

UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE

CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

CARLOS NÁPOLI VIEIRA

**IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS CONTAMINADAS PELA DESATIVAÇÃO
DE EMPREENDIMENTOS INDUSTRIAIS: ESTUDO DE CASO DO
CURTUME DAL-BÓ, CRICIÚMA, SC**

CRICIÚMA, NOVEMBRO DE 2007

CARLOS NÁPOLI VIEIRA

**IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS CONTAMINADAS PELA DESATIVAÇÃO
DE EMPREENDIMENTOS INDUSTRIAIS: ESTUDO DE CASO DO
CURTUME DAL-BÓ, CRICIÚMA, SC**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado
para obtenção do grau de Engenheiro no curso
de Engenharia Ambiental da Universidade do
Extremo Sul Catarinense, UNESC.

Orientador: Prof. Dr. Carlyle Torres Bezerra de
Menezes.

CRICIÚMA, NOVEMBRO DE 2007

CARLOS NÁPOLI VIEIRA

**IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS CONTAMINADAS PELA DESATIVAÇÃO DE
EMPREENDIMENTOS INDUSTRIAIS: ESTUDO DE CASO DO CURTUME DAL-
BÓ, CRICIÚMA, SC**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado pela
Banca Examinadora para obtenção do Grau de
Engenheiro Ambiental no Curso de Engenharia
Ambiental da Universidade do Extremo Sul
Catarinense, UNESC, com Linha de Pesquisa
em Recuperação de Áreas Degradadas

Criciúma, 23 de novembro de 2007

BANCA EXAMINADORA

Prof. Carlyle Torres Bezerra de Menezes - Doutor - UNESC - Orientador

Prof. Clóvis Norberto Savi - Mestre - UNESC

Eng. Sérgio Luciano Galatto - Mestre - IPAT/ UNESC

Dedico este trabalho aos meus pais, José Carlos e Rita, em reconhecimento e agradecimento sincero pelo incansável suporte, compreensão, amizade, cumplicidade e inabalável amor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que na figura de Pai, Filho e Espírito Santo me auxilia acrescentando-me sabedoria e estabelecendo uma paz indescritível em meu coração.

Também, agradeço à minha irmã Renata, pelo apoio em todas as horas durante o andamento do curso e por acreditar na minha capacidade como pessoa. Agradeço também à minha irmã Fernanda pelo amor e estímulo e à minha avó Zelma que sempre procurou me mostrar a importância do conhecimento.

Ainda, gostaria de agradecer aos engenheiros Arilto Valente e Antônio De Luca, meus colegas de trabalho, pelo conhecimento transmitido, além do suporte, apoio e compreensão na fase de conclusão do curso.

E agradeço ainda aos meus colegas de curso Filipe e Mainar pelo companheirismo e amizade durante os cinco anos de exaustivos e intermináveis trabalhos.

Agradeço também ao meu orientador e professor Carlyle, assim como todos os outros professores do Departamento de Engenharia Ambiental, dos quais eu lembrarei por toda a minha vida

“Nunca o homem inventará nada mais simples nem mais belo do que uma manifestação da natureza. Dada a causa, a natureza produz o efeito no modo mais breve em que pode ser produzido.”

Leonardo da Vinci

RESUMO

O crescimento desordenado das áreas urbanas associado aos processos de desativação de empreendimentos industriais vem acarretando a ocupação de sítios contaminados e áreas de passivos ambientais não identificados, sem que os níveis de contaminação e os riscos existentes nesses locais sejam devidamente estimados. Assim, faz-se necessária a identificação e caracterização dessas áreas com vistas ao desenvolvimento e aplicação das melhores técnicas de remediação dos sítios contaminados. Neste contexto, o presente trabalho estuda o caso de um empreendimento desativado, o Curtume Dal-Bó & Companhia em Criciúma, SC. Este estudo consistiu, primeiramente, no levantamento de informações para posterior aplicação da metodologia proposta pelo Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas da CETESB. A metodologia adotada tem por objetivo principal mensurar os níveis de contaminação do solo, buscando cadastrar e classificar a área conforme o seu nível de contaminação. Os resultados obtidos ao longo desta pesquisa, incluindo os trabalhos de campo e ensaios laboratoriais, demonstraram níveis críticos de concentração do cromo no solo. Esse elemento é proveniente da disposição inadequada dos resíduos sólidos gerados nos processos de produção de artefatos e produtos de couro. Considerando os níveis de contaminação dessa área, bem como a necessidade de uma intervenção técnica, foram estudadas algumas alternativas para remediação do sítio, e entre as alternativas analisadas a fitorremediação apresenta-se como uma das técnicas mais promissoras com vista na remoção do cromo contido no solo.

Palavras-chave: Áreas Degradadas. Solos Contaminados. Fitorremediação. Resíduo de Curtume.

ABSTRACT

The disordered growth of the urban areas associated to the processes of deactivation of industrial enterprises have been occasioning the occupation of contaminated small farms and non-identified areas of ambient liabilities, without the levels of contamination and existing risks in these places have been esteemed. Therefore, becomes necessary the identification and characterization of these areas tending to the development and application of the best techniques of remediation from the contaminated small farms. In this context, this work studies the case of a deactivated enterprise, the *Curtume Dal-Bó & Companhia* (Dal-Bó Tannery & Company) in Criciúma/SC. This study was consisted, at first, in the survey of information for the subsequent application of the methodology proposed by the *Management of Contaminated Areas Guide* of the CETESB. The methodology adopted has as a primary objective to measure the levels of soil contamination, trying to enroll and classify the area according to its level of contamination. The results obtained during this research, including field work and lab testing, showed critical levels of concentration of chromium in the soil. This element is derived from the improper disposal of solid waste products in the procedures from the production of devices and leather goods production. Considering the levels of contamination of this area, as well as the need of a technique intervention, some alternatives to remediate the small farms have been studied and among the analyzed alternatives, the phytoremediation presents itself as one of the most promising techniques considering the displacement of chromium content in the soil.

Key words: Degraded Areas. Contaminated Soil. Phytoremediation. Tannery residue.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização da área do Curtume Dal-Bó, em relação ao município de Criciúma	15
Figura 2: Foto aérea da região onde está localizada a área do antigo Curtume Dal-Bó.	16
Figura 3: Vista lateral do Curtume Dal Bó.	17
Figura 4: Vista parcial das antigas instalações do Curtume Dal-Bó.	19
Figura 5: Perfil de solo típico com discriminação dos vários horizontes.....	29
Figura 6: Contexto geológico da área do Curtume Dal-Bó.	30
Figura 7: Contexto hidrogeológico da área do Curtume Dal-Bó.	31
Figura 8: Contexto pedológico da área do curtume Dal-Bó	32
Figura 9: Fluxograma de produção de ligas metálicas e compostos de cromo a partir da cromita.....	35
Figura 10: As cinco partes fundamentais do sistema ambiental: ar, água, solo, animais e plantas.....	39
Figura 11: Representação da fugacidade de um composto tóxico em diferentes compartimentos	41
Figura 12: Fluxograma de produção de couro.....	46
Figura 13: Mecanismos de fitorremediação de solos contaminados com metais pesados.....	51
Figura 14: Esquema respresentativo dos processos envolvidos na fitoextração de solos contaminados por metais pesados.....	54
Figura 15: Processos envolvidos na fitoextração.	55
Figura 16: Esquema dos mecanismos de plantas hiperacumuladoras.....	56
Figura 17: Espécies hiperacumuladoras.....	57
Figura 18: Espécies com capacidade para fitoestabilização	58
Figura 19: <i>Canavalia ensiformes</i>	59
Figura 20: Esquema de funcionamento da fitodegradação de poluentes	60
Figura 21: Fluxograma das etapas para caracterização e gerenciamento de áreas contaminadas	64
Figura 22: Foto aérea do Curtume Dal-Bó e área de influência direta com a identificação de alguns pontos importantes nas adjacências.	66
Figura 24: Croqui do terreno.....	69
Figura 25: Foto aérea da área do curtume Dal-Bó com identificação dos pontos de coleta de amostras de solo.....	71
Figura 26: Ponto de coleta 01.....	71
Figura 27: Ponto de coleta 02.....	72
Figura 28: Ponto de coleta 03.....	73
Figura 29: Ponto de coleta 04.....	73
Figura 30: Disposição inadequada de resíduos sólidos e sobras do processo do Curtume.....	78
Figura 32: Bovino presente nas antigas instalações do Curtume Dal-Bó.....	83
Figura 33: Antigas instalações do laboratório de análises do Curtume Dal Bó.	84
Figura 34: Flor e folha da espécie hiperacumuladora de cromo e outros metais <i>Brassica juncea</i>	92
Figura 35: <i>Genipa americana</i> , ou jenipapeiro.....	93

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores para concentração de cromo no solo. Legislação Holandesa	48
Tabela 2: Valores indicados pela legislação paulista para níveis de cromo no solo.	49
Tabela 3: Resumo dos índices de cromo encontrados no solo na área do curtume	
Dal-Bó comparado aos valores indicados pela legislação aplicável.....	79

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Diagnóstico Nacional de Áreas Potenciais e Efetivas de Contaminação de Solo e População sob Risco de Exposição	24
Quadro 2: Concentrações de metais considerada normal e fitotóxica em folhas de plantas.	33
Quadro 3: Resumo das principais fontes e das principais consequências a exposição ao cromo.....	34
Quadro 4: Pré-requisitos da fitorremediação	52
Quadro 5: Vantagens e limitações da Fitorremediação.....	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
AC – Área Contaminada
AP – Área Potencialmente Contaminada
APMax – Agrícola – Área de Proteção Máxima
AS – Área Suspeita de Contaminação
CETESB – Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental
CIDASC – Companhia Integrada de Desenvolvimento Agrícola de Santa Catarina
CNAE – Classificação Nacional de Atividades Econômicas
CPRM – Serviço Geológico do Brasil
ETA – Estação de Tratamento de Efluentes
ETE – Estação de Tratamento de
GTZ – Sociedade de Cooperação Técnica (*Deutsche Gesellschaft für echnische Zusammenarbeit*)
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INCHEM – Chemical Safety Information from International Organizations
IPAT – Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas
IPCS – International Programme on Chemical Safety
IVP – Instituto Virtual Português
LAIPCSAS – Lista de Atividades Industriais Potencialmente Contaminadoras do Solo e Águas Subterrâneas
MGAC – Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas
NBR – Norma Brasileira
OMS – Organização Mundial de Saúde
PMC – Prefeitura Municipal de Criciúma
PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
SILP – Sistema de Licenças e Penalidades
STI – Lista de Valores (Lista Holandesa)
VI – Valor de Intervenção
VP – Valor de Prevenção
VROM – Ministério de Planejamento Territorial e Meio Ambiente da Holanda
VRQ – Valor de Referência de Qualidade

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	HISTÓRICO	15
1.2	JUSTIFICATIVAS	20
2	OBJETIVOS	22
2.1	OBJETIVO GERAL	22
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
3.1	SÍTIOS CONTAMINADOS	23
3.2	ÁREA CONTAMINADA	24
3.3	PASSIVO AMBIENTAL	26
3.4	SOLO	28
3.5	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA ÁREA	29
3.5.1	Contexto Geológico	29
3.5.2	Contexto Hidrogeológico	31
3.5.3	Contexto Pedológico	32
3.6	METAIS PESADOS	33
3.7	CROMO	34
3.8	RISCOS À SAÚDE	37
3.9	MIGRAÇÃO DE POLUENTES E CONTAMINAÇÃO DO SOLO POR METAIS 38	
3.9.1	Potencial Químico e Fugacidade	40
3.10	CURTUMES	42
3.11	DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE CURTIMENTO DO COURO	42
3.12	NORMAS CONSULTADAS	47
3.12.1	Lista holandesa de valores de qualidade do solo e da água subterrânea – Valores STI	47
3.12.2	Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo	48
3.13	FITORREMEDIAÇÃO	50
3.13.1	Fitoextração	53

3.13.2	Fitoestabilização	57
3.13.3	Fitoestimulação.....	58
3.13.4	Fitodegradação.....	59
4	MATERIAIS E MÉTODOS	61
4.1	APLICAÇÃO DE METODOLOGIA DA CETESB PARA IDENTIFICAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE ÁREAS CONTAMINADAS	61
4.2	DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	65
4.3	ELABORAÇÃO DA FICHA CADASTRAL DE ÁREAS CONTAMINADAS	66
4.3.1	Avaliação Preliminar	67
4.3.2	Investigação confirmatória.....	70
4.3.3	Plano de Amostragem	70
4.3.4	Levantamento das Informações.....	74
4.3.5	Bases Cartográficas	75
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	76
5.1	IDENTIFICAÇÃO DA ÁREA POTENCIALMENTE CONTAMINADA	76
5.2	ANÁLISES DO SOLO	78
5.3	RISCOS POTENCIAIS DE CONTAMINAÇÃO EM FUNÇÃO DO ESTADO ATUAL.....	80
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	85
6.1	PROPOSIÇÕES DE ALTERNATIVAS DE REMEDIAÇÃO.....	85
6.1.1	Demolição da Área Construída.....	85
6.1.2	Técnicas para Remediação	86
6.2	FITORREMEDIAÇÃO	89
6.2.1	Vantagens da Fitorremediação.....	90
6.2.2	Limitações da Fitorremediação.....	91
6.2.3	Espécies Indicadas para a Fitorremediação do Cromo	92
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	94
8	REFERÊNCIAS.....	96
APÊNDICE A - FICHA CADASTRAL DE ÁREAS CONTAMINADAS (RESPEITANDO A MESMA NUMERAÇÃO DA FICHA DE CADASTRAL DE ÁREAS CONTAMINADAS PRESENTE NO MANUAL DE GERENCIAMENTO DE ÁREA CONTAMINADAS CETESB (2001)		100
ANEXO A - LAUDOS LABORATORIAIS		110

1 INTRODUÇÃO

1.1 HISTÓRICO

A área do antigo Curtume Dal-Bó está localizada nas proximidades da parte central do município de Criciúma/SC, mais precisamente na Rua Almirante Tamandaré no Bairro Santa Bárbara, em uma região, atualmente, com muitas residências e alta densidade demográfica.

Nas Figuras 1 e 2, estão representadas a localização da área e uma foto aérea do local.



Figura 1: Localização da área do Curtume Dal-Bó, em relação ao município de Criciúma



Figura 2: Foto aérea da região onde está localizada a área do antigo Curtume Dal-Bó. Fonte: PMC

O Curtume Dal-Bó iniciou suas atividades no ano de 1948, em meio ao aquecimento da economia local pelo início da exploração intensiva do carvão com a chegada da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) na cidade. No primeiro ano de atividade, a empresa contava com quatro acionistas diretos e um quadro de aproximadamente quinhentos funcionários. A principal atividade era o beneficiamento do couro bovino para a produção de sola sapateira, através do processo de curtimento vegetal com tanino (C_6H_5OH) de acácia negra e do curtimento mineral com sulfato de cromo (Cr_2O_3) para obtenção do couro *wet blue*. Esses produtos eram vendidos para a indústria calçadista na região que abrangia de Criciúma até Passos de Torres, no sul do estado de Santa Catarina.

A Figura 3 mostra um vista parcial da atual situação das edificações presentes na área de estudo em questão.



Figura 3: Vista lateral do Curtume Dal Bó. Fonte: MARTIGNAGO (2006).

A companhia Dal-Bó desempenhava um papel importante no crescimento da economia local, empregando uma grande quantidade de funcionários e contribuindo para o desenvolvimento da região. Entretanto com o passar do tempo a empresa foi perdendo espaço para produtos emborrachados importados da China, como as solas de borracha. Com isso, o produto oferecido pela empresa, a sola de couro para sapato, não conseguiu manter um preço competitivo e sofreu desvalorização considerável, que acarretou uma crise no setor de produção de couro na região.

Em resposta aos produtos importados, a companhia modificou o seu sistema produtivo para atender às exigências do mercado europeu e norte-americano e começou a exportar produtos de pelaria para essas regiões do mundo. Também implementou o processo de curtimento vegetal para continuar atendendo a demanda das indústrias de calçado da região, mas agora em menor quantidade.

Mesmo com a abertura de um mercado externo e os investimentos para a melhoria do produto, a empresa não conseguiu vencer a crise que assolava todo o setor produtor de couro e se restabelecer financeiramente. Essa situação foi agravada com a crise econômica que o país sofreu em meados da década de 90,

mais precisamente durante o governo Collor, onde aproximadamente 50 fábricas de calçados da região decretaram falência.

Em meio a essa situação, com a alta do preço do dólar, níveis de inflação imprevisíveis e oscilantes e a diminuição catastrófica na demanda de couro, o Curtume Dal-Bó fechou suas portas em 1997. Depois disso, com um incentivo da prefeitura municipal, uma cooperativa intitulada Copercouro, composta por 20 ex-funcionários do Curtume Dal-Bó, se instalou no antigo pátio da empresa na tentativa de dar continuidade na produção de couro, mas não obteve sucesso. As atividades da Copercouro tiveram uma intensidade de pequeno potencial poluidor, tendo como referência à época em que a companhia operava com cerca de 500 funcionários. Segundo comentário de um ex-funcionário da empresa, a cooperativa foi montada apenas para que alguns funcionários cumprissem o tempo de trabalho para dar entrada em suas aposentadorias.

Desde então, os pavilhões estão abandonados. O maquinário foi todo retirado e posto em leilão, assim como o terreno, para sanar as dívidas deixadas pela empresa. Esse processo de retirada dos equipamentos e máquinas fez com que algumas partes dos pavilhões sofressem desmoronamento, gerando uma grande quantidade de entulho. A impressão que se tem ao adentrar as antigas instalações da empresa é de que ali se reporta a uma cena de um pós-guerra, como se tivesse havido um ataque surpresa, soado um alarme e todos abandonaram o local às pressas. Isso pode ser observado na Figura 4, a seguir.



Figura 4: Vista parcial das antigas instalações do curtume Dal-Bó. Fonte: VIEIRA (2007)

1.2 JUSTIFICATIVAS

Hoje, a população do planeta se aproxima de 6,2 bilhões de pessoas¹ e a disposição de espaços nas áreas urbanas é cada vez menor e mais valorizada economicamente. Na busca de assentar a população nas zonas urbanizadas de cidades com um grau significativo de desenvolvimento, sítios com solos contaminados não identificados e áreas desconhecidas de passivo ambiental, abandonadas por indústrias vêm sendo ocupadas e loteadas. Isso, sem que os níveis de contaminação e os riscos existentes nesses locais sejam estimados e devidamente remediados.

As áreas contaminadas pelas atividades industriais tendem a conter altas concentrações de poluentes. Foram identificados até 1990 entre 50.000 e 100.000 sítios contaminados no Reino Unido, que ocupam mais de 100.000 hectares² de área. Nos Estados Unidos, até 1991, foram identificadas 25.000 áreas contaminadas e na Alemanha foram cerca de 6.000 sítios³. Entretanto, no Brasil não existe nenhum levantamento oficial para identificação de sítios contaminados, com exceção do Estado de São Paulo, que tem realizado por meio da CETESB e da Secretaria do Meio Ambiente, um cadastramento de áreas contaminadas.

Portanto, atentar-se para o processo de Desengenharia é uma questão importante, pois o abandono dessas áreas é ambientalmente perigoso, socialmente injusto e, economicamente, pode representar desperdício de recursos. Jogar fora já não é justificável, é prejudicial para o meio ambiente e cada vez mais inaceitável economicamente. É preciso desativar, de forma ordenada, metódica, planejada e cuidadosa com a mesma atenção dispensada durante a construção e instalação da empresa. (SÁNCHEZ, 2001)

No município de Criciúma existem alguns casos de instalações de empresas inseridas na área urbana da cidade. Há pouco tempo houve a demolição dos pavilhões da antiga Cerâmica Santa Catarina (CESACA), indústria de artigos cerâmicos que foi constituída na década de 40, sem qualquer avaliação prévia de possíveis contaminantes na área. Outros exemplos são os prédios de algumas

¹ Segundo a Organização das Nações Unidas – ONU/2001

² House of Commons Comittee, ‘Contaminated Land’, First Report, HMSO, London, 1990.

³ E. M., Bridges, Soil Use Management, 1991, chap. 7, 151-158.

empresas ainda em atividade como o da Mecril – Metalúrgica Santa Libera e da Retífica Nereu no centro da cidade, da Coopermetal no bairro Próspera e do já desativado Curtume Dal-Bó, objeto deste estudo, no bairro Santa Bárbara.

O que não foi citado anteriormente no histórico do Curtume Dal-Bó, diz respeito à herança química deixada no local. A contaminação por cromo, metal pesado bioacumulativo, proveniente do sulfato de cromo utilizado em um dos processos de curtimento, é evidente. Principalmente no início das atividades da empresa, não havia qualquer cuidado com o manuseio do produto e muito menos com a deposição dos resíduos sólidos gerados. O perigo de contaminação das águas superficiais e do solo é existente. Segundo Marçal (2006), embora nos dejetos de curtumes predominem a forma Cr (III), menos tóxica, pode haver dependendo das condições, a sua oxidação para a forma Cr (VI), potencialmente cancerígeno. Além disso, existe o agravante de invasores da área, que costumam adentrar nas antigas instalações para praticar vandalismo ou depositarem resíduos e, ingenuamente, colocam sua saúde em risco.

Frente a isso, pode-se constatar a importância da identificação dos sítios contaminados existentes no país e a conseqüente mensuração dos níveis de contaminação para que posteriormente possam ser aplicados métodos para a remediação e reabilitação dessas áreas. Como mencionado anteriormente, a CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, que ligada a Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo desenvolveu em parceria com o governo Alemão e sua Sociedade de Cooperação Técnica (*Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit*) – GTZ um Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas. Esse manual apresenta métodos, técnicas e procedimentos na identificação de áreas potencialmente contaminadas em escala regional e local e apresenta uma ficha para cadastramento de áreas contaminadas.

