



UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
MESTRADO PROFISSIONAL EM DEFESA E SEGURANÇA CIVIL
INSTITUTO DE QUÍMICA

LUCAS OLIVE PINHO SILVA GOMES

**TÉCNICA DE FITORREMEDIAÇÃO COMO FERRAMENTA PARA REDUÇÃO DE
RISCOS EM ACIDENTES COM SUBSTÂNCIAS QUÍMICAS ABSORVIDAS EM
VERMICULITA**

NITERÓI

2018

LUCAS OLIVE PINHO SILVA GOMES

TÉCNICA DE FITORREMEDIAÇÃO COMO FERRAMENTA PARA REDUÇÃO DE RISCOS EM ACIDENTES COM SUBSTÂNCIAS QUÍMICAS ABSORVIDAS EM VERMICULITA

Trabalho de Conclusão na modalidade artigo apresentado ao Curso de Mestrado Profissional em Defesa e Segurança Civil da Universidade Federal Fluminense como requisito parcial para obtenção de grau de Mestre em Defesa e Segurança Civil. Área de concentração: Planejamento e Gestão de Eventos Críticos. Linha de Pesquisa: Desastres mistos.

Orientador:

Profa. Angela Maria Abreu de Barros, D.Sc.

NITERÓI

2018

LUCAS OLIVE PINHO SILVA GOMES

TÉCNICA DE FITORREMEDIAÇÃO COMO FERRAMENTA PARA REDUÇÃO DE RISCOS EM ACIDENTES COM SUBSTÂNCIAS QUÍMICAS ABSORVIDAS EM VERMICULITA

Trabalho de Conclusão na modalidade artigo apresentado ao Curso de Mestrado Profissional em Defesa e Segurança Civil da Universidade Federal Fluminense como requisito parcial para obtenção de grau de Mestre em Defesa e Segurança Civil. Área de concentração: Planejamento e Gestão de Eventos Críticos. Linha de Pesquisa: Desastres mistos.

Aprovado em:

Banca Examinadora

Profa. Angela Maria Abreu de Barros, D.Sc.
Universidade Federal Fluminense – UFF

Prof. William Zamboni de Mello, D.Sc.
Universidade Federal Fluminense – UFF

Profa. Valéria Freitas de Magalhães, D.Sc.
Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todo corpo social do Mestrado em Defesa e Segurança Civil da UFF: docentes, técnicos-administrativos e colegas de sala de aula.

Agradeço aos meus colegas de trabalho no Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho e Centro de Ciências da Saúde da UFRJ: docentes, técnicos-administrativos, estagiários e alunos.

Agradeço ao Grupamento de Operações com Produtos Perigosos do CBMERJ pelo apoio oferecido.

Por fim, agradeço aos meus familiares e amigos próximos e a todos que, de certa forma, impactaram positivamente na realização deste trabalho.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à Estela Maria da Silva, Márcia Maria da Silva Xeres e Maria Luiza da Silva.

RESUMO

O presente estudo avaliou a viabilidade do uso da técnica de fitorremediação para o tratamento de resíduos provenientes de acidentes com produtos perigosos absorvidos em vermiculita (mineral). Através de um estudo bibliográfico confrontado com dados e relatórios de acidentes anteriores de uma brigada de produtos perigosos civil, buscou-se avaliar possíveis espécies de plantas fitorremediadoras para os produtos perigosos de natureza mais recorrentes em acidentes, avaliando também o impacto da vermiculita no processo de degradação do poluente. Foi constatado que plantas como a mamona (*Ricinus communis L*) e o girassol (*Helianthus annuus L*) são espécies candidatas ao processo de fitorremediação neste caso proposto. Ambas as espécies apresentaram resultados positivos em estudos anteriores, cumprindo todos os requisitos desejados (tanto em capacidade de crescer na presença do contaminante quanto a de acumulá-lo internamente) e se mostraram compatíveis com os produtos perigosos mais recorrentes em acidentes. Além disso, apresentam opções satisfatórias para destinação final das plantas após o tratamento da vermiculita contaminada: as duas espécies podem ser utilizadas para a produção de biodiesel e, no caso do girassol, também há a opção de uso na ornamentação de ambientes externos. A vermiculita apresentou, por sua vez, propriedades interessantes que poderão contribuir para a fitorremediação através de sua capacidade de aumento da aeração do solo, facilitando também a interação dinâmica entre as raízes, o solo, o contaminante e o ar. Desta forma, obtêm-se um melhoramento na gestão de riscos dentro da dinâmica de desastres envolvendo produtos perigosos, diminuindo os riscos referentes à armazenagem e tratamento dos resíduos no período do pós-desastre, especialmente em instituições com baixo investimento orçamentário nesta área. A técnica de fitorremediação, portanto, mostrou ser potencial ferramenta neste tipo de desastre, sendo bastante útil no estágio de recuperação dos danos causados por estes produtos.

Palavra-chave: Fitorremediação. Produtos perigosos. Resiliência. Tratamento de resíduos.

ABSTRACT

This study evaluated the feasibility of using phytoremediation technique for treating wastings resulting from hazardous products accidents absorbed in vermiculite (mineral). Through a bibliographical study confronted with data and previous accidents reports from a civil hazard products brigade, it was tried to evaluate possible phytoremediative species plants for the most recurrent hazard products involved in accidents, also evaluating the impact of the vermiculite in this process. It was verified that both plants castor bean (*Ricinus communis L*) and sunflower (*Helianthus annuus L*) are candidates species for this phytoremediation process. Both species showed positive results in previous studies, fulfilling all the desired requirements (ability to grow in the presence of the contaminant and to accumulate it internally) and proved compatible with the most recurrent hazard products absorbed in vermiculite in accidents. In addition, they present satisfactory options for disposal of the plants after treatment of contaminated vermiculite: these species can be used for biodiesel production and, in the case of sunflower, outdoor ornamentation is also an option. Vermiculite presented interesting properties that may contribute to the phytoremediation through its ability to increase soil aeration, also facilitating the dynamic interaction between the roots, soil, and air contaminant. Thus, an improvement in the management of risks within the dynamics of disasters involving hazardous products is achieved, reducing the risks related to the storage and treatment of waste in the post-disaster period, especially in institutions with low budget investment in this area. The phytoremediation technique, therefore, proved to be a potential tool in this type of disaster, being very useful in the recovery stage of the damages caused by these products.

Keywords: Hazardous products. Phytoremediation. Resilience. Waste treatment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ações de um desastre.....	3
Figura 2 – Enquadramento de acidentes com produtos perigosos no COBRADE.....	7
Figura 3 – Acidente com produtos perigosos rodoviário.....	8
Figura 4 – Vermiculita	10
Figura 5 – Fitorremediação em corpos hídricos.....	12
Figura 6 – Fitorremediação em solo.....	13
Figura 7 – Fitorremediação em ambiente controlado.....	13
Figura 8 – Brigadistas neutralizando acidente com produto perigoso utilizando vermiculita com posterior armazenamento posterior em bombona.....	21
Figura 9 – Indicadores da Brigada de Emergência do CCS (2014-2018).....	25
Figura 10 – A mamoneira.....	29
Figura 11 – O cultivo ornamental do girassol.....	30
Figura 12 – Obtenção laboratorial de biodiesel a partir da mamona.....	33
Figura 13 – Planta Piloto de Produção de Biodiesel da Universidade Federal da Bahia	33
Figura 14 - Mecanismos de fitorremediação.....	36
Figura 15 – Fase experimental para a introdução da técnica de fitorremediação com produtos perigosos	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Processos e mecanismos de fitorremediação.....	15
Tabela 2 – Custos de tratamento de resíduos.....	19
Tabela 3 – Propriedades da vermiculita como adsorvedor de produtos perigosos.....	23
Tabela 4 – Registros anteriores de emergências com produtos perigosos absorvidos com a vermiculita.....	24
Tabela 5 – Mecanismos de degradação esperados para cada tipo de contaminante em estudo.....	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BPP	Brigada de emergência com produtos perigosos
CBMERJ	Corpo de Bombeiros Militares do Estado do Rio de Janeiro
CCS	Centro de Ciências da Saúde
COBRADE	Classificação e codificação brasileira de desastres
CODAR	Codificação de desastres, ameaças e riscos
CONDEC	Conselho Nacional de Defesa Civil
EPI	Equipamento de proteção individual
FISPQ	Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico
GOPP	Grupamento operacional com produtos perigosos
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
P.A.	Padrão analítico
PNPDEC	Política Nacional de Proteção e Defesa Civil
SINDEC	Sistema Nacional de Defesa Civil
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	1
CAPÍTULO 2 - OBJETIVOS	16
CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA	16
CAPÍTULO 4 - ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	17
CAPÍTULO 5 - JUSTIFICATIVA DO TRABALHO.....	18
CAPÍTULO 6 - NATUREZA DOS PRODUTOS PERIGOSOS ABSORVIDOS POR VERMICULITA	23
CAPÍTULO 7 - ESCOLHA DE PLANTAS COMPATÍVEIS PARA TRATAMENTO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS ABSORVIDOS POR VERMICULITA.....	25
CAPÍTULO 8 - DESTINAÇÃO FINAL DAS PLANTAS APÓS O TRATAMENTO....	32
CAPÍTULO 9 - INVESTIGAÇÃO DOS MECANISMOS DE FITORREMEDIÇÃO NO PROCESSO PROPOSTO.....	35
CAPÍTULO 10 - ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DO SOLO MISTURADO COM VERMICULITA CONTAMINADA.....	37
CAPÍTULO 11 - PROCEDIMENTO PILOTO PROPOSTO	39
CONCLUSÕES	42
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43
ANEXO I.....	50

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Diversos autores se dedicaram a conceituar o risco, englobando os aspectos ambientais e sociais. Sánchez (2013) conceitua o risco como a contextualização de uma situação de perigo, possibilitando a ocorrência de um evento indesejado. Ciente dos prejuízos que estes eventos podem acarretar, as organizações sofrem pressões progressivas para a redução de riscos, que podem ser de diversas naturezas: ambiental, social, laboral, dentre outros, evidenciando a necessidade de gerenciá-los. Para isso, diversas ferramentas e metodologias podem auxiliar neste processo.

Para caracterizar e minimizar potenciais riscos ambientais, diversas organizações lançam mão de instrumentos de gerenciamento de riscos. Estas ferramentas se apoiam em boas práticas de governança através do atendimento de legislação, normas e práticas de melhoria contínua dentro dos processos, condutas estas similares a padrões de gestão da qualidade. Dentro desta dinâmica, a introdução de boas práticas em gestão de resíduos se mostra fundamental para o cumprimento do objetivo de reduzir ao máximo os riscos ambientais (BISSACOT e OLIVEIRA, 2016).

Em determinados contextos, a materialização de um risco pode causar um desastre (CARDONA, 1991). Lourenço (2004) caracteriza um desastre como um acontecimento súbito, inesperado ou extraordinário, concentrado no tempo e no espaço, que provoca prejuízos severos na vida dos indivíduos, afetando as principais funções da sociedade em determinada área. O autor caracteriza o acidente como um acontecimento repentino ou imprevisto, provocado pela ação do homem ou da natureza, com danos significativos e efeitos muito limitados no tempo e no espaço, com possibilidade de atingir pessoas, bens ou o ambiente.

Dentro do contexto de riscos a serem geridos por sistemas de defesa civil, o Brasil buscou organizar suas ações dentro de políticas públicas específicas. Com a promulgação da Constituição de 1988, o Estado brasileiro assumiu pela primeira vez como prerrogativa da União: “*planejar e promover a*

defesa permanente contra as calamidades públicas, especialmente as secas e as inundações” (BRASIL, 1988, Art. 21, inciso XVIII). Desta forma, a União passou a legislar com mais afinco na área de defesa civil.

O Sistema Nacional de Defesa Civil (SINDEC) foi primeiramente organizado por meio do Decreto nº 97.274, de 1988, que alinhou as estratégias para redução de riscos de desastres em nível nacional. Este sistema foi ainda reorganizado em agosto de 1993.

Em 1994, através de uma resolução do Conselho Nacional de Defesa Civil (CONDEC), foi aprovada a Política Nacional de Defesa Civil (PNDC) que trouxe vários conceitos para o arcabouço teórico da Defesa Civil nacional, além de implementar a Codificação de Desastres, Ameaças e Riscos que teve como objetivo classificar os diferentes tipos de desastres.

Em agosto de 2012, o Ministério da Integração Nacional promulgou a Instrução Normativa nº1, onde adotou-se a Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE) em substituição ao CODAR. Esta mudança teve como objetivo adequar a classificação em padrões internacionais.

Após seguidos arranjos estabelecidos por uma série de leis, instruções normativas e decretos, a consolidação da legislação da área se deu com a promulgação da Lei Nº 12.608, de 10 de abril de 2012, que instituiu a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC. A PNPDEC baseia suas ações de redução dos desastres em: *“prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação voltadas à proteção e defesa civil”* (Figura 1).

