriificação

Um processo de vitriificação foi desenvolvido e implementado com sucesso pelo Departamento de Energia dos EUA (DOE) no site de “Savannah River (SRS)” e no “West Valley Nuclear Services (WVNS)” a fim de converter resíduos nucleares para um vidro de borossilicato sólido. Este processo garante a sua eliminação geológica a longo prazo de forma segura (SAVANNAH, 2000).

O SRS, em conjunto com outros laboratórios, também demonstrou que a vitriificação pode ser utilizada para dispor uma grande variedade de resíduos, como por exemplo, resíduos da indústria de mineração, lamas contaminadas de porto, material que contém amianto, chumbo de munições do exército entre outras.

Após a vitriificação, o vidro de resíduos não perigosos é processado permitindo que estes materiais a serem reciclados como “glassphalt” (asfalto vidro impregnado de estradas e pistas), telhas de vidro “glasscrete” (usado como agregado em concreto), ou outros usos.

Uma nova geração de unidades de vitriificação desenvolvidos a partir da indústria de vidro comercial, permite que o processo seja rápido e para grandes volumes de resíduos. Estes sistemas são compactos o suficiente para ser transportável até a área contaminada, por exemplo, o módulo transportável da SRS, diminuindo assim, o custo de transporte de material (FIG. 4.17).



FIG 4-17 – Módulo de vitrificação transportado e instalado em campo - (SAVANNAH 2000).

4.8.4 Eletrocinese

O conceito de remediação eletrocinética foi teorizado sob a forma de electro osmose em 1800. No entanto, a aplicação de remediação eletrocinética para uma área contaminada começou a ser utilizada nos idos dos anos 70 nos EUA e Europa. Os estudos realizados nos EUA foram conduzidos pela engenharia e laboratórios de engenharia civil e universidades. O objetivo era usar electro osmose para conduzir um líquido de lavagem entre os ânodos e cátodos. (EPA 402-R-97-006). Exemplos de estudos e aplicações são descritas na tabela 4.5

TAB 4-3- Exemplos de aplicação da Eletrocinese (DERMONT et al. 2008)

Nome do Site	Contaminantes
Radford Army Ammunition Plant, pela Lynntech Inc. Ano de 1996.	Pb, Zn, Cu, Cd, Cr
Aplicação em campo: “Old TNX Basin, Savannah River Site, Aiken, S.C. realizado pela Westinghouse Savannah River Company. Ano de 1995	Hg (nitrato), Cr, Pb
Avaliação de eletrocinética in situ para a remediação de solos contaminados por metais na “Naval Air Weapons Station, Point Mugu, Calif.” Pela “USAEC”, U.S. Army Waterways Experiment Station USAWES” e Lynntech Inc. Ano de 1998	Cr, Cd, Ni, Cu

4.8.5 Tratamento Térmico

O “Superfund Innovative Technology Evaluation (SITE)” foi um programa estabelecido pela EPA em 1986 para promover o desenvolvimento e a utilização de tecnologias inovadoras para remediação de áreas contaminadas. O reator da Horsehead Development Company, Inc. (DRH), que utiliza o processo de chama como tratamento térmico para remediar áreas contaminadas foi um projeto feito para do SITE (USEPA 540a591005pdf). A tecnologia foi testada no ano de 1991 para os contaminantes: As, Cd, Pb, Zn (USEPA 2000a).

Outras aplicações são citadas por Dermont, porém, não foram utilizadas para remediação dos metais objeto deste estudo.

4.8.6 Redução/Oxidação Química

A aplicação desta técnica foi restrita a redução do Cromo (VI), segundo os sites revisados por Dermont et al. (2008), portanto, não serão apresentados neste trabalho por não ser objetivo de estudo.

4.8.7 Lavagem do Solo In Situ (Soil Flushing)

O sítio de Lipari Landfill que foi um projeto do Superfund iniciado no ano de 1993, recuperou a área Industrial do município de Landfills em Pitman, New Jersey nos EUA, sendo Cr, Hg, Ni, Pb os contaminantes presentes no solo. (USEPA/ASR 2007).

Entre 1958 e 1971, o local foi aterro de resíduos domésticos, químicos (líquidos e semi-sólidos) e outros materiais industriais. Cerca de 3 milhões de litros de resíduos líquidos e 12.000 metros cúbicos de resíduos sólidos foram eliminados no local, e incluía solventes, tintas e diluentes, formaldeído e resinas da produção industrial. Esses resíduos foram, inicialmente, depositados em valas escavadas. (USEPA/CLU-IN 200 - <http://clu-in.org/products/isf/usersearch/details.cfm?ID=56>).

A área foi recuperada e um complexo desportivo foi construída no local (FIG. 4.18).



FIG 4-18 - Complexo desportivo, que inclui seis campos de futebol e beisebol sobre uma área recuperada em New Jersey – (EPA 540-K-01-002 – “Recreational Use of Land Above Hazardous Waste Containment Áreas”)

4.8.8 Solidificação e Estabilização (S/E)

A maioria dos tratamentos utiliza a S/E para remediação de solos contaminados por metais pesados. A tabela abaixo (TAB 4.6) apresenta os sites que foram remediados com S/E segundo a “ASR - Annual Status Report” décima segunda edição.

TAB 4-4 – Principais sites que utilizaram S/E para remediação de área (ASR 12ª Ed. 2007)

Nome do Site	Principais Metais Tratados	A no
62 nd Street Dump battery recycling/disposal Superfund Site, Tampa, Fla.	Cd, Cr, Pb	1 995
American Cyanamid Co. chemical manufacturing Superfund Site, Bound Brook, N.J.	Cr, Cu, Pb, Ni, Zn	2 005
Caldwell Trucking surface impoundment/lagoon Superfund Site, Fairfield, N.J.	Cd, Pb	1 997
Geiger C & M Oil, Superfund Site, Rantowles, S.C	Cr, Pb	1 994
Industrial Waste Control Superfund Site, Fort Smith, Ark.	Cr, Pb, Ni	1 990
Jacksonville Naval Air Station Superfund Site, Jacksonville, Fla.	Cd, Cr, Pb, Ni	1 997

Rhone-Poulenc/Zoecon, Superfund Site, East Palo Alto, Calif	As, Cd, Pb	2 000
Wyckoff/Eagle Harbor Superfund Site, Bainbridge Island, Wash.	As, Cu, Pb, Hg, Zn	1 997

4.8.9 Queima e Detonação ao Ar Livre

Esta tecnologia é pouco utilizada nos EUA, representa menos do que 6% dos casos, mas no Brasil, é a única técnica utilizada para disposição de resíduos explosivos e munições (ASR, 2007, p. 29).