No presente trabalho serão adotadas as diretrizes propostas pelo Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas da CETESB-GTZ para o caso do desativado Curtume Dal-Bó, com intuito de caracterizar a área em seus níveis de contaminação e qual os bens a proteger que foram ou serão afetados por essa contaminação, assim como posteriormente considerar alguns possíveis métodos para a remediação ambiental do local.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Identificar e caracterizar, segundo Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas da CETESB-GTZ níveis de contaminação para cromo em um empreendimento industrial desativado, o Curtume Dal-Bó & Companhia LTDA, no município de Criciúma/SC.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- i. Realizar uma revisão acerca dos processos de produção de um empreendimento industrial – O caso do Curtume Dal-Bó.
- ii. Realizar ensaios para identificação dos níveis do metal cromo no solo.
- iii. Enquadramento e preenchimento do cadastro de áreas contaminadas, proposto pela Secretaria do Meio Ambiente de São Paulo e CETESB para posterior classificação da área.
- iv. Levantar os riscos à saúde humana oferecidos pelos contaminantes presentes na área a ser estudada.
- v. Apresentar alternativas para futura reabilitação ambiental da área, indicando a técnica da fitorremediação como principal alternativa.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 SÍTIOS CONTAMINADOS

O problema com áreas potencialmente e efetivamente contaminadas no mundo é evidente. No Brasil, com as dificuldades enfrentadas por muitas empresas na década de 1990, em parte decorrentes da política econômica que visa estimular a competitividade internacional, muitas indústrias têm encerrado suas atividades no país, mas em alguns casos tal encerramento significa o abandono puro e simples de suas instalações, mesmo que contenham produtos ou resíduos perigosos. (SÁNCHEZ, 2001 p. 94). E de acordo com o Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas (CETESB 2001), pelos cálculos da Comunidade Européia, foram identificadas cerca de 300.000 áreas contaminadas nos 12 países membros, estimando um total de 1.500.000 áreas potencialmente contaminadas (EEA, 1999). A complexidade do problema exige sem dúvida uma atenção especial por parte das esferas política e administrativa. Uma pesquisa do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) revelou que, apesar de 78% dos países consultados considerem a contaminação do solo um problema sério, somente 28% dos países possuem regulamentos e procedimentos que tratam do assunto (BUTLER, 1996).

Na grande maioria o responsável pelo sítio contaminado não foi devidamente identificado, esse fato se deve ao abandono destas áreas pelas empresas que no passado ali operavam. Não há no Brasil nem mesmo um esboço de inventário de áreas contaminadas ou potencialmente contaminadas, à exceção do trabalho iniciado em 1992 na Região Metropolitana de São Paulo, com o apoio da agência alemã de cooperação GTZ. Segundo (SÁNCHEZ 2001, p. 95), esse abandono

“é ambientalmente perigoso, socialmente injusto e, economicamente, pode representar desperdício de recurso. Jogar fora já não é justificável, é danoso para o meio ambiente e cada vez mais inaceitável economicamente. É preciso desativar, de forma ordenada, metódica, cuidadosa com a mesma atenção dispensada durante a construção”.

O Diagnóstico Nacional de Áreas Potenciais e Efetivas de Contaminação de Solo e População sob Risco de Exposição, elaborado pelo

IGISOLO/CGVAM/SVS/MS em conjunto com os Estados, deverá subsidiar a definição de ações básicas relativas à avaliação, classificação e priorização continuada de áreas com solos contaminados, sob o ponto de vista de risco de exposição humana. No Estado de Santa Catarina foram mapeadas 29 áreas, conforme quadro abaixo.

Quadro 1: Diagnóstico Nacional de Áreas Potenciais e Efetivas de Contaminação de Solo e População sob Risco de Exposição

Código da Área	Atividade	Nº de Áreas*	População estimada	Categoria
AP	Resíduos de Fundição	1	1.000	AMARELA
AI	Cromação	1	5.000	AMARELA
	Curtume	1	5.000	AMARELA
	Fundição	1	5.000	AMARELA
	Galvanoplastia	1	5.000	AMARELA
	Malharia	1	5.000	AMARELA
	Metais	1	5.000	AMARELA
	Tecelagem	1	5.000	AMARELA
	Tintas	1	5.000	AMARELA
DA	Embalagens de Agrotóxicos	10	4.000	AMARELA
	Depósitos de Praguicidas	2	2.000	AMARELA
AM	Carvão	4	15.000	ROXA
ADRU	Lixão	4	2.100	AMARELA
TOTAL		29	64.100	

Código: AP - Área de Passivo Ambiental; AI - Área Industrial; DA - Depósito de Agrotóxicos; AM - Área de Mineração; e ADRU - Áreas de Disposição Final de Resíduos Urbanos. **Categoria:** Roxa - solo contaminado e população sob risco de exposição; e Amarela - solo potencialmente contaminado e população sob risco de exposição. * **Municípios:** Agronômica (3); Aurora (5); Criciúma (3); Guaraciba (1); Guarujá (3); Joinville (9); Romelândia (2); São José do Cedro (2); Treviso (1);

3.2 ÁREA CONTAMINADA

Uma área contaminada pode ser definida, segundo o Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas (CETESB, 2001 p. 3) como

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

A respeito dos bens a proteger, a Política Nacional do Meio Ambiente, na Lei 6.938/81 diz que são considerados: “a saúde e o bem estar da população; a fauna e a flora; a qualidade do solo, das águas e do ar; os interesses de proteção à natureza/paisagem; a ordenação territorial e planejamento regional e urbano; a segurança e a ordem pública”.

Quanto aos contaminantes, esses podem se concentrar em sub-superfície, tanto acima como abaixo do nível da água subterrânea. As formas como podem ser encontrados são: produto puro preenchendo os poros da rocha; adsorvido no material sólido como solo; sedimento; rocha e no material utilizado para aterrar o terreno; dissolvido na água subterrânea; forma de vapor, quando o contaminante é volátil; dissolvido no fluido gasoso que preenche os poros da zona não saturada do meio geológico. Em superfície os contaminantes podem concentrar-se nas paredes, nos pisos e nas estruturas das construções (CETESB, 2001).

A partir destes compartimentos, os contaminantes podem ser transportados através do ar, solo, águas subterrâneas e superficiais (denominados de vias de propagação), alterando suas características naturais e podendo causar impactos negativos e/ou riscos à saúde humana ou ao meio ambiente considerados como bens a proteger, estejam eles localizados na própria área ou em seus arredores (CETESB, *op. cit.*).

Segundo a definição da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, conforme descrito no Anteprojeto de Lei sobre Proteção da Qualidade do Solo e Gerenciamento de Áreas Contaminadas considera-se “área contaminada aquela área, terreno, local, instalação, edificação ou benfeitoria que contém quantidades ou concentrações de matéria em condições que causem ou possam causar danos à saúde humana, ao meio ambiente ou a outro bem a proteger”.

Segundo Cunha (1997), a origem de áreas contaminadas pode estar associada a diferentes fontes de poluição, sendo as mais usuais as de natureza industrial, de sistemas de tratamento e disposição de resíduos e as relacionadas ao armazenamento e distribuição de substâncias químicas, como por exemplo, as de comercialização de combustíveis.

As áreas contaminadas, também conhecidas como sítios, terrenos, solos contaminados, solos poluídos ou áreas degradadas (SÁNCHEZ, 2001), têm sido

amplamente definidas em legislações ambientais de diversos países, de forma variada.

Atendo-se apenas à questão do solo, o termo “degradação” é mais abrangente, englobando também o termo “poluição”. Assim, “degradação do solo”, significa a ocorrência de alterações negativas em suas propriedades físicas, como estrutura ou grau de compactidade, perda de matéria devido à erosão e alteração de características químicas frente a processos como salinização, lixiviação, deposição ácida e introdução de poluentes (SÁNCHEZ, 2001).

No Reino Unido, segundo sua legislação, na *Section 57 the Environmetn Act*, 1995, aborda o conceito de área contaminada de uma maneira abrangente, sendo que é necessário uma regulamentação para ser implantada, “uma área contaminada é qualquer área ou terreno que apresenta-se para a autoridade local em tal condição, apresentando substâncias dentro ou abaixo da superfície do terreno, onde um dano significativo está sendo causado ou existe a possibilidade de tal dano ser causado”. (POLLARD, HERBERT, 1998 *apud* CETESB, 2001).

Já de acordo com a legislação alemã, na *Federal Ministry for the Enviromment* de 1998, definiu-se como área contaminada os “loais abandonados de disposição, tratamento ou armazenagem de resíduos e áreas industriais abandonadas, onde substâncias ambientalmente perigosas foram manejadas, causando mudanças prejudiciais à qualidade do solo ou outros perigos para a saúde individual e/ou para o público em geral”. (BIEBER *et al.*, 1998 *apud* CETESB 2001).

3.3 PASSIVO AMBIENTAL

Passivo Ambiental é definido por Poveda (*et al.* 2004) como “o conjunto de dívidas reais ou potenciais que a empresa ou a propriedade possui em relação à natureza por estar em desconformidade com a legislação ambiental”.

Já para Sánchez (2001) o termo passivo ambiental é empregado sem o sentido monetário, para conotar o acúmulo de danos infligidos ao meio natural por uma determinada atividade ou pelo conjunto das ações humanas. Este dano é, na maioria das vezes, muito difícil de ser avaliado economicamente, representando num sentido figurado uma “dívida” para as futuras gerações.

É necessário ressaltar a diferença existente entre as definições dos termos “área contaminada” e “passivo ambiental”. Enquanto o termo “área contaminada” significa a ocorrência de alteração na qualidade do solo ou água subterrânea provocada por uma fonte de contaminação, podendo causar danos à saúde humana ou ao meio ambiente ou a outro bem a proteger, o termo “passivo ambiental” se refere ao valor monetário necessário para recuperar a área contaminada, acrescido de outros valores como multas, honorários, compensação ambiental, entre outros. Desta forma, a recuperação do passivo ambiental não se restringe aos custos da investigação e remediação de uma área contaminada, embora em muitos casos esses se constituam no principal valor. (TIRLONE, 2004)

Segundo Poveda (*et al.* 2004), o passivo ambiental gerado em uma área onde são desenvolvidas atividades que possam causar contaminação dos solos e das águas subterrâneas, pode ser definido como o valor monetário gerado, basicamente, pelas seguintes razões:

- Multas, dívidas, ações jurídicas, em razão da inobservância de requisitos ambientais legais, além de taxas e impostos devidos;
- Custos de implantação de procedimentos e tecnologias que possibilitem a adequação das não-conformidades ambientais e;
- Dispendios necessários à recuperação de área degradada e indenizações à população ou outras partes afetadas.

Para Lisboa & Ribeiro (2001) o “passivo ambiental representa sacrifício de benefícios econômicos que serão realizados para a preservação, recuperação e proteção do meio ambiente de modo a permitir a compatibilidade entre o desenvolvimento econômico e o meio ecológico ou em decorrência de uma conduta inadequada em relação às questões ambientais”.

A inserção dos passivos ambientais na contabilidade de uma empresa é o resultado do número crescente de legislações e da exigência do mercado, onde através da existência de um passivo no balanço, os acionistas devem ser informados, especialmente quando se tratar de empresas abertas cujas ações são negociadas em bolsas de valores (SÁNCHEZ, 2001).

Cabe ressaltar a necessidade de criação de um instrumento de gestão para o planejamento da desativação de empreendimentos que, segundo Sánchez (2001), pode ser similar ao utilizado pela indústria da mineração, de modo a

identificar e avaliar o passivo ambiental da atividade em questão, o que já teve seu início, no Estado de São Paulo, com o estabelecimento do Decreto nº 47.400/02, que determina prazos de validade para cada modalidade de licenciamento ambiental e condições para sua renovação.

3.4 SOLO

O solo é um componente fundamental para a vida dos ecossistemas naturais e artificiais. É formado lentamente sob a ação do tempo. Ações pedogenéticas do clima e da biosfera dão origem a uma estrutura de camadas conhecidas como horizontes. (PERIN 2005, p. 153). Esses horizontes são:

- Horizonte O: rico em matéria orgânica não decomposta ou parcialmente decomposta;
- Horizonte A: rico em minerais erodidos por intempéries climáticas e em húmus derivado da substância orgânica decomposta por organismos. Apresenta elevada atividade biológica e abundante presença de raízes;
- Horizonte E: caracterizado pela presença de partículas minerais (silicato, ferro, alumínio);
- Horizonte B: apresenta menor atividade biológica que as outras camadas, contêm argila e óxido de ferro e alumínio provenientes das camadas superiores;
- Horizonte C: camada onde chegam as raízes das árvores, a qual apresenta escassa atividade biológica;
- Horizonte R: trata-se de um leito rochoso geralmente constituído de rocha madre não degradada.

A figura a seguir mostra um desenho esquemático do perfil dos solo, separando cada horizonte.

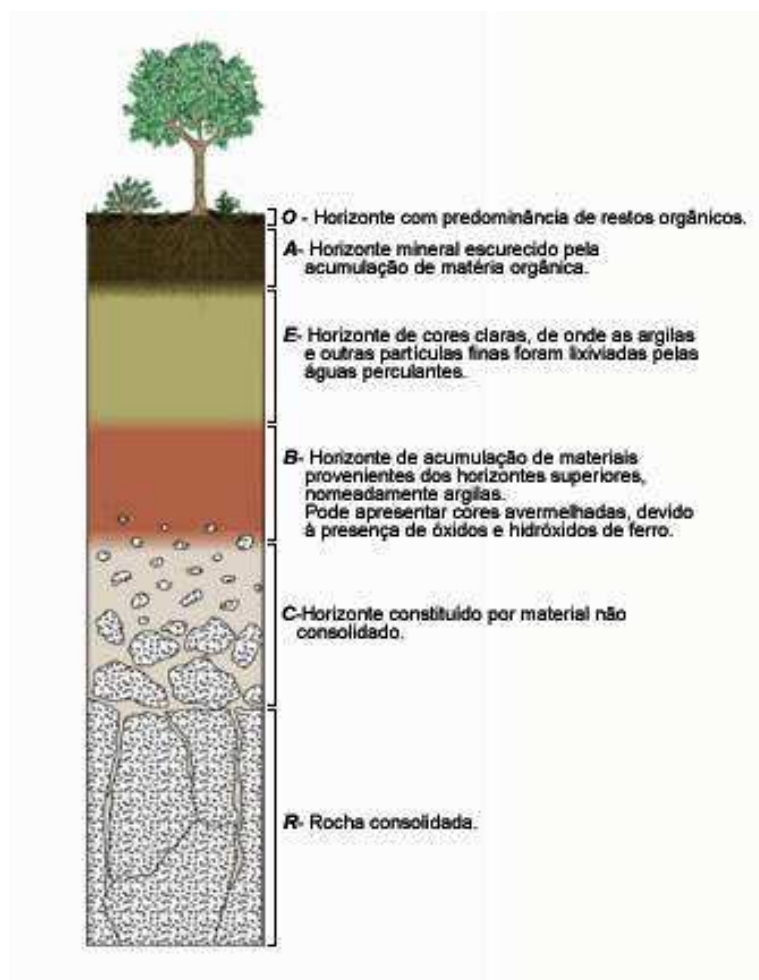


Figura 5: Perfil de solo típico com discriminação dos vários horizontes (adaptado de PRESS e SIEVER, 1998)

3.5 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA ÁREA

3.5.1 Contexto Geológico

Segundo PROGESC (1995), a cidade de Criciúma está inserida em um contexto geológico onde estão presentes de forma predominante duas unidades estratigráficas, a Formação Rio Bonito e a formação Palermo. Além disso, as Formações Irati, Estrada Nova, Rio do Rastro, Serra Geral e Planícies Aluvionar e Costeira, complementam a estrutura geológica do município.

A Figura 6 ilustra a situação da área de estudo em relação ao posicionamento das formações geológicas presentes.

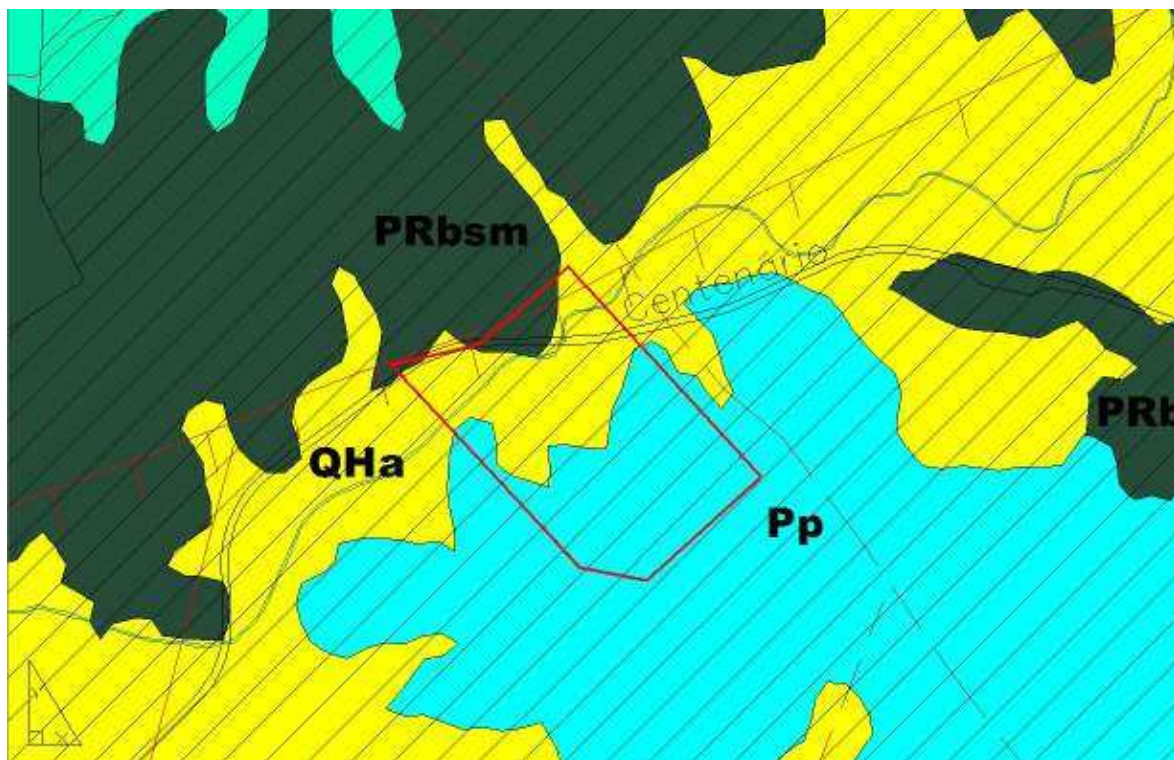


Figura 6: Contexto geológico da área do Curtume Dal-Bó (polígono vermelho). Fonte: PROGESC, 1995. Convenções: PRbsm – Formação Rio Bonito; QHa – Depósitos aluvionares e de retrabalhamento fluvial; Pp – Formação Palermo.

A área de estudo em questão, conta com a presença de depósitos aluvionares e de retrabalhamento fluvial (QHa), que são representados por areias e lamas, eventualmente em cascalheiras, que preenchem as calhas de rios e suas planícies. Ainda, está presente na área a Formação Palermo (Pp), originária do período Perminiano Inferior-Médio e pertencente ao Grupo Guatá, sendo representada por siltitos e siltitos arenosos, com colorações cinza-esverdeados a amarelados, intensamente bioturbados, laminações onduladas *wavy*, *linsen* e *flaser* com intercalações de leitos e lentes de arenitos finos a médios, ortoquartzíticos com estratificação *hummocky* e cimento carbonático (KREBS, 2004).

Além disso, na porção noroeste da área está presente a Formação Rio Bonito (PRbsm), originária do Perminiano Inferior e representada por arenitos finos a grossos, com colorações cinza-esbranquiçadas, localmente conglomeráticos, com estratificações paralelas, cruzadas tabular e acanlada, com arenitos sigmoidais e arenitos quartzosos, bem selecionados. Também, por siltitos de coloração cinza com lentes de arenitos muito finos, apresentando laminações paralelas e onduladas, com estruturas tipo *herringbone* e *hummocky*, folhelhos escuros carbonosos, leitos e camadas de carvão. PROGESC (*op. cit.*).

3.5.2 Contexto Hidrogeológico

Relacionada à formação geológica, o PROGESC (1994), hierarquizou as rochas sedimentares de acordo com a capacidade de armazenamento de água, sendo elas a Formação Rio Bonito, Palermo, Irati, Estrada Nova e Rio do Rastro respectivamente. Quanto aos sedimentos quaternários, aluvionares, coluvionares e sedimentos marinhos, o armazenamento é controlado pelo maior ou menor grau de porosidade das rochas ou sedimentos. Sendo assim, quanto mais arenosa, ou seja, porosa for a rocha, maior a condição de armazenamento apresentadas.

A Figura 7, ilustra o posicionamento dos aquíferos relacionados em relação a área de estudo.

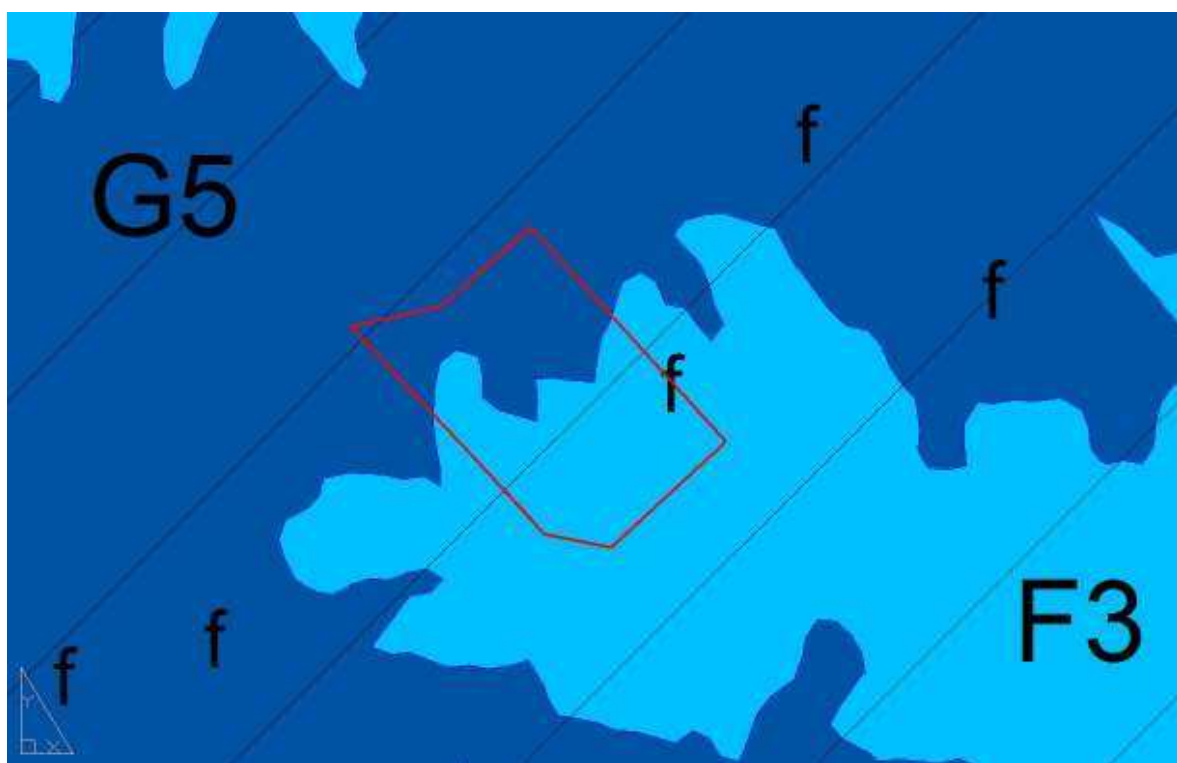


Figura 7: Contexto hidrogeológico da área do Curtume Dal-Bó (polígono vermelho). Fonte: KREBS, 2004. Convenções: G5 – Aquífero Rio Bonito; F3 – Aquífero Palermo; f – captação de água possível por poços com até 100m de profundidade.