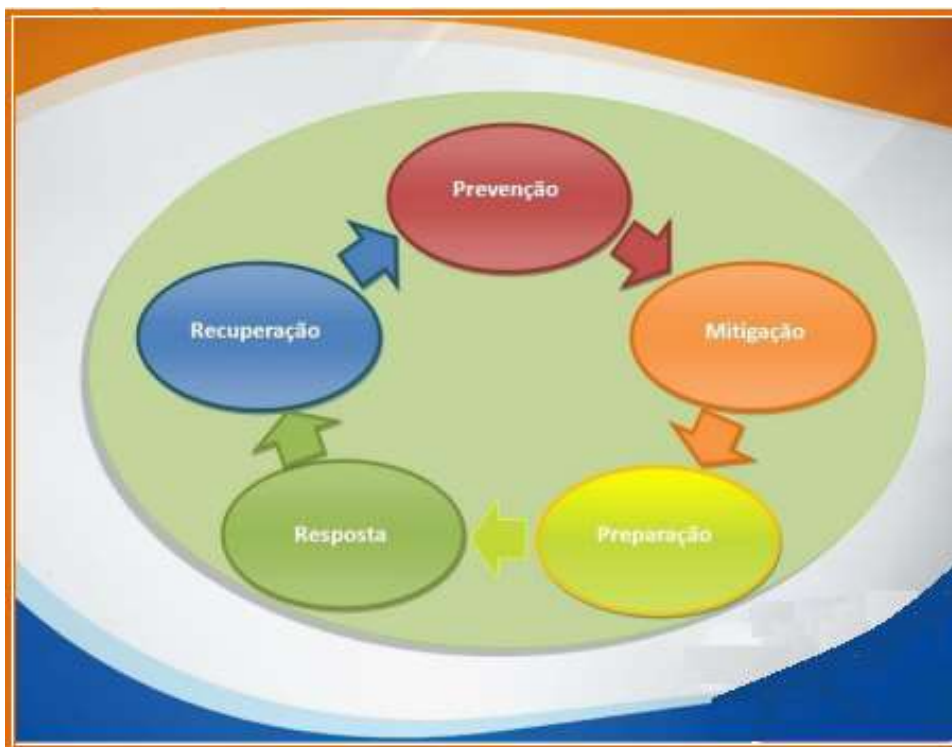


Figura 1 – Ações de um desastre

Fonte: Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC (BRASIL, 2012)

A PNPDEC visa integrar-se às políticas de ordenamento territorial, desenvolvimento urbano, saúde, meio ambiente, mudanças climáticas, gestão de recursos hídricos, geologia, infraestrutura, educação, ciência e tecnologia e às demais políticas setoriais, evidenciando o caráter multidisciplinar desejado durante sua elaboração.

A ação de prevenção pode ser considerada a base das ações em Defesa Civil. Envolve o conjunto de ações que visam a evitar que o desastre aconteça ou que aconteça em menor intensidade, causando menores consequências.

A mitigação envolve as medidas para diminuir ou limitar o impacto das ameaças de origem natural, tecnológica e da degradação ambiental. Estas medidas podem ser estruturais e não estruturais. As medidas estruturais são as de engenharia e de construção, como por exemplo a implementação de estruturas protetoras para reduzir ou evitar o possível impacto das ameaças. As medidas não estruturais se referem às políticas públicas, conscientização e educação de atores, desenvolvimento tecnológico de métodos ou práticas

operativas, incluindo mecanismos participativos e fornecimento de informação, que podem reduzir o risco e seu consequente impacto.

A ação de preparação compreende o conjunto de ações que visam a melhorar a capacidade da comunidade de agir frente aos possíveis desastres em seu contexto. Já a ação de resposta representa os procedimentos que visam socorrer e auxiliar as pessoas atingidas, reduzir os danos e prejuízos e garantir o funcionamento de elementos essenciais para a comunidade.

Por fim, a reconstrução é a ação que abrange o conjunto de etapas destinadas a restaurar a comunidade atingida, com o objetivo de propiciar o seu retorno à condição de normalidade. Nestas ações é importante levar em conta a minimização de novos desastres (OLIVEIRA, 2009).

No universo de acidentes envolvendo produtos perigosos, a gestão de resíduos tem papel fundamental em todas as ações de administração de desastres. A mesma deve ser pensada desde o planejamento até o período de reconstrução, englobando assim também o tratamento ou destinação final dos resíduos.

Em todo o mundo, existe a necessidade crescente de soluções sustentáveis, coerentes e eficientes para os problemas da gestão de resíduos sólidos. A problemática ambiental aflige o planeta em diversas frentes, e seguramente a questão de resíduos é uma das que mais preocupam, devido à capacidade limitada em dispô-los e às possíveis contaminações.

Considerando os problemas que a gestão inadequada e ineficiente de resíduos pode causar, muitos países identificaram a necessidade de esboçar planos de gestão de resíduos. No caso do Brasil, a Lei nº 12.305/10 instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), contendo importantes instrumentos para permitir o avanço necessário ao País no enfrentamento dos principais problemas ambientais, sociais e econômicos decorrentes do manejo inadequado dos resíduos sólidos, preconizando sobre o gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos, além das responsabilidades dos geradores e do poder público. Um de seus objetivos, disposto no Art. nº7, é a redução do volume e da periculosidade dos resíduos perigosos.

A Secretaria de Estado da Defesa Civil do Estado do Rio de Janeiro lançou e mantém atualizado o *Manual Básico de Operação com Produtos Perigosos do CBMERJ*, elaborado pelo Grupamento de Operações com

Produtos Perigosos (GOPP). Segundo este manual, produto perigoso é toda substância de natureza química, radioativa ou biológica - em estado sólido, líquido ou gasoso – que pode ser nociva, direta ou indiretamente, aos seres vivos, ao patrimônio, ou ao ambiente.

Os acidentes envolvendo produtos químicos perigosos são objeto de grande preocupação de autoridades e grupos de estudo, pois suas características específicas evidenciam o grande potencial de dano que podem causar. Estas características, se baseiam em suas propriedades destrutivas, danosas e frequentemente com grande liberação de energia destes produtos, podem causar múltiplas vítimas de forma imediata. Por isso, seus efeitos sobre a saúde e sobre o ambiente ultrapassam limites espaciais e temporais (FREITAS, PORTE e GOMES, 1995).

A análise de uma Ficha de Informação de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ) exemplifica o potencial de risco que pode ser causado por um produto configurado como perigoso. Escolhendo como exemplo o metanol, álcool líquido incolor frequentemente utilizado em processos laboratoriais e industriais (desta forma, sujeito a acidentes), evidencia em sua FISPQ - produzida por seu fabricante industrial (GPC Química) -, potenciais danos em larga escala para a saúde humana e ao ambiente:

Perigos mais importantes: Inflamável e tóxico.

Efeitos adversos à saúde humana: a ingestão, mesmo de pequenas quantidades (30 a 100 ml) pode causar cegueira ou morte. Os efeitos de doses sub-letais podem ser náuseas, dores de cabeça, dores abdominais, vômitos e perturbações visuais, desde visão enevoada à sensibilidade à luz. Inalação de concentrações altas: irritação das membranas mucosas, dores de cabeça, sonolência, náuseas, vertigens, cefaléias, narcotismo, fracasso respiratório, pressão baixa, depressão do SNC, confusão, perda de consciência, perturbações digestivas e visuais e morte. Altas concentrações de vapor ou contato com o líquido: irritação dos olhos, lacrimejar e queimaduras. Pode ser absorvido através da pele em quantidades tóxicas ou letais.

Efeitos ambientais: o metanol em água doce ou salgada pode ter efeito grave na vida aquática.

Perigos físico e químicos: reage com oxidantes fortes, minerais fortes ou ácidos orgânicos e bases fortes.

Efeitos Crônicos: envenenamento sistemático, perturbações cerebrais, conjuntivites, diminuição da visão e cegueira. A inalação continuada agrava sintomas, tais como enfisema ou bronquite. O contato cutâneo repetido pode causar irritação, secura e pele estalada. (GPC QUÍMICA, 2011, 2822-P Rev. 16, p.1)

Acidentes envolvendo produtos perigosos são enquadrados na Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE) como desastres tecnológicos, disposto no item 2.2. Compreendem desastres envolvendo extravasamento de produtos perigosos, contaminação da água, conflitos bélicos ou acidentes durante seu transporte (Figura 2).

GRUPO	SUBGRUPO	TIPO	SUBTIPO	DEFINIÇÃO	COBRADE	SIMBOLOGIA
2. Desastres relacionados a produtos perigosos	1. Desastres em plantas e distritos industriais, parques e armazenamentos com extravasamento de produtos perigosos.	1. Liberação de produtos químicos para a atmosfera causada por explosão ou incêndio	0	Liberação de produtos químicos diversos para o ambiente, provocada por explosão/incêndio em plantas industriais ou outros sítios.	2.2.1.1.0	
	2. Desastres relacionados à contaminação da água	1. Liberação de produtos químicos nos sistemas de água potável	0	Derramamento de produtos químicos diversos em um sistema de abastecimento de água potável, que pode causar alterações nas qualidades físicas, químicas, biológicas.	2.2.2.1.0	
2. Desastres relacionados a produtos perigosos	2. Desastres relacionados à contaminação da água	2. Derramamento de produtos químicos em ambiente lacustre, fluvial, marinho e aquífero	0	Derramamento de produtos químicos diversos em lagos, rios, mar e reservatórios subterrâneos de água, que pode causar alterações nas qualidades físicas, químicas e biológicas.	2.2.2.2.0	
		3. Desastres relacionados a conflitos bélicos	1. Liberação de produtos químicos e contaminação como consequência de ações militares	0	Agente de natureza nuclear ou radiológica, química ou biológica, considerado como perigoso, e que pode ser utilizado intencionalmente por terroristas ou grupos militares em atentados ou em caso de guerra.	2.2.3.1.0
	4. Desastres relacionados a transporte de produtos perigosos	1. Transporte rodoviário	0	Extravasamento de produtos perigosos transportados no modal rodoviário.	2.2.4.1.0	
		2. Transporte ferroviário	0	Extravasamento de produtos perigosos transportados no modal ferroviário.	2.2.4.2.0	
		3. Transporte aéreo	0	Extravasamento de produtos perigosos transportados no modal aéreo.	2.2.4.3.0	
		4. Transporte dutoviário	0	Extravasamento de produtos perigosos transportados no modal dutoviário.	2.2.4.4.0	
		5. Transporte marítimo	0	Extravasamento de produtos perigosos transportados no modal marítimo.	2.2.4.5.0	
6. Transporte aquaviário		0	Extravasamento de produtos perigosos transportados no modal aquaviário.	2.2.4.6.0		

Figura 2 – Enquadramento de acidentes com produtos perigosos no COBRADE

Fonte: Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE), I.N nº 2, Anexo V

Como disposto tanto no COBRADE quanto em fichas de segurança, o potencial de dano de um acidente com produto perigoso ao ambiente é um grande fator de preocupação. Além disso, sua resposta exige especialização da equipe de contenção, somado a necessidade de equipamentos e ferramentas específicas.

O produto perigoso envolvido em algum tipo de desastre poderá se tornar um contaminante no ambiente, especialmente em corpos hídricos, afetando elementos estratégicos para o bom funcionamento da comunidade em geral, como exemplificados nos códigos 2.2.2.1.0 (derramamento de produtos químicos diversos em um sistema de abastecimento de água potável, que pode causar alterações nas qualidades físicas, químicas, biológicas) e 2.2.2.2.0 (derramamento de produtos químicos diversos em lagos, rios, mar e reservatórios subterrâneos de água, que pode causar alterações nas qualidades físicas, químicas e biológicas).

Por natureza, um acidente com produtos perigosos gera resíduo. Este resíduo na maioria dos casos é armazenado em bombonas posteriormente (Figura 3). Para acidentes com produtos perigosos em estado líquido, o *Manual Básico de Operação com Produtos Perigosos do CBMERJ* preconiza o uso da técnica de absorção, que é definido de forma simples como processo físico no qual um material coleta e retém outro.



Figura 3 – Acidente com produtos perigosos rodoviário

Fonte: <http://www.produtosperigosos.com.br/>

Do ponto de vista físico e químico, a absorção consiste em um fenômeno no qual átomos, moléculas e íons penetram em uma fase gasosa, líquida ou sólida. Os principais absorventes industriais indicados pelo manual são: areia, serragem e vermiculita. Com o objetivo de padronizar o processo, este estudo considerou o uso da **vermiculita** como objeto de pesquisa, por ser o método mais utilizado pelas fontes onde os dados foram obtidos para o desenvolvimento do trabalho.

Os outros absorventes não são utilizados com frequência suficiente para ter consistência estatística. Além disso, foi necessário fixar a vermiculita como objeto de pesquisa pois o desenvolvimento deste trabalho utilizando mais de um tipo de material absorvedor adicionaria excessivas variáveis ao processo, inviabilizando-o.

O Manual Básico de Operação com Produtos Perigosos do CBMERJ apresenta outros absorventes que podem ser utilizados, que serão apresentados a seguir.

A **areia** apresenta custo inexpressivo, mas não é tratada como um absorvente de fato, apesar de funcionar como tal. Desta forma, não apresenta boa eficiência de absorção, mas sua utilização ainda é incentivada para redução de custos.