As operações são conduzidas para destruir o excesso de munições e materiais energéticos obsoletos ou inservíveis. O processo é iniciado por uma carga externa, colocada de forma que sejam destruídos por combustão auto-sustentada, por chama, calor ou uma onda de detonação.

No passado, estas operações eram feitas na superfície da terra ou em covas, como ainda é realizado no Brasil. Nos EUA, a queima é executada em bandejas e as explosões em “caixas” como uma tentativa de controlar o espalhamento de munições e a contaminação de outras áreas. Em processos de detonação a caixa de explosão pode ser coberta com terra para minimizar ainda mais a liberação de emissões (FIG.4.19).

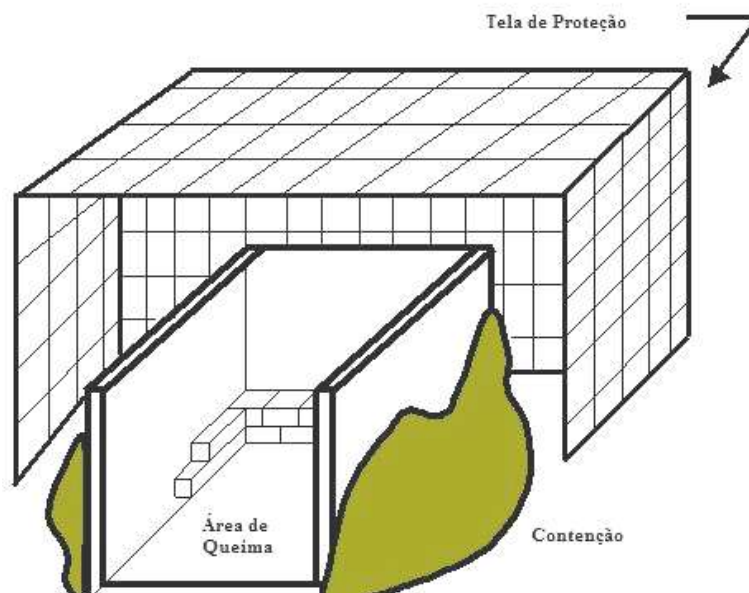


FIG 4-19 – Esquema de Instalação Utilizada para Queima ou Detonação ao Ar Livre – FRTR 2008

A tela de proteção (FIG 4.19) evita que as munições ou explosivos que não foram iniciados sejam lançados para diferentes direções e até mesmo fora da área de destruição. A área de destruição utilizada possui diversas munições no seu entorno o que poderá provocar

um contaminação no futuro por outros metais componentes das munições e até mesmo por orgânicos provenientes dos explosivos (FIG. 4-20).



FIG 4-20 Munições que foram dispostas de forma incorreta, (Elaboração própria)

Este processo possui, além das desvantagens relativas a contaminação do meio ambiente o não reaproveitamento dos materiais metálicos das munições e os explosivos. Técnicas de desmilitarização, que é o processo de desmontagem de munição e explosivos, são utilizadas nos EUA e Europa, e cerca de 95% do material que seria descartado pelos processos de queima e detonação ao ar livre são reaproveitados na fabricação de novos explosivos para ser utilizados na mineração por exemplo ou mesmo como adubos. Já os metais podem ser utilizados para a montagem de munições novas ou para outros fins (EXPAL 2008).

4.9 Conclusão Parcial

Nos Estados Unidos, a tecnologia *ex situ* S/E é geralmente selecionada para remediar resíduos contendo metais, apesar de sua seleção ter diminuído nos últimos anos dez anos. Na Europa, S/E não é usado extensivamente para a remediação do solo. (Dermont et al. 2008)

Apesar do desenvolvimento e o aumento de tecnologias inovadoras desde a década de 1990, as aplicações de campo de alternativas para o tratamento de metais são ainda limitadas.

Geralmente, nenhuma tecnologia pode remediar um site inteiro ou realizar uma extração ou imobilização suficiente de metais, portanto, em muitos casos, várias tecnologias de tratamento são combinadas para formar o que é conhecido como trem de tratamento (USEPA 2004a). Além disso, os processos de tratamento, especialmente as tecnologias de extração, geram resíduos sólidos ou líquidos que devem ser tratados antes da disposição final.

Tecnologias de extração de metal, tais como a lavagem do solo, fitoextração, e eletrocinese proporcionam um baixo custo e é uma alternativa ambientalmente pró-ativa para

o processo de solidificação e estabilização e para as opções de eliminação. A tecnologia de lavagem do solo é relevante para a extração ex situ, enquanto que eletrocinese e fitoextração são relevantes para a extração in situ.

Os processos de disposição de metais no solo são diversos em função do tipo de solo. Na natureza, os solos não são “puros”, ou seja, pequenas quantidades de argila presentes em um solo arenoso, por exemplo, é capaz de alterar muito as suas características e seu mecanismo de transporte predominante. Neste caso, é fundamental que o solo local seja ensaiado para se obter os parâmetros necessários para análise. Além disto, com o “aumento” da poluição, as características do solo se alteram com o tempo.

O método utilizado atualmente, queima e detonação ao ar livre, causa a contaminação do solo, sendo assim, será necessário um tratamento posterior da área de destruição de munição.

A Solidificação e Estabilização (S/E) ao que tudo indica parece ser a técnica mais indicada para a remediação de solos contaminados por metais pesados, ficando em segundo a lavagem do solo, todavia, estas técnicas foram utilizadas para os casos específicos dos EUA e Europa. A Fito remediação tem sido aplicada em conjunto com outras técnicas.

A técnica mais indicada à ser utilizada para a remediação ambiental será definida após a análise de dados de laboratório, sondagem a percussão e geofísica. Como o processo de detonação e queima espalhou uma grande quantidade de material pela área, um pré-tratamento de separação física será necessário para a remoção dos explosivos que não foram detonados e dos materiais metálicos que permanecem no solo. (Fig 5-12).



FIG 4-21 – Materiais explosivos espalhados dentro e fora da área de destruição(Elaboração própria)

Os fatores que limitam a aplicabilidade e eficácia do processo de detonação/queima são segundo a FRTR:

1. Exigências de distância mínima para fins de segurança requerendo grandes áreas;
2. As emissões de gases geradas são de difícil captação suficiente para o tratamento;
3. Nas operações de queima ou detonação os ventos podem levar faíscas, chama e gases tóxicos para as instalações vizinhas;
4. Risco de detonação prematura quando o processo está sendo preparado;
5. Dificuldade em tratar os resíduos e contaminação por causa do custo e o risco associado a esta tarefa.

Apesar dos fatores que limitam esta atividade, ela ainda vem sendo utilizada pelos americanos principalmente nas áreas em combate quando o transporte dos explosivos encontrados é uma tarefa arriscada (FIG 5.13).