Na área em questão, de acordo com Krebs (2004), está presente o aquífero relacionado a formação Rio Bonito que pode ser de porosidade intergranular, extenso, livre ou confinado. Por estar próximo de uma falha encoberta, comporta-se como aquífero fraturado, com arenitos cinza-esbranquiçados finos a grossos, siltitos e folhelhos carbonosos, com leitos e camada de carvão. A água presente nesse aquífero, originalmente, apresenta boa qualidade, mas, atualmente,

sofre restrições pela presença de contaminantes sendo apta para uso industrial(f). A captação por poços tubulares pode ser feita com profundidades variáveis de 40 a 180m.

Outro aquífero presente na área estudada é o relacionado a formação Palermo, que pode ser de porosidade intergranular, extenso e confinado com camadas de arenitos fino, lenticulares, com argilitos, siltitos e folhelhos pirobetuminosos. Intercalam-se lentes calcíferas e sills de diabásio. A captação é possível por meio de poços tubulares com até 100m de profundidade, com água também apta apenas para uso industrial(f) (KREBS *op cit.*).

3.5.3 Contexto Pedológico

Os solos de predominância na cidade de Criciúma, para PROGESC (1994), são os Podzólicos Vermelho Escuro, Podzólicos Vermelho Amarelo, Cambissolos e Solos Glei pouco húmicos, sendo que os dois primeiros os de maior ocorrência e significância no município, nas porções norte, leste e oeste.

Na figura abaixo é possível visualizar a situação da área em relação aos tipos de solos presentes no município.



Figura 8: Contexto pedológico da área do curte Dal-Bó (polígono vermelho). Fonte: PROGESC, 1995. Convenções: AU – Área Urbana; PVAa – Argissolo Vermelho-Amarelo Aluminico.

Apesar de o local de estudo estar completamente inserido na área urbana, é possível definir qual o tipo de solo presente no mesmo. De acordo com o levantamento do PROGESC (1995), na área estão presentes dois tipos de solo: Argissolo Vermelho-Amarelo Alumínico Ta e Tb A moderado com textura média/ argilosa de fase Floresta Ombrófila Densa Submontana e de relevo suave ondulado; e uma associação deste com Cambissolo Háplico Alumínico Tb A moderado e proeminente com textura argilosa e de relevo forte ondulado.

3.6 METAIS PESADOS

Os metais pesados estão presentes nos minerais que compõem as rochas e nos solos em pequenas concentrações. Daí a expressão elemento traço, cuja concentração é em termos de mg kg⁻¹. Metais pesados são elementos químicos que apresentam massa específica maior que 6 g cm⁻³ ou que possuem número atômico maior que 20 (ALLEONI et al., 2005 *apud* FERNANDES, 2006). Essa classificação, baseada na densidade, acaba englobando grupos de metais, semi-metais e até não metais (selênio). Alguns dos metais pesados tóxicos são: Mercúrio (Hg), chumbo (Pb), cádmio (Cd), cobre (Cu), níquel (Ni), cobalto (Co) e cromo (Cr). Os três primeiros são particularmente tóxicos para animais superiores. Os três últimos, exceto o níquel que é essencial às plantas em baixos teores e o cobalto para as leguminosas, são denominados fitotóxicos por serem mais tóxicos para plantas do que para animais (COSTA et al., 2004 *apud* FERNANDES, 2006). No Quadro 2 são apresentados valores para concentração considerada normal e fitotóxica em folhas e plantas.

Quadro 2: Concentrações de metais considerada normal e fitotóxica em folhas de plantas. Fonte: MATOS, 2001; ALLOWAY, AYRES, 1993.

Metais	Concentração Normal (mg/Kg)	Concentração Tóxica (mg/Kg)
Arsênio (As)	0,02 – 7	5 – 20
Cádmio (Cd)	0,1 – 2,4	5 – 30
Cromo (Cr)	0,03 – 14	5 – 30
Mercúrio (Hg)	0,05 – 0,17	1 – 3
Níquel (Ni)	0,02 – 5	10 – 100
Chumbo (Pb)	5 – 10	30 – 300

No Quadro 3 são apresentados algumas fontes de poluição pelo metal cromo e os alguns problemas de saúde ocasionado na contaminação humana pelo mesmo.

Quadro 3: Resumo das principais fontes e das principais consequências a exposição ao cromo.
Fonte: Adaptado de MÂCEDO, 2002.

Fontes principais (Antropogênia e Natural)	Principais problemas na saúde
• Curtição de couro • Galvanoplastia • Mineral cromita • Solos de serpentina	• Dermatites • Úlceras cutâneas • Inflamação nasal • Câncer de pulmão • Perfurações no septo nasal.

3.7 CROMO

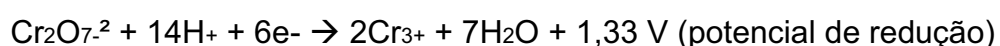
O cromo ou crômio foi descoberto na Rússia em 1765 por P. S. Pallas, mas o seu isolamento como um elemento aconteceu apenas em 1797 na França por Louis – Nicholas Vauquelin (ARFSTEN et al., 1998 *apud* SILVA; PREDOZO, 2001). O elemento cromo é obtido a partir do minério cromita, que é o mais abundante composto encontrado na natureza, de fórmula $\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$ ou $\text{Fe}(\text{CrO}_2)_2$, contendo de 40 a 50% de cromo. (HSDB, 2000 *apud* SILVA; PREDOZO, 2001).

Segundo (WHO, 1998 *apud* SILVA; PREDOZO, 2001), o cromo ocorre nos estados de oxidação -2 a +6, porém somente o Cr^0 , Cr (II), Cr (III) e Cr (VI) são os mais comuns. A forma bivalente é facilmente oxidada à forma trivalente pelo ar. Para MÂCEDO (2002, p. 160), “as formas trivalente (III) e hexavalente (VI) são as consideradas de maior importância biológica, sendo que a forma hexavalente é a predominantemente solúvel no ambiente aquático”. E com relação à toxicidade para o homem as formas trivalente e hexavalente são as mais importantes (WHO, 1998).

Os principais produtos de cromo (sais, óxido, metal, ligas) são obtidos através de diferentes reações químicas a partir da cromita (STERN, 1982 *apud* SILVA; PREDOZO, 2001). Por meio desses processos químicos, a cromita é convertida em vários produtos químicos essenciais. Por exemplo: 4% da cromita são transformados em óxido de cromo (VI), utilizado nas cromações em galvanoplastias e como oxidante; 15% dela são destinados à fabricação de produtos químicos

No meio ambiente, eventualmente o Cr (VI) pode ser convertido em Cr (III), por meio de espécies redutoras (sulfeto de hidrogênio, enxofre, sulfeto ferroso, amônio, nitrito), sendo que, a forma trivalente não migra de forma significativa em sistemas naturais, rapidamente precipita sendo adsorvida pelos sedimentos do fundo e partículas suspensas (BRIDGEN, STRINGER e LABUNSKA, 2000 *apud* MÂCEDO, 2002).

Segundo Silva e Predozo (2001), a relação entre os estados hexavalente e trivalente é descrita pela equação:



As formas trivalente e hexavalente acumulam-se em muitas espécies aquáticas, especialmente dos peixes que se alimentam no fundo, como o peixe *Ictalurus nebulosus*; em moluscos bivalves, como a ostra *Crassostrea virginica*, o mexilhão *Mytilus edulis* e o molusco *mya arenaria* (KIMBROUGH, *et. al.*, 1999 *apud*. MÂCEDO, 2002).

“Enquanto o Cr (III) é um elemento essencial e tóxico em nível de traço em animais o Cr (VI) é não essencial e tóxico em baixas concentrações. Em função dos processos de oxirredução, de transformação de Cr (III) em Cr (VI) e vice-versa, considera-se as atividades antropogênicas que liberam o Cr (III) ou o Cr (VI) como indesejáveis, mesmo se Cr (III) é descarregado no meio ambiente, não há garantia de que ele permanecerá neste estado químico”. (MÂCEDO, 2002 p. 161).

Segundo Alloway, Ayres, (1993 *apud*. MÂCEDO, 2002), a concentração considerada normal para o cromo em água superficial, à temperatura ambiente é de 0,1 à 6 µ/L.

O Cr (III) é essencial para o metabolismo de glicose, proteínas e gordura de mamíferos, sendo que, os sinais de deficiência em humanos incluem perda de peso e tolerância diminuída à glicose. As exigências mínimas diárias de CR (III), para uma boa saúde não são conhecidas, mas estima-se para humanos uma ingestão diária de 50-200 µg/dia. (BRIDGEN, STRINGER e LABUNSKA, 2000 *apud*. MÂCEDO, 2002). (p. 161).

Os compostos de Cr (VI) são corrosivos e reações alérgicas na pele ocorrem logo após o contato, independente da dose. Níveis elevados, apesar de exposições rápidas, podem levar à ulcerações na pele, perfurações no trato respiratório e na irritação gastrointestinal. Danos ao rim e ao fígado já foram relatados

devido à exposição ao Cr (VI) e a Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (IARC) classifica os compostos de Cr (VI) como carcinógenos (KIMBROUGH, et. Al., 1999 *apud*. MÂCEDO, 2002)

3.8 RISCOS À SAÚDE

Áreas contaminadas apresentam muitas ameaças ao meio ambiente e também grandes riscos para a saúde humana. Para (SÁNCHEZ 2001 p, 95)

“esses locais são verdadeiras “bombas-relógio químicas” consignando situações de perigo cujas conseqüências nefastas podem ser sentidas muito tempo depois da acumulação de substâncias tóxicas. As áreas contaminadas representam um risco à saúde pública por diversas razões. As substâncias tóxicas presentes podem entrar em contato direto com a pele ou ser ingeridas por crianças ou ainda se fixar a partículas sólidas e serem inaladas. Odores e gases nocivos podem ser liberados de terrenos contaminados, as substâncias tóxicas podem ser transferidas para as águas subterrâneas e mesmo se infiltrar em redes de distribuição de água potável. Finalmente, essas substâncias podem ser tóxicas para a vegetação e influenciar negativamente o crescimento de plantas”.

A presença de solos contaminados ocasiona riscos para a saúde das pessoas e dos ecossistemas cujas conseqüências são, em geral, cumulativas e só se manifestam no futuro e não de forma espetacular, com explosões e incêndios, mas por meio do aumento da incidência de doenças ou da concentração de substâncias tóxicas no meio. Trata-se de uma exposição passiva de uma população a agentes químicos presentes em um ou mais meios, como a água subterrânea ou o próprio solo. (SÁNCHEZ, 2001)

De acordo com o banco de dados americano para substâncias químicas, o INCHEM, em adultos, a dose letal oral de cromatos solúveis é de 50 a 70 mg por quilo corporal. Os sintomas de intoxicação aguda por cromo são: vômitos, diarreia, tendência a hemorragias, perda de sangue no trato gastrointestinal provocando um choque cardiovascular. A intoxicação crônica por cromo trivalente e hexavalente, de acordo com Langard e Norseth (1979 *apud* INCHEM), pode ocasionar danos à saúde, como: alteração na mucosa e na pele, alergia dermal e efeitos brônquio-pulmonares. Também por efeito crônico do cromo, podem ocorrer alterações graves nos rins, fígado, trato gastrointestinal e sistema circulatório.

Por isso, cada área contaminada, devidamente identificada ou não apresentam graus de risco diferentes. Segundo Sánchez (2001), o grau de risco à

saúde está diretamente ligado à maneira como este solo será ou é utilizado, assim como ao tipo de poluente presente, textura do solo e diversos parâmetros físicos e químicos que definirão a mobilidade das substâncias. Obviamente que usos de ordem residencial, recreativa ou agrícola requerem qualidade excelente do solo, pois a possibilidade de contato direto é muito elevada, enquanto usos industriais e comerciais, ou ainda estacionamentos ou vias de transporte, são menos exigentes. No entanto, massas de solos contaminados podem representar uma fonte de dispersão de poluentes no ar e nas águas, de forma que não é somente o uso direto do próprio solo que será levado em conta na avaliação do risco, mas também seu potencial de contaminar outros meios.

3.9 MIGRAÇÃO DE POLUENTES E CONTAMINAÇÃO DO SOLO POR METAIS

Para Perin (2005) do ponto de vista ecotoxicológico, pode-se dividir o sistema ambiental, ou seja, a ecosfera, em cinco partes fundamentais: atmosfera, água, solo sedimento, animais e plantas (biomassa). Como subcompartimentos, consideram-se as partículas suspensas no ar os sólidos na água. A dimensão e as interações entre os compartimentos ar, água, solo e a biomassa são evidentes para todos. O sedimento muitas vezes é o destino final de muitos compostos em virtude de processos de sedimentação, absorção e/ou destruição do próprio sedimento. Nos sedimentos ocorre uma série de reações de oxirredução, de hidrólise e de complexação por meio da formação de complexos entre metais, fósforo, ácidos húmicos.

A partir disso é possível afirmar que

“um composto químico emitido de qualquer um desses compartimentos ambientais deverá se dispersar por todos os outros, porém com tempo e de modo diversos, pois são condicionados pelas características de reatividade de cada composto. O seu destino no meio ambiente será controlado por dois fatores: estrutura molecular e atômica, a qual determinará características como solubilidade em água ou lipídios, tensão de vapor, repartição em diferentes fases, etc.; e natureza do ambiente – temperatura, velocidade do ar, velocidade da água, porosidade dos meios, polaridade e polarizabilidade dos meios e das interfaces etc. – onde se encontra o composto”. (PERIN 2005) (p. 86).

A Figura a seguir representa a interação entre as partes fundamentais de um sistema ambiental.

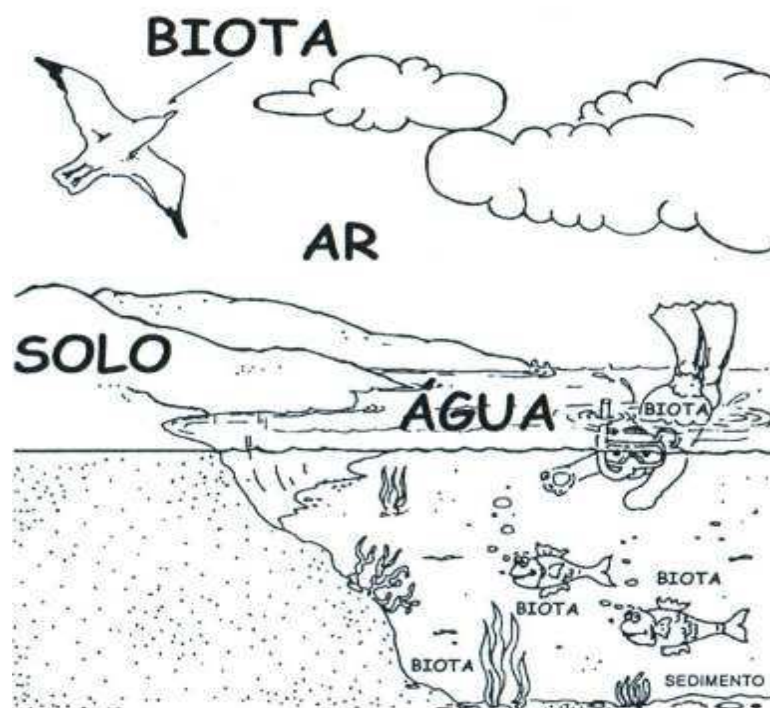


Figura 10: As cinco partes fundamentais do sistema ambiental: ar, água, solo, animais e plantas. (PERIN, 2005)

Já Sánchez(2001, p. 81), que se refere às partes fundamentais como matrizes, dia que as substâncias poluentes circulam de uma matriz para outra, e destas para os organismos vivos, incluindo o homem. Pode-se, portanto afirmar que, desde que a poluição de origem industrial começou a se manifestar, seus efeitos se refletem no solo.

Também, segundo (BAIRD, 2002, p.557)

“O destino final dos metais pesados e também de muitos compostos orgânicos tóxicos é sua deposição e soterramento em solos e sedimentos. Os metais pesados acumulam-se frequentemente na camada superior do solo, sendo então acessíveis para as raízes das plantas cultivadas em plantações. Os materiais húmicos, que se encontram na parte orgânica do solo, ou seja, no horizonte O, têm uma grande afinidade pelos cátions de metais pesados, de maneira que os extraem da água que passa através deles por meio de processos de troca iônica. A fixação de cátions metálicos ocorre, em grande parte, por meio da formação de complexos com os íons metálicos através dos grupos – COOH dos ácidos húmicos e fúlvicos”.

Ainda para Baird (2002), os metais pesados são retidos no solo por três vias:

- Por adsorção sobre as superfícies das partículas minerais;
- Por complexação pelas substâncias húmicas das partículas orgânicas;
- Por reações de precipitação.

Uma questão relevante a respeito do solo contaminado é levantada por Sánchez (2001) afirmando que “quando uma indústria deixa de emitir efluentes líquidos ou poluentes do ar, seus efeitos imediatos cessam; o rio segue fluindo e suas águas diluem os poluentes remanescentes ou os transporta para longe; suspendendo as emissões atmosféricas, o ar torna-se limpo. Mas as substâncias nocivas acumuladas no solo ali permanecem e lentamente podem poluir as águas subterrâneas ou superficiais e afetar a biota”. Isso torna os sítios contaminados uma questão necessitada de grande atenção por parte das políticas públicas.

3.9.1 Potencial Químico e Fugacidade

De acordo com Perin (2005), quando não é possível pré-definir o comportamento de um composto no meio ambiental, pode-se à alguns conceitos como o de potencial químico e fugacidade. O potencial químico de um composto pode ser utilizado para determinar a tendência de um dado composto em passar de um sistema ambiental a outro. Como exemplo, pensemos no potencial hidráulico de vasos comunicantes, em que a altura do líquido em um dos cilindros indica qual o sentido do deslizamento do fluído. Mas como o potencial químico não pode ser observado diretamente, Lewis, em 1901, criou o conceito de fugacidade, que está ligado diretamente ao potencial químico. Lewis considerou que em vez de indicar os valores dos potenciais químicos seria mais prático um parâmetro que indicasse a tendência relativa das moléculas em se deslocarem de um sistema para o outro.

A fugacidade é definida por Perin (2005, p. 89) como

“uma medida termodinâmica correlacionada ao potencial químico ou à atividade que caracteriza a tendência de um composto químico específico escapar de uma fase para a outra. Assim, pode se dizer que o conceito de fugacidade é muito útil para a identificação do comportamento, estático e dinâmico, de substâncias tóxicas na ambiente”.

A determinação da fugacidade de um elemento exige muitos dados e disponibilidade de um longo tempo para cálculos e análises. Atualmente essa ferramenta tem sido muito utilizada para determinar o comportamento de compostos tóxicos orgânicos no meio ambiente.

A Figura 11 representa a fugacidade de um determinado composto nas diversas matrizes ambientais.

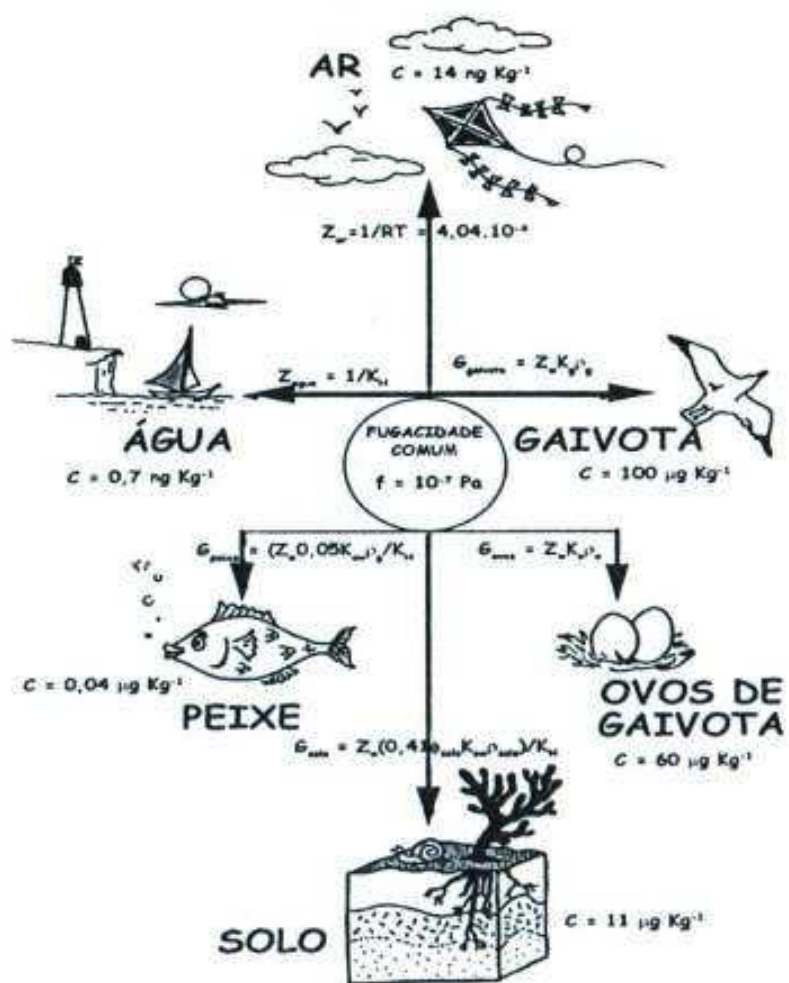


Figura 11: Representação da fugacidade de um composto tóxico em diferentes compartimentos (PERIN, 2005)

3.10 CURTUMES

3.11 DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE CURTIMENTO DO COURO

Preparação do couro

A preparação do couro inicia-se logo após uma esfola. As peles são bem lavadas e escovadas do lado carnal, para impedir a proliferação de microorganismos. No Curtume Dal-Bó a conservação das peles era feita com a imersão em salmoura forte, durante dezesseis a vinte horas.

Quando o sal é barato, é realizado um processo de cura a úmido, com a imersão das peles numa solução salina saturada. Em locais onde o sal não é abundante, a cura é feita por um processo de secagem ou desidratação, porém este processo não é muito aconselhável, pois na re-hidratação durante o remolho são utilizados grandes volumes de água.