A **serragem** também apresenta um custo muito baixo, é leve, de fácil aplicação e é utilizada como absorvente em muitas atividades. Porém, apesar de ser constituída de pequenos pedaços de madeira com grande área de contato, não apresenta boa capacidade de absorção e seu uso não é recomendado para absorver químicos mais agressivos. Ainda assim, sua utilização para absorver óleo é muito interessante, apresentando largo uso rodoviário.

A **turfa** é um material absorvente de base vegetal. Sua principal vantagem é a possibilidade de ser utilizada para produtos orgânicos voláteis, porém não pode ser utilizada para absorver produtos químicos perigosos como ácidos e alcalinos fortes.

A **cinza vulcânica** é utilizada apenas em casos específicos envolvendo óleos pesados e graxas em geral. Possui peso relativamente elevado e alto custo. Apresenta alta densidade mesmo em se tratando de volumes pequenos. Logo, o esforço físico necessário para conter um vazamento pequeno é

intenso. Isto acarreta em um longo tempo gasto para a atividade de absorção do produto.

A **celulose reciclada** preparada quimicamente pode atuar como material absorvente. Tem facilidade de aplicação devido ao pouco peso, é incinerável e conta com grande capacidade de absorção. Porém, como desvantagens, só pode ser utilizada em aplicações mais restritas, além de não possuir relação custo/benefício atraente.

Outros absorventes industriais, como **fibras de poliéster, microfibras de polietileno ou polipropileno** também são opções de bom desempenho, mas sua alta especificidade diminui a versatilidade dos mesmos, além de possuírem um custo muito elevado.

A **vermiculita**, $(Mg, Fe)_3 [(Si, Al)_4 O_{10}] [OH]_2 4H_2O$ (Figura 4), é um silicato hidratado de magnésio, alumínio e ferro. Apresenta boas propriedades de superfície, possuindo elevados valores de área superficial específica, porosidade, carga superficial negativa, baixa elasticidade, baixa densidade e elevadas capacidades de **adsorção** e **absorção** fazem da vermiculita um material adequado para o uso na neutralização em acidentes e desastres com produtos químicos perigosos. Sua capacidade de absorver ou adsorver as substâncias dependerá do tipo de vermiculita e do formato e tamanho da molécula a ser absorvida/adsorvida. Sua faixa de composição depende da composição da mica que a originou, da variação química durante o intemperismo e da troca iônica durante o processo de formação (UGARTE, SAMPAIO e FRANÇA, 2008).



Figura 4 – Vermiculita

Fonte: Brigada de Emergência com Produtos Perigosos CCS/UFRJ

Sua aplicação atrativa como material adsorvente/absorvente se dá, portanto, devido às propriedades de troca iônica que possui, podendo ser utilizada em processos de remoção de contaminantes orgânicos e na purificação de águas residuais contendo sais dissolvidos (FRANÇA, UGARTE e ARRUDA, 2005).

Seu valor comercial se baseia no seu elevado índice de expansão, provocada pela camada de moléculas de água que intercala as camadas de alumínio e silício em sua estrutura. Suas moléculas de água, quando aquecidas de forma rápida, transformam-se em correntes de ar quente e causam aumento no volume do mineral, acarretando num processo chamado expansão térmica. Esta propriedade confere ao produto final aplicações em diversas áreas, dentre as quais, na construção civil, na agricultura, nas indústrias química e de tintas (UGARTE, SAMPAIO e FRANÇA, 2008).

Considerada assim um ótimo absorvente mineral, segundo o Manual Básico de Operação com Produtos Perigosos do CBMERJ, a vermiculita possui bom desempenho para absorção de produtos à base de petróleo, assim como ácidos e bases fortes. Tem como desvantagens: peso um pouco elevado e a impossibilidade de incineração, que acarreta uma disposição final mais cara. Deste modo, um acidente com produto perigoso em estado líquido, absorvido com a utilização de vermiculita, terá como resíduo **vermiculita contaminada**.

Este estudo irá propor a utilização da técnica de **fitorremediação** para tratar este resíduo específico. A partir da utilização de plantas como agentes remediadores do contaminante, a fitorremediação é uma técnica bastante estudada dentro da engenharia ambiental. Além das plantas, as comunidades de microrganismos ligadas à rizosfera – camada constituída nas raízes das plantas – também fazem parte do processo. Mesmo em casos de cultivo controlado o solo inevitavelmente apresentará microrganismos.

Este processo biológico apresenta capacidade de reduzir teores de contaminantes em solo, água e ar (neste estudo será abordado apenas suas propriedades no solo). Esta técnica, portanto, pode ser utilizada para a descontaminação de áreas ou porções de solo contaminados. É um procedimento de baixo custo e sem impactos adicionais, inclusive apresentando vantagens estéticas. Além de promover a descontaminação desejada, reduzindo o teor de contaminantes a níveis considerados seguros, a

técnica também pode atuar limitando a disseminação destes elementos ao longo do solo e dos corpos hídricos (USEPA, 2000; MARQUES, AGUIAR e SILVA, 2011; ANDRADE, TAVARES e MAHLER 2007). A Figura 5 ilustra o processo de fitorremediação em um corpo hídrico.



Figura 5 – Fitorremediação em corpos hídricos.

Fonte: <http://grampoverde.wixsite.com/grampoverde?lightbox=datalttem-iqcu73ad>

Susarla, Medina e McCutcheon (2002), afirmam que a técnica de fitorremediação é uma tecnologia promissora para o tratamento de solos contaminados com metais, hidrocarbonetos, pesticidas e solventes clorados. Os autores também destacam outras vantagens no processo, como a utilização de energia solar, alta aceitação da sociedade e o menor custo, apesar da menor taxa de degradação e maior demora de processo em comparação aos tratamentos mecânicos.

A fitorremediação pode ser aplicada diretamente no local onde ocorreu a contaminação, sem transporte de porções de solo (Figura 6), ou, em caso de porções menores de solo que possam ser transportados, o tratamento pode ser feito em ambiente controlado (Figura 7).



Figura 6 – Fitorremediação em solo.

Fonte: <http://ideonex.com/2008/05/02/let-the-phytoremediation-begin/>



Figura 7 – Fitorremediação em ambiente controlado

Fonte: Viviani Asevedo/AscomUnitins

Para cada tipo de contaminante presente no solo, deve-se selecionar espécies de plantas compatíveis para sua degradação. Esta especificidade ocasiona a necessidade do pesquisador selecionar as espécies ideais que irá utilizar para descontaminar seu alvo. Uma determinada espécie pode apresentar capacidade de descontaminar hidrocarbonetos, porém ser incompatível com a degradação de metais. Diversos grupos de pesquisa se debruçam para avaliar a compatibilidade das plantas com diferentes tipos de contaminante, e estes dados na literatura são de grande valor para o planejamento da utilização da técnica (VASCONCELOS, PAGLIUSO e SOTOMAIOR, 2012).

Os processos de fitorremediação do solo envolvem mecanismos distintos, e sua utilização é dependente da natureza química e propriedades do contaminante. Estes processos ocorrem em diferentes partes do vegetal, cada um com sua especificidade. Este conhecimento será bastante útil para futuras investigações de mecanismos de fitorremediação ocorridos em fases posteriores deste estudo.

A Tabela 1 apresenta os diferentes processos de despoluição de tipos distintos de contaminantes de solo e os mecanismos correspondentes. Estes diferentes processos podem ser adotados pela planta fitorremediadora dependendo do tipo do contaminante e de sua própria natureza.

Tabela 1 – Processos e mecanismos de fitorremediação

Processo	Mecanismo	Parte vegetal utilizada	Contaminante no solo
Fitoextração	Absorção e captura do contaminante sem degradá-lo	Raízes e partes aéreas	Metais e hidrocarbonetos
Fitodegradação	Degradação ou mineralização do contaminante nas células vegetais	Raízes e células dos tecidos	Hidrocarbonetos, solventes clorados, fenóis e herbicidas
Fitovolatilização	Remoção do contaminante do meio e liberação no ar. Associação com microrganismos	Raízes e folhas	Solventes clorados e metais
Fitoestimulação	Estímulo à biodegradação microbiana	Raízes	Hidrocarbonetos e fenóis
Fitoestabilização	Imobilização, contenção e incorporação à parede vegetal e ao húmus do contaminante	Raízes	Metais, fenóis e solventes clorados
Rizodegradação	Transformação do contaminante e associação com microrganismos	Raízes	Hidrocarbonetos e compostos orgânicos provenientes de petróleo

Fonte: adaptado de VASCONCELOS, PAGLIUSO e SOTOMAIOR (2012)

O entendimento destes processos e mecanismos será fundamental para o estudo da técnica no contexto proposto. Dependendo do processo utilizado pela planta, o processo poderá ser considerado viável ou não, pois é importante que o contaminante seja degradado e não apenas acumulado.

A partir do conhecimento do potencial e versatilidade da técnica de fitorremediação, observa-se que a mesma apresenta eventual capacidade para ser uma ferramenta de redução de riscos na área de acidentes com produtos químicos. Como evidenciado, este estudo de viabilidade exigirá um trabalho multidisciplinar, envolvendo Defesa Civil com outras áreas do conhecimento, buscando minimizar os riscos nos casos propostos.

CAPÍTULO 2

OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo geral avaliar e propor a técnica de fitorremediação para o tratamento de resíduo de vermiculita proveniente de absorção de produtos perigosos, verificando sua aplicabilidade na dinâmica destes acidentes, reduzindo os riscos de contaminação do ambiente, e os danos à saúde humana.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar em quais casos específicos a técnica pode ser aplicada.
- Propor espécies de plantas compatíveis com os casos selecionados.
- Avaliar a influência da vermiculita no processo.
- Propor a destinação das plantas pós recuperação do solo.

CAPÍTULO 3

METODOLOGIA

Para avaliar o uso da fitorremediação de produtos perigosos absorvidos na vermiculita, foram considerados dados coletados pela Brigada de Emergência com Produtos Perigosos do Centro de Ciências da Saúde (BPP/CCS) da Universidade Federal do Rio de Janeiro, que utiliza este mineral como adsorvente em seus protocolos de emergência com boa frequência.

Esta brigada conta com razoável número de acidentes atendidos nos últimos anos e com natureza de boa aplicabilidade no universo dos acidentes envolvendo produtos perigosos. Desta forma, os grupos de contaminantes mais comuns envolvidos em acidentes com produtos perigosos foram identificados, e estes foram definidos como objeto do estudo.

Para avaliar a viabilidade do uso da fitorremediação no caso em questão, dados da literatura e estudos na área foram confrontados com dados de relatórios de acidentes anteriores registrados pela BPP/CCS.

Procurou-se, através do método dedutivo, realizar este confronto com enfoque multidisciplinar, já que este estudo pretende introduzir uma técnica de uma área (engenharia ambiental e tratamento de resíduos) em outra (defesa civil). A partir deste momento, procurou-se identificar espécies de plantas fitorremediadoras com potencial para serem utilizadas na redução de riscos dos casos propostos.

Para a introdução do processo de fitorremediação na dinâmica das emergências com produtos perigosos, o processo foi estudado por inteiro: desde a primeira resposta até a destinação final das plantas. Por isso, após analisar criticamente o contexto dessa inovação, procurou-se propor um procedimento experimental para avaliar a viabilidade técnica e econômica da proposta, avaliando assim a técnica de fitorremediação como ferramenta viável na redução de riscos de acidentes, especialmente na etapa de reconstrução.

CAPÍTULO 4

ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

No **Capítulo 1**, o conhecimento de base para o melhor entendimento das propostas contidas neste trabalho foi apresentado. A partir da apresentação destas premissas, os **capítulos 2 e 3** apresentaram os objetivos e a metodologia, respectivamente.

Neste **Capítulo 4** será apresentado a estruturação do desenvolvimento do trabalho, que foi dividido em capítulos para facilitar o entendimento do leitor.

No **Capítulo 5**, onde a justificativa do trabalho é explicada, apresenta-se o panorama geral da fase pós-acidente envolvendo produtos perigosos e sua dinâmica, sendo apresentado também um estudo de caso ocorrido no Centro de Ciências da Saúde da UFRJ. A fitorremediação é apresentada, assim, como alternativa para a solução no tratamento de vermiculita contaminada por produtos perigosos, mostrando inclusive sua viabilidade econômica.

No **Capítulo 6**, denominado “Natureza dos Produtos Perigosos Absorvidos por Vermiculita”, foi inicialmente verificado em quais poluentes a vermiculita pode ser utilizada ou não para absorção, além de suas vantagens e desvantagens. Em seguida, a natureza dos produtos químicos mais recorrentes no histórico de acidentes atendidos pela BPP/CCS foi identificada, e um grupo

de produtos foi escolhido com objeto de estudo por apresentar melhor compatibilidade.

Em seguida, no **Capítulo 7**, foi realizada a escolha de plantas compatíveis para tratamento de vermiculita contaminada com resíduos orgânicos e espécies de plantas que apresentam bom potencial para degradar este grupo de produtos escolhido foram identificadas.

No **Capítulo 8**, foram propostos dois processos para destinação das plantas após o tratamento do resíduo gerado pelo acidente, elemento fundamental para a viabilidade do processo como um todo.