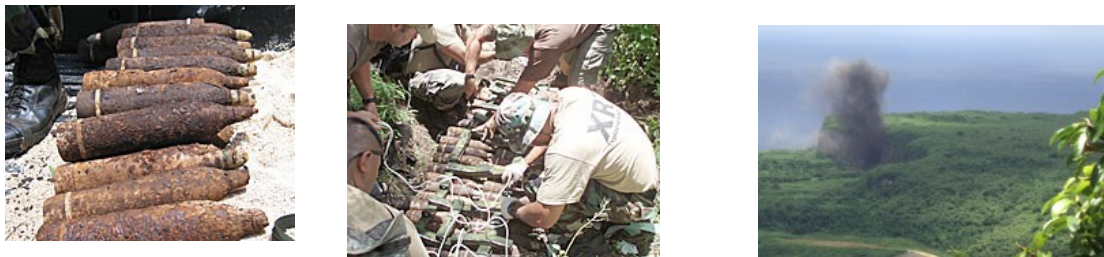


FIG 5-13 – Preparação de disposição de munição realizada por militares americanos–USEPA 2009

A técnica utilizada atualmente na Europa e EUA é a desmilitarização, pois não é necessário que sejam destruídos pelos processos de detonação/queima a céu aberto os materiais que são descartados. Em 1988, utilizando a desmilitarização foram desmontadas mais de 70.000 bombas de aviação e diferentes munições provenientes da guerra civil espanhola, em 1996 foi construída a primeira e única planta de desmilitarização na Espanha e em 2004 uma nova área de desmilitarização na Bulgária pela empresa espanhola EXPAL.

Portanto, além de realizar a remediação da área contaminada, é necessário a aplicação de técnicas de desmilitarização para se evitar a contaminação do solo e de águas subterrâneas.

Enquanto a tecnologia não é implantada, recomenda-se a construção de uma estrutura que evite o lançamento de munições e explosivos para fora da área de disposição de material conforme esquema da figura 5-10.

Diretrizes devem ser estabelecidas para a investigação de todas as áreas de destruição de munição do Exército Brasileiro.

5. PROPOSTA DE UM PROGRAMA DE REMEDIAÇÃO PARA ÁREAS CONTAMINADAS POR EXPLOSIVOS E MUNIÇÕES.

Neste capítulo será apresentada uma proposta para o programa de remediação de áreas contaminadas por explosivos e munições e os tipos de contaminantes associados à atividade de disposição.

O método utilizado no Brasil para disposição de munição grosso calibre e explosivos é a queima ou detonação ao ar livre e para as munições de pequeno calibre o processo de incineração.

Para que seja implantado um sistema de gestão de resíduos de materiais energéticos é necessário conhecer o material que é descartado, em quais áreas esta atividade é realizada, o impacto que a atividade causa ao meio ambiente, as medidas que devem ser adotadas para remediar uma possível área contaminada e os cuidados no manuseio e execução desta tarefa.

5.1 Impactos Associados À Atividade de Disposição de Munição e Explosivos

A atividade de queima e detonação de materiais energéticos (explosivos e munições) causa um grande impacto ambiental. A pluma de contaminantes, que contém metais pesados, é dispersa na atmosfera e pode contaminar diferentes áreas.

Os principais metais pesados encontrados por estudos realizados pela UFRRJ foram o chumbo, cádmio e o cobre. Outros metais podem ocorrer em uma área de disposição de munição, como por exemplo, o mercúrio que no passado era utilizado em explosivos iniciadores, o alumínio presente nas munições incendiárias, o tungstênio utilizado nas munições perfurantes e o bário presente nas munições traçante e incendiárias, porém destes o chumbo merece grande atenção.

Segundo Nakamura (2002) o chumbo foi um dos primeiros metais que o homem aprendeu a usar. Existem relatos de sua utilização na Ásia Menor em 4000 a.C e por ser utilizado de forma tão intensiva e por tão longo tempo, a história de sua intoxicação é extensa.

O chumbo é um mineral não essencial, tóxico que se acumula no organismo de forma lenta na maioria dos casos. As suas vias de absorção são a respiratória e digestiva. Estima-se que aproximadamente 90% das partículas de chumbo inaladas do ar ambiente são absorvidas (NAKAMURA, 2002).

A exposição ao chumbo produz efeitos à longo prazo, os quais permanecem mesmo após o desaparecimento dos sintomas clínicos, sendo que as crianças são mais susceptíveis à contaminação. O chumbo pode causar sérios danos ao sistema nervoso central, podendo reduzir a capacidade de QI e de aprendizado de uma criança normal (MAVROPOULOS,p. 1,1999)

5.2 Proposta de Um Programa de Remediação

Para iniciar um programa de remediação ambiental é necessário que se faça uma catalogação das possíveis áreas contaminadas. No Brasil, existem diferentes locais onde estas atividades são executadas, a figura abaixo apresenta uma visão geral das possíveis áreas de disposição de munição e explosivos executada pelo Exército Brasileiro (FIG.5.1).



FIG 5-1- Comandos Militares (EB 2009)

Em cada área catalogada, deverá ser executado um trabalho de identificação dos níveis de contaminação já existentes e se existe algum trabalho realizado. Para isso, é importante conhecer os valores orientadores dos níveis de contaminação existentes no Brasil, como a legislação é recente, os valores que têm sido utilizados por enquanto são os de São Paulo, os valores orientadores para solo estão apresentados na tabela 5-1 (CETESB, 2005).

Tabela 5-1 - Valores Orientadores para solo (mgkg⁻¹) segundo CETESB (2005).

Metal	Referência	Prevenção	Intervenção		
			Agrícola	Residencial	Industrial
Chumbo	17	72	180	300	900
Cobre	35	60	200	400	600
Cádmio	0,5	1,3	3,0	8,0	20,0
Cromo	40	75	150	300	400
Ferro	-	-	-	-	-
Manganês	-	-	-	-	-
Níquel	13	30	70	100	130
Zinco	60	300	450	1000	2000

A tabela 5-2 apresenta os padrões para água especial, classe I, Classe II, Classe III, Classe IV e o para lançamento de efluentes segundo Resolução CONAMA N° 357, de 17 de março de 2005.

Tabela 5-2 - Padrões de metais para a classificação dos corpos de água, e para lançamento de efluentes, segundo a RESOLUÇÃO CONAMA N° 357, de 17 de março de 2005.

Metal	Especial ¹	Classe I ²	Classe II ³	Classe III ⁴	Classe IV ⁵	Efluentes ⁶
	----- mgL-1 -----					
Chumbo	0,010	0,010	0,010	0,033	0,033	0,500
Cobre	0,008	0,009	0,009	0,013	0,013	1,000
Cádmio	0,001	0,001	0,001	0,010	0,010	0,200
Cromo	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,500
Ferro	0,300	0,300	0,300	5,000	5,000	15,000
Manganês	0,100	0,100	0,100	0,500	0,500	1,000
Níquel	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	2,000
Zinco	0,180	0,180	0,180	5,000	5,000	5,000

1 - Classe especial: águas destinadas:

- a) Ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção;
- b) À preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas;
- e,
- c) À preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.