Antes de passar para a fase seguinte, as peles são classificadas pelo seu comprimento (linha de coluna vertebral) em três grupos, cada um deles subdividido em cinco subgrupos, de acordo com o peso.

Remolho

Este processo tem por finalidade repor, no menor espaço de tempo possível, o teor original de água das peles, com o objetivo de limpá-las, eliminando impurezas e extraíndo proteínas e matérias interfibrilares. A duração do processo pode ser de até 48 horas, dependendo do grau e de fatores como grau, tipo de conservação e temperatura ambiente. Geralmente, a água utilizada nessa fase é ligeiramente alcalinizada e contém desinfetante, com intuito de facilitar a remoção de sujeiras, sangue, soro, sal e algum sebo.

Caleiro e Depilação

Esta etapa representa uma parte importante no processo de curtimento onde se utilizam, tradicionalmente, grandes quantidades de cal e sulfeto de sódio.

Promove-se a retirada dos pêlos e da epiderme, provoca-se o inchamento da pele, preparando as fibras colágenas e elásticas para serem curtidas e, também, saponificar as gorduras. No Curtume Dal-Bó este processo era realizado em cerca de 30 fulões que funcionavam 24 horas. O processo de calagem variava de 18 a 24 horas dependendo do tipo e pele.

O sulfeto de sódio, em meio alcalino, destrói os pêlos: sua maior ou menor concentração irá determinar se os pêlos serão recuperáveis ou não. Quando não for economicamente interessante a recuperação, os pêlos são completamente destruídos.

Descarnagem

Trata-se da remoção física dos tecidos adiposos do couro. Neste processo as carnaças resultantes do processamento, com grande quantidade de água (gelatinosas), passam por um processo de moagem e tem como destino final a estação de tratamento de efluentes. Já o tecido adiposo “sebo”, que não continha grande quantidade de água eram doados para a fabricação de sabões e detergentes. Na época de funcionamento do Curtume Dal-Bó, o sebo era doado para a empresa Zavaski, fabricante de produtos de limpeza.

Purga

É a preparação da pele inchada para o curtimento. Consiste numa lavagem preliminar em água limpa, durante cerca de trinta minutos a uma hora, para remoção de parte da alcalinidade, seguida de nova lavagem em água contendo sais de amônio. Este banho, em que são mergulhadas e agitadas durante uma a cinco horas, destina-se fazer baixar o pH, além de diferir e soltar a matéria epidérmica, junto com o resto das raízes dos pêlos.

A purga raramente é realizada em tanques ou batedeiras, sendo mais usual o emprego de tamborões rotativos.

Piquelagem

Consiste na acidificação da pele com ácidos orgânicos ou geralmente, ácido sulfúrico e cloreto de sódio, a fim de evitar o inchamento e a precipitação de sais de cromo, no caso de curtimento ao cromo. Antes do curtimento vegetal (com tanino) não se usa piquelagem.

Curtimento

É nesta fase que as fibras da pele vão se transformar e um produto imputrescível, o couro. Embora haja muitos reagentes utilizáveis no curtimento, apenas cinco são empregados em quantidades expressivas: tanino vegetal (acácia negra), taninos sintéticos, cromo, sais de alumínio e zircônio.

Curtimento Vegetal

As fontes de tanino mais empregadas no Brasil são: casca e extrato de quebracho, casca de acácia negra e casca de barbatimão. No curtume Dal-Bó utilizava-se da casca da acácia negra.

No curtimento vegetal, as peles piqueladas ou não, são curtidas por imersão numa solução de tanino, em banhos de concentrações crescentes. As peles são dependuradas em cabides ou esticadas em molduras. A purga é eventual e o recurtimento é feito com taninos vegetais e sintéticos.

Após o término do curtimento, os couros são removidos dos tanques, deixados em repouso por 48 horas e, a seguir, lavados para eliminar o excesso de tanino. Em seguida, vão à seção de acabamento.

Curtimento ao cromo

O curtimento ao cromo vem sendo utilizado desde o começo do século para a produção de couros leves. A principal vantagem reside na abreviação do tempo de curtimento, que fica reduzido a menos de um dia, além de produzir um couro com maior resistência ao calor e ao desgaste. A maioria dos couros é

produzida em um único banho de sulfato básico de cromo. O couro absorve sais de cromo na proporção de 3 a 7% do seu peso, sendo que esta operação é realizada no banho de 1,5% e um máximo de 5% de Cr_2O_3 .

Curtimento combinado

O curtimento ao tanino produz um couro mais encorpado e mais fácil de ser usinado e compactado. Por este motivo, às vezes, se procede ao curtimento combinado, no qual os couros ao cromo recebem um segundo curtimento ao tanino.

Na Figura 12, está representado o fluxograma completo para o beneficiamento de couro bovino, com indicações e entrada e saída de materiais e rejeitos.

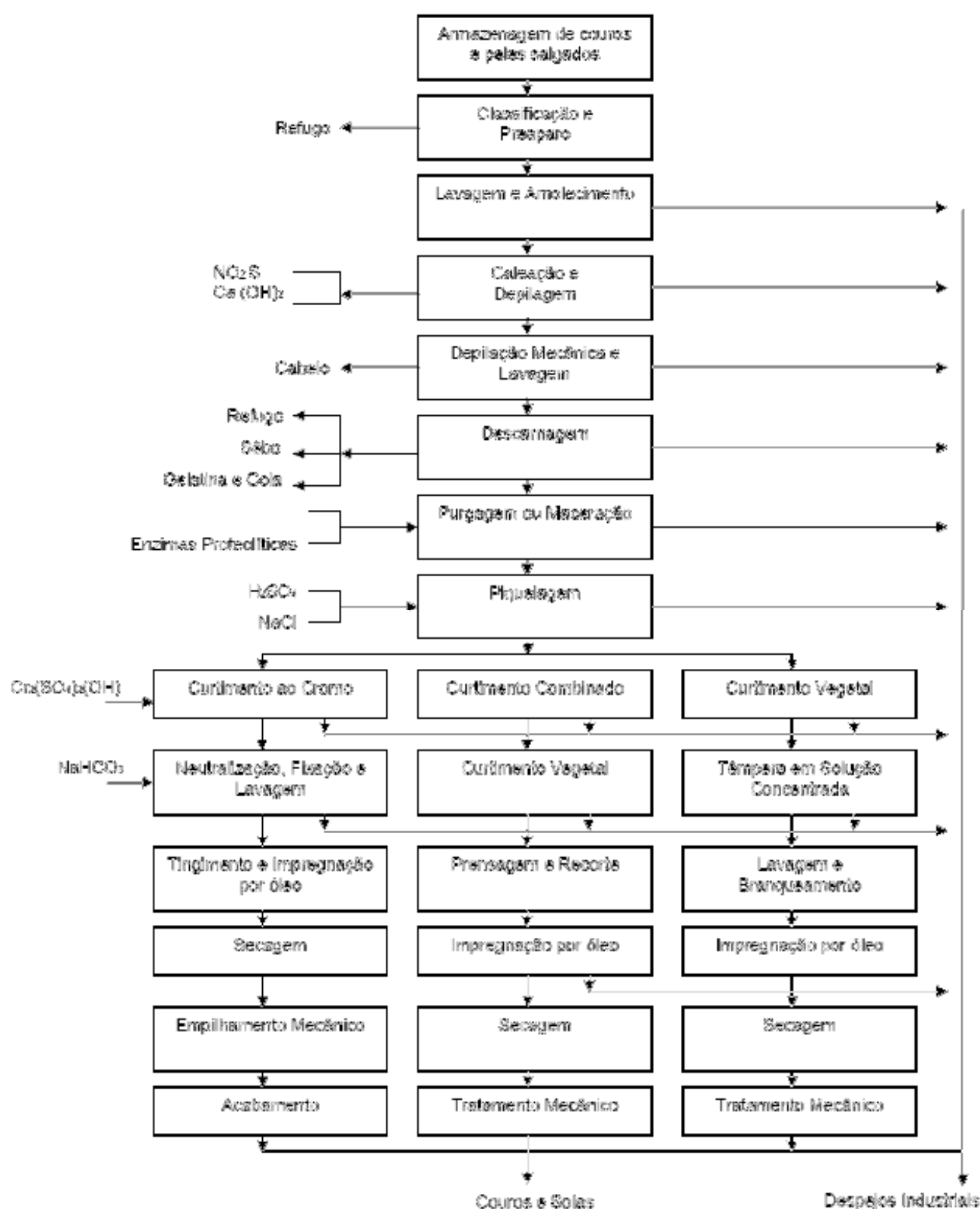


Figura 12: Fluxograma de produção de couro

No item 3.4 do apêndice A, estão relacionados os principais produtos utilizados em cada etapa do processo de curtimento e preparação do couro.

No processo produtivo de couro são utilizados alguns reagentes de origem vegetal e também alguns quimicamente sintetizados, esses reagentes são fornecidos em embalagens que após o uso devem ser dispostas de maneira correta, para evitar a contaminação do solo. Apesar desse tipo de resíduo necessitar de uma atenção especial, as embalagens não representam o resíduo sólido mais problemático em um curtume.

Segundo Senna (2007) o processamento do couro gera 415 a 695 kg de resíduos sólidos por tonelada de pele salgada, nas etapas de piquelagem ou ribeira e acabamento. Esses resíduos são compostos por aparas, carnaça e tiras já curtidas. Os mais problemáticos são os resíduos que contém cromo, metal resistente à degradação natural no meio ambiente, contido no material curtido. Dependendo de como os efluentes são processados, o cromo pode estar presente também no lodo das estações de tratamento, os quais poderão contaminar o solo e as águas superficiais e subterrâneas.

Os resquícios de cromo no couro podem afetar a saúde humana. Suspeita-se que, na valência 6, o cromo apresente propriedades cancerígenas, o que tem levado diversos países a estabelecer leis bastante restritivas em relação ao couro importado. (CASTRO, 2003 *apud* SENNA, 2007)

3.12 NORMAS CONSULTADAS

3.12.1 Lista holandesa de valores de qualidade do solo e da água subterrânea – Valores STI

A partir do conceito de multifuncionalidade do solo estabelecido em 1987, por meio da promulgação da Lei de Proteção do Solo (*Soil Protection Act*) pelo governo federal holandês, o Ministério de Planejamento Territorial e Meio Ambiente da Holanda (VROM), em atendimento a essa lei, publicou em 1994 a nova proposta de valores de qualidade do solo e da água subterrânea.

A característica principal dessa proposta é a criação de três valores distintos (STI) de qualidade para os compartimentos ambientais citados, ou seja:

Valor de referência (S): indica um nível de qualidade do solo e da água subterrânea que permite considerá-los “limpos”, considerando-se a sua utilização para qualquer finalidade.

Valor de intervenção (I): indica um nível de qualidade do solo acima do qual existem riscos para a saúde humana e para o ambiente. A ultrapassagem desse valor (média) em um volume de solo de 25 m³ ou em 100 m³ de água subterrânea, indica a necessidade de implementação na área avaliada de ações voltadas para a sua remediação.

Valor de alerta (T): é um valor médio entre os dois primeiros S e I. Ele indica que já ocorreu certa alteração que diminuiu, ainda que pouco, as propriedades funcionais do solo, sendo necessária uma investigação detalhada na área para quantificação dessa alteração.

A Tabela 1 apresenta, como exemplo, os parâmetros de qualidade para um solo contaminado por cromo contendo de 0 a 10% de matéria orgânica e de 0 a 25% de argila.

Tabela 1: Valores para concentração de cromo no solo. Legislação Holandesa (CETESB, 2002).

Argila	Matéria Orgânica	Concentração em peso seco (mg/kg)		
		S	T	I
0%	0%	50	120	190
25%	10%	100	240	380

3.12.2 Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo

Os Valores Orientadores são definidos e têm a sua utilização como segue:

Valor de Referência de Qualidade (VRQ) é a concentração de determinada substância no solo ou na água subterrânea, que define um solo como limpo ou a qualidade natural da água subterrânea, e é determinado com base em interpretação estatística de análises físico-químicas de amostras de diversos tipos de solos e amostras de águas subterrâneas de diversos aquíferos do Estado de São Paulo. Deve ser utilizado como referência nas ações de prevenção da poluição do solo e das águas subterrâneas e de controle de áreas contaminadas.

Valor de Prevenção (VP) é a concentração de determinada substância, acima da qual podem ocorrer alterações prejudiciais à qualidade do solo e da água subterrânea. Este valor indica a qualidade de um solo capaz de sustentar as suas funções primárias, protegendo-se os receptores ecológicos e a qualidade das águas subterrâneas. Foi determinado para o solo com base em ensaios com receptores ecológicos. Deve ser utilizado para disciplinar a introdução de substâncias no solo e, quando ultrapassado, a continuidade da atividade será submetida a nova avaliação, devendo os responsáveis legais pela introdução das cargas poluentes proceder o monitoramento dos impactos decorrentes.

Valor de Intervenção (VI) é a concentração de determinada substância no solo ou na água subterrânea acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana, considerado um cenário de exposição genérico. Para o solo, foi calculado utilizando-se procedimento de avaliação de risco à saúde humana para cenários de exposição Agrícola-Área de Proteção Máxima – APM_{Max}, Residencial e Industrial. Para a água subterrânea, considerou-se como valores de intervenção as concentrações que causam risco à saúde humana listadas na Portaria 518, de 26 de março de 2004, do Ministério da Saúde - MS, complementada com os padrões de potabilidade do Guia da Organização Mundial de Saúde - OMS de 2004, ou calculados segundo adaptação da metodologia da OMS utilizada na derivação destes padrões. Em caso de alteração dos padrões da Portaria 518 do MS, os valores de intervenção para águas subterrâneas serão conseqüentemente alterados. A área será classificada como Área Contaminada sob Investigação quando houver constatação da presença de contaminantes no solo ou na água subterrânea em concentrações acima dos Valores de Intervenção, indicando a necessidade de ações para resguardar os receptores de risco.

Tabela 2: Valores indicados pela legislação paulista para níveis de cromo no solo.

Substância: Cromo		Solo (mg/kg) peso seco		
		Intervenção		
Referência de Qualidade	Prevenção	Agrícola APM _{Max}	Residencial	Industrial
40	75	150	300	400

3.13 FITORREMEDIAÇÃO

A fitorremediação é uma tecnologia que utiliza espécies vegetais como agentes de descontaminação, a fim de recuperar solos, água e sedimentos contaminados por poluentes de origem orgânica, como hidrocarbonetos e pesticidas, e de origem inorgânica, como os metais pesados. Esta técnica é uma boa alternativa aos tratamentos convencionais de remoção física da camada contaminada do solo, pois é de baixo custo, podendo ser aplicada em grandes áreas e a possibilidade de realizar o tratamento *in situ*, a torna menos agressiva ao meio ambiente (OLIVEIRA et al, 2006).

Para Dinardi et al (2003, p.1)

“a área de estudo, embora não seja nova, tomou impulso nos últimos dez anos, quando se verificou que a zona radicular das plantas apresenta a capacidade de biotransformar moléculas orgânicas exógenas. A rizosfera, como é denominada esta zona, tem sido desde então estudada por sua importante função de utilizar moléculas poluentes como fonte de nutrientes para os diversos microrganismos que cohabitam nesta região”.

Segundo Baird (2002), a técnica de fitorremediação, tem se tornado uma tecnologia emergente. Por meio dessa técnica, as plantas podem remediar poluentes por meio de alguns mecanismos:

- Ingestão direta dos contaminantes e acumulação no tecido da planta, também chamada de fitoextração.
- Liberação no solo de oxigênio e substâncias bioquímicas, como enzimas que estimulem a biodegradação dos poluentes, ou fitoestabilização.
- Adsorção e imobilização do contaminante no sistema radicular, chamado de fitoadsorção.
- Intensificação da degradação por fungos e micróbios localizados na interface raiz-solo, ou rizorremediação ou fitoestimulação.

A fitorremediação é uma boa alternativa a ser utilizada como medida de remediação do local, devido às vantagens que incluem seu custo relativamente baixo, benefícios estéticos e natureza não invasiva.

Na figura 13, é possível observar a dinâmica dos mecanismos presentes na técnica da fitorremediação.

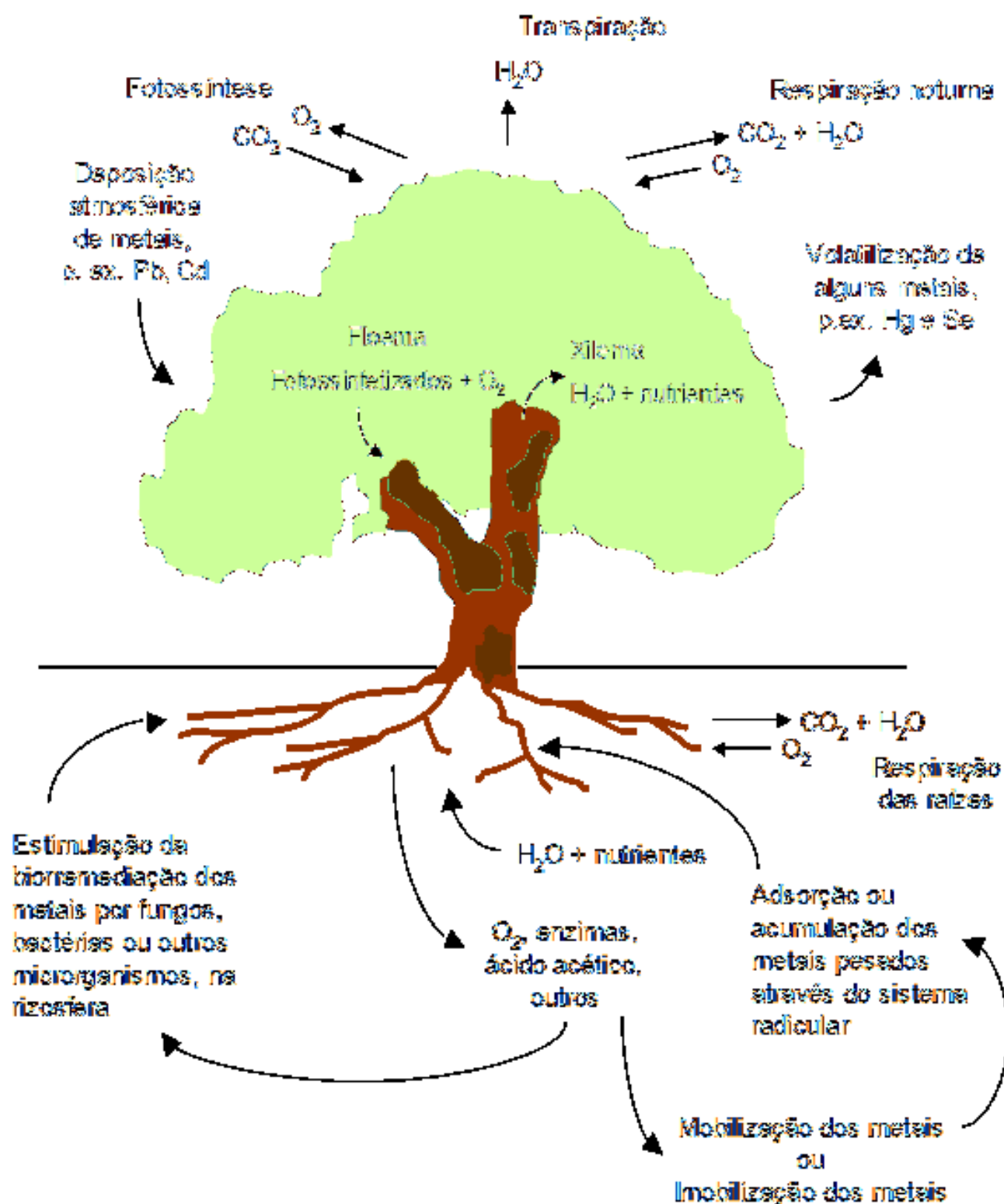


Figura 13: Mecanismos de fitorremediação de solos contaminados com metais pesados. (Adaptado de SCHNOOR, 2002 *apud* OLIVEIRA et al, 2006).

Antes da aplicação da técnica de fitorremediação é importante que se conheça as características físico-químicas do solo, dos contaminantes e como

ocorre a sua distribuição na área impactada. Com base em análises apresentadas, os vegetais que serão empregados na recuperação de áreas contaminadas devem apresentar características específicas conforme o Quadro 4. (FERRO et al, 1994; PERKOVICH et al, 1996; CUNNINGHAM et al, 1996; NEWMAN et al, 1998; ACCIOLY & SIQUEIRA, 2004; VOSE et al, 2000 *apud* OLIVEIRA et al, 2006):

Quadro 4: Pré-requisitos da fitorremediação (Adaptado de PIRES, 2003).

Pré-requisitos para aplicação da fitorremediação	
Alta taxa de crescimento e produção de biomassa	Fácil aquisição ou manipulação de propágulos
Capacidade de absorção, concentração e/ou metabolização e tolerância ao contaminante	Capacidade de desenvolver-se bem em ambientes diferenciados
Retenção do contaminante nas raízes, no caso da fitoestabilização, como oposto à transferência para a parte aérea, evitando sua manipulação e disposição.	Ocorrência natural em áreas poluídas (importante na identificação, porém não é um pré-requisito)
Sistema radicular profundo e denso	Fácil controle ou erradicação
Elevada taxa de exsudação radicular	Resistência a pragas e doenças
Fácil colheita, quando necessária remoção da planta da área contaminada	Capacidade transpiratória elevada, especialmente em árvores e plantas perenes.

De acordo com Oliveira et al. (2006, p. 8)

“são diversas as características a serem observadas no sistema vegetal antes de aplica-lo como um fitorremediador. Portanto, dificilmente é possível reunir todas as características desejáveis; porém a que for selecionada deve apresentar o maior número delas. Várias espécies também podem ser utilizadas em um mesmo local ou ao mesmo tempo, para remover mais de um contaminante”.

No Quadro 5 são aprestadas algumas vantagens e limitações para aplicação da técnica de fitorremediação.