Logo após, no **Capítulo 9**, a investigação dos mecanismos de fitorremediação no processo foi detalhada. Um estudo das possibilidades que as plantas escolhidas podem utilizar para degradar os produtos, já que, conforme apresentado neste capítulo, existem diversos mecanismos para este processo ocorrer.

No **Capítulo 10** é discutido o estudo da composição do solo misturado com vermiculita contaminada. A parte prática do processo começou a ser elaborada, sendo iniciada pela composição do solo que será misturado com a vermiculita. São apresentadas as propriedades desejadas e os impactos esperados.

Em seguida, no **Capítulo 11**, um procedimento piloto para introdução da técnica é apresentado, prevendo todas as etapas do acidente, desde quando o mesmo acontece até o momento pós-acidente.

Nas conclusões, avaliando os parâmetros estudados, são apresentadas as condições ideais encontradas para o processo a partir dos objetivos propostos, sendo assim possível avaliar a viabilidade da técnica como ferramenta no pós-acidente envolvendo produtos perigosos.

CAPÍTULO 5

JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

O Grupamento Operacional com Produtos Perigosos (GOPP) do Corpo de Bombeiros Militares do Estado do Rio de Janeiro (CBMERJ) é o órgão militar responsável pelo atendimento de emergências com produtos perigosos. Porém, de acordo com a Política Nacional do Meio Ambiente, Lei Nº 6.938/81,

art. 14, § 1º, cabe ao poluidor reparar os danos causados ao meio ambiente e a terceiros, afetados por sua atividade, e para garantir esta prerrogativa o Grupamento tem o auxílio do INEA (Instituto Estadual do Ambiente). Portanto, o GOPP não tem a responsabilidade sobre o tratamento posterior do resíduo. O mesmo acontece de maneira similar em outros estados da federação.

Já em instituições civis, como as brigadas universitárias ou industriais, o mesmo órgão que atua na contenção da emergência é o responsável pelo tratamento do resíduo gerado. Em casos de universidades ou outras instituições públicas, existe dificuldade orçamentária para o tratamento de resíduos, especialmente inesperados, provenientes de acidentes. Dificilmente gestores públicos prevêm custos referentes a estes casos durante a fase de elaboração orçamentária.

Instituições privadas com grandes incidências de acidentes envolvendo produtos perigosos, especialmente indústrias e concessionárias de rodovias, também podem optar pelo processo de fitorremediação, frente a realidade constante de redução de custos nestes meios, conforme avaliado por Tavares (2009) (Tabela 2).

Tabela 2 – Custos de tratamento de resíduos

Tipo de Tratamento	Custo variável/ton (US\$)
Fitorremediação	10-35
Biorremediação	50-150
Aeração	20-200
Lavagem	80-200
Solidificação	240-340
Incineração	200-1500

Fonte: TAVARES (2009)

O processo de fitorremediação é considerado hoje dentro do ramo da Engenharia Ambiental o procedimento de recuperação ambiental de menor custo frente às outras técnicas mais tradicionais.

Desta maneira, a alternativa da integração do processo de tratamento por fitorremediação em instituições similares a Brigada de Emergência com Produtos Perigosos CCS/UFRJ pode ser um processo interessante economicamente para o tratamento dos resíduos provenientes de acidentes. A

partir deste fato, portanto, deve-se avaliar em que casos específicos a fitorremediação pode ser utilizada no tratamento destes resíduos.

Em um caso recente de acidente envolvendo produtos perigosos respondido pela BPP/CCS e relatado pela Coordenação de Biossegurança do Centro de Ciências da Saúde/UFRJ (Figura 8 e ANEXO I), ocorrido em julho de 2017, cerca de 1L de ácido clorídrico P.A. foram neutralizados com vermiculita (a identidade dos envolvidos foi preservada):

“No dia 05 de julho de 2017, aproximadamente às 10h, a Coordenação de Biossegurança recebeu uma ligação telefônica referente à um acidente envolvendo o derramamento de um frasco de 1 Litro de ácido clorídrico (HCl) no Setor (...), localizado no (...). Ao ser contactada, imediatamente, a Coordenadora de Biossegurança do CCS, notificou o ocorrido à Brigada voluntária de Produtos Perigosos e se dirigiu ao local. Devidamente paramentada com os Equipamentos de Proteção Individual (EPI) necessários, a Coordenadora utilizando um dos kits de contingência da Biossegurança e vermiculita, realizou a contenção primária do ácido derramado. (...)”



Figura 8 – Brigadistas neutralizando acidente com produto perigoso utilizando vermiculita com posterior armazenamento em bombona

Fonte: Coordenação de Biossegurança do Centro de Ciências da Saúde/UFRJ

Porém, no final do relatório do acidente pôde ser evidenciado a falta de opções para a destinação da vermiculita contaminada após o acidente:

“Por fim, ressalta-se que a Coordenadora de Biossegurança orientou os responsáveis do setor que a bombona de contingência com o produto químico recolhido deve ser armazenada em local adequado até a próxima Operação de Descarte de Resíduos Químicos do CCS (**sem data definida até o momento**). Caso o setor opte por não esperar, o descarte do resíduo químico deverá ser feito por meios próprios, por empresa adequada e devidamente capacitada e o

Certificado de destinação Final deve ser enviado à Biossegurança, para fins de comprovação e arquivamento. ”

Pode-se observar neste recente relato que este centro universitário conta com protocolos eficientes para a resposta de acidentes com produtos perigosos, mas não há um procedimento específico para sua destinação final. Os procedimentos para descarte existentes prevêm apenas resíduos ordinários. Já os resíduos não esperados, como os da natureza estudados neste trabalho, os protocolos são deficitários ou não estão cobertos na previsão orçamentária.

Sendo a universidade um ambiente de pesquisa e com pessoal capacitado, a técnica de fitorremediação poderia ser utilizada em alguns casos e servir como alternativa a determinados tipos de contaminantes. As vantagens apresentadas pela fitorremediação neste caso seriam:

- Não necessidade de armazenar a bombona contendo vermiculita contaminada por tempo indeterminado.
- O tratamento poderá ser feito imediatamente.
- Menor custo.
- Independe de realização de licitação e contratação de empresa.

Estas vantagens podem oferecer maior agilidade ao processo, pois o baixo custo da técnica a viabiliza frente às soluções custosas e que necessitam de tempo. Um processo licitatório pode demandar meses ou anos.

Por fim, analisando o risco envolvido na etapa de “reconstrução” deste tipo acidente - a necessidade de estocar material perigoso inesperadamente - atrelada ao problema de falta de espaço adequado no ambiente laboral, gera um problema de potencial elevado e deve ser minimizado o quanto possível. O ágil tratamento deste resíduo perigoso contribuirá para a redução destes riscos.

CAPÍTULO 6

NATUREZA DOS PRODUTOS PERIGOSOS ABSORVIDOS POR VERMICULITA

De acordo com o *Manual Básico de Operação com Produtos Perigosos do CBMERJ* (2003), a vermiculita apresenta suas propriedades como absorvedor descritas na tabela 3:

Tabela 3 – Propriedades da vermiculita como absorvedor de produtos perigosos

Poluentes absorvidos	Poluentes não absorvidos	Vantagens gerais	Desvantagens Gerais
Orgânicos em geral/Produtos à base de petróleo	Químicos Voláteis	Baixo preço	Peso elevado
Ácidos fortes		Boa disponibilidade	Impossibilidade de incineração, acarretando numa disposição final mais cara
Bases fortes		Versátil	

Fonte: adaptado do *Manual Básico de Operação com Produtos Perigosos do CBMERJ*

Fica evidenciado a grande versatilidade da vermiculita, além de boa disponibilidade e baixo preço possibilitarem qualquer organização de utilizá-la. Exclui-se, porém, a possibilidade de uso de químicos voláteis no processo avaliado.

Na Tabela 4 estão listados casos de acidentes com produtos perigosos registrados pela Brigada de Emergência com Produtos Perigosos do Centro de Ciências da Saúde da UFRJ, nos quais a vermiculita foi utilizada. Os dados são de 2014 até 2018.

Tabela 4 – Registros anteriores de acidentes com produtos perigosos absorvidos com vermiculita

Nº do acidente	Produtos Absorvidos	Natureza dos Produtos
1	Fenol	Orgânico
2	Formol	Orgânico
3	Ácido clorídrico	Ácido forte
4	Etanol, ácido acético e fenol	Orgânicos e ácido fraco
5	Formol	Orgânico
6	Ácido fórmico	Ácido orgânico
7	Formol	Orgânico
8	Hidróxido de amônio	Base fraca
9	Formol	Orgânico
10	Formol	Orgânico
11	Ácido nítrico	Ácido forte
12	Metanol	Orgânico
13	β -Mercaptoetanol	Orgânico
14	Formaldeído	Orgânico

Fonte: Brigada de Emergência com Produtos Perigosos do Centro de Ciências da Saúde/UFRJ (2014-2018)

A partir destes registros, pode-se afirmar que há predominância de casos de acidentes com produtos orgânicos no CCS/UFRJ. Assim, este estudo utilizará como escopo o tratamento de resíduos desta natureza específica, excluindo assim tratamento de ácidos, bases e metais.

Este padrão é favorável para a técnica de fitorremediação, pois é compatível com os mecanismos introduzidos pela Tabela 1. Portanto, esta técnica poderá ser efetiva com hidrocarbonetos, fenóis, solventes clorados e orgânicos provenientes de petróleo, padrão compatível com cerca de 80% dos acidentes registrados pela Brigada de Emergência com Produtos Perigosos do CCS/UFRJ desde 2014.

Outro dado interessante é que os acidentes químicos representam 25% das emergências desta brigada, sendo a grande maioria tratados com vermiculita (Figura 9).

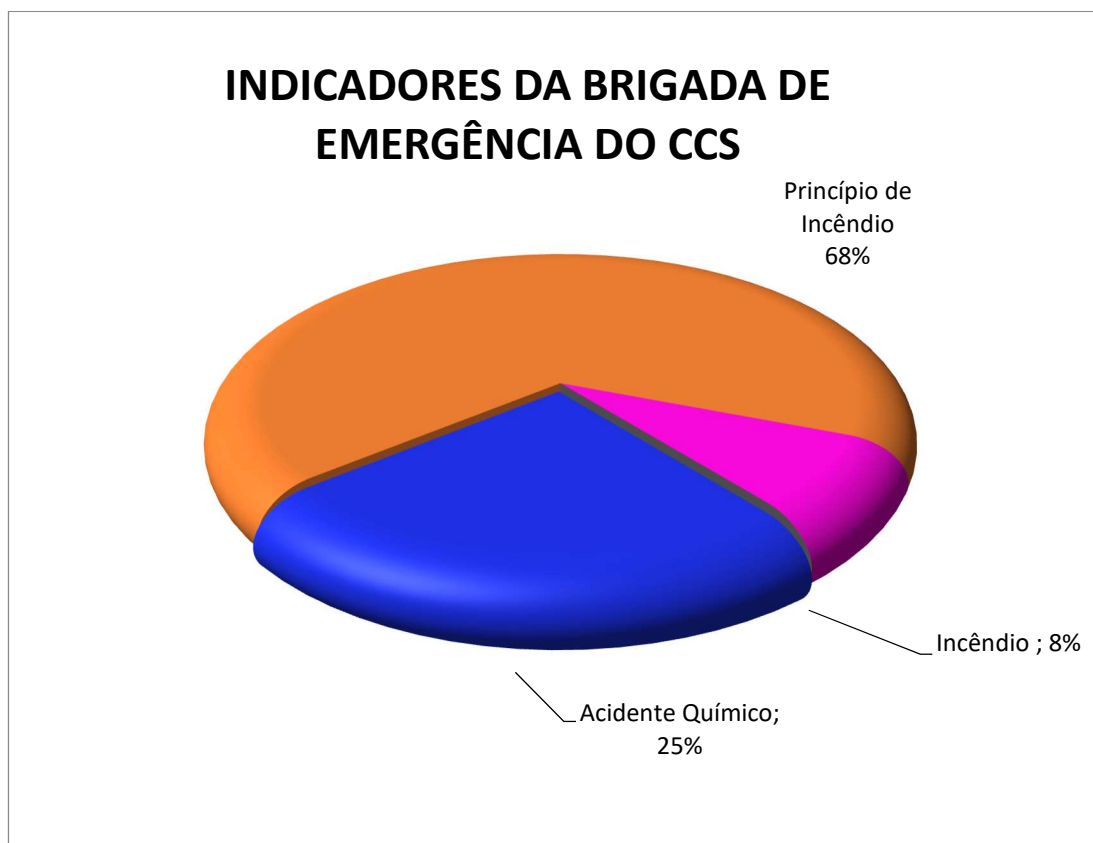


Figura 9 – Indicadores da Brigada de Emergência do CCS (2014-2018)
Fonte: Relatório de Gestão - Brigada de Emergência do CCS/UFRJ

CAPÍTULO 7

ESCOLHA DE PLANTAS COMPATÍVEIS PARA TRATAMENTO DE VERMICULITA CONTAMINADA COM RESÍDUOS ORGÂNICOS

A maioria das espécies de plantas são capazes de absorver, sequestrar e/ou degradar algum tipo de contaminante, mesmo que em escalas bastante reduzidas, restaurando o ambiente de forma física e quimicamente (CUNNINGHAM e OW, 1996).