2 - Classe 1: águas que podem ser destinadas:

- a) Ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado;
- b) À proteção das comunidades aquáticas;
- c) À recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000;
- d) À irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvem ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; e
- e) À proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.

3 Classe 2: águas que podem ser destinadas:

- a) Ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;
- b) À proteção das comunidades aquáticas;
- c) À recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000;
- d) À irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto;
- e) À aqüicultura e à atividade de pesca.

4 Classe 3: águas que podem ser destinadas:

- a) Ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado;
- b) À irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;
- c) À pesca amadora;
- d) À recreação de contato secundário; e
- e) À dessedentação de animais.

5 Classe 4: águas que podem ser destinadas:

- a) À navegação; e
- b) À harmonia paisagística.

6 - Padrão para lançamento de efluente em corpos d'água

Os valores utilizados nos EUA para solo são (TAB 5-3):

Tabela 5-3 Valores Orientadores para solo – Adaptado de USEPA 1996

Substância	Ingestão (mg/Kg)	Inalação de partículas (MG/Kg)	Migração para a água subterrânea	
			DAF – 20 mg/Kg	DAF – 1 (mg/Kg)
Antimônio	31 ^b	- ^c	5	0,3
Arsênico	0,4 ^c	750 ^c	29 ⁱ	1 ⁱ
Bário	5.500 ^b	6,9E+05 ^b	1600 ⁱ	82 ⁱ
Berílio	0,1 ^c	1.300 ^c	63 ⁱ	3 ⁱ
Cádmio	78 ^{b,m}	1800 ^c	8 ⁱ	0,4 ⁱ
Cromo Total	390 ^b	270 ^c	38 ⁱ	2 ⁱ
Cromo (III)	78.000 ^b	- ^k	40	2
Cromo (VI)	390 ^b	270 ^c	38 ⁱ	2 ⁱ
Cianeto (tratável)	1.600 ^b	- ^c	40	2
Chumbo	400 ^k	- ^k	- ^k	- ^k
Níquel	1600 ^b	13.000 ^c	130 ⁱ	7 ⁱ
Selênio	390 ^b	- ^c	5 ⁱ	0,3 ⁱ
Vanádio	550 ^b	- ^c	6.000 ^b	300 ^b
Zinco	23.000 ^b	- ^c	12.000 ^{b,i}	620 ^{b,l}

Obs. DAF – Fator de diluição e atenuação.

a - Screening levels baseados somente em critérios de proteção à saúde humana.

b - Valores calculados referentes a um coeficiente de perigo=1 para efeitos não cancerígenos.

c - Critérios de toxicidade não disponíveis para a via de exposição avaliada.

d - Concentração de saturação do solo (C_{sat}).

e - Valores calculados são correspondentes a um nível de risco de câncer de 1 em 10⁶.

f - Valor abaixo do limite de detecção.

g - Via de exposição não considerada devido às propriedades químicas da substância.

h - Meta de remediação estabelecida em 1 mg/kg foi estabelecida para o PCB

baseada no documento “Guidance on Remedial Actions for Superfund Sites with PCB Contamination (USEPA, 1990) e no gerenciamento promovido pela EPA para áreas contaminadas por PCB.

i - SSL para um pH de 6,8.

j - SSL para via de exposição por ingestão ajustado por um fator de 0,5 para considerar a exposição dermal.

k - Um valor de SSL de 400 mg/kg foi estipulado para o chumbo baseado no “Revised Interim Lead Guidance for CERCLA Sites and RCRA Corrective Action Facilities (USEPA, 1994).

l - SSL baseado na Dose Referencial (RfD) para cloreto de mercúrio.

m - SSL baseado em uma Dose Referencial na dieta.

Após a identificação, medidas à curto prazo poderão ser tomadas as quais têm o objetivo de evitar a contaminação de outras áreas, danos à saúde dos indivíduos que executam a atividade e controle da área de disposição, isto porque em alguns sítios pode haver material energético que não sofreu a detonação e pode explodir provocando graves acidentes. As medidas à curto prazo podem ser:

- a. Implantação de barreiras para evitar o espalhamento das munições e explosivos não detonados pelo terreno (esquema apresentado na figura 4.19). Este procedimento é utilizado nos EUA e pode ser uma boa solução mesmo antes de se implantar um processo de remediação;
- b. Verificar se os equipamentos de proteção individual (EPI's) utilizados pelo pessoal responsável pela atividade de disposição e separação de material estão adequados e lhes oferece segurança;
- c. Identificação das munições e explosivos, principalmente as de uso civil para que se possa ter uma idéia dos prováveis contaminantes oriundos das atividades;
- d. Colocação de barreiras de árvores, como as utilizadas, em pedreiras para diminuir os níveis de ruídos e dispersão dos poluentes.

5.3 Escolha das Técnicas Mais Viáveis Para Enquadramento nos Limites da Legislação

Como foi apresentado no capítulo 4, existem diferentes técnicas de remediação ambiental de solos contaminados por explosivos. A escolha só será possível após uma avaliação prévia da área, sendo necessária a realização de levantamentos topográficos, sondagens e análises laboratoriais. Nem sempre uma única técnica consegue remediar um sítio contaminado, havendo, portanto, a necessidade de utilizar mais de uma tecnologia de remediação. A partir da definição das técnicas mais viáveis baseada em estudos prévios, realizados nacional e internacionalmente devem-se escolher algumas técnicas a fim de que seja implantado projetos pilotos nas áreas que serão remediadas de forma a se definir qual a técnica mais viável para remediação de todo o sítio.

As técnicas mais utilizadas nos EUA são a S/E, a lavagem do solo, eletrocinese e a fitoremediação como foi também dissertado no capítulo anterior. As barreiras podem ser uma boa solução, pois impedem que o material seja carreado para outras áreas, porém, deve ser monitorado. A atenuação natural monitorada é uma técnica demorada, todavia, poderá ser empregada nos casos em que não exista o risco de contaminação de outros.

É necessário que se inicie um estudo piloto numa área contaminada para verificar se técnicas empregadas nos EUA e Europa, atendem as necessidades de remediação do Brasil, visto que os solos, clima e regime de chuvas são diferentes dos países ora citados.

Alguns trabalhos têm sido realizados no Brasil, principalmente na área de descontaminação por chumbo. Os casos de contaminação na cidade de Santo Amaro da Purificação no Estado da Bahia e da Cia Mercantil e Industrial Ingá, no Rio de Janeiro, há alguns anos vêm sendo estudados.