Quadro 5: Vantagens e limitações da Fitorremediação. (IVP, 2006)

Vantagens	Limitações
Baixo custo	Os metais não são remediados, se não estiverem ao alcance das raízes. Tratamento adequado a solos cuja contaminação está localizada à superfície (< 5m).
Melhoria da paisagem	
Fornecer cobertura para a vida animal	Tecnologia ainda em desenvolvimento e portanto, ainda não aceita por organismos reguladores
Reduzido impacto ambiental	Tratamento mais lento do que pelas técnicas físico-químicas tradicionais (dura pelo menos o tempo de crescimento da planta)
Aceitação pelo público	Se a concentração de metais no solo é muito tóxica, a vegetação pode não se desenvolver
Útil em locais onde a quantidade de solo a descontaminar é muito elevado	Se as plantas libertarem compostos que permitam o aumento da mobilidade dos metais, estes em vez de serem depois assimilados pelas plantas podem ser “lavados” para as águas subterrâneas
Redução da dispersão aérea de contaminantes e poeiras (são armadilhados na vegetação)	As plantas são, em geral, seletivas no metal a remediar, embora possam ocasionalmente remediar mais do que um metal
Redução das escorrências superficiais (são retidas pela vegetação)	Conhece-se pouco sobre o cultivo, a genética, a reprodução e as doenças das plantas fitorremediadoras
Redução dos lixiviados e do transporte dos contaminantes no solo (são retidos pela vegetação)	A área a descontaminar deve ser suficiente para permitir a aplicação de técnicas de cultivo (suficiente para colocar um trator, p.ex).
O produto final (a planta) pode ser valorizado economicamente. Possibilidade de reciclagem dos metais	As plantas fitoextratoras colhidas ainda não são comercializadas
Útil na remediação de solos contaminados com misturas heterogêneas (orgânicos e metais)	Pode haver propagação da contaminação na cadeia alimentar se as plantas acumuladoras forem ingeridas por animais
A colheita das plantas que acumularam os metais pesados é fácil de realizar com a tecnologia existente	As plantas podem não se adaptar às condições climáticas e ambientais dos solos a descontaminar, p.ex. temperaturas muito elevadas ou muito negativas, déficit de água
Processo mais facilmente controlado do que com microrganismos	
Tecnologia que fornece a sua própria energia (pela fotossíntese)	

3.13.1 Fitoextração

“Envolve a absorção dos contaminantes pelas raízes, os quais são nelas armazenados ou são transportados e acumulados nas partes aéreas”. (DINARDI *et al*, 2003, p. 02). Segundo (MCGRATH, 1998 *apud* OLIVEIRA, 2006), essa técnica é

aplicada principalmente para metais como cádmio, níquel, cobre, zinco, cromo e chumbo, possivelmente também utilizada para compostos orgânicos.

A Figura 14 ilustra o funcionamento do processo de fitoextração.

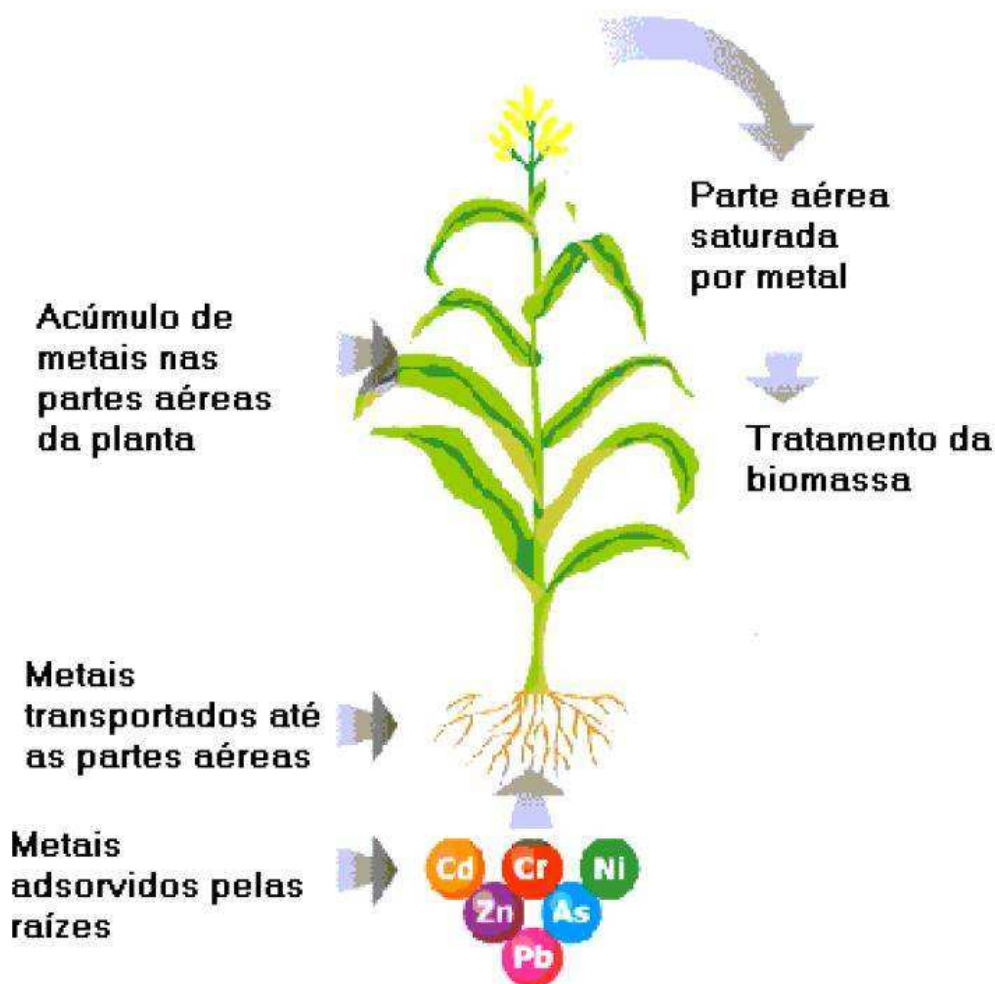


Figura 14: Esquema representativo dos processos envolvidos na fitoextração de solos contaminados por metais pesados. (Adaptado de NASCIMENTO, 2006 *apud* OLIVEIRA *et al*, 2006)

A Fitoextração é a técnica mais utilizada na fitorremediação de solos contaminado com metais pesados, por sua possibilidade de elevada eficiência e baixo custo. Porém, a fitoextração só é eficiente se o contaminante for removido do solo. Em geral, é necessário colher as plantas antes da queda ou de sua decomposição, para que os contaminantes não retornem para o solo. Ainda, depois do recolhimento dessa biomassa, ela deve ser processada por meio de processos térmicos, físicos, químicos ou biológicos para a extração dos metais adsorvidos. (SCHNOOR, 2002 *apud* OLIVEIRA, 2006).

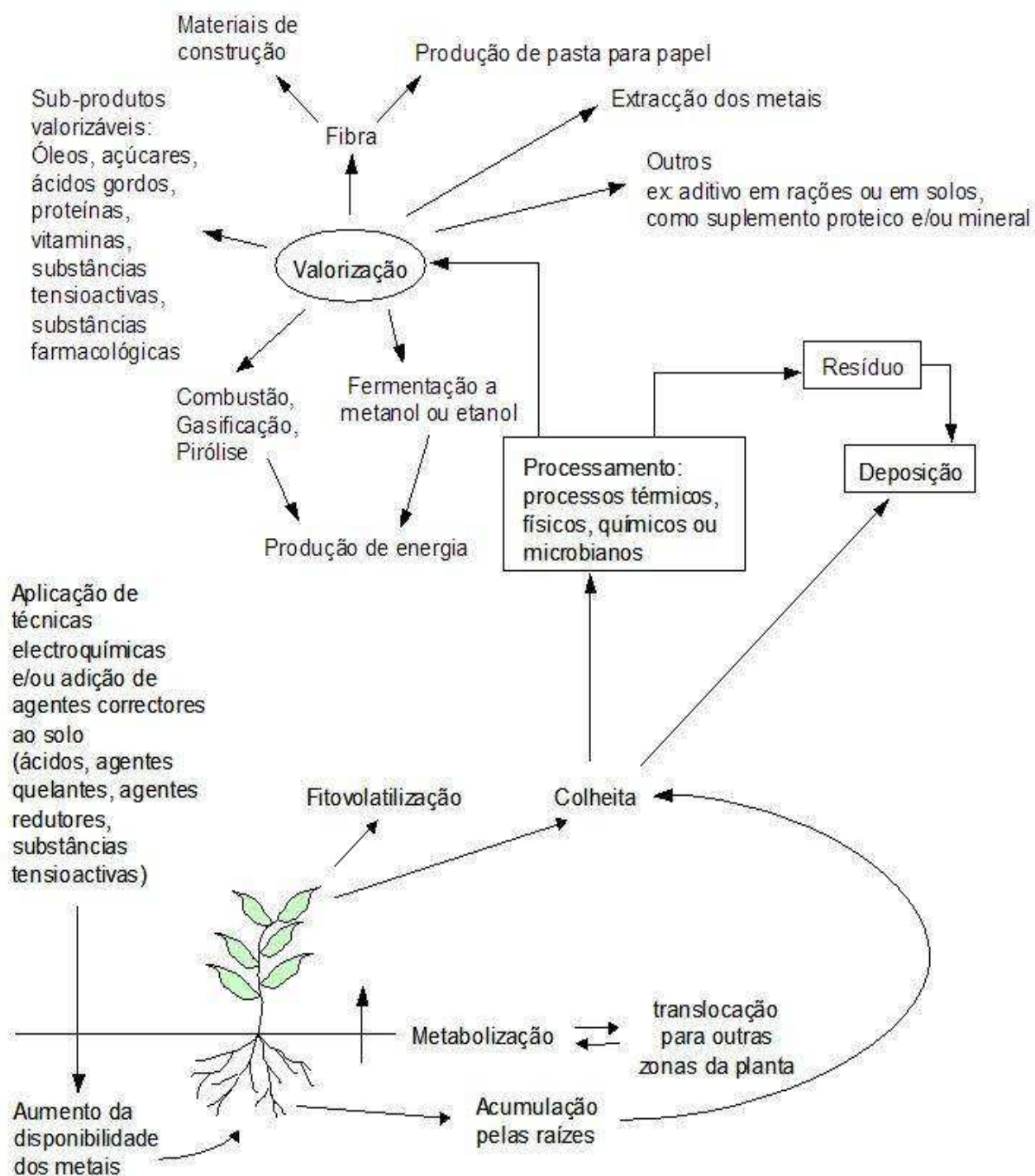


Figura 15: Processos envolvidos na fitoextração. (Fonte: Instituto Virtual Português – IVP).

Algumas espécies de plantas, em específico, são hiperacumuladoras de metais, ou seja, possuem a capacidade de absorver e armazenar, por meio das raízes, altas concentrações de metais específicos podendo atingir concentrações de 0,1% a 1% do peso seco, dependendo do metal (MCGRATH, 1998 *apud* OLIVEIRA et al, 2006).

A técnica de fitoextração se utiliza das espécies hiperacumuladoras para a remediação de solos contaminados por metais pesados, conforme a Figura 16.

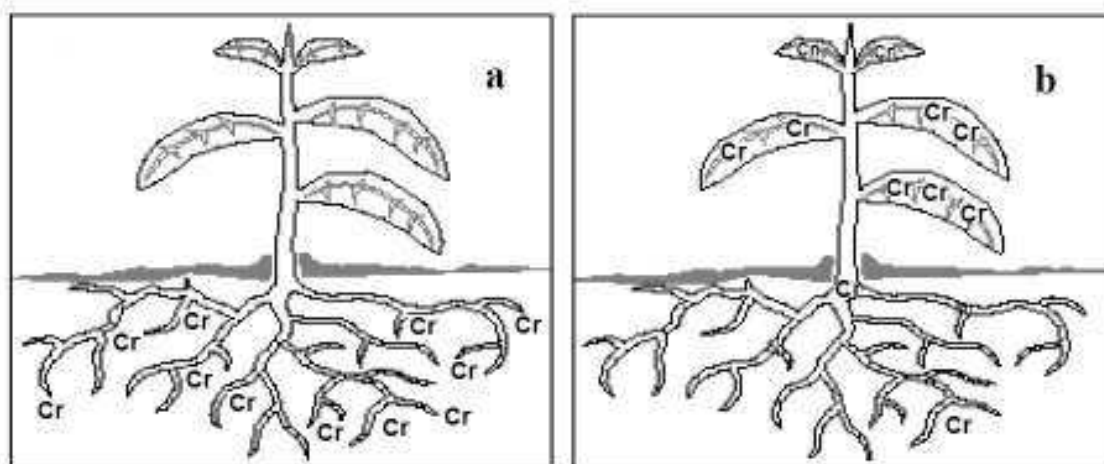


Figura 16: Esquema dos mecanismos de Plantas Hiperacumuladoras: (a) contaminantes no solo; (b) contaminantes adsorvidos pela planta. (DINARDI et al, 2003)

A maioria das espécies hiperacumuladoras são provenientes dos trópicos, e pertencem principalmente à família das Euforbiáceas. Nos climas temperados o maior número de espécies pertence à família das Brassicáceas. Espécies do gênero *Thlaspi* são capazes de acumular zinco, cádmio ou chumbo, espécies do gênero *Alyssum*, acumulam elevadas quantidades de níquel e algumas cultivares de *Brassica juncea* podem acumular e tolerar Pb, Cd, Cr, Ni, Zn, Se e Cu. São, geralmente, plantas com flores muito bonitas, atraindo facilmente um elevado número de predadores potenciais, podendo haver propagação da contaminação ao longo da cadeia alimentar. O risco pode ser minorado se for colocada uma proteção em rede em volta da cultura, ou se forem colocados refletores metálicos ou instrumentos com ruído que afugentem os animais. Por outro lado, alguns estudos mostram que os insetos preferem as plantas que acumularam metais, às plantas sem acumulação. (IVP, 2006)

A Figura 17 apresenta espécies com capacidade de hiperacumulação de metais.

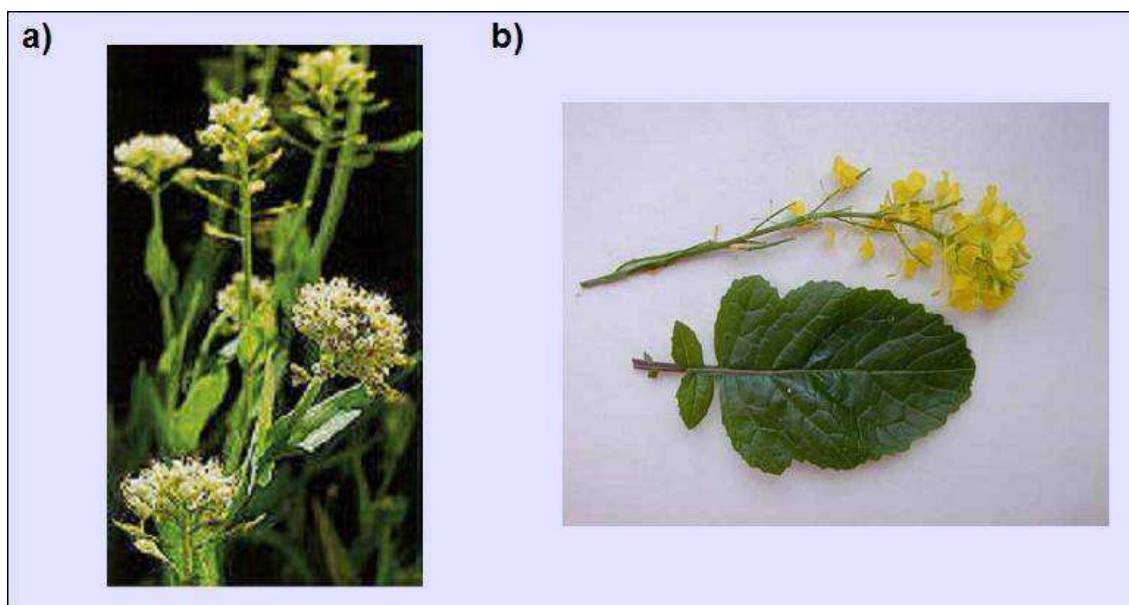


Figura 17: Espécies hiperacumuladoras. (a) *Thlaspi caerulescens*. b) *Brassica juncea*. Fonte: IVP, 2006

Observa-se alta taxa de acúmulo de metais pesados em árvores, arbustos, ervas, gramas e semente. Portanto, é fundamental que se tenha conhecimento profundo dos mecanismos fisiológicos, bioquímicos, moleculares e dos genes envolvidos na hiperacumulação em espécies tolerantes aos metais pesados, para fornecer a base para o melhoramento do seu desempenho em termos de tolerância e acumulação de metais. Desta forma, pode haver uma redução dos metais ao longo da cadeia alimentar e, conseqüentemente, a diminuição de metais pesados. (NASCIMENTO, 2006)

3.13.2 Fitoestabilização

Objetiva evitar a mobilização do contaminante e limitar sua difusão no solo, através da incorporação dos mesmos à lignina da parede vegetal que precipita os metais sob formas insolúveis, sendo posteriormente aprisionados pelas mesmas. (DINARDI *et al*, 2003).

Entretanto, segundo Schoor (1997 *apud* OLIVEIRA *et al*, 2006), a fitoestabilização se refere à manutenção de solos e sedimentos contaminados através da utilização de sistemas vegetais, através da imobilização no solo. O estabelecimento das raízes impede que a ação dos ventos fortes promova o

espalhamento do material contido nos locais contaminados evitando, assim, maiores contaminações.

A técnica da fitoestabilização é mais indicada para locais contaminados por metais pesados, onde a idéia é manter o contaminante no local. A captação dos metais *in situ* é, muitas vezes, considerada a melhor alternativa para locais com baixos níveis de contaminação ou para recuperar áreas contaminadas através de uma ação de remoção em larga escala ou ainda quando a remediação *in situ* não é viável. O crescimento das plantas é necessário para realizar o controle hidráulico e a imobilização no local. Além disso, as plantas não podem morrer ou ser removidas durante o processo. (OLIVEIRA et al, 2006)

Segundo Dinardi (et al, 2003), algumas espécies de plantas cultivadas para este fim são a *Haumaniastrum*, *Eragrostis*, *Ascolepis*, *Gladiolus* e *Alyssum*.

Nas Figuras 18(a), 18(b) e 18(c) apresentam algumas espécies com capacidade de fitoestabilizar contaminantes.



Figura 18: Espécies com capacidade para fitoestabilização. (a) *Haumaniastrum caeruleum*; (b) *Eragrostis spectabilis*; (c) *Ascolepis capensis*. (OLIVEIRA et al, 2006)

3.13.3 Fitoestimulação

Essa técnica faz uso das raízes em crescimento (extremidades e ramificações laterais) que promovem a proliferação de microrganismos degradativos na rizosfera. As plantas ainda podem secretar elas próprias enzimas biodegradativas (DINARDI et al, 2003).

Segundo Brooks (1998; ARTHUR et al, 2000 apud OLIVEIRA et al, 2006), esse estímulo à atividade microbiana, promovido pela liberação de exsudatos

radiculares (aminoácidos e polissacarídeos), que agem na degradação de compostos no solo, caracteriza, em algumas espécies de plantas, a aptidão “rizosférica” para a biorremediação. A comunidade microbiana na rizosfera é heterogênea devido à distribuição espacial variável dos nutrientes nesta zona.

Entretanto, de acordo com Dinardi (*et al*, 2003), a técnica de fitoestimulação se limitam a degradação de contaminantes orgânicos do solo.

Para a aplicação adequada desta técnica, segundo Bovey (*et al*, 1982 apud OLIVEIRA, 2006), é de fundamental importância a identificação de espécies de plantas que estimulem a atividade e o crescimento microbiano na rizosfera, resultando no aumento das taxas de degradação do contaminante do composto do solo, principalmente se este apresenta persistência elevada.

Para Pires (2003) é fundamental que as espécies sejam de fácil aquisição, que ocorra rapidamente a multiplicação de seus propágulos e que não haja dificuldade na erradicação da espécie da área, uma vez que pode tornar-se daninha.

Como exemplo de espécie fitoestimuladora tem-se a *Canavalia ensiformes*, conhecida como feijão-de-porco. (PIRES, 2005).



Figura 19: *Canavalia ensiformes*. Fonte: www.plantsdatabase.com/membs/horseshoe

3.13.4 Fitodegradação

Nessa técnica “os contaminantes orgânicos são degradados ou mineralizados dentro das células vegetais por enzimas específicas”. (DINARDI *et al* (2003, p. 03)

Segundo Cunningham (1996 apud OLIVEIRA, 2006 p. 23)

“A fitodegradação depende da captação direta dos contaminantes do solo ou de águas subterrâneas e sua conseqüente degradação dentro das células vegetais através da ação de enzimas específicas como, por exemplo, as nitroredutases (degradação de nitroaromáticos), desalogenases (degradação de solventes clorados e pesticidas) e lacases (degradação de anilinas)”.

A Figura 20 ilustra o funcionamento da fitodegradação de poluentes

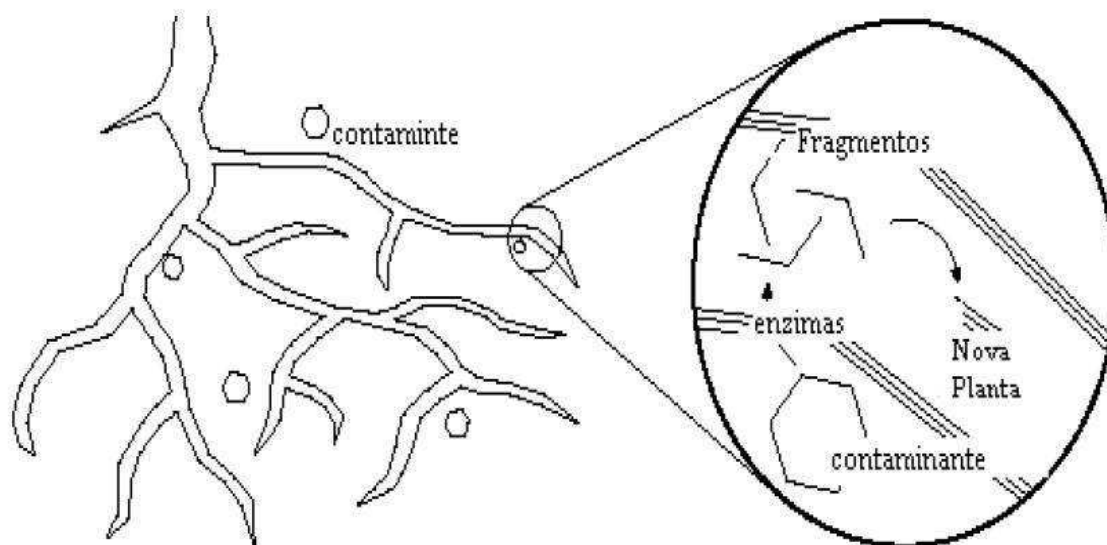


Figura 20: Esquema de funcionamento da fitodegradação de poluentes (DINARDI, 2003).