Porém, para cada tipo de contaminante, determinadas espécies apresentam capacidade de degradação em escalas bastante interessantes, o suficiente para descontaminar solos em níveis considerados seguros. Esta seletividade, que pode ser natural ou ainda desenvolvida biotecnologicamente, deve ser avaliada com cuidado durante o processo, incluindo a investigação de qual mecanismo a planta utilizará.

Dentro deste contexto, dependendo do mecanismo, o contaminante orgânico alvo poderá ser translocado para outros tecidos da planta, como

raízes ou folhas. Neste processo, o mesmo pode sofrer degradação parcial ou completa ou ainda ser transformado em um composto menos tóxico. Posteriormente, em se tratando do mecanismo de fitovolatilização, poderá ainda ser volatilizado em gases menos tóxicos ou atóxicos. Além disso, poderá ocorrer também mineralização em virtude da atividade microbiana e de fungos na rizosfera (CUNNINGHAM e OW, 1996, DARDANELLI *et al.*, 2011, CHEN *et al.*, 2013).

A biodiversidade das plantas permite um amplo leque de ação sobre uma grande variedade de contaminantes, que pode ser processada por diversos mecanismos, como acima apresentados. O sistema é dimensionado de acordo com as condições encontradas, tais como: área disponível, grau de contaminação, fonte de poluição, dentre outras.

As plantas diferem entre si quanto à capacidade de absorção de nutrientes dos solos, que por sua vez, diferem entre si na disponibilização de nutrientes para as plantas. Os microrganismos presentes no solo também fazem parte da dinâmica de degradação do poluente. Estes microrganismos juntamente com as plantas promovem a extração ou correção natural do contaminante (SICILIANO *et al.* 2003).

As propriedades do solo influenciam diretamente o processo de fitorremediação determinando a disponibilidade de água, ar e nutrientes, fatores que podem inibir ou estimular o crescimento e desenvolvimento das plantas e microrganismos responsáveis pela degradação do contaminante. Além dos parâmetros minerais, a macrofauna e os microrganismos também farão parte da interação da biodiversidade com seus componentes físico-químicos (ROSA, 2006).

A vermiculita, mineral absorvente utilizado neste estudo, por sua vez, causa um bom impacto na qualidade do solo melhorando aeração do solo e facilitando a germinação de sementes. O mineral aumenta sua macroporosidade do mesmo, proporcionando melhores médias de crescimento morfológico em diversos estudos. Além disso, sua propriedade de retenção de água age sobre a água do solo, melhorando sua disponibilidade. Este fator pode ser um bom indicativo para o uso de vermiculita justamente na fitorremediação, pois pode ser um facilitador para o processo de interação entre as raízes, o solo e os microrganismos. A atuação microbiana transforma

as substâncias químicas persistentes nos solos, sejam elas os próprios contaminantes, favorecendo sua captura pelas plantas, ou atuando sobre os produtos já metabolizados como resultado da remediação (FREITAS *et al.* 1980; CUNNINGHAM e OW, 1996; MARTINS, BOVI e SPIERING, 2009; GUEDES *et al.* 2011; MARTINS *et al.* 2012; BRADY e WEIL, 2013, DELAMERNINA, 2014).

Chang e Corapcioglu (1998) descreveram como as plantas conseguem reparar os locais contaminados por resíduos tóxicos e esses processos incluiriam: modificação das propriedades físicas e químicas do contaminante no solo e liberação de exsudatos pelas raízes. Esse segundo mecanismo pode levar a uma série de alterações do solo próxima às raízes, como aumento da matéria orgânica, da aeração e da porosidade.

Diante das variantes apresentadas sobre a grande variedade de escolha dentro da técnica de fitorremediação, Vasconcelos, Pagliuso e Sotomaior (2012) acrescentam que uma boa escolha para planta fitorremediadora deve atender também os seguintes requisitos gerais:

- Crescer na presença do contaminante.
- Sobreviver sem a diminuição da sua taxa de crescimento, apesar da capturado contaminante e seu acúmulo.
- Apresentar capacidade de acumulação diversificada (compatibilidade com vários contaminantes).

Com estas premissas bem estabelecidas, o próximo passo do planejamento da técnica de fitorremediação nesta condição específica consiste em definir as melhores espécies de plantas para os contaminantes em estudo (hidrocarbonetos, fenóis, solventes clorados e orgânicos provenientes de petróleo).

Lima (2010) investigou em sua tese de doutorado o potencial fitorremediador da mamona (*Ricinus communis* L) e girassol (*Helianthus annuus* L) quanto a concentrações de tolueno presentes em solo contaminado por um pólo petroquímico. Através do mecanismo de fitodegradação, onde o contaminante orgânico é degradado ou mineralizado dentro das células

vegetais por enzimas específicas, os resultados foram positivos. Nas amostras contaminadas com tolueno, a remoção do Carbono Orgânico Total (COT), foram na ordem de 78% e 98%, para sistemas com girassol e mamona, respectivamente. No confronto direto as mamonas foram mais eficientes na remoção de carbono e na consequente degradação do tolueno. O estudo também indicou haver relação direta dos valores de remoção com o crescimento de ambas as espécies de plantas.

Hentschel e Azzolini (2004) avaliaram o cultivo controlado de mamona com solos contendo diferentes teores de rejeitos de carvão. Foram realizadas medidas morfológicas mensais: altura, número de entrenós, comprimento foliar e assimetria foliar, uma vez que fatores de estresse causam deformações. Em seu estudo, o cultivo com maior teor de rejeito de carvão apresentou maior altura, comprimento foliar, massa fresca e seca e menor assimetria foliar. Rosenfield e Azzolini (2005) realizaram estudos de continuação utilizando também rejeito com carvão e mamona, e apresentaram resultados similares.

Já Pereira *et al.* (2014) compararam o crescimento da mamona e do girassol em cultivo controlado com solo contendo poluentes orgânicos domésticos em um cultivo controlado, comparando somente o crescimento das plantas na presença do poluente. O estudo apresentou inconsistência de dados quantitativos devido às diferentes doses de nitrogênio oriundas de compostos de lixo urbano, que influenciaram significativamente as variáveis analisadas em seu trabalho. Porém, as amostras que continham o poluente apresentaram melhores resultados de crescimento frente ao grupo controle.

Rissato *et al.* (2015) realizaram análises em cultivo controlado de mamona como espécie fitorremediadora de solos contaminados com quinze tipos de pesticidas organoclorados, obtendo resultados de recuperação que variaram entre 25% e 70%. Os pontos positivos desta pesquisa enfatizam a capacidade da mamona sequestrar o carbono e sua possibilidade de uso como biocombustível.

HUANG *et al.* (2011) concluem em seu estudo que a mamona pode ser considerada como uma espécie acumuladora de DDT (diclorodifeniltricloroetano), um poluente orgânico clorado, porém não propõe a destinação final das plantas utilizadas no processo.

Baseado em seu estudo, Moraes, Teixeira, Maximiano (2014), afirmam que a aplicação de técnicas fitorremediadoras para substâncias orgânicas tem merecido atenção pelo potencial de aplicação em solos contaminados com organoclorados. Os autores concluíram classificando sua aplicação tecnológica como promissora, especialmente por ser de baixo custo comparativamente a outras técnicas, pela efetividade de remoção de contaminantes de moléculas complexas e por promover a recuperação ambiental efetiva.

Desta forma, pode-se considerar que a versatilidade e o potencial de biodegradação da mamona e do girassol as credenciam para um ótimo campo de estudo. Estas espécies apresentam resistência e potencial de degradar ou acumular contaminantes de vermiculita provenientes de acidentes de produtos perigosos propostos neste trabalho.

Os estudos apresentados mostram que tanto o girassol quanto a mamona apresentam melhores resultados de crescimento quando expostas a situações de poluição. Além disso, são plantas perfeitamente compatíveis e adaptadas ao clima nacional (tropical e subtropical). Outras plantas avaliadas não apresentaram versatilidade e resistência frente aos contaminantes num nível desejado.

A mamoneira (*Ricinus communis* L.) (Figura 10) é uma planta oleaginosa pertencente à família das Euforbiáceas, sendo a Índia, a China e o Brasil os maiores produtores mundiais, respectivamente (EMBRAPA, 2017).



Figura 10 – A mamoneira
Fonte: <http://www.blogdoanderson.com>

A mamoneira tem no seu óleo o seu principal ativo. O ácido graxo ricinoleico ($C_{18}H_{34}O_3$) representa 90% da composição do seu óleo. Sua hidroxila (OH^-) confere propriedades como alta viscosidade, estabilidade física e química e solubilidade em álcool à baixa temperatura. Este óleo característico tem diversas aplicações industriais, como a fabricação de graxas e lubrificantes, tintas, vernizes, cosméticos, produtos alimentares, espumas e materiais plásticos para diversos fins (EMBRAPA, 2017). Sua boa adaptação ao cultivo na região semiárida do país, sendo a única oleaginosa bem-sucedida nesta tarefa, fez com que a mamoneira fosse eleita como a principal matéria prima para fabricação de biodiesel no Brasil, possibilitando a inclusão social de inúmeros de pequenos produtores que estavam sem opções agrícolas rentáveis na região (EMBRAPA, 2017).

O girassol (Figura 11) é uma cultura bastante versátil e resistente, apresentando ampla capacidade de adaptação às diversas condições de latitude, longitude e fotoperíodo.



Figura 11 – O cultivo ornamental do girassol
Fonte: <http://casaconstrucao.org/paisagismo>

Sua resistência a torna uma opção bastante viável para diversos fins, pois apresenta fatores com maior tolerância à seca, menor incidência de pragas e de doenças, além de promover a ciclagem de nutrientes, principalmente potássio. Apresentando alto teor de ácidos graxos insaturados, seu óleo também pode ser aproveitado industrialmente, inclusive para a produção de biodiesel (SILVA, 2005; EMBRAPA, 2017).

O girassol é uma cultura de ciclo curto (de 90 a 110 dias). Já a mamona uma planta de mais fácil adaptação, porém seu ciclo médio de cultura é de 250 dias, mais do que o dobro do ciclo do girassol (PESAGRO-RIO, 2008).

Espera-se, através de resultados apresentados pela bibliografia, que o processo de fitorremediação destes contaminantes pela mamona e girassol possam ser também reprodutíveis dentro da realidade de resíduos provenientes de produtos perigosos. Há a possibilidade da vermiculita contribuir positivamente na qualidade do solo através da aeração, proporcionando também melhor interação dinâmica entre as raízes das plantas e os microrganismos ali presentes.

Estas espécies também são compatíveis com os procedimentos de acidentes envolvendo produtos perigosos, pois podem ser cultivadas em pequena escala. Este cultivo controlado de pequena escala poderá ser realizado em canteiros isolados, sem contato com o restante do solo ou lençol freático, evitando novas contaminações durante o processo.

O cultivo, monitoramento e estudo da mamona e do girassol são perfeitamente viáveis dentro do ambiente universitário ou industrial, justamente locais de desenvolvimento tecnológico.

Além disso, esta possibilidade estaria em alinhamento com o inciso XI do Art. 6º da PNPDEC (Lei 12.6028) que preconiza incentivar a instalação de centros universitários de ensino e pesquisa sobre desastres e de núcleos multidisciplinares de ensino permanente e à distância, destinados à pesquisa, extensão e capacitação de recursos humanos, com vistas no gerenciamento e na execução de atividades de proteção e defesa civil.

CAPÍTULO 8

DESTINAÇÃO FINAL DAS PLANTAS APÓS O TRATAMENTO

Uma das principais preocupações de grupos de pesquisadores interessados na fitorremediação diz respeito à destinação final das plantas após o término do processo de tratamento do resíduo (USEPA, 2005).

Tanto a mamona quanto o girassol apresentam boas alternativas e oportunidades neste sentido. Por se tratarem de duas oleaginosas, estas podem ser utilizadas posteriormente para a produção de biodiesel. O processo foi desenvolvido pela Petrobras/Cenpes e pode utilizar sementes de oleaginosas para fabricação de biodiesel, incluindo o girassol e a mamona. (FREITAS, 2009; LIMA, 2010; ANDREAZZA e CAMARGO, 2011).

A rota de produção de biodiesel mais utilizada em todo o mundo é a transesterificação. Nesta reação, mistura-se o óleo a um álcool e um catalisador, gerando dois produtos: o biodiesel e a glicerina (matéria prima para a indústria farmacêutica e de cosméticos). Para cada 100 litros de biodiesel, são produzidos 15 litros de glicerina (EMBRAPA, 2017).

A produção do biodiesel pode reduzir em até 90% as emissões de fumaça, além de praticamente eliminar as emissões de óxido de enxofre. Em um comparativo com o óleo diesel derivado de petróleo, o biodiesel pode reduzir em até 78% as emissões de gás carbônico. Outro ponto positivo é que o biodiesel pode ser usado em qualquer veículo a diesel, com pouca ou nenhuma necessidade de adaptação (HOLANDA, 2004).