Durante anos de 1956 a 1993, houve uma intensa atividade metalúrgica na cidade de Santo Amaro da Purificação. Estas atividades geraram vários impactos ambientais que têm sido estudadas desde a década de 1970 (Machado et al. 2003).

Machado et al. (2003) avaliou a persistência de contaminação do solo superficial em torno da empresa, relacionando-os a concentração de partículas no ar, quando a empresa ainda estava ativa. A emissão e dispersão das partículas na atmosfera foram simuladas, considerando os dados do processo metalúrgico e meteorológicas locais e os parâmetros de topografia. Os resultados obtidos foram utilizados para traçar isolinhas de partículas de

concentração no ar. Linhas radiais foram retiradas da chaminé principal, definindo pontos de amostragem em suas interseções com as isolinhas. Os resultados mostraram que as emissões passadas continuam a desempenhar um papel muito importante na contaminação solo. Há uma persistência clara dos valores de concentração de chumbo e cádmio e, especialmente em áreas perto da fábrica, e que estão muito acima dos limites de referência.

Este fato é importante, pois a atividade de destruição de munição pode estar contaminando outras áreas além da utilizada para descarte, pois as partículas de metais em suspensão no ar acabam por se depositar sobre o solo.

Dentre os estudos realizados na Cia Mercantil e Industrial Ingá, tem-se o projeto de final de curso por ABREU (2009) que realizou o “Cálculo de Recalque e Reforço de um Projeto de Envelopamento”. O solo da região encontra-se contaminado basicamente por Zn e Cb.

Este projeto prevê uma barreira hidráulica ao longo de todo o perímetro da área, da qual será feita a extração da água contaminada do subsolo, seu tratamento e retorno da água tratada ao ambiente, evitando assim, a contaminação de outras áreas. O solo foi compactado e protegido por geomembrana para isolamento do aterro de rejeitos da ação de intempéries (Envelopamento) (ABEU, 2009).

Técnicas com base na utilização de fontes de fósforo têm sido apontadas em alguns estudos, devido a sua capacidade de reduzir a disponibilidade e toxidez de metais pesados no solo, principalmente nos tratamentos por contaminação de chumbo. O processo de remediação dos solos por meio de rocha fosfatada ocorre pela imobilização dos metais pesados, através de mecanismos de sorção e entre eles pode-se citar a complexação, a troca iônica e a dissolução do fosfato seguida pela precipitação de uma fase com o metal (KEDE et al., 2006).

6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

As áreas que são utilizadas para disposição de munição estão localizadas nos Batalhões de Suprimentos e Depósito Central de Munição, DCMun. Estas áreas de destruição de munição se encontram distantes dos centros urbanos e todo o procedimento realizado é supervisionado por um oficial habilitado e segue normas de segurança interna

O objeto deste trabalho é desenvolver uma metodologia para remediação de áreas contaminadas por explosivos a partir das observações verificadas em uma área de descarte de material energético. Nesta área foram realizados estudos pela UFRRJ e PUC para verificação do grau de contaminação. A universidade Rural comprovou a contaminação da área de destruição de munição por metais pesados (chumbo, cobre e cádmio) e a PUC não encontrou contaminação por aromáticos.

Os explosivos não contaminam inicialmente a área pois os produtos da reação, na maioria das detonações, são:

- a) Carbono (C);
- b) Monóxido de carbono (CO);
- c) Dióxido de carbono (CO₂);
- d) Nitrogênio (N₂);
- e) Hidrogênio (H₂);
- f) água (H₂O).

Portanto, a origem dos metais pesados está nos componentes da munição, como estojos das munições, por exemplo, e nos iniciadores, que contém chumbo e provavelmente, mercúrio nas munições mais antigas.

Apesar de não ter sido encontrada qualquer contaminação por aromáticos, o processo de disposição de munição utilizado, queima e detonação ao ar livre, não está destruindo totalmente a munição, além da contaminação por metais pesados que existe, pode ocorrer, no futuro, também por produtos orgânicos.

Para que o processo utilizado pelo Exército provoque menos impacto é necessário que se tenha certeza de que todos os materiais foram completamente destruídos, os materiais

metálicos após a destruição devem ser removidos e a área de descarte deve adaptada conforme esquema apresentado no capítulo 5 (FIG. 5-10).

Outros processos de disposição devem ser adotados, isto porque, a aplicação de uma técnica de remediação resolverá o problema, todavia, se a queima e detonação ao ar livre continuarem sendo executadas da mesma maneira, a contaminação poderá atingir novas áreas.

Novos procedimentos de disposição de munição devem ser implantados. Para a munição de pequeno calibre, que não deve ser destruída diretamente no solo, um processo de incineração com sistema de tratamento de gases e para a munição grosso calibre e explosivos diversos a desmilitarização.

A possibilidade de se implantar os procedimentos de desmilitarização para os explosivos e munições de grosso calibre deve ser avaliada, pois neste processo 95% de todo o material é reaproveitado, isto evita a contaminação do solo e demais meios.

A legislação que trata sobre a contaminação de solos determina alguns procedimentos que devem ser adotados, como a investigação das demais áreas que são utilizadas para descarte de munição nas diversas regiões militares a fim de classificá-las conforme prevê os artigos 13 e 20 da norma “*Classes de Qualidade dos solos e Procedimentos de Prevenção e Controle*”.

O Exército Brasileiro com suas portarias e normas tem se adequadado as exigências legais no que diz respeito a preservação ambiental, possui uma secretaria voltada para as questões ambientais e se preocupa em manter as suas áreas de instrução, todavia, ainda não há um grupo de trabalho voltado especificamente para a questão de identificação e remediação de áreas contaminadas, como o que acontece nos EUA onde o corpo de engenheiros do exército americano é responsável pelos procedimentos de remediação ambiental de áreas de uso militar. Sugere-se neste trabalho que seja criado um grupo de trabalho que trate especificamente de identificação e remediação de áreas contaminadas.

Uma metodologia de investigação para identificar áreas deve ser proposta a fim de avaliar se existem outras na mesma situação da que foi estudada para que em seguida, se possa executar um processo de remediação dentre àquelas que merecem maior atenção e urgência em recuperação, sendo assim, etapas de priorização, intervenção, medidas emergenciais e o cadastro das áreas contaminadas devem ser implantadas.

Os processos de disposição de metais são diversos em função do tipo de solo. Na natureza, os solos não são “puros”, ou seja, pequenas quantidades de argila presentes em um solo arenoso, por exemplo, é capaz de alterar muito as suas características e seu mecanismo

de transporte predominante. Neste caso, é fundamental que o solo local seja ensaiado para se obter os parâmetros necessários para análise.