A técnica de fitodegradação é utilizada principalmente para a degradação de solventes clorados e pesticidas. *Populus sp.* e *Myriophyllum spicatum* são exemplos de plantas que possuem características de degradação destas substâncias. (DINARDI *et al*, 2003)

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais e métodos aplicados neste estudo foram norteados pela metodologia utilizada na elaboração do Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas (CETESB, 2001), respeitando as proporções e intenção do trabalho de caracterizar apenas uma área e propor métodos de remediação para a mesma.

4.1 APLICAÇÃO DE METODOLOGIA DA CETESB PARA IDENTIFICAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE ÁREAS CONTAMINADAS

O gerenciamento de áreas contaminadas é uma questão importante, considerando o crescimento na zona urbana das cidades de Santa Catarina, pois visa minimizar os riscos a que estão sujeitos a população e o meio ambiente.

Esse gerenciamento deve ser feito por meio de um conjunto de medidas que assegurem o conhecimento das características dessas áreas e dos impactos por elas causados, proporcionando os instrumentos necessários para que sejam tomadas decisões quanto às formas de intervenção mais adequadas.

A metodologia adotada nesse trabalho, o Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas (MGAC) da CETESB, tem como objetivo otimizar recursos técnicos e econômicos, baseando-se em uma estratégia constituída por etapas seqüenciais, onde a informação obtida em cada etapa é a base para a execução da etapa posterior.

Assim, são sugeridas pelo MGAC/ CETESB dois processos que constituem a base do gerenciamento de áreas contaminadas denominados: processo de identificação e processo de recuperação.

O processo de identificação de áreas contaminadas tem como objetivo principal a localização das áreas, sendo constituído por quatro etapas:

- Definição da região de interesse;
- Identificação de áreas potencialmente contaminadas;
- Avaliação preliminar;
- Investigação confirmatória.

O processo de recuperação de áreas contaminadas tem como objetivo principal a adoção de medidas corretivas nessas áreas que possibilitem recuperá-las para um uso compatível com as metas estabelecidas a serem atingidas após a intervenção, adotando-se dessa forma o princípio da “aptidão para o uso”. Esse processo é constituído por seis etapas:

- Investigação detalhada;
- Avaliação de risco;
- Investigação para remediação;
- Projeto de remediação;
- Remediação;
- Monitoramento.

Após a realização das etapas do processo de identificação, em função da quantidade e do nível de informações existente referentes à área em estudo, esta pode ser classificada como: área potencialmente contaminada (AP), área suspeita de contaminação (AS) ou área contaminada (AC).

As áreas potencialmente contaminadas são aquelas onde estão sendo ou foram desenvolvidas atividades potencialmente contaminadoras, isto é, onde ocorre ou ocorreu o manejo de substâncias cujas características físico-químicas, biológicas e toxicológicas podem causar danos e/ou riscos aos bens a proteger.

As áreas suspeitas de contaminação são aquelas nas quais, durante a realização da etapa de avaliação preliminar, foram observadas falhas no projeto, problemas na forma de construção, manutenção ou operação do empreendimento, indícios ou constatação de vazamentos e outros. Essas constatações induzem a suspeitar da presença de contaminação no solo e nas águas subterrâneas e/ou em outros compartimentos do meio ambiente.

Uma área contaminada é aquela onde houve comprovadamente contaminação, confirmada por análises, que pode determinar danos e/ou riscos aos bens a proteger localizados na própria área ou em seus arredores. (CETESB, 2001)

Depois de obter as informações nessa etapa, elas devem ser utilizadas para o preenchimento de uma Ficha de Cadastro de Áreas Contaminadas, a qual é uma parte muito importante no gerenciamento da área. Essas informações poderão ser utilizadas no controle ambiental da área ou serão fornecidas para instituições

públicas ou privadas, para diversos usos, como, por exemplo, o planejamento urbano.

Para a aplicação dos procedimentos necessários para a caracterização da área, considerando o gerenciamento de áreas contaminadas, são previstas três etapas de priorização. Os critérios utilizados para realizar essas priorizações consideram basicamente as características da fonte de contaminação (tipo de contaminante, tamanho da fonte de contaminação), as vias de transporte dos contaminantes e a importância dos bens a proteger.

Na Figura 21, está representado o fluxograma das etapas para identificação e posterior caracterização de áreas contaminadas.

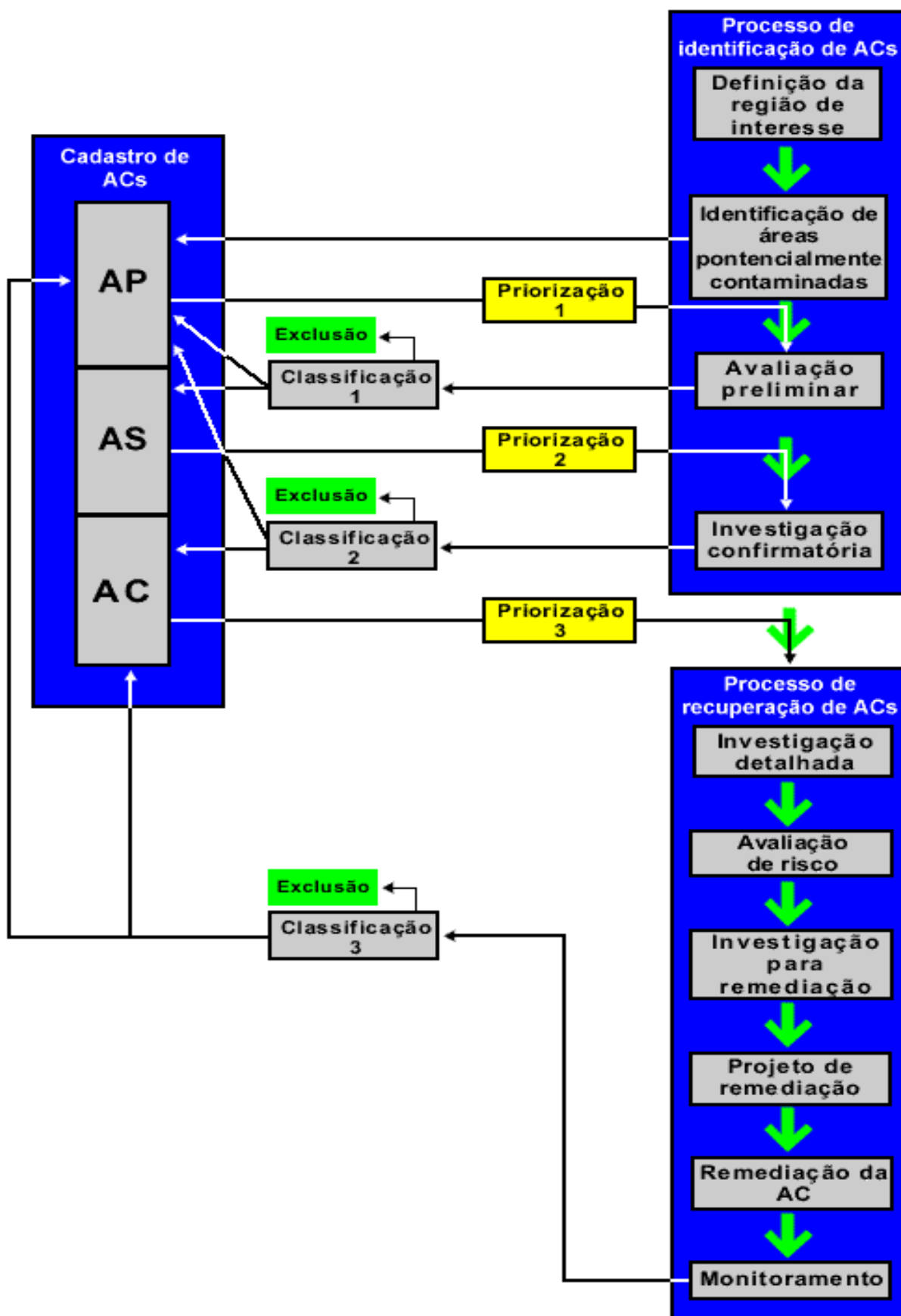


Figura 21: Fluxograma das etapas para caracterização e gerenciamento de áreas contaminadas. (CETESB, 2001)

Devido ao espaço de tempo insuficiente e as limitações técnicas encontradas no fato de se tratar de um Trabalho de Conclusão de Curso, a aplicação da metodologia selecionada se limitará até o último item da etapa de Processo de Identificação de Áreas Contaminadas, o item “Investigação Confirmatória”, sendo isso suficiente para que uma área seja confirmatoriamente caracterizada como área contaminada.

A segunda etapa da metodologia, denominada Processo de Recuperação de Áreas Contaminadas, não será aplicada efetivamente. Apenas serão sugeridas algumas opções plausíveis para uma futura remediação da área.

4.2 DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área selecionada para o presente estudo está localizada em zona urbana e densamente povoada. Essa área é o terreno onde se encontra o desativado Curtume Dal-Bó, no bairro Santa Bárbara, situado próximo ao centro do município de Criciúma/SC.

Até o momento não existiu um interesse por parte de nenhuma autoridade pública ou privada, seja ela Prefeitura Municipal, Governo Estadual ou proprietário do terreno em caracterizar a área contaminada, observando os riscos ambientais com intuito de recuperar, remediar e/ou gerenciar essa área. Portanto, para efeito de metodologia a ser aplicada neste estudo, parte-se do pressuposto de que não haverá um órgão público gerenciador, sendo que esta proposta tem por objetivo subsidiar futuras iniciativas de descontaminação da área.

Desta forma, podem-se definir alguns bens a proteger que se encontram na área de estudo ou em seu entorno. Esses bens são de interesse difuso, ou seja, de toda a população direta e indiretamente afetada. Dentre eles, em linhas gerais, pode-se citar:

- Qualidade do solo, considerando o uso e ocupação do solo e o planejamento urbano;
- Qualidade das águas superficiais e subterrâneas;
- Saúde da população, ponderando o nível de ocupação e densidade da circunvizinhança da área.

Para efeito desse estudo as áreas de influência direta e indireta serão definidas seguindo orientação contida no Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas da CETESB (2001). A área de influência direta (Figura 22) se encontra em um raio de 200m a partir do centro do terreno, acredita-se que essas adjacências podem sofrer danos diretos pela contaminação presente na área. A área de influência indireta é delimitada em um raio de 1000m a partir do centro da área, onde estão inseridos diversos bens a proteger que poderão sofrer influência dos contaminantes presentes na área estudada.

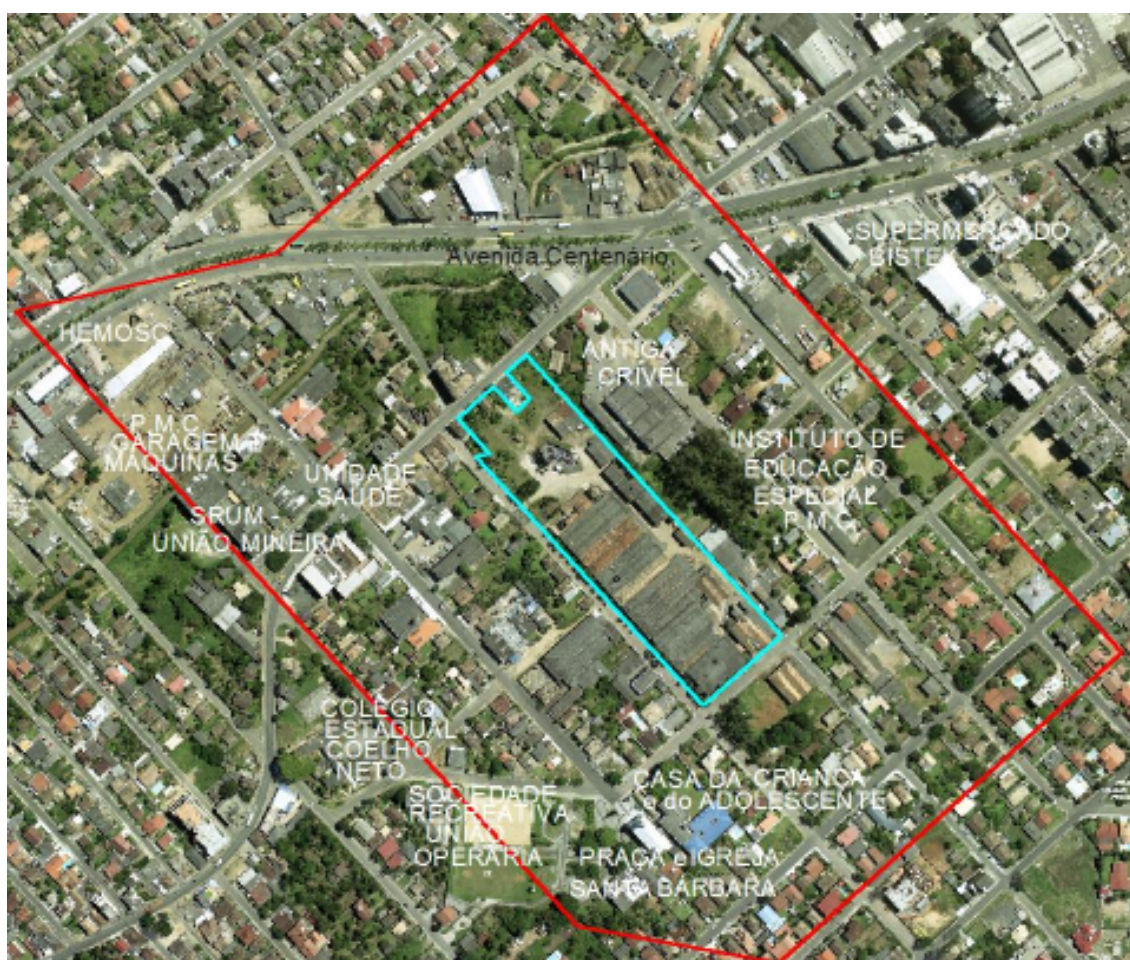


Figura 22: Foto aérea do Curtume Dal-Bó (azul) e área de influência direta (vermelho) com a identificação de alguns pontos importantes nas adjacências. Fonte: PMC

4.3 ELABORAÇÃO DA FICHA CADASTRAL DE ÁREAS CONTAMINADAS

Para o preenchimento da ficha cadastral apresentada no Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas (CETESB, 2001) foram levantadas

informações específicas a respeito da área. Depois da definição da área a ser estudada ou região de interesse, são executadas as etapas de Avaliação Preliminar e Investigação Confirmatória. (A ficha cadastral, devidamente preenchida, segue em anexo ao trabalho).

4.3.1 Avaliação Preliminar

O terreno onde está localizado o Curtume Dal-bó se encontra inteiramente inserido na zona urbana da cidade de Criciúma com alta densidade populacional. Hoje, a área tem uma vizinhança com muitas residências e estabelecimentos comerciais. Nas adjacências da área encontram-se, além de residências, escolas, praça, unidades de saúde, igreja, supermercado e outros estabelecimentos. A atividade industrial desenvolvida no local durante o seu período de funcionamento, definida pelo IBGE como “preparação e fabricação de couros” e representada no CNAE pelo código 1510-6/00, é, segundo lista divulgada pela CETESB (2001), uma atividade potencialmente poluidora. Uma entre as principais fontes de poluição do processo de curtimento e preparação de couro consiste nas aparas de couros impregnadas com cromo, remanescente da etapa de acabamento do couro curtido em curtimento por sais de cromo. Um agravante são as condições as quais esses resíduos eram manipulados e depositados, sem quaisquer cuidados e desrespeitando as instruções existentes para o armazenamento de resíduos perigosos.

Apesar de não ser objeto deste estudo, é importante ressaltar que os efluentes gerados no local podem ter sido fontes significativas de poluição das águas superficiais e subterrâneas, que hoje contam com a contribuição das águas das chuvas que entram em contato com os resíduos sólidos contaminados e drenam para o corpo de água mais próximo, um afluente do rio Criciúma, infiltrando-se no solo.

A área onde ainda hoje se encontram os pavilhões da empresa tem 16.600m², mas pode-se dizer que os efeitos da poluição vão além das delimitações do terreno. Entretanto, não é possível definir a área afetada pela contaminação do solo e das águas superficiais sem que seja feito um estudo e uma modelagem

matemática para identificação do deslocamento e das principais vias e direções por onde o contaminante tenha migrado.

Embora no local encontra-se apenas uma edificação industrial desativada, deve-se considerar os bens à proteger presentes no seu entorno, entre eles: a saúde da população, a qualidade das águas superficiais e a qualidade do ar.

Para a etapa de avaliação preliminar foi elaborado um croqui do terreno, apresentado na figura 24, onde está instalado o empreendimento, representando as etapas do processo produtivo do curtume, a topografia da área e localização quanto aos nomes das ruas.



Figura 23: Croqui do terreno

4.3.2 Investigação confirmatória

A etapa de investigação confirmatória encerra o processo de identificação de áreas contaminadas, tendo como objetivo principal confirmar ou não a existência de contaminação. (CETESB, 2001).

Dessa forma, os resultados obtidos nessa etapa são importantes para subsidiar futuras ações de órgãos de controle ambiental e os trabalhos necessários para a solução do problema mediante a recuperação ou reabilitação da área.

A confirmação da contaminação em uma área dá-se basicamente pela tomada de amostras e análises de solo e/ou água subterrânea, em pontos estrategicamente posicionados. Em seguida, é feita a interpretação dos resultados das análises realizadas nas amostras coletadas, pela comparação dos valores de concentração obtidos com os valores de concentração estabelecidos em listas de padrões para identificação de contaminação.

4.3.3 Plano de Amostragem

Para o presente de trabalho o meio escolhido para serem realizadas as análises foi o solo. Isso porque o empreendimento já está desativado há cerca de 10 anos e o contaminante analisado apresenta uma mobilidade consideravelmente menor no solo do que na água. Inclusive, segundo a revisão bibliográfica apresentada, os metais pesados estão associados a parte superior do solo, adsorvido na parte húmica, o que também determinou a profundidade que foram feitas as coletas.

Foram definidos 4 pontos (conforme a Figura 25) para serem efetuadas as coletas, observando o posicionamento em relação aos locais onde eram realizados o beneficiamento do couro, a disposição dos resíduos e uma possível migração do poluente para o nível de cota mais baixa do terreno. Também foi coletada uma amostra do resíduo em contato com o solo para a determinação da quantidade de contaminante que estaria impregnado no mesmo.



Figura 24: Foto aérea da área do curtume Dal-Bó com identificação dos pontos de coleta de amostras de solo.

O P 01 (Figura 26) se localiza próximo da edificação na qual funcionava a estação de tratamento de efluentes (ETE). Este ponto se encontra na parte de cota mais baixa do terreno, onde existe um canal que desemboca em um córrego afluente do rio Criciúma. Apesar de a área não apresentar alta declividade do solo, este ponto foi escolhido para identificação de uma possível migração dos poluentes em direção ao córrego.



Figura 25: Ponto de Coleta 01. Fonte: VIEIRA (2007)

O P 02 (Figura 27) se localiza entre o pavilhão onde era realizada a etapa de curtimento mineral ao cromo no processo de beneficiamento do couro e o setor de secagem de peles. Neste local, existia o trânsito de materiais utilizados no

processo de curtimento e das peles já curtidas, sendo que a ocorrência de derramamento de materiais contaminantes poderia ter ocorrido no local.



Figura 26: Ponto de Coleta 02. Fonte: VIEIRA (2007)

O P 03 (Figura 28) se localiza ao lado da cancha onde eram depositadas as raspas de couro já curtido provenientes da etapa de acabamento. Este local, não apresenta nenhuma obra de contenção ou que vise evitar o contato do resíduo com a água de escoamento superficial. Portanto, este ponto de coleta tem por objetivo avaliar o grau de contaminação do solo ao redor da cancha pelo cromo impregnado nas raspas de couro.



Figura 27: Ponto de Coleta 03. Fonte: VIEIRA (2007)

O P 04 (Figura 29) se localiza dentro da cancha de deposição das raspas de couro provenientes do processo de acabamento. O objetivo da coleta neste local é de caracterizar o tipo de resíduo e identificar o nível de cromo presente no mesmo.



Figura 28: Ponto de Coleta 04. Fonte: VIEIRA (2007)

As amostras foram coletadas de acordo com a metodologia da ABNT/NBR 10007 para amostragem de resíduos em uma única campanha realizada no dia 10 de setembro de 2007.

Os parâmetros analisados em laboratório foram: a presença do metal cromo e percentual no solo, teor de argila e teor de matéria orgânica, parâmetros esses necessários para o enquadramento nas normas para qualidade de solo utilizadas.

A cotação do cromo total foi realizada a partir da digestão da amostra com HNO_3 e H_2O_2 , (EPA método 3050S) seguido de aquecimento (85°C), sendo depois filtrado para balão de 100 ml e determinação por Espectrofotometria de Absorção Atômica – Chama. Já para matéria orgânica foi utilizado o Método Walkley-Black de oxidação da matéria orgânica com o $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ e para o teor de argila a determinação foi feita por densímetro, após dispersão do solo com solução de hidróxido de sódio (TEDESCO, 1984). (Os laudos laboratoriais seguem anexos ao trabalho)

4.3.4 Levantamento das Informações

As atividades na área do Curtume Dal-Bó, desconsiderando o funcionamento da Copercouro em 2002, foram encerradas em 1997. Muitas pessoas que trabalharam no local já não residem mais na cidade e as que ainda residem são difíceis de ser encontradas. Outras pessoas que residiam nas adjacências mudaram-se para outros bairros ou cidades, as que ainda residem na vizinhança não tem boas lembranças da época em que o curtume estava em atividade e apenas lembram do mau cheiro que era provocado pelo processo de curtimento e a movimentação de caminhões e automóveis que existia.

A coleta de informações sobre as atividades desenvolvidas no curtume se baseou em dois métodos: conversas informais com antigos funcionários da administração da empresa e alguns vizinhos; e bibliografias que abordam assuntos relacionados a beneficiamento de couro em geral.

Em 2006, foi elaborado um trabalho sobre a problemática da engenharia relacionada ao caso do Curtume Dal-Bó para a disciplina de

Recuperação de Áreas Degradadas, onde também foram levantados dados importantes que serviram de base para este trabalho.

Infelizmente, a Fundação do Meio Ambiente – FATMA e a Prefeitura Municipal de Criciúma não disponibilizaram dados históricos da empresa, apenas informações gerais sobre o bairro onde ela está localizada.

4.3.5 Bases Cartográficas

Os mapas e imagens aéreas utilizados no trabalho foram obtidos junto a Prefeitura Municipal de Criciúma, a partir do Plano Diretor Participativo (2007). Também utilizou-se bases cartográfica cedidas pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM)

Como bases para os mapas e imagens aéreas foram utilizados dados fornecidos pela Prefeitura Municipal de Criciúma e mapas elaborados para o Plano Diretor Participativo, também algumas bases cartográficas foram retiradas de um projeto desenvolvido pelo Geólogo Antônio Jornada Krebs do Serviço Geológico do Brasil – CPRM, onde são descritas as características físicas do município de Criciúma.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta etapa do trabalho serão apresentados os resultados da pesquisa efetuada e das análises realizadas em campo. Também serão explanadas algumas opiniões relacionadas aos assuntos tratados.