Gama, Gil e Lachter (2010) e Baptista (2015) descreveram rotas de sucesso na produção de biodiesel a partir de sementes de girassol. Silva (2016) e Lopes *et al.* (2016) obtiveram resultados semelhantes com a mamona.

Portanto, ao menos para fins de pesquisa e desenvolvimento, as sementes poderão ser transformadas em biodiesel em escala laboratorial (Figura 12). Caso este procedimento seja feito, ajudará a entender as limitações da produção de biodiesel a partir de plantas provenientes de fitorremediação. Respostas a questões como grau de pureza e presença ou não de contaminantes durante processo poderão ser úteis para pesquisas que exploram a alternativa de transformação em biodiesel para plantas pós período de tratamento como espécies fitorremediadoras.



Figura 12 – Obtenção laboratorial de biodiesel a partir da mamona
Fonte: SILVA (2016)

Já Alves, Santos e Torres (2005) propõem a criação de uma planta piloto em escala semi-industrial para produção do biodiesel de mamona na Universidade Federal da Bahia (Figura 13).



Figura 13 – Planta Piloto de Produção de Biodiesel da Universidade Federal da Bahia
Fonte: ALVES, SANTOS e TORRES (2005)

Portanto, a utilização das sementes da mamona e do girassol, provenientes do processo de fitorremediação com vermiculita contaminada com produto perigoso de acidentes em biodiesel, pode ser uma possibilidade viável para o de tratamento parte deste resíduo.

Esta situação pode ser considerada um interessante cenário de resiliência dentro de procedimentos envolvendo acidentes com produtos perigosos, pois estará transformando um acidente, que é um cenário trágico, em energia.

Todavia, para a implementação desta etapa em procedimentos reais ainda são necessárias diversas avaliações quanto sua viabilidade, especialmente por se tratar de resíduo proveniente de produtos perigosos. Ademais, apenas as sementes destas plantas oferecem o óleo para a produção do biodiesel, necessitando apresentar outras alternativas para a completa destinação destas plantas.

Além disso, sua eficiência energética também deve ser avaliada. Ainda assim, é um campo promissor para pesquisa. Caso seja concluído que a transformação destas plantas em biodiesel é viável e segura, este procedimento poderá começar a ser testado em brigadas, como por exemplo, a BPP/CCS.

No caso do girassol, além da produção de biodiesel, a alternativa é a ornamentação. Por sua beleza, esta espécie pode ser utilizada para decorar ambientes externos. Baseado em sua exuberância de forma e cor, o girassol ornamental é uma flor de corte com grande aceitação no mercado. Apresenta grande potencial como flor de corte, principalmente pela sua inflorescência ser atrativa e procurada para diversos tipos de ornamentações (BUDAG e SILVA, 2000; ANEFALOS e GUILHOTO, 2003).

Contudo, ambientes fechados devem ser evitados, uma vez que uma das etapas da fitorremediação é a fitovolatilização, que tem o potencial de contaminar ambientes não ventilados.

Caso as alternativas propostas acima não apresentem viabilidade, outros caminhos ainda poderão ser trilhados. Segundo Marques, Aguiar e Silva (2011), outras opções pós-colheita de destino seguro à biomassa gerada a partir desta fitorremediação, são:

(a) disposição dos resíduos vegetais contaminados em aterros sanitários.

(b) compostagem, para degradar resíduos xenobióticos e reduzir o volume final a ser disposto.

(c) incineração da biomassa, para destruir compostos orgânicos e reduzir o volume a ser disposto.

(d) produção de fibra, papel, produtos de madeira, madeira, matérias-primas industriais (por exemplo, resinas), matérias-primas para fabricar diversos produtos.

Marques, Aguiar e Silva (2011).

Contudo, estas alternativas não satisfazem por completo todos os parâmetros desejados. Além disso, a alternativa (c) esbarra na impossibilidade de incineração da vermiculita. Porém, em último caso, segundo a USEPA (2001), pode-se assumir uma abordagem multiprocesso. Neste cenário, a fitorremediação atua como mitigadora da concentração inicial de contaminante no processo, para que cause menos impacto no processo seguinte, reduzindo a periculosidade dos resíduos perigosos, conforme disposto na PNRS. Obviamente, para cada caso escolhido, um estudo deve ser feito para garantir a segurança e eficiência do procedimento.

As opções apresentadas neste estudo podem ser consideradas socialmente bem aceitas. Este fator é positivo para a redução de riscos através da melhoria na cultura de segurança do local, pois acarretará em maior engajamento da comunidade com os projetos da área. Desta forma, por exemplo, o número de voluntários interessados em compor brigadas de emergência poderá aumentar, agregando na segurança da organização.

CAPÍTULO 9

INVESTIGAÇÃO DOS MECANISMOS DE FITORREMEDIAÇÃO NO PROCESSO PROPOSTO

Este estudo utilizará a mamona e o girassol como espécies escolhidas para a fitorremediação de produtos perigosos compreendendo hidrocarbonetos, fenóis, solventes clorados e orgânicos provenientes de petróleo advindos de

emergências. Assim, esperam-se diferentes mecanismos de fitorremediação para os diferentes tipos de contaminantes, pois a planta poderá utilizar mais de um tipo de mecanismo dependendo do contaminante (Tabela 5).

Tabela 5 – Mecanismos de degradação esperados para cada tipo de contaminante em estudo

Contaminante	Espécies fitorremediadoras	Mecanismos de fitorremediação esperados
Hidrocarbonetos	Mamona (<i>Ricinus communis</i> L) e Girassol (<i>Helianthus annuus</i> L)	Fitoextração, fitodegradação, fitoestimulação e rizodegradação
Fenóis		Fitoestimulação e fitoestabilização
Orgânicos clorados		Fitodegradação, fitovolatilização e fitoestabilização
Orgânicos provenientes de petróleo		Rizodegradação

Fonte: adaptado de VASCONCELOS, PAGLIUSO e SOTOMAIOR (2012)

Destarte, há boa perspectiva da degradação ocorrer da mesma maneira na dinâmica envolvendo vermiculita contaminada, e estes fatores poderão ser verificados em futuras análises, já que é possível determinar em qual parte do vegetal o contaminante irá se depositar durante a degradação.

Sabe-se que a fitoextração acontece nas raízes e partes aéreas; a fitodegradação em raízes e células dos tecidos; a fitovolatilização ocorre nas raízes e nas folhas. Já a fitoestimulação, fitoestabilização e rizodegradação ocorrem somente nas raízes (Figura 14).



Figura 14 - Mecanismos de fitorremediação

Fonte: <http://estagiositiosdosherdeiros.blogspot.com/>

Através deste conhecimento, algumas hipóteses de mecanismos de fitodegradação poderão ser investigadas posteriormente em fases de testes, já que é possível, através de técnicas de extração e cromatografia, detectar os contaminantes em partes específicas das plantas (VECHIA *et al.* 2016).

As análises poderão responder se o contaminante está sendo acumulado, modificado, mineralizado ou volatilizado. Estas variáveis serão fundamentais para a avaliação da viabilidade do processo, uma vez que uma simples acumulação não traz grandes resultados na remoção efetiva do contaminante na vermiculita, apenas transportando os riscos entre matrizes, ou até tornando-o maior.

A extração destes produtos nas partes específicas das plantas pode ser realizada com a utilização de solventes, retirando de forma seletiva e completa substâncias ou frações desejadas contidas em um material vegetal (PINTO, 2006).

A partir desta extração seletiva pode-se obter amostras representativas para uma posterior análise cromatográfica, que poderá indicar a quantidade de contaminante presente em cada parte da planta, e assim correlacioná-los com seus respectivos locais onde o mecanismo ocorre no corpo da planta.

Posteriormente, a cromatografia será um método importante para estas análises. O método cromatográfico permite o fracionamento de misturas a partir de um componente único através de colunas com atração seletiva às moléculas estudadas, permitindo análises quantitativas e qualitativas de seus componentes (MATOS, 1998).

CAPÍTULO 10

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DO SOLO MISTURADO COM VERMICULITA CONTAMINADA

A fitorremediação apresenta certas limitações. Uma delas é referente ao clima e as estações do ano, que podem inviabilizar o crescimento da planta no processo. O tipo de solo pode causar impacto na interação entre as raízes e o contaminante. A concentração do contaminante também pode interferir, já que se for bastante elevada poderá dificultar o plantio e o crescimento. Por fim,

deve-se considerar a profundidade ideal de atuação de cada espécie, pois o contaminante deve estar no raio possível alcançado por elas. Estas limitações podem acarretar num crescimento lento, aumentando o tempo necessário para o processo de descontaminação. Outra dificuldade nesta área de pesquisa é a necessidade de uma equipe multidisciplinar para a execução dos processos (CUNNINGHAM e OW, 1996).

Os estudos apresentados comprovam que as espécies escolhidas não sofrem interferência negativa do contaminante no crescimento da planta. Já as questões relacionadas ao clima, à estação do ano, à concentração e profundidade do contaminante no solo poderão ser planejadas da melhor maneira possível no processo, já que o mesmo será realizado em ambiente controlado e o substrato (solo a ser tratado) poderá ser manipulado.

Estudos diversificados estudaram solos com adição de vermiculita para outros fins científicos. Em geral, os pesquisadores optaram em suas metodologias em compor de 20 a 50% de vermiculita na mistura do solo. (FREITAS, 1980; DELAMERMINA *et al.*, 2014; BORGES *et al.*, 2016). Porém, buscando melhor eficiência e menor interferência neste estudo, propõe-se que porcentagem de utilização da vermiculita no solo a ser preparado seja em menor grau, tendendo para a faixa de 20 a 30%.

É importante levar em consideração algumas características importantes na composição do solo do processo proposto. A mamona e o girassol são sensíveis à acidez (pH desejado entre 5,2 e 6,4) e salinidade do solo e exigente em nutrientes, sendo necessária a correção do solo e uso de algum tipo de fertilizante. Além disso, é preciso evitar as possíveis deficiências de oxigênio neste solo (CASTRO, CASTIGLIONI e BALLA, 1997 e BELTRÃO *et al.*, 2006). Desta maneira, um solo com estas especificações gerais poderá ser misturado com 20 a 30% de vermiculita contaminada e gerar resultados positivos que possibilitarão o bom desenvolvimento das espécies.

É importante salientar e levar em consideração a drenagem do solo e a percolação dos contaminantes. Por conta destes fatores, todo o procedimento de fitorremediação neste caso terá que ser feito em canteiros isolados do solo natural e lençol freático. Se for realizada a drenagem da água neste canteiro, a mesma deverá ser coletada e reutilizada no mesmo sistema através de um

simples sistema de coleta por canos, evitando carrear os contaminantes para outra localidade, apenas transferindo o problema sem resolvê-lo.

CAPÍTULO 11

PROCEDIMENTO PILOTO PROPOSTO

O procedimento proposto poderá ser utilizado por brigadas civis de primeira resposta a acidentes com produtos perigosos onde a vermiculita for utilizada como absorção dos contaminantes alvos deste estudo: **hidrocarbonetos, fenóis, solventes clorados e orgânicos provenientes de petróleo**. Em acidentes envolvendo produtos perigosos de outra natureza, que sejam compatíveis com a absorção com vermiculita (ácidos e bases fortes) ou não (químicos voláteis), este procedimento não poderá ser aplicado.

Como a introdução da técnica de fitorremediação na dinâmica de tratamento de resíduos desta natureza se trata de desenvolvimento tecnológico, propõe-se duas fases: experimental e operacional. Durante a **fase experimental** (que poderá ser desenvolvida em teses e dissertações futuras, por exemplo), haverá cuidados e custos extras relativos às investigações propostas nos capítulos anteriores:

- Investigação a eficiência dos mecanismos de fitorremediação utilizando técnicas de extração e cromatografia.
- Estudo do solo, desde sua composição ideal até a determinação da porcentagem de recuperação do mesmo após o processo de fitorremediação.
- Análise da viabilidade das alternativas de destinação final propostas para as plantas.
- Garantir a coordenação entre o procedimento operacional das brigadas e este novo tratamento, diminuindo eventuais problemas de logística ou proteção ao trabalhador.

Durante esta fase, o canteiro de vegetação deverá ser construído. O mesmo deverá ser disposto em área controlada com acesso restrito. Além

disso, é de suma importância observar que o mesmo não tenha contato com o restante do solo, aconselhadamente construído por alvenaria.

Após a investigação destes parâmetros, caso seja possível consolidar um procedimento padrão, seguro e versátil, este poderá ser implementado como **fase operacional**. Naturalmente, esta fase posterior não necessitará dos cuidados e custos extras de investigação. A Figura 15 apresenta o fluxograma proposto para a fase experimental.