Mesmo estando a área de estudo distante dos grandes centros e numa área isolada, a remediação ambiental da área de destruição de munição deve ser executada o quanto antes. Um dos procedimentos de imobilização / isolamento de metais ou extração de metais deve ser adotado na área de destruição, nos Estados Unidos, a tecnologia *ex situ* S/E é geralmente selecionada para remediar resíduos contendo metais, apesar de sua seleção ter diminuído nos últimos anos dez anos.

Uma técnica de imobilização talvez seja a melhor opção em relação aos custos, porém, isto só poderá ser decidido após análises que estão em processo de finalização.

Os parâmetros que irão auxiliar nesta tomada de decisão estão sendo levantadas em laboratório com o material colhido no local, com os dados de sondagem a percussão e geofísica.

Como pode-se observar no capítulos 4 - *Técnicas de Remediação Ambiental de Solos Contaminados por Metais Pesados* e 5 - *Estudo de Caso*, apesar do desenvolvimento e o aumento de tecnologias inovadoras desde a década de 1990, as aplicações de campo de alternativas para o tratamento de metais são ainda limitadas, sendo portanto necessário o estudo de novas técnicas

Tecnologias de extração de metal, tais como a lavagem do solo, fitoextração, e eletrocinese proporcionam um baixo custo e é uma alternativa ambientalmente pró-ativa para o processo de solidificação e estabilização e para as opções de eliminação. A tecnologia de lavagem do solo é relevante para a extração *ex situ*, enquanto que eletrocinese e fitoextração são relevantes para a extração *in situ*.

Por fim, os materiais que se encontram espalhados pela área devem ser removidos por processos físicos de separação o que pode ser considerado como um pré-tratamento, evitando a exposição destes materiais e uma contaminação maior da área.

Propostas de trabalhos futuros:

- a) Formação de um grupo de trabalho interdisciplinar para trabalhar especificamente com remediação ambiental;
- b) Utilização de novas metodologias para identificar munições que não detonaram após o disparo (UXO);
- c) Estudo de novas técnicas de remediação de áreas contaminadas;

- d) Investigação e catalogação de todas as possíveis áreas contaminadas;
- e) Instalação de projetos piloto nestas áreas;
- f) Escolha da melhor técnica de remediação para as diversas áreas;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, Zilvia Wienskoski de. **Cálculo de recalque e reforço de um projeto de envelopamento**; Apresentação de trabalho de conclusão de curso do Departamento de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009.
- ADRIANO, D.C. **Trace elements in the terrestrial environment**. New York: Springer Verlag, 1986. 533 p.
- AGUIAR, M. R. M. P. de; NOVAES, A. C.; GUARINO, A. W. S. **Remoção de metais pesados de efluentes industriais por aluminossilicatos**, Química Nova, v.25, n.6b, p.1145-1154, 2002.
- ALBRIGHT, Richard D. **Cleanup of chemical and explosive munitions**. United State: William Andrew, 2008. II. ISBN: 978-0-8155-1540-1
- ALLOWAY, B.J. **Heavy metals in soils**. 2.ed. London: Blackie Academic, 1995. 368 p.
- ALLOWAY, B.J.; AYRES, D.C. **Chemical principles of environmental pollution**. 2.ed. London: Chapman Hall, 1997. 395 p.
- AMMUNITION, **Identifying Ammunition**, Subcourse MM 2598, Edition 7, United States Army Combined Arms Support Command, Fort Lee, Virginia.
- ApMB. **Apostila de Munições e Explosivos**, Unidade de Ensino 1.0, 2.0 e 3.0 - Munições, Explosivos e Artíficos, p. 18, Marinha do Brasil.
- ARMAS DE FOGO – Disponível no site: <http://armasdefogo.amatilha.com.br/category/municao>, [acesso em 2009]
- ART. ENGINEERING, LCC. “**Soil washing, soil decontamination, soil cleaning, sediment treatment, soil and groundwater remediation project experience**.” (2008) (<http://www.art-engineering.com/Projects%20Soil%20Treatment.htm#top>)[Acesso: 15 Nov 09].
- BARTH, E. F.; PERCIN, P. “**Stabilization and Solidification of Hazardous Waste**”. Pollution Technology Review, New Jersey, n. 186, 1990.
- BF Site: **Battlefield 2 Brasil**,
Disponível:<http://www.bf2brasil.com/forum/showthread.php?t=11867> [capturado em Jan 2009].
- BOLAN, N.S., NAIDU, R., SYERS, J.K., TILLMAN, R.W., 1999. “**Surface charge and solute interactions in soils**”. Adv. Agron. 67, 88–141.
- CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F.; CASAGRANDE J. C. **Reações dos micronutrientes e**

- elementos tóxicos no solo** In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P.; RAIJ, B. V.; ABREU, C. A. Micronutrientes elementos tóxicos na agricultura. Jaboticabal, CNPq/FAPESP/POTAFOS, p. 89-119, 2001.
- CASARINI, D.C.P.; DIAS, C.L.; LEMOS, M.M.G. **Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB, 2001. 73p. (Série Relatórios Ambientais).
- CBC, **Companhia Brasileira de Cartuchos**, Catálogo – Disponível no site: www.cbc.com.br, [capturado em 2009.]
- CETESB 1999, **Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo. Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas: Critérios para projeto e operação**, 1999. 32 p. (Manual Técnico, P 4.230).
- CETESB 2001, **Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo, Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas**, 2001.
- CETESB 2005, **Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo - Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo**, 2005.4p
- CHAN, L. C., Gu, X. Y., and Wong, J. W. C. 2003. **“Comparison of bioleaching of heavy metals from sewage sludge using iron- and sulfur-oxidizing bacteria.”** Adv. Environ. Res., 7(3), 603–607.
- CLARINET, **“Contaminated Land Rehabilitation Network for Environmental Technologies”**, 2002, “Brownfields and redevelopment of urban areas.” Rep., European Commission, and coordinated by the Austrian Federal Environment Agency, Vienna, Austria.
- CONAMA, **Conselho Nacional de Meio Ambiente**, Resolução Conama N° 357, 2005 Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes
- DAVIES, B.E. Lead. In: ALLOWAY, B.J. **“Heavy metals in soils”**. New York: John Wiley, 1995. p.206-220.
- DECRETO-LEI n° 14.273, de 28 de julho de 1920. **Estabelece a preservação de matas, disciplinando o uso de recursos naturais**. Boletim do Exército n° 331, Brasília, DF, p.11-23, 31 ago.1920
- DERMONT, G., BERGERON, M., RICHER-LAFLÈCHE, M., MERCIER, G., BOUSSICAULT, B. **“Metal Contaminated Soils: Remediation Practices and Treatment Technologies, Practice Periodical Of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste Management”**, ASCE JULY 2008
- EB, **Site do Exército Brasileiro**: <http://www.exercito.gov.br/06OMs/indiceom/mapa3.jpg>, [acesso dezembro de 2009]).
- EPA 540-K-01-002 **“Recreational Use of Land Above Hazardous Waste Containment Areas”**

-<http://www.epa.gov/superfund/programs/recycle/pdf/recreuse.pdf> [acesso em 13 abr 2008]).