5.1 IDENTIFICAÇÃO DA ÁREA POTENCIALMENTE CONTAMINADA

Apesar de o conhecimento empírico caracterizar as atividades de curtimento de couro como altamente poluidora, faz-se necessário uma análise fundamentada tecnicamente para a confirmação e caracterização da atividade.

Para isso, foi utilizada a Lista de Atividades Industriais Potencialmente Contaminadoras do Solo e Águas Subterrâneas (LAIPCSAS) que se encontra dentro da Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE), do Instituto Brasileiro de Geografia e Pesquisa (IBGE), juntamente com algumas observâncias aplicadas pela CETESB no seu Sistema de Licenças e Penalidades (SILP). Esse sistema é constituído de um cadastro informatizado em que são registradas todas as empresas que entraram com pedidos de licença de instalação e funcionamento ou ampliação e/ou receberam penalidades da CETESB.

Segundo o CNAE, as atividades de secagem, salga, curtimento e outras preparações de couros e peles, incluindo os subprodutos, estão enquadradas na LAIPCSAS e seus respectivos códigos recebem a numeração que vai de 1910000 a 1912999 no cadastro do IBGE.

Os indicadores definidos pela CETESB para o enquadramento da área como potencialmente contaminada são os seguintes:

- Existência de processos produtivos que possam causar contaminação dos solos e águas subterrâneas;
- Presença de substâncias que possuem potencial para causar danos aos bens a proteger via solos e águas subterrâneas;
- A atividade industrial e comercial apresenta histórico indicando manuseio, armazenamento e disposição inadequada de matéria-prima, produtos e resíduos;

- A atividade industrial e comercial apresenta histórico indicando a ocorrência de vazamentos e acidentes;

No processo produtivo de couro são utilizados alguns reagentes de origem vegetal e também alguns quimicamente sintetizados, esses reagentes são fornecidos em embalagens que após o uso devem ser dispostas de maneira correta, para evitar a contaminação do solo. Apesar desse tipo de resíduo necessitar de uma atenção especial, as embalagens não representam o resíduo sólido mais problemático em um curtume.

Como citado por Senna (2007) na revisão bibliográfica o processamento do couro gera uma grande quantidade de resíduos sólidos por tonelada de pele salgada, nas etapas de piquelagem ou ribeira e acabamento. Esses resíduos são compostos por aparas, carnaça e tiras já curtidas. Os mais problemáticos são os resíduos que contém cromo, metal resistente à degradação natural no meio ambiente, contido no material curtido. Dependendo de como os efluentes são processados, o cromo pode estar presente também no lodo das estações de tratamento, os quais poderão contaminar o solo e as águas superficiais e subterrâneas. Esses resquícios de cromo, de acordo com Castro (2003) podem afetar seriamente a saúde humana.

A Figura 30 ilustra o descuido quanto a deposição dos resíduos das aparas de couro.



Figura 29: Disposição inadequada de resíduos sólidos e sobras do processo do Curtume. Fonte: MARTIGNAGO (2006).

5.2 ANÁLISES DO SOLO

Como já apresentado na revisão bibliográfica, os valores adotados para a caracterização dos níveis de contaminação do solo são os relacionados pela legislação holandesa na promulgação da sua Lei de Proteção do Solo (*Soil Protection Act*) e pelos Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo publicados na Decisão de Diretoria nº 195/ 2005 da CETESB.

Também como já descrito no item 4.4.2, Investigação Confirmatória, foram realizadas coletas de amostras de solo em três pontos e dos resíduos de couro já curtidos em um quarto ponto de amostragem.

Em todos os três pontos onde o solo foi analisado, de acordo com o percentual de argila e matéria orgânica, foram classificados como solo do tipo franco-arenoso e arenoso. Essa classificação foi realizada pelo IPAT, conforme o Boletim Técnico nº 5, 2ª edição revisada e ampliada do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Na Tabela 3, estão apresentados os resultados das análises efetuadas nas quatro amostras de solo.

Tabela 3: Resumo dos índices de cromo encontrados no solo na área do curtume Dal-Bó comparado aos valores indicados pela legislação aplicável.

Pontos	Parâmetros Analisados				Legislação (valores de intervenção)					Resultados
					Lista Holandesa (mg/kg)				CETESB (mg/kg)	
					Alerta	M. O.	Alerta	M. O.		
	Cromo (mg/kg)	Cromo (%)	Alerta (%)	M. O. (%)	10%	10%	25%	10%	Área Residencial	
F 01	198	0,019	38	12,8	190		380		300	Não Contaminado
F 02	440	0,044	26	2,76	190		380		300	Contaminado
F 03	530	0,053	27	4,12	190		380		300	Contaminado
F 04	20400	2,04	N/D	52	190		380		300	Contaminado

No ponto um (P 01), foi constatada a presença do metal cromo no solo em níveis um pouco acima do valor de alerta (T) indicado pela Lista Holandesa valor médio entre o valor de intervenção (I) e o valor de referência (S)) e, também, acima do valor de prevenção (VP) apontado pelos Valores Orientadores da CETESB. Com isso, a concentração encontrada indica uma modificação das condições naturais, proporcionando uma alteração nas propriedades funcionais do solo, sendo necessária uma investigação detalhada na área para quantificação dessa alteração.

A diferença entre o nível de cromo encontrado no P 01 para os demais pontos pode ser atribuída a migração dos contaminantes do solo para água em função da solubilidade. Entretanto, isso só poderia ser afirmado após uma análise técnica baseada no grau de solubilização do cromo e nos mecanismos de migração do mesmo no ambiente.

Já nos pontos dois (P 02) e três (P 03) foi confirmada a contaminação do solo pelo cromo em níveis acima do indicado como valores de intervenção pela Lista Holandesa (I) e pelos Valores Orientadores da CETESB (VI). Esses valores indicam os níveis de qualidade do solo, acima dos quais os riscos para o ser humano e o meio ambiente são considerados inaceitáveis. Na Lista Holandesa, esses valores foram determinados pela quantificação dos riscos toxicológicos e ecotoxicológicos decorrentes da contaminação do solo. Os riscos para a saúde humana foram quantificados pelo uso de um modelo denominado *Csoil*, considerando-se nesses

cálculos as propriedades físicas e químicas dos solos, características dos contaminantes, dados de seus efeitos tóxicos ou carcinogênicos e estimativas de ingresso desses contaminantes pelas vias de exposição relevantes. Os riscos para o ambiente foram calculados de maneira indireta, e indicam a concentração no solo de determinados contaminantes, acima da qual 50% das espécies do ecossistema avaliado foram afetadas de alguma forma.

É importante ressaltar que, como apresentado no item 3.8 da revisão bibliográfica, os efeitos por contaminação crônica por cromo trivalente ou hexavalente afetam os rins, fígado, trato gastrointestinal e o sistema circulatório.

No ponto quatro (P 04) observa-se um nível altíssimo de cromo. Segundo a NBR 10004(2004), as raspas e aparas de couro já curtido podem ser classificadas como resíduo perigoso de classe I, com caráter de periculosidade tóxica e código de identificação K193.

O local onde este resíduo está depositado indica que não foram tomados cuidados pela empresa para conter o contato deste com as águas das chuvas e de escoamento superficial, o que representa um risco desse contaminante estar drenando para o corpo hídrico mais próximo. Além disso, considerando a proximidade entre os pontos 04 e 03, bem como o nível de cromo encontrado nos mesmos, pode-se concluir que a deposição do resíduo tem contribuído na contaminação o solo na área investigada.

5.3 RISCOS POTENCIAIS DE CONTAMINAÇÃO EM FUNÇÃO DO ESTADO ATUAL

Considerando as informações obtidas por meio das análises de solo, comparando os índices listados na norma holandesa e na legislação paulista para qualidade do solo, bem como fundamentado na revisão bibliográfica realizada, pode-se afirmar que a área em estudo constitui-se em uma ameaça à saúde da população e a integridade do meio ambiente.

Após as visitas à área de estudo, constatou-se que os resíduos de couro curtido não eram depositados em locais adequados (aterros sanitários e controlados), inclusive considerando que na época de funcionamento do curtume, não havia instalações para disposição final de resíduos perigosos na região.

Dentre os problemas ambientais relacionados com as atividades desenvolvidas pelo curtume, pode ser destacadas os seguintes:

- Em fases de beneficiamento do couro, eram utilizadas caldeiras, as quais liberavam vapores e gases contendo substâncias tóxicas, acabando por alterar as características do ar do local;
- Nesta mesma etapa de beneficiamento, era liberada uma grande quantidade de materiais ricos em matéria orgânica, que acabavam por gerar odores desagradáveis nas redondezas do empreendimento, tornando o empreendimento alvo de várias reclamações;
- Como em maior parte do processo era necessária a utilização contínua de água, principalmente para os processos de lavagem e fases de finalização do curtimento, era gerada uma grande quantidade de efluentes. A partir de exigências formuladas pelo órgão responsável, esse efluente era destinado a uma estação de tratamento de efluentes, que utilizava os processos de filtração, coagulação, agitação mecânica e decantação para tratar dos despejos. Parte desta água tratada retornava ao processo, e outra era destinada ao Rio Criciúma, localizado nas proximidades do empreendimento. Entretanto, não se tem informações, nem registros que possam conter as características físico-químicas deste efluente, principalmente em função do processo de falência, paralisação e abandono das atividades desse empreendimento. Portanto, não é possível definir quais os impactos ocasionados pelos efluentes gerados, já que o empreendimento encontra-se atualmente desativado.

Ainda, no curtimento do couro, eram utilizados alguns produtos químicos, como: sulfidrato de sódio; soda cáustica; aminas; ácido sulfúrico, clorídrico, láctico, fórmico, acético, glioxílico, cítrico, oxálico e bórico; etc., os quais contribuíam para a alteração da qualidade da água do processo, posteriormente despejada no corpo receptor.

Após o tratamento dos efluentes, os resíduos captados no processo de filtração primária que possuíam características alcalinas, segundo informações obtidas junto à antigos funcionários do curtume, apresentavam pH superiores a 11. Estes rejeitos alcalinos por sua vez eram levados para áreas degradadas pela mineração, no município de Siderópolis, e depositados em cavas de mina a céu aberto. Acreditava-se deste modo que os rejeitos alcalinos da ETE, se depositados

em áreas de mineração, cujo pH apresenta níveis iguais ou superiores a 2,5, poderiam contribuir na neutralização do solo. Assim, supunha-se que o rejeito alcalino iria ser equalizado com a adição do rejeito piritoso, gerando um composto neutro. Como mencionado por ex-funcionário do curtume (solicitou não identificação), nestas áreas onde houve a disposição de rejeitos, *“foram plantadas as mais diversas espécies de vegetação, chegaram a ser plantadas mudas de espécies nativas da região e também mudas de moranguinho, que brotaram e chegaram a dar frutos e que contribuíram de maneira positiva para a área”*. Não é possível afirmar se essa prática do curtume obtinha licença da FATMA, assim como não é possível avaliar a eficiência desse processo ou impactos causados por ele.

Atualmente, encontra-se disposto no local do curtume, uma série de materiais que ainda podem ocasionar danos à saúde para a população local. Algumas pessoas têm utilizado os pavilhões para armazenar produtos (madeira e embalagens), guardar veículos, pescar (no tanque da antiga ETE) e inclusive criar animais (bois e cavalos). O médico veterinário Fermino Cruz, da CIDASC, esteve no local e realizou uma avaliação das condições dos animais e constatou que os mesmos apresentam grande possibilidade de desenvolver doenças crônicas pela ingestão gradativa de metais e outras substâncias presentes no solo. Isso foi constatado apenas pela observação de alguns sintomas e por meio do comportamento dos animais quanto a alimentação e a condição física, pois no estado de Santa Catarina não há laboratórios que realizem exames de sangue em bovinos para identificação de cromo.

A Figura 32 mostra um dos animais presentes na área. Percebe-se a presença de uma ferida grande na região das costelas do animal, bem como sua condição física debilitada. Isso averigua a irresponsabilidade do proprietário em criar o bovino nestas condições.



Figura 30: Bovino presente nas antigas instalações do Curtume Dal-Bó. Fonte; VIEIRA (2007)

Como demonstrado na Figura 33, atualmente existem indícios de produtos químicos presentes no local, que trazem riscos a saúde humana, além de danos ambientais. Isso se agrava com a presença de goteiras, infiltrações e as péssimas condições de armazenamento dos produtos tornando possível um contato destes com o solo, águas superficiais e subterrâneas.



Figura 31: Antigas instalações do laboratório de análises do Curtume Dal Bó. Fonte: MARTIGNAGO (2006).

Dessa forma, sugere-se a continuidade dos estudos desenvolvidos no âmbito deste TCC. A gravidade da situação de contaminação constatada por meio das análises de cromo efetuadas indica a necessidade de providências no que se refere ao detalhamento de investigação com vistas à realização de estudos para a recuperação ou remediação do sítio contaminado. Os órgãos públicos fiscalizadores, o proprietário do terreno e a comunidade devem participar do processo de definição de políticas públicas e medidas de saneamento ambiental e para remediação da área.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Considerando o pequeno espaço de tempo disponível para a confecção do presente trabalho, não foi possível realizar, em escala piloto, testes para definir um método mais adequado para a remediação da área em estudo. Portanto, foram levantadas informações à respeito de algumas técnicas para uma futura recuperação e/ou reabilitação da área.

6.1 PROPOSIÇÕES DE ALTERNATIVAS DE REMEDIAÇÃO

Para a reabilitação da área estudada serão necessárias algumas medidas, entre elas: a demolição dos pavilhões, que se encontram em situação de desabamento iminente; a remoção dos entulhos; e a recuperação do solo.

6.1.1 Demolição da Área Construída

A engenharia em sua prática até o momento tem como a principal finalidade, a projeção e construção de obras. Mas hoje onde se enfatiza a proteção do meio ambiente, trabalhando com um modelo ambientalmente correto, busca-se a recuperação de áreas degradadas, e a engenharia começa a voltar-se para a desativação de obras e construções industriais, para que a área possa ser reutilizada.

O correto a ser feito em áreas degradadas com suas instalações industriais abandonadas, como é o caso das instalações do Curtume Dal Bó, é desfazer estas construções com uma demolição, constituída de uma espécie de desmanche ou desmonte.

As instalações abandonadas trazem grandes problemas para o espaço urbano, pois contribuem para desvalorização do entorno, deterioram a imagem de uma cidade (poluição visual), provocam cortes no tecido urbano, podem ser utilizadas para ocupação e depósito de rejeitos clandestinos.

O fechamento, demolição, desativação e abandono são etapas que fazem parte do ciclo de vida de qualquer empreendimento. A desativação quando feita de

maneira incorreta podem trazer grandes problemas econômicos, sociais, e ambientais. A consequência ambiental mais grave é o legado às gerações futuras de um passivo ambiental sob a forma de solos contaminados.

A forma a ser demolida também deve ser levada em consideração, e deve ser planejada, pois a demolição de forma “aleatória” pode trazer danos ao meio ambiente, como a contaminação das águas superficiais e subterrâneas, a degradação do solo, a geração de materiais particulados em excesso e a poluição sonora.

A deposição dos materiais que resultaram da demolição também deve ser observada, sendo encaminhada para um aterro sanitário ou industrial que possa receber o tipo de material demolido, após ser feita a caracterização dos materiais e o enquadramento na norma vigente.

6.1.1.1 Demolição “Verde”

As obras civis também podem ser desativadas, incluindo uma “demolição verde” que tem o intuito de reutilizar e reciclar o máximo de materiais, reduzindo as emissões de poeiras, gases e outros problemas provenientes da demolição. Alguns edifícios que abrigam atividades com materiais que podem ser considerados perigosos, podem apresentar um passivo ambiental e exigem um cuidado maior na parte de desmontagem das estruturas.

No caso do Curtume Dal-Bó, grande parte das estruturas são de madeira, o que facilita o processo de demolição e possibilita a reutilização de parte dos materiais, se não for constatada a contaminação.

6.1.2 Técnicas para Remediação

Atualmente, existem diversas técnicas sendo desenvolvidas e testadas para se executar um processo de reabilitação de uma área degradada ou contaminada. No caso particular de solos contaminados por metais pesados, essas técnicas são mais recentes e buscam o aperfeiçoamento para poder capturar os metais contaminantes sem precisar modificar intensivamente a paisagem com um

menos custo. Entre as opções existentes foram indicadas três: o tratamento do solo *ex situ*; a lavagem do solo; e a fitorremediação, sendo que esta será mais bem explanada.

6.1.2.1 Tratamento do solo *ex situ*

O tratamento do solo contaminado *ex situ*, consiste em um método de remediação que promove a remoção do solo contaminado, seu posterior tratamento, e sua eventual reposição no local de origem. É uma alternativa acessível pelo fato de que os metais pesados, como o cromo, acumulam-se frequentemente na camada superior do solo, onde se encontram as raízes das plantas. Segundo Baird (2002), os materiais húmicos têm uma grande afinidade pelos cátions de metais pesados, de modo que os extraem da água que passa através deles por meio de processos de troca iônica. A fixação de cátions metálicos ocorre, em grande parte, por meio da formação de complexos com os íons metálicos através dos grupos carboxílicos (-COOH) dos ácidos húmicos e fúlvicos presentes na superfície do solo. Por essa razão, a profundidade da camada de solo que necessita ser retirada é pequena, pode ser estimada em no máximo 50 (cinquenta) centímetros.

Vale lembrar que será necessária a desmontagem de toda a área construída do Curtume Dal-Bó e a remoção do entulho gerado no local, para que posteriormente seja possível a remoção da camada superior do solo e encaminhamento para o tratamento.

A técnica mais adequada para tratamento de solo contaminado por cromo é a lavagem, pois outras técnicas que usam como mecanismo o aquecimento, incineração ou injeção de vapores para volatilizar o metal, estimular uma reação tornando o cromo trivalente em hexavalente. O cromo hexavalente (VI) e seus compostos são considerados carcinogênicos e são necessárias apenas pequenas quantidades no metabolismo humano para que cause lesões no sistema nervoso.

6.1.2.2 Lavagem do Solo

A lavagem do solo consiste na escavação do material contaminado e, utilizando técnicas semelhantes de beneficiamento de minérios, permite classificar as partículas sólidas constituintes segundo sua granulometria. Como explicado anteriormente, os poluentes estão associados às frações mais finas do solo, ou seja, argilas e matéria orgânica. A lavagem do solo é efetuada por injeção de fluidos por meio de cavidades situadas no subsolo, sendo os mesmos coletados em outros poços. O fluido pode ser simplesmente água, que removerá os constituintes hidrossolúveis, ou ainda uma solução aquosa, que será ácida ou básica, com o objetivo de remover contaminantes básicos ou ácidos, respectivamente. Outras opções de lavagem do solo incluem o uso de uma solução que contenha agentes quelantes, como o EDTA e o DTPA, para remover metais, e agente oxidantes para oxidar e, em conseqüência, solubilizar espécies previamente insolúveis. Às vezes, na solução de lavagem, utiliza-se surfatantes, ou agentes tensoativos, que possuem componentes hidrofóbicos e hidrofílicos dentro da mesma molécula, capazes de aumentar a mobilidade dos contaminantes hidrofóbicos na fase aquosa. Segundo Melo (2006), em substituição aos ácidos sintéticos (EDTA, DTPA e NTA) pode ser utilizado o ácido cítrico para a solubilização de metais. Isso porque a baixa biodegradabilidade de quelantes sintéticos usados para induzir a solubilização e posterior fitoextração resultam em alto risco ambiental pela possibilidade de lixiviação dos metais pesados. Agentes quelantes naturais, mais rapidamente degradados no solo, podem ser uma alternativa para que isso não ocorra.

Dessa forma, ao separar os finos, a quantidade de solo contaminado é reduzida, a fração limpa pode ser repostada no local de origem e a parte contaminada pode ser tratada como resíduo ou ser reaproveitada como matéria. Em certos casos, também é possível tratar a fração fina, extraindo o metal para ser reutilizado ou comercializado.

6.1.2.3 Hipótese de Etapas no processo de demolição e tratamento do solo

1. Demolição “verde” ou desmontagem da área construída e remoção dos entulhos a serem depositados em aterro industrial habilitado, observando os devidos cuidados quando a geração de materiais particulados.

2. Remoção da camada superior do solo, com aproximadamente 50cm de profundidade por 16.600 m² de área, ou seja, 8.300 m³ de solo.

3. Remediação do solo *ex situ*, através da aplicação do método de lavagem de solo.

4. Recolocação da matéria não contaminada e do solo inertizado.

5. Reconfiguração das condições do solo, com adição de argila, cal e adubo.

6. Terraplanagem e reconstituição topográfica.

7. Análise das condições do solo.

8. Uso futuro. A destinação final da área reabilitada será dada conforme as condições finais do solo. Em se tratando da área estar localizada em zona urbana, as opções de uso são as mais variadas.

6.2 FITORREMEDIAÇÃO

A fitorremediação é uma técnica emergente para a descontaminação de solos *in situ* e pode ser aplicada por meio de variados mecanismos, dentre eles se destacam:

- Fitoestabilização: mais utilizada para poluentes orgânicos e consiste na liberação de oxigênio e substâncias bioquímicas no solo, como enzimas, que estimulem a biodegradação;
- Fitoestimulação ou rizorremediação: que tem sua ação por meio intensificação da degradação do composto contaminante por fungos e micróbios localizados na rizosfera da planta;
- Fitoadsorção: é a imobilização e adsorção do contaminante no sistema radicular da planta;

- Fitoextração: técnica utilizada em maior escala para despoluição de solos contaminados por metais pesado e que consiste na ingestão direta dos contaminantes e acumulação no tecido da planta ou na parte aérea da mesma.

Para o caso da área em estudo, o antigo Curtume Dal-Bó, que apresenta solo contaminado por cromo, a melhor técnica a ser aplicada seria a fitoextração por meio de espécies bioacumuladoras de metais, especialmente de cromo.

6.2.1 Vantagens da Fitorremediação

A área em estudo está localizada na parte central da cidade de Criciúma e completamente inserida na zona urbana, o que não possibilitaria a circulação excessiva de máquinas e caminhões para remoção do solo, como nos métodos *ex situ*. Além disso, a aplicação da técnica *in situ* evitaria a dispersão de poeira, possivelmente contaminada, que poderia ser carregada pela ação do vento para as casas presentes nas adjacências da área.