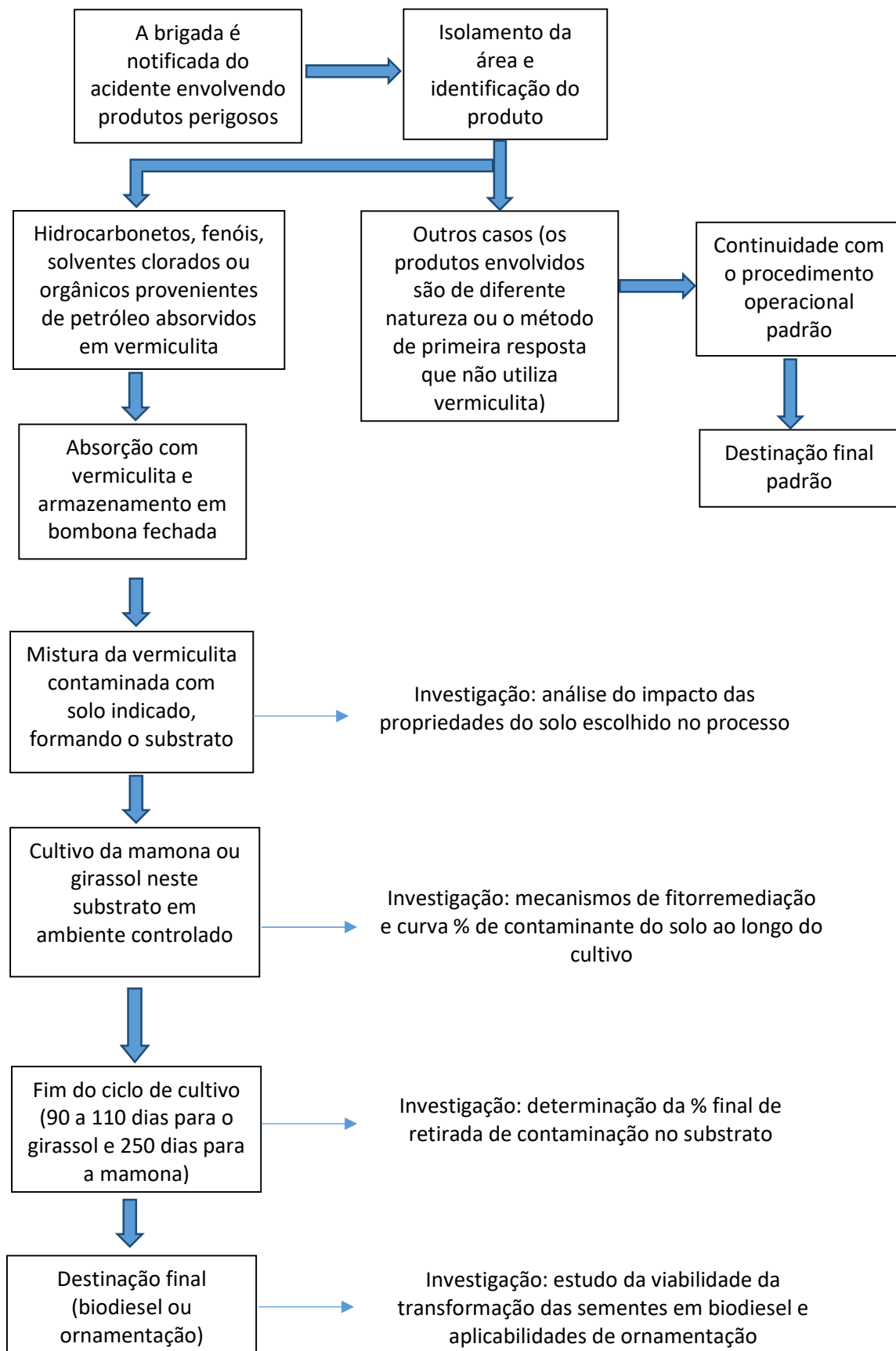


Figura 15 – Fase experimental para a introdução da técnica de fitorremediação com produtos perigosos

Evidentemente, um substrato com vermiculita contaminada pode ser preparado experimentalmente, sem a necessidade de aguardar um acidente real. Este procedimento experimental pode ser adaptado neste sentido e seus resultados poderão ser significativos para o desenvolvimento desta pesquisa.

Porém, é importante que o procedimento seja experimentado em situações reais, com o objetivo de atender a premissa de garantir a coordenação entre o procedimento experimental com as dificuldades imprevisíveis da realidade, diminuindo eventuais problemas de logística ou proteção ao trabalhador.

Numa fase seguinte, com as investigações concluídas, caso seja avaliado que o processo é viável tecnicamente e economicamente, o procedimento operacional poderá ser implementado, dirimindo os custos as etapas referentes às investigações fundamentais, adicionadas a modificações necessárias propostas pela experiência adquiridas pelas mesmas.

CONCLUSÕES

O tratamento de resíduos provenientes de emergências com substâncias químicas utilizando a técnica de fitorremediação pode ser considerado promissor. A mamona e o girassol se destacam como espécies de grande potencial para o processo, apresentando bons resultados quanto à resistência aos poluentes, desenvolvimento em sua presença e capacidade de degradação desses compostos.

Estas espécies são compatíveis com o tratamento dos contaminantes de maior incidência entre os casos de acidentes com produtos perigosos, na sua maioria substâncias orgânicas diversas, como hidrocarbonetos, fenóis, orgânicos clorados e orgânicos provenientes de petróleo.

Além disso, as alternativas de destinação final das plantas após o tratamento mostraram-se satisfatórias. A produção de biodiesel da mamona e girassol pode vir a ser um grande caso de resiliência ambiental frente ao desastre, enquanto que no caso do girassol, outra boa alternativa será seu uso para ornamentação externa. Caso estas alternativas não satisfaçam por completo todos os parâmetros desejados na prática, pode-se assumir ao menos como uma abordagem multiprocesso, mitigando a concentração inicial

de contaminante, reduzindo a periculosidade dos resíduos perigosos. Além disso, por se tratarem de alternativas socialmente bem aceitas, ajudará a reduzir riscos de maneira indireta.

A presença da vermiculita no processo, ao ser misturada em solo controlado, não mostrou impactos negativos. Pelo contrário, demonstrou potencial sinergia com o processo, uma vez que propicia melhor aeração do solo, melhorando a interação entre os microrganismos degradadores presentes nas raízes das plantas.

Conclui-se, portanto, que a estratégia de fitorremediação, uma vez avaliada adequadamente, pode ser implantada em organizações públicas ou privadas onde substâncias químicas perigosas são utilizadas no dia-a-dia. A introdução desta técnica na ação de recuperação do acidente/desastre envolvendo estas substâncias pode ser vista como uma ferramenta/alternativa de apoio à Defesa Civil e às boas práticas de gestão de resíduos, minimizando riscos a um custo menor.

Além disto, estudos experimentais usando mamona e girassol e outras plantas para degradar os contaminantes mais comumente usados poderão não somente melhorar os protocolos para lidar com emergências, mas também fomentar estudos e pesquisas multidisciplinares envolvendo defesa civil, redução de risco e minimização de desastres.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDREAZZA, R.; CAMARGO, F. A. O.; *Fitorremediação de áreas contaminadas com cobre utilizando plantas de mamona*. 7º Salão de Ensino UFRGS, Porto Alegre, 3-7 out, 2011.

ANDRADE, J. C. M.; TAVARES, S. R.; MAHLER, C. F. *Fitorremediação: O uso de plantas na melhoria da qualidade ambiental*. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 176p.

ANEFALOS, L. C.; GUILHOTO, J. J. M. *Estrutura do mercado brasileiro de flores e plantas ornamentais*. Agricultura em São Paulo, v.50, n.2, p.41-63, 2003.

ALVES, C. T.; SANTOS, D. C.; TORRES, E. A.; *Produção do biodiesel de mamona em escala semi-industrial na planta piloto da Universidade Federal da Bahia*, 2º Congresso Brasileiro de Mamona, Aracaju, 2005.

BAPTISTA, B. C. S.: *Transesterificação etílica de óleo de girassol*. Trabalho de Conclusão de Curso de Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Pato Branco, 2015.

BELTRÃO, N. E. de M.; CARTAXO, W. V.; PEREIRA, S. R. de P.; SOARES, J.J.; SILVA, O. R. RIBEIRO F. *O Cultivo Sustentável da Mamona no Semi-Árido Brasileiro*. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2006. 22 p.

BISSACOT, T.C.C.; OLIVEIRA, S. M.A.C. *Instrumento para o gerenciamento de riscos ambientais*. EngSanitAmbient, v.21 n.2,abr/jun 2016, 227-232p

BORGES, K. C. F.; SANTANA, D. G.; LOPES, S. W. L.; PEREIRA, V. J.: *Coloração do Fruto e Substrato na Emergência e no Crescimento de Plantas de Eugenia calycina Cambess*. Floresta e Ambiente 2016; 23(4): 544-554

BRADY, N. .C; WEIL, R. R.: *Elementos da natureza e propriedades dos solos*. Bookman Editora, 3ª edição, 2013.

BRASIL. *Constituição da República Federativa do Brasil de 1988*. Disponível em:<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm>. Acesso em: 15/07/2018.

BRASIL, *Política Nacional do Meio Ambiente*, Lei Nº 6.938, de 31 de agosto de 1981.

BRASIL. *Política Nacional de Defesa Civil*, Lei Nº12.608 Brasília:Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil, 2012.

BRASIL, *Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE)*, Ministério da Integração Nacional, Secretaria Nacional de Defesa Civil, I.N.M.I. nº 2, Anexo V - COBRADE com simbologia, 2016.

BRASIL, Ministério da Integração Nacional. *Instrução Normativa nº1, de 24 de agosto de 2012*. Diário oficial, seção 1, n.169.

BRASIL, Ministério da Integração Nacional. *Política Nacional de Defesa Civil*. Brasília: Secretaria Nacional de Defesa Civil, 2007, 82p.

BUDAG, P. R.; SILVA, T. P. *Cadeias produtivas do estado de Santa Catarina: Flores e plantas ornamentais*. Florianópolis: EPAGRI, 2000. 51 p.

CARDONA, O. D., *"Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo"*, Taller Regional de Capacitación para la Administración de Desastres ONAD/PNUD/OPS/UNDRO, Bogotá, 1991, p. 3.

CASTRO, C.; CASTIGLIONI, V. B. R.; BALLA, A. *Cultura do girassol*:

tecnologia de produção. Londrina, PR: Embrapa Soja, 1997. 19 p.

CHANG, Y., CORAPCIOGLU, M. Y *Plant-enhanced subsurface bioremediation of nonvolatile hydrocarbons*. Journal of Environmental Engineering, 112, 162–169. (1998).

CHEN, J. X., SU, Y. Q., SHI, Z., HAN, F. X.: *Phytoremediation of Organic Polluted Soil*. In: *Journal of Bioremediation & Biodegradation*, BioremedBiodeg 2013, 4:3DOI: 10.4172/2155-6199.1000e132

CUNNINGHAM, S. D., & OW, D. W: *Promises and prospects of phytoremediation*. Plant Physiology, 110, 715- 719. (1996).

DARDANELLI, M.S., MEDEOT, D. B., PAULUCCI, N. S, BUENO, M. A., VICARIO, J. C., GARCÍA, M., BENSI, N. H., NIEBYLSKI, A.M., *Biochemical Processes of Rhizobacteria and their Application in Biotechnology*, Cap.12., In: *Environmental Protection Strategies for Sustainable Development*. Setembro 2011, DOI: 10.1007/978-94-007-1591-2_12

DELARMELINA, W. M.; CALDEIRA, M. V. W.; FARIA, J. C. T.; GONÇALVES, E. O.; ROCHA, R. L. F.: *Diferentes Substratos para a Produção de Mudas de Sesbaniavirgata*. Floresta e Ambiente, 2014 abr./jun.; 21(2):224-233

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa do Algodão. Produtos. Mamona. Disponível em: <<http://www.cnpa.embrapa.br/produtos/mamona/index.html>>. Acessado em 01.09.2017.

FRANÇA, S. C. A., UGARTE, J. F. O, ARRUDA, G. M. (2005). *Vermiculite Utilization on Treatment of Water Contaminated With Organic Compounds*In: 2nd Mercosur Congress on Chemical Engineering, 4th Mercosur Congress on Process Systems Engineering, Rio de Janeiro.

FREITAS, J. R.; MARTINS, F. C. G.; FERNANDES, O. R; SAITO, S. M. T.; RISCHER, A. P.; GONÇALVES, A. M: *Aplicação de matéria orgânica, vermiculita e inoculação de rhizobium spp em sementeira de erythrina falcata*. IPEF n.20, p.101-113, jun.1980

FREITAS, C. M. de; PORTE, M. F. de S., GOMEZ, C.M..*Acidentes químicos ampliados: um desafio para a saúde pública*. Rev. Saúde Pública. 1995, vol.29, n.6, pp.503-514. ISSN 0034-8910.

FREITAS, F. C., *Uso de Resíduo Orgânico da Produção de Biodiesel Direta da Semente na Atenuação dos Efeitos de Hidrocarbonetos de Petróleo no Solo*, 112f, 2009. Dissertação (Mestrado em Agronomia), UFRRJ, Seropédica, 2009.

GAMA, P.E.; GIL, R. A. S. S.; LACHTER, E. R.: *Produção de biodiesel através de transesterificação in situ de sementes de girassol via catálise homogênea e heterogênea*. Quím. Nova vol.33 no.9 São Paulo, 2010.