EsMB - **Apostila de Munição Grosso Calibre da Escola de Material Bélico do Exército**, 2000.

FILIPPO, Sandro. **Subsídios para a Gestão Ambiental do Transporte Hidroviário Interior no Brasil**. 1999. 300 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Instituto Militar de Engenharia, 1999.

FRTR 2008 – **“Federal Remediation Technologies Roundtable”**, disponível no site: <http://www.frtr.gov/matrix2/section4/4-24.html>, [acesso em 14 julho 2008].

FSC, **“Forensic Science Communications”**, disponível no site: http://www.firearmsid.com/Feature%20Articles/McCord_gunpowder/index.htm. [capturado em 3 de março de 2009].

GONÇALVES, Flávia de Almeida. **Fertilidade e fitodisponibilidade de metais pesados em solo com resíduo de sucata automobilística**, 2008.p 89. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) - Instituto Agronomico, Campinas -SP, 2008.

HOLLAND, Milieutechniek. **“Project overview of electroreclamation.”**, 2007, The Netherlands, disponível no site: <http://www.hollandmilieu.nl/UK/projects/overview.htm> 2008 [acesso em 15 agosto 2009]

HONDERS, A., Maas, Th., GADELLA, J. M. **“Ex-situ treatment of contaminated soil—The Dutch experience.”**2003, Service center ground(SCG), Dutch Ministry of Spatial Planning and the Environment, disponível no site: <http://www.scg.nl/SCG/files/treatment.pdf>, [acesso em 10 Dez 2008].

JUSTIÇA FEDERAL, seção judiciária do Rio de Janeiro. **Processo nº 08120.001429/98-65**. Disponível em: <<http://www.jfrj.gov.br.htm>>. Acesso em 15 fev.2003.

KABATA-PENDIAS 2001, A.; PENDIAS, H. **“Trace elements in soil and plants”**. 3.ed. Boca Raton: CRC Press, 2001. 331p.

KABATA-PENDIAS, A. **“Agricultural problems related to excessive contents of soils”**. In: SALOMONS. W.; FORSTNER, U.; MADER, P. Heavy metals: problems and solutions. Berlin: Springer – Verlag, 1984. 360p.

KEDE, Maria Luiza F. M. ; MOREIRA, Josino C.; MAVROPOULOS, Elena; ROSSI, Alexandre M.; BEROLINO, Luiz Carlos; PEREZ, Daniel Vidal; ROCHA, Nilce Carbonel Campos da; **Estudo do Comportamento do Chumbo em Latossolos Brasileiros Tratados com Fosfatos: Contribuições para a Remediação de Sítios Contaminados**, Quim. Nova, Vol. 31, No. 3, 579-584, 2008.

LINDSAY, W.L. **“Inorganic phase equilibria of micronutrients in soil. In: MORTVEDT, J.J.; GIORDANO”**,1979, W.L. (Ed.). Micronutrients in agriculture. Madison: Soil Science Society of America,cap.3, p. 41-57.

- LOGAN, T.J. **“Reclamation of chemically degraded soils”**, 1992, Advance Soil Science, New York, v.17, p. 13-35.
- LOPES, A.S.; ABREU, C.A.; SANTOS, G.C.G. **Micronutrientes**. In: NEVES, J.C.L.; DIAS, L.E.; BAR ROS, N.F.; C ANTARUTTI, R.B.; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.
- MACHADO, S.L., CARVALHO M. de F., DELGADO, C.W.C., ANJOS, J.A.S.A., DOURADO, K.A., AMPARO, N.S. do, CARDOSO, L.P., LIMA, A.V.M., SANTOS, D.M., SANTOS, D.B. dos, KIPERSTOK, FirstA., SÁNCHEZ L. BOTELHO M.A.B. and OLIVEIRANeto F.A. **“Remediation Proposal for Areas Degraded by Lead Mining Activities in Santo Amaro”**, PROJETO PURIFICA – 2003 “in print”, Technical Report. 223 p.
- MAN, M. J. **“Full-scale and pilot-scale soil washing.”**, 1999, J. Hazard. Mater., 66(1–2), p. 119–136.
- MANUAL TÉCNICO T 9-1903 – Exército Brasileiro.
- MARTIN, T. A., and RUBY, M. V. (2004). **“Review of in situ remediation technologies for lead, zinc, and cadmium in soil.”** Biorem. J., 14(3), 35–53.
- MAVROPOULOS, Elena, **A Hidroxiapatita Como Removedora de Chumbo**, Fundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública, Toxicologia, Dissertação de Mestrado, 1999.
- McBRIDE, M.; SAUVÉ, S.; HENDERSHOT, W. **“Solubility control of Cu, Zn, Cd and Pb in contaminated soils”**. European Journal of Soil Science, Oxford, v. 48, p. 337-346, 1997.
- McBRIDE, M.B. **“Electron spin resonance investigation of Mn²⁺ complexation in natural and synthetic organics”**. Soil Science Society of America Journal, Madison, v. 46, p. 1137-1143, 1982.
- MEYER, Rudolf; KÖHLER, Josef; HOMBURG, Axel. **“Explosives”**. 6ª ed, , 2007 ed. Alemanha: 2007, ISBN: 978-3-527-31656-4)
- MMRP – **“Military Munitions Response Program”** - Programa de Resposta de Munições Militares – Manual, disponível: <http://aec.army.mil/usaec/cleanup/mmrp00.html>, [Acesso 12 Dez 09].
- NAKAMURA, Marcelo Sadao, **Revista de Oxidologia**, Jan/Fev/Mar 2002, p.. 37 a 42.
- NOBRE, M. M. M. (1987) - **Estudo Experimental do Transporte de Poluentes em Solos Argilosos Compactados**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil -PUC-Rio. 214 pp.
- OLIVER, M.A. **“Soils and human health”**: a review. European Journal of Soil Science, Oxford, v. 48, p. 573-592, 1997.
- OLSON, G. J., BRIERLEY, J. A., BRIERLEY, C. L. **“Bioleaching review. B: Progress in bioleaching: Applications of microbial processes by the minerals industries.”**, 1999, Appl. Microbiol. Biotechnol., 63(3), p. 249–257.