GUEDES, R. S.; ALVES, E. U.; GONÇALVES, E. P.; COLARES, P. N. Q.; MEDEIROS, M. S.; VIANA, J. S.: *Germinação e vigor de sementes de myracrodruonurundeuva alemão em diferentes substratos e temperaturas*. Revista Árvore, Viçosa-MG, v.35, n.5, p.975-982, 2011

HENTSCHEL, R. L.; AZZOLINI, M.: "*Seleção de cultivares de Ricinus communis (Mamona) para fitorremediação de solos degradados por rejeitos de carvão*." Salão de Iniciação Científica (16.: 2004: Porto Alegre). Livro de resumos. Porto Alegre: UFRGS, 2004.

HOLANDA, Ariosto. 2004. *Biodiesel e inclusão social*. Brasília: Câmara dos Deputados, Coordenação de Publicações. Série Cadernos de altos estudos.

HUANG, H.; YU, N.; WANG, L.; GUPTA, D. K.; HE, Z.; WANG, K.; ZHU, Z.; YAN, X.; LI, T.; YANG X. *The phytoremediation potential of bioenergy crop Ricinus communis for DDTs and cadmium co-contaminated soil*. Bioresource Technology, v. 102, p. 11034-11038, 2011.

LIMA, A. M., *Avaliação do potencial fitorremediador da mamona e girassol quanto a remoção de chumbo e tolueno em efluentes sintéticos*, 2010. 110f. Tese (Doutorado em Engenharia Química), – UFRN, Rio Grande do Norte, 2010

LOPES, F. L. G.; SANTOS, M. W.; TORRES, V. B.; SANTOS, W. K. A.; NETO, M. B. C.; BAROBOSA, L. R. T.; *Produção de biodiesel a partir do óleo de mamona utilizando catálise heterogênea por via metanólica e etanólica*. II Congresso Nacional de Engenharia de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, Salvador, 2016.

LOURENÇO, L., *Riscos Naturais e Protecção do Ambiente*, Coimbra, 2004 ISBN 972-9038-66-X, p.19.

MARQUES, M. I; AGUIAR, C. R. C.; SILVA, J. J. L. S.: *Desafios técnicos e barreiras sociais, econômicas e regulatórias na fitorremediação de solos contaminados*. Rev. Bras. Ciênc. Solo vol.35 no.1 Viçosa Jan./Feb. 2011

MARTINS, C. C.; BOVI, M. L. A.; SPIERING, S. H.; *Umedecimento do substrato na emergência e vigor de plântulas de pupunheira*. Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal - SP, v. 31, n. 1, p. 224-230, Março 2009

MARTINS, C. C.; MACHADO, C. G.;SANTANA, D. G.; ZUCARELI, C.: *Vermiculita como substrato para o teste de germinação de sementes de ipê-amarelo*. Ciências Agrárias, Londrina, v. 33, n. 2, p. 533-540, abr. 2012

MATOS, F., J., A., *Introdução a Fitoquímica Experimental*, Fortaleza Edições, UFC, 1998.

MORAES, S. L., TEIXEIRA, C. V., MAXIMIANO, A. M. S. *Guia de elaboração de planos de intervenção para o gerenciamento de áreas contaminadas - 1. ed.* -- São Paulo : IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo : BNDES, 2014

OLIVEIRA, M.: *Livro Texto do Projeto Gerenciamento de Desastres - Sistema de Comando de Operações* Florianópolis: Ministério da Integração Nacional, Secretaria Nacional de Defesa Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres, 2009. 74p.

PEREIRA, J. S., GUIMARÃES, J. P., LOPES, R. M. B. P., FARIAS, M. S. S., D, LIMA, VERA L. A., AZEVEDO, C. A. V. (2016). *Organic compost and waste water on the initial growth of oil seed plants*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 20(6), 501-506.

PESAGRO-RIO. EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. *Oleaginosas no Estado do Rio de Janeiro: observações preliminares 2003-2007: recomendações gerais*. Niterói, 2008. 36p.

PINTO, M. A. S.: *Técnicas de separação e identificação aplicadas a produtos naturais*. 2006. 52f. Trabalho de Conclusão de Curso de Química. UFSC, Florianópolis, 2006

RISSATO, S. R.; GALHIANE, M. S.; FERNANDES, J. R., *et al.*, "Evaluation of *Ricinus communis* L. for the Phytoremediation of Polluted Soil with Organochlorine Pesticides". BioMed Research International, vol. 2015, 8p, 2015.

ROSA, G. S.; *Avaliação do potencial de espécies vegetais na fitorremediação de solos contaminados por Petróleo*. 2006. 144 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental. UERJ, Rio de Janeiro, 2006.

ROSENFELD, M. F.; AZZOLINI, M.; *Fitorremediação como forma mitigadora do impacto gerado pela extração e processamento do carvão: potencialidade de espécies vegetais*. Salão de Iniciação Científica (17:2005: Porto Alegre). Porto Alegre: UFRGS, 2005.

SÁNCHEZ, L.H.: *Avaliação de impacto ambiental: Conceitos e métodos*. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos. 583p., 2013

SECRETARIA DE ESTADO DA DEFESA CIVIL - RJ, *Manual Básico de Operações com Produtos Perigosos – GOPP / CBMERJ – Edição 2003*

SICILIANO, D. S., GERMIDA, J.J., BANKS, K., GREER, C. W.: *Changes in Microbial Community Composition and Function during a Polyaromatic Hydrocarbon Phytoremediation Field Trial*. Appl Environ Microbiol. 2003 Jan; 69(1): 483–489. doi: 10.1128/AEM.69.1.483-489.2003

SILVA, C. A.; *Produção de biodiesel a partir de óleo bruto de girassol*. II Congr. Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel, Lavras, 2005.

SILVA, R. F.: *Otimização da síntese de misturas de biodiesel mamona e amendoim com o uso do ultrassom*. Dissertação de mestrado em Ciências Agrárias, UEPB, 2016.

SUSARLA, S., MEDINA, V. F., & MCCUTCHEON, S. C.: *Phytoremediation: An ecological solution to organic chemical contamination*. Ecological Engineering, (2002).

TAVARES, S. R. L. *Fitorremediação em solo e água de áreas contaminadas por metais pesados provenientes da disposição de resíduos perigosos*. 2009. 415f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – UFRJ/ COOPE/ Programa de Engenharia Civil, Rio de Janeiro, 2009.

UGARTE, J. F. O.; SAMPAIO, J. A.; FRANÇA, S. C. A.; *Vermiculita*. In: LUZ, A. B. (Ed.); LINS, F. A. F. (Ed). *Rochas & minerais Industriais: usos e especificações*. 2.Ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008. 990p.

UNESP, INTRALAB, *SUBSTÂNCIAS: Metanol*. Disponível em: <http://www6.fcav.unesp.br/intralab/substancias_id.php?recordID=22> Acesso em: 15/07/18

USEPA, United States Environmental Protection Agency. *Introduction to phytoremediation Evaluation of phytoremediation for management of chlorinated solvents in soil and groundwater*. Washington, 2005. 42p.

USEPA, United States Environmental Protection Agency. *Introduction to phytoremediation*. Cincinnati, Ohio, 2000. epa/600/R-99/107.

USEPA, United States Environmental Protection Agency. *Technology Innovation Office. Treatment technologies screening matrix and reference guide: Version 4.0*. Washington, 2001.

VASCONCELOS, M. C.; PAGLIUSO, D.; SOTOMAIOR, V. S. *Fitorremediação: uma proposta de descontaminação do solo*. Estudos Biológicos. v. 34, n. 83, p. 261-7, jul./dez. 2012.

VECHIA, C.A.D.; MORAIS, B.; SCHONELL, A. P.; DIEL, K.A.P.; FAUST, C.; MENIN,C.; GOMES, D.B.;ROMAN, JUNIOR W.A.: *Isolamento químico e validação analítica por cromatografia líquida de alta eficiência de quercitrina em Solidago chilensis Meyen (Asteraceae)*, Campinas, v.18, n.1, supl. I, p.288-296, 2016.

ANEXO I



Rio de Janeiro, 05 de julho de 2017.





Relatório descritivo referente ao derramamento de Ácido Clorídrico no Setor

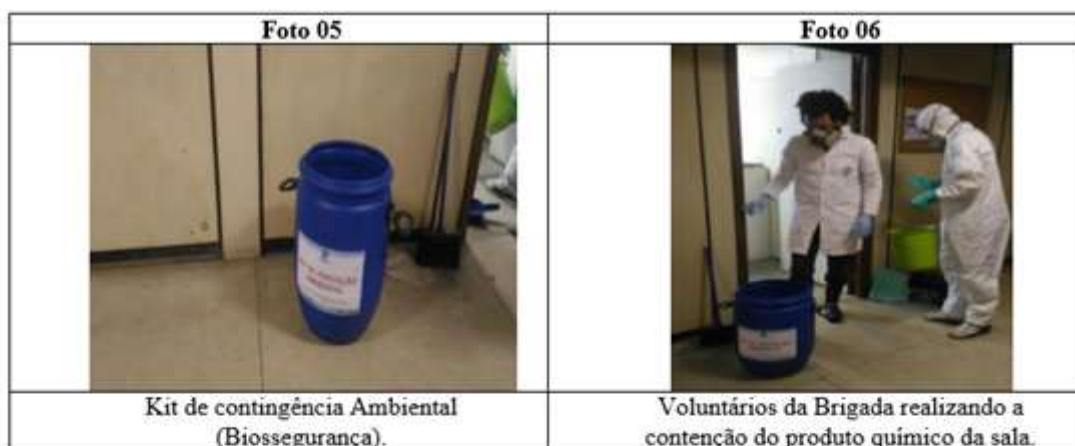
No dia 05 de julho de 2017, aproximadamente às 10h, a Coordenação de Biossegurança recebeu uma ligação telefônica referente à um acidente envolvendo o derramamento de **um frasco de 1 Litro de ácido clorídrico (HCl)** no Setor [REDACTED], localizado no [REDACTED]. Ao ser contactada, imediatamente, a [REDACTED], a Coordenadora de Biossegurança do CCS, notificou o ocorrido à Brigada voluntária de Produtos Perigosos e se dirigiu ao local. Devidamente paramentada com os Equipamentos de Proteção Individual (EPI) necessários, a Coordenadora utilizando um dos kits de contingência da Biossegurança e vermiculita, realizou a contenção primária do ácido derramado (**Fotos 01-04**). Em seguida, dois funcionários da Brigada de Produtos Perigosos, o [REDACTED] e o [REDACTED], chegaram ao sítio da intercorrência e deram continuidade ao processo de contenção.

Consignado isso, ressalta-se que a Coordenação de Biossegurança fez a aquisição de dois kits de Contingência química para a 13ª Operação de Descartes de Resíduos Químicos, ocorrida no presente ano e organizada por este setor. Em virtude da amplitude e da complexidade dos setores do CCS, salienta-se ainda que os dois kits citados não são suficientes para a demanda dos oito institutos que compreendem este Centro. Nesse sentido, a Coordenação de Biossegurança reiterou e alertou inúmeras vezes, por meio de e-mails e informes nas reuniões mensais da Comissão de Biossegurança, sobre a necessidade real de que cada um dos Institutos do CCS deveria possuir **pelo menos um kit de contingência**, a fim de atender as intercorrências emergenciais de sua localidade.

Ao conversar com os funcionários do setor, os senhores [REDACTED] e [REDACTED], a Coordenadora soube que a [REDACTED] ainda não possui um kit de contingência química. No entanto, tendo em vista o ocorrido, a necessidade de realizar a contenção o mais rápido possível e a ausência do responsável Chefe do setor [REDACTED] no momento do incidente, a Coordenadora se disponibilizou a realizar o empréstimo de um kit de contingência, mediante a apresentação de um documento assinado por algum funcionário do Setor. Por meio deste documento, que foi assinado pela senhora [REDACTED] o setor se comprometeria a fazer a reposição do material emprestado. Os dois funcionários da Brigada aguardaram por mais de 30 minutos a confecção do documento e o processo de contenção foi reiniciado e concluído, por volta de 11: 30h (**Fotos 05-08**).

Por fim, ressalta-se que a Coordenadora de Biossegurança orientou os responsáveis do setor que a bombona de contingência com o produto químico recolhido deve ser armazenada em local adequado até a próxima Operação de Descarte de Resíduos Químicos do CCS (sem data definida até o momento). Caso o setor opte por não esperar, o descarte do resíduo químico deverá ser feito por meios próprios, por empresa adequada e devidamente capacitada e o Certificado de destinação Final deve ser enviado à Biossegurança, para fins de comprovação e arquivamento. A seguir, apresentam-se disponíveis as fotografias do pessoal da Brigada de produtos Perigosos com os EPI e o kit de contingência da Biossegurança:

Processo de Contenção- Brigada	
Foto 01	Fotos 02
	
A contenção primária realizada pela Coordenadora Biossegurança.	A contenção primária realizada pela Coordenadora Biossegurança.
Foto 03	Foto 04
	
A contenção primária realizada pela Coordenadora Biossegurança.	A contenção primária realizada pela Coordenadora Biossegurança.



[REDACTED]
Coordenadora de Biossegurança
Centro de Ciências da Saúde
Universidade Federal do Rio de Janeiro