- PIVETZ 2001 Pivetz, B. E. **“Phytoremediation of contaminated soil and ground water at hazardous waste sites.”** Ground Water Issue, EPA/540/S-01/500, USEPA, Office of Solid Waste and Emergency Response, Washington, D.C
- PUC- 2007 - (PUC – Rio – **“Relatório de Contaminação por Compostos Orgânicos Aromáticos”** - PUC- RJ – 2007
- RICHARDS Richardson, C. J., C. B. Craft, **“Effective Phosphorus Retention in Wetlands: Fact or Fiction?”** 1993 Constructed Wetlands for Water Quality Improvement, pp. 271–82, ed. G.A. Moshiri. Boca Raton, Fla.: CRC Press.
- ROCO, Rogério, **Legislação Brasileira do Meio Ambiente**, Ed. DP&A, 2002, ISBN 85–7490–135-0
- SANCHES, Luiz Enrique, **Desengenharia, O Passivo Ambiental na Desativação de Empreendimentos Industriais**, Ed. da Universidade de São Paulo, 2001, ISBN 85-314-0599-8
- SANTOS, Gláucia Cecília Gabrielli dos. **Comportamento de B, Zn, Cu, Mn e Pb em solo contaminado sob cultivo de plantas e adição de fontes de matéria orgânica como amenizantes do efeito tóxico** - Piracicaba, 2005. 150 p.
- SAVANNAH 2000 – **“Savannah River Site Waste Vitrification Projects Initiated Throughout the United States: Disposal and Recycle Options”** disponível no site: sti.srs.gov/fulltext/ms2000105/ms2000105.pdf – [acesso em 20 de Janeiro de 2009]
- SCHMIDT, U. **“Enhancing phytoextraction: the effect of chemical soil manipulation on mobility, plant accumulation and leaching of heavy metals”** Journal Environmental Quality, Madison, v.32, p.1939 – 1954, 2003.
- SCHROEDER, H.A. **“Essential trace metals in man: copper”**. Journal of Chronic Diseases, v.19, p.1007-1034. 1966.
- SHREVE, R. Morris; BRINK, Joseph A. Jr. **Indústrias de Processos Químicos**, 4. ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan S.A. 1997
- SINAY, Maria Cristina Fogliatti de. **Meio Ambiente e Projetos de Transportes no Brasil**. Relatório, 1996. Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro. 30 p.
- SIRVINSKAS, Luis Paulo, **Manual de Direito Ambiental**, Ed. Saraiva, 2002, ISBN 85-02-03340-9
- SMITH, L.A.; MEANS, J.L.; CHEN, A.; ALLEMAN, B.; CHAPMAN, C.C.; TIXIER, J.S.; BRAUNING, S.E.; GAVASKAR, A.R.; ROYER, M.D. **“Remediation options for metals contaminated”** sites. Boca Raton: CRC Press, 1995.
- SOARES, Márcio Roberto, **Koeficiente de distribuição (Kd) de metais pesados em solos de São Paulo. 2004**. 202 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" Universidade de São Paulo - USP, Piracicaba - SP, 2004.

SUMATECS –“**Sustainable management of trace element contaminated soils – Development of a decision tool system and its evaluation for practical application**”, disponível no site: <http://www.snowman-era.net/index.php>, Project No. SN-01/20, [acesso: 10 de janeiro 2010].

SUTHERLAND, R.A.; TACK, F.M.G.; TOLOSA, C.A.; VERLOO, M.G. “**Operationally defined metal fractions in road deposited sediment, Honolulu, Hawaii.**” Journal of Environmental Quality, Madison, v. 29, p. 1431-1439, 2000.

T-9 –“**Technical Manual Headquarters Department of the Army**” (TM 9-1300-214), No. 9-1300-214 Washington, DC 20 September 1984, p. 20

TAN, K.H. “**Environmental soil science**”. 2 ed. New York: Marcel Dekker, 2000. 452p.

UKEA, United Kingdom Environmental Agency,“**Review of scientific literature on the use of stabilization/solidification for the treatment of contaminated soil, solid waste and sludges.**” 2004, Science Rep. No. SC980003/SR2, London.

USACE 2009,“**The United States Army Corps of Engineers**”, disponível no site: <http://www.usace.army.mil/History/Documents/Brief/index.html> [Acesso em 15 de abril 2009].

USEPA 1996, “**U.S. Environmental Protection Agency” - Soil Screening Guidance: User’s Guide – EPA 540/R-96/018.** Washington, DC, Office of Solid Waste and Emergency Response, disponível no site: www.epa.gov/superfund/resources/soil/ssg496.pdf, [acesso em 20 de junho 2009]

USEPA 2000 – “**Innovative Remediation Technologies: Field-Scale Demonstration Projects in North America**”, 2nd Edition Year 2000 Report - EPA 542-B-00-004, disponível no site: <http://www.epa.gov/aml/tech/cleanup.htm>. [acesso em 12 de junho de 2008]

USEPA 2004a - “**Cleaning up the nation’s waste sites: Markets and technology trends, 4th Ed.**” EPA 542-R-04-015, Office of Solid Waste and Emergency Response, Washington, D.C., disponível no site: www.epa.gov/osp/hstl/hn_winter2005.pdf , [acesso em 12 de junho de 2008]

USEPA 2005 -EPA 505-B-01-001 “**Environmental Protection Emergency Response May 2005**”, disponível no site: www.epa.gov/fedfac/pdf/mra_hbook_5_05.pdf, [acesso em 5 de abril de 2008]

USEPA 2005a – EPA 542 – r -05 -002 “**Use of Field-Scale Phytotechnology for Chlorinated Solvents, Metals, Explosives and Propellants, and Pesticides**”, disponível no site: www.epa.gov/tio/download/frtr/factshee.pdf , [acesso em 10 de junho de 2009]

USEPA 2009“**Region 9: Waste Programs**” disponível no site: <http://www.epa.gov/region09/waste/features/ordnance/> , [acesso em 18 abril 2009].

USEPA 540a591005pdf “**Horsehead Resource Development Company, Inc. Flame Reactor Technology,** disponível no site: <http://www.epa.gov/nrmrl/lrped/site/reports/540a591005/540a591005.pdf>, [acesso em 15 fev 2008].

USEPA/CLU-IN. 2009. **“CLU-IN.ORG, database, remediation database.”** Hazardous waste clean-up information (CLU-IN), disponível no site: <http://clu-in.org/databases/search/> , [acesso em Jan. 20, 2009]

VAN DER LELIE, Van der Lelie, D., Schwitzguébel, J. P., Glass, D. J., Vangronsveld, J., and Baker, A.,2001. **“Assessing phytoremediation’s progress in the United States and Europe.”** Environ. Sci. Technol.

WALLACE, G.A.; WALLACE, A. **“Lead and other potentially toxic heavy metals in soil.”** Communications in Soil Science and Plant Analysis, New York, v.25, p.137-141, 1994.

WHO, (World Health Organization), **“Trace elements in human nutrition and health. Geneva”**, 1996, disponível no site: www.who.int/, [acesso em 15 de junho 2009]