A presença de espécies vegetais no terreno também contribui para a diminuição do escoamento superficial que ficaria retido na parte inferior, o que inclusive evita a lixiviação e o transporte dos contaminantes para o corpo d'água mais próximo.

Outra vantagem da aplicação da fitorremediação se encontra no seu baixo custo de implantação. Segundo Dinardi (2003), a estimativa mundial para os gastos anuais com a despoluição ambiental gira em torno de 25 a 30 bilhões de dólares. Este mercado, já estável nos Estados Unidos (7 a 8 bilhões), tende a crescer no Brasil uma vez que os investimentos para tratamento dos rejeitos humanos, agrícola e industrial crescem à medida que aumentam as exigências da sociedade e leis mais rígidas. Apesar das pressões, são as tecnologias mais baratas com capacidade de atender uma maior demanda e que apresentam mais capacidade de desenvolvimento que tendem a obter maior sucesso no futuro.

A boa aparência da área durante o crescimento das plantas e aceitação e simpatia do público para esta técnica, também são pontos positivos importante. Atualmente, a consciência ambiental está ligada à belas imagens de vegetação, o que seria apresentado quando algumas espécies aplicadas atingissem médio porte.

A fitorremediação é uma alternativa plausível para remoção física da camada contaminada do solo, sendo pouco agressiva ao meio ambiente. Ainda, o vegetal hiperacumulador, após extrair o contaminante do solo pode ser armazenado para tratamento subsequente, podendo ser metabolizado ou, então, o contaminante é transformado em produtos não tóxicos ou menos tóxicos.

Além disso, a parte de finalização ou colheita das espécies é feita de maneira fácil e prática e o produto final colhido, a planta, também pode ser valorizada economicamente ou ser utilizada para reciclar e sintetizar os metais.

Vale também ressaltar que não é consumida energia, pois a tecnologia fornece sua própria energia por meio da fotossíntese.

6.2.2 Limitações da Fitorremediação

Como todas as tecnologias, a fitorremediação apresenta algumas limitações quanto a suas condições de aplicação, tempo dos resultados e eficiência de descontaminação.

Uma questão, que pode ser um problema se encontra na profundidade que o contaminante se encontra no solo. No caso da área em estudo, sabe-se que o metal cromo se encontra na parte superior do solo, associado as argilas e a matéria orgânica.

Muitas vezes, a área onde será aplicada a técnica não comporta um número suficiente de espécies necessárias para uma despoluição efetiva, o que pode vir a ser um problema. Em alguns casos, é necessária a aplicação de cal e agentes quelantes naturais ou artificiais, como o EDTA, para as condições do solo e para quebrar as pontes de ligações químicas do contaminante com as partículas do solo e facilitar a absorção por parte das plantas.

As condições climáticas e ambientais podem restringir o crescimento das plantas fitorremediadoras, o que vai afetar no tempo de resposta da técnica na remoção dos contaminantes. Mesmo em condições adequadas do clima, o tempo requerido para obtenção de uma despoluição satisfatória pode ser longo, usualmente mais de uma estação de crescimento.

Outra questão que deve ser observada é a espécie vegetal pode contaminar a cadeia alimentar, caso as plantas selecionadas forem ingeridas por animais. Além disso, a planta pode vir a se tornar uma espécie daninha.

6.2.3 Espécies Indicadas para a Fitorremediação do Cromo

Para que uma espécie seja utilizada como fitorremediadora, ela precisa apresentar algumas qualidades ou pré-disposições, como: alta taxa de crescimento; produção de biomassa; capacidade de absorção, concentração, metabolização e tolerância ao contaminante; fácil colheita, aquisição ou manipulação de propágulos; capacidade de se desenvolver em ambientes diferenciados; ocorrência natural em áreas poluídas; fácil controle e erradicação; e elevada capacidade transpiratória elevada. (PIRES, 2003)

A maior parte das espécies hiperacumuladoras são da família das Euforbiáceas, que são provenientes dos trópicos. Para climas temperados, a maioria das espécies utilizadas são da família das Brassicáceas. A espécie *Brassica juncea* (Figura 34) pode acumular e tolerar cromo, portanto é uma espécie com potencial para ser utilizada na fitorremediação de solo contaminado.



Figura 32: Flor e folha da espécie hiperacumuladora de cromo e outros metais *Brassica juncea*.
Fonte: IVP, 2006).

Segundo estudos desenvolvidos por Barbosa (*et al*, 2007) e Mielke (*et al*, 2003), do Departamento de Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Santa Cruz, de Ilhéus/BA, a espécie *Genipa americana* L. (jenipapeiro), Figura 35, apresenta potencialidade fitorremediadora como rizofiltradora de Cr³⁺. Evidentemente, isso deve ser testado em condições de campo para comprovar tais potencialidades, por se tratar de uma espécie neotropical. Além disso, essa espécie é altamente tolerante ao alagamento do solo, isto permite a sua utilização na recomposição de matas ciliares, em bacias hidrográficas poluídas por Cr.

A linha de pesquisa de Mielke (*et al*, 2003) tem interesse maior voltado para plantas lenhosas em virtude da sua grande produção de biomassa, de possuir sistema radicular profundo, de crescer em solos pobres em nutrientes.



Figura 33: *Genipa americana*, ou jenipapeiro.

Para comprovar a eficiência dessa técnica na remediação da área do Curtume Dal-Bó, seria necessário testar a capacidade de remoção de contaminantes em escala piloto, além disso, testar espécies da flora regional para uma possível substituição, facilitando a implantação da técnica de fitorremediação.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ponderando todas as informações levantadas durante a pesquisa da revisão bibliográfica aliada a aplicação da metodologia escolhida para a classificação da área, juntamente com os resultados das análises laboratoriais, pode-se dizer que o presente estudo transcende o escopo comum para um Trabalho de Conclusão de Curso. Isso porque os resultados obtidos trazem consigo uma grande responsabilidade em portarem informações importantes, que levantam questões sérias a respeito de responsabilidade ambiental e os riscos aos quais a população está exposta. Assim, pode-se considerar também que os resultados alcançados nesse trabalho servirão para uma tomada de decisão futura com vista em recuperar a área por parte de seus proprietários.

Diante disso, de maneira geral pode-se concluir que:

- i. A metodologia escolhida para a caracterização da área, o Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas da CETESB, mostrou-se adequada para o caso. O método para o levantamento de informações e o processo para o enquadramento da área foram aplicados com facilidade e demonstraram eficiência na conclusão. Isso mostra que seria possível o governo estadual desenvolver um levantamento dos sítios suspeitos de contaminação para o posterior enquadramento das áreas;
- ii. O nível de contaminação encontrado apresentou condições críticas, necessárias de intervenção. É importante considerar que os metais pesados não são degradados com o passar do tempo e também não perdem sua toxicidade;
- iii. A área está completamente inserida em zona de alta densidade populacional, colocando a população em condições de alto risco de contaminação. Mesmo não sendo possível demonstrar os efeitos ocasionados pela presença do cromo nas adjacências do sítio, seria necessário manter a vizinhança alerta para manter-se um padrão mínimo de segurança;
- iv. A alternativa de fitorremediação proposta para a recuperação da área, teoricamente, se mostra adequada para a situação. Isso considerando as condições de localização da área e o baixo custo de implantação;

v. Para efeito de pesquisa acadêmica, seria de grande valia estender a aplicação dessa metodologia para outras áreas, onde poderiam ser feitas comparações dos resultados, iniciando um levantamento estatístico para as condições de áreas degradadas em nossa região.

8 REFERÊNCIAS

ARAUJO, Gustavo Henrique de Sousa; ALMEIDA, Josimar Ribeiro; GUERRA, Antônio José Teixeira. **Gestão ambiental de áreas degradadas**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005. 320 p.

BAIRD, Colin. **Química ambiental**. 2.ed Porto Alegre: Bookman, 2002. 622 p

BARBOSA, Rena Mírian T. Barbosa et al. **A physiological analysis of *Genipa americana* L.: A potential phytoremediator tree for chromium polluted watersheds**. Departamento de Ciências Biológicas – Universidade Estadual de Santa Cruz: Ilhéus, BA, Brasil, 2007, 8 p.

BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, José Eduardo W. A. **Manual de tratamento de águas residuárias industriais**. São Paulo: CETESB, 1979. 764 p.

BUTLER, Bridget E. **Consultation with national experts: managing contaminated land**. UNEP – United Nations Environment Programme. Industry and Development, April - June, 1996. 55-56 p.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. **Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas**. Projeto de Cooperação CETESB-GTZ 2ª Edição. CETESB, São Paulo, 2001. 389 p.

CUNHA Rodrigo César de Araújo. **Avaliação de Risco em Áreas Contaminadas por Fontes Industriais Desativadas – Estudo de Caso**. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 1997. 152 p.

DINARDI, Ana Ligia et. Al. **Fitorremediação**. Centro Superior de Educação Tecnológica (CESET) – UNICAMP, 2003. 15p.

FERNANDES, Josely Dantas. **Adsorção de chumbo provido de baterias recicladas em diferentes classes de solo da Paraíba**. Dissertação– Areia, PB: CCA/UFPB, 2006. 37 p.

GLOEDEN, Elton. **Gerenciamento de Áreas Contaminadas na Bacia Hidrográfica do Reservatório Guarapiranga**. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 1999. 225 p.

HARRISON, Roy M. **Pollution: Causes, effects and control**. 3.ed Paston: Royal Society of Chemistry, 2000. 480 p.

KREBS, Antonio Silvio Jornada; VIERO Ana Claudia. **Programa de Informações Básicas para a Gestão Territorial de Santa Catarina – PROGESC**. Porto Alegre: CPRM, 1995

KREBS, Antonio Silvio Jornada. **Contribuição ao conhecimento dos recursos hídricos subterrâneos da bacia hidrográfica do rio Araranguá, SC**. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Catarina. *Orientador*: Luiz Fernando Scheibe. 2004. 375 p.

LISBOA, Lázaro Plácido; RIBEIRO, Margarida Sabino. **Passivo Ambiental**. Editora Trevisan, São Paulo, 2001

MACÊDO, Jorge Antônio de Barros de. **Introdução à Química Ambiental – Química e Meio Ambiente e Sociedade**. Editora O Lutador: Juiz de Fora, MG. 2002. 487p.

MARÇAL, Liziane et al. **Utilização de aluminosilicatos como agentes sequestrantes de íons crômio provenientes de curtumes**. Sociedade Brasileira de Química – 29ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química (SBQ). 2006

MIELKE, Marcelo Schramm et al. **Leaf gas exchange, chlorophyll fluorescence and growth responses of *Genipa americana* seedlings to soil flooding.**

Departamento de Ciências Biológicas – Universidade Estadual de Santa Cruz: Ilhéus, BA, Brasil, 2003, 11 p.

NASCIMENTO, Clístenes Williams Araújo; XING, Baoshan. Phytoextraction: A review on Enhanced Metal Availability and Plant Accumulation. **Scientia Agricola**, v. 63, n. 3, p. 299-311. 2006

OLIVEIRA, Débora Monteiro et al. **Fitorremediação: o estado da arte.** Série Tecnologia Ambiental – STA 39. CETEM/ MCT: Brasília, 2006. 32p.

PACHECO, José Wagner Faria. **Curtumes.** São Paulo : CETESB, 2005. 76 p.

PEDROZO, Maria de Fátima; SILVA, Carlos Sérgio. **Ecotoxicologia do cromo e seus compostos.** Salvador: CRA, 2001. 100p.

PERIN, Guido. **Ecotoxicologia integrada quantitativa.** Joinville, SC: Ed. UNIVILLE, 2005. 350 p.

PIRES, Fábio Ribeiro et al. **Seleção de Plantas com Potencial para Fitorremediação.** Planta Daninha, Rio de Janeiro, v. 21, p. 451-158, 2003.

PIRES, Fábio Ribeiro et al. **Inferências Sobre Atividade Rizosférica de Espécies com Potencial para Fitorremediação do Herbicida Tebuthiuron.** Revista Brasileira de Ciência do Solo. Ci. Solo, v. 29, p. 627-634, 2005.

POVEDA, Eliane Pereira Rodrigues et al. **Responsabilidade Civil em Face do Passivo Ambiental.** In: Philippi Jr., A. & Alves, A. C. (Eds.) Questões de Direito Ambiental. Editora Signus, São Paulo, pp.: 149-162, 2004

SÁNCHEZ, Luis Enrique. **Desengenharia: O Passivo Ambiental na Desativação de Empreendimentos Industriais**. Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo, 254p. 2001

SENNA, Roseli. **Curtumes: Aspectos Ambientais**. Consultoria Legislativa, Brasília. 16p. 2007

TIRLONE, Carlos Eduardo. **Avaliação dos procedimentos para definição dos Responsáveis pela Execução de Investigação e Remediação nos Casos de Contaminação do Solo e Água Subterrânea no Estado de São Paulo**. Dissertação de Mestrado. UNICAMP – Universidade de Campinas. Campinas, São Paulo, 115p. 2004

APÊNDICE A - Ficha Cadastral de Áreas Contaminadas (Respeitando a mesma numeração da Ficha de Cadastral de Áreas Contaminadas presente no Manual de Gerenciamento de Área Contaminadas CETESB (2001))

1. IDENTIFICAÇÃO DA ÁREA

1.1 N° de cadastro: não existe numeração. N° SIPOL _____

1.2 Data da primeira inspeção: 01/06/2006. **Data de atualização:** 01/08/2007

A data de primeira inspeção é referente ao trabalho realizado para a disciplina de Reabilitação de Áreas Degradadas (7ª fase), onde foi realizado um pequeno estudo relacionado à Engenharia. Quanto a data de atualização, se refere ao início da elaboração do Trabalho de Conclusão de Curso.

1.3 Inspetores

Carlos Nápoli Vieira, acadêmico de Engenharia Ambiental e prof. Carlyle Torres Bezerra de Menezes, orientador.

1.4 Denominação atual do local

Área industrial desativada, permanecendo sem outro uso, onde operava a empresa Dal – Bó e Companhia Ltda.

1.5 Endereço

Rua Almirante Tamandaré

Bairro: Santa Bárbara. CEP: 88804 - 290

Município: Criciúma

Agência Ambiental: Fundação do Meio Ambiente - FATMA

Administração regional: Governo do Estado de Santa Catarina e Prefeitura Municipal de Criciúma.

Zoneamento: Setor 025

1.6 Localização Geográfica

Latitude [28° 41' 01" S]; Longitude [49° 22' 49" W]; Folha topográfica _____

Datum/MC: _____ Bacia Hidrográfica: Rio Criciúma

1.7 Tipo de fonte de contaminação

Área Industrial

1.8 Denominação da fonte

Curtimento e Preparação de Couro; processos de apara, salga e curtimento. A principal fonte de contaminação do solo consiste em aparas de couros impregnadas com cromo, remanescentes do processo de acabamento do couro curtido em curtimento por sais de cromo.

1.9 Código da atividade IBGE da fonte: 1510-6/00

Descrição: Fabricação de couros curtidos, envernizados, metalizados, camurças, atanados, cromos, etc. (CNAE – IBGE).

1.10 Situação da fonte quanto ao funcionamento:

Desativado funcionamento de outubro de 1997 até atualmente. Sendo que durante o ano de 2002, uma cooperativa composta por 20 ex-funcionários, com o apoio da Prefeitura Municipal, operou nas antigas instalações do curtume. As atividades da Cooperouro tiveram uma intensidade de pequeno potencial poluidor tendo como referência à época em que o Curtume Dal-Bó operava com cerca de 500 funcionários.

1.11 Área total da fonte e área afetada (CP1 – Critério Principal 1):

Área Total: 16.600m²

Área Afetada: indeterminada (CP1 – Critério Principal 1)

Não é possível definir a área afetada pela contaminação do solo e das águas superficiais sem que seja feito um estudo e uma modelagem matemática para identificação do deslocamento e das principais vias e direções por onde o contaminante tenha migrado.

1.12 Classificação da área

Classificação:

1. Área Potencial
2. Área Suspeita
3. Área Contaminada
4. Área Excluída

Motivo:

1. Identificação de Área Potencialmente Contaminada (AP)
2. Avaliação Preliminar
3. Investigação Confirmatória
4. Remediação

Classificação	Data	Motivo
Área Suspeita (2)	Agosto de 2006	Avaliação Preliminar (2)
Área Potencial (1)	Agosto de 2007	Identificação de AP (1)
Área Contaminada (3)	Setembro de 2007	Investigação Confirmatória (3)

3. CARACTERIZAÇÃO DO TIPO DE FONTE DE CONTAMINAÇÃO: ÁREA INDUSTRIAL

3.1 Tipo de atividade industrial (CP1)

Indústria de Couro

3.2 Fonte Provável de Contaminação

- Disposição de resíduos na área: resíduos depositados sem qualquer cuidado no pátio de produção.
- Produção: a fonte de poluição está localizada na área de produção da fábrica
- Armazenagem: resíduos armazenados de forma incorreta.

3.3 Número de Funcionários

Na época de atividade a empresa operava com um quadro de aproximadamente 500 (quinhentos) funcionários.

3.4 Materiais Utilizados/ produzidos/ armazenados.

Conservação / Armazenamento Das Peles		Sal comum (cloreto de sódio, 40-45% sobre o peso bruto das peles); eventualmente, inseticidas ou biocidas: piretrum (natural, extraído de folhas de crisântemo), permetrin (derivado sintético de piretrum), para-diclorobenzeno, sílico-fluoreto de sódio, bórax. Outros possíveis, já banidos por alguns países desenvolvidos (alta toxicidade para seres humanos e ambiente e/ou alta permanência no ambiente): DDT, hexaclorobenzeno (BHC), dieldrin, à base de arsênico e de mercúrio.
Ribeira	Pré-Remolho	Água (~150-200% em relação ao peso total bruto de pele salgada inicial, duração 10 min à 1 hora, dependendo do estado de conservação das peles. Banho normalmente descartado (efluente).
	Remolho	Água (~ 100-1000%, dependendo do tipo de pele e do equipamento), álcalis (p.ex., soda cáustica, bicarbonato de sódio), hipoclorito de sódio, tensoativos (detergentes, que podem ser fenólicos – nonilfenoletoxilado - álcoois graxos sulfatados, organo-fosfatados – 0,1-0,2%), enzimas ou produtos enzimáticos. Banho normalmente descartado (efluente).
	Depilação / Caleiro	(~1-4%), sulfidrato de sódio, soda cáustica, aminas (p.ex., sulfato de dimetilamina), ácido mercaptoacético, glicolato de sódio, sulfeto de bário e mais recentemente, enzimas e/ou seus preparados. Banho descartado ou reciclado para a mesma etapa (em alguns curtumes).
	Descalcinação / Desencalagem	Água (~20-30%), ácidos (~0,5-2,0% - sulfúrico, clorídrico, láctico, fórmico, acético, glioxílico, cítrico, oxálico, bórico e suas misturas), sais ácidos, cloreto e/ou sulfato de amônio, bissulfito de sódio, peróxido de hidrogênio. Uso de CO ₂ é alternativa recente aos sais de amônio. Banho normalmente utilizado para a etapa seguinte
	Purga	Cloreto de amônio e enzimas proteolíticas, normalmente pancreáticas (~1-5%) ou produto que as contenha, adicionados sobre o banho da etapa anterior (desencalagem). Banho normalmente descartado (efluente).

	Piquelagem	Água (~60-100%), sal comum (cloreto de sódio, ~5-10%) ou sulfato de sódio, ácidos (~0,6-1,5% - sulfúrico, clorídrico, acético ou fórmico, sulfônico aromático ou suas misturas). Alguns fungicidas podem ser usados: tiobenzotiazol, para-clorometacresol, paranitrofenol, tri ou pentaclorofenol, betanaftol e fungicidas à base de mercúrio. No entanto, todos estes são bastante ou relativamente tóxicos ao homem e ao ambiente – há preocupação em evitar o seu uso, em alguns países. Banho descartado ou utilizado para a etapa de curtimento.
	Desengraxe (peles não bovinas)	Solventes – água, querosene, monoclorobenzeno e percloroetileno, para peles de ovelha. Carbonato de sódio, para peles suínas.
Curtimento	Mineral	Curtentes principais: - Cromo: sulfato básico complexo de Cr+3 – o mais utilizado (conc. banho ~1,5-5,0%, em Cr2O3). - Outros metais: sais de alumínio, titânio, magnésio e zircônio – potenciais substitutos do cromo ou usados junto com ele (ainda pouco usados). <i>Produtos auxiliares:</i> sal (cloreto de sódio), agentes basificantes (óxido de magnésio, carbonato ou bicarbonato de sódio - ~1,0%), fungicidas (~0,1%), agentes mascarantes (ácido fórmico, formiato ou diftalato de sódio - ~0,1-0,5% -, ácido oxálico, sulfito de sódio), engraxantes (0,5% óleo resistente a eletrólitos), resinas.
	Vegetal	<i>Curtentes principais:</i> taninos – compostos polifenólicos, extraídos de vegetais (acácia, quebracho, castanheiro, barbatimão, etc). <i>Produtos auxiliares:</i> agentes pré-curtentes, branqueadores, seqüestrantes, engraxantes, ácido fórmico, resinas, etc.
Acabamento Geral	Neutralização/ Desacidulação	Água (~80-100%, base peso bruto do couro após rebaixamento), sais de ácidos fracos, como carboxílicos e derivados do ácido carbônico (p.ex., formiato de sódio, só ou combinado com bicarbonato de sódio), sais de taninos sintéticos, de amônio ou de sódio, agentes complexantes (p.ex., EDTA e NTA (acetatos), polifosfatos). Normalmente, usa-se alguns destes químicos em torno de 1,0% (na mesma base da água). O banho residual é normalmente descartado (efluente).
	Recurtimento	Água (~100-150%, base peso bruto do couro após etapa anterior), curtentes como sais de cromo, de alumínio, de zircônio, taninos de mimosa, de quebracho, de castanheiro adoçado, de tara, “sintans” (taninos sintéticos), glutaraldeído, aldeídos modificados, resinas (acrílicas, aminoplásticas, estireno-maleicas), etc. O banho residual é normalmente descartado (efluente).
	Tingimento	Água – a quantidade é função do grau desejado de penetração dos corantes: menor volume (~30%, base peso bruto do couro no início da etapa), maior penetração e vice-versa (~50-100%); corantes aniônicos e catiônicos (1-6%, na mesma base – aminas aromáticas, tipo anilina ou outros corantes específicos – azocorantes, complexos metálicos), ácidos, enxofre. O banho residual é normalmente descartado (efluente).
	Engraxe	Água (~50-100%), óleos sulfonados de peixes, outros óleos animais, óleos vegetais, óleos minerais (p.ex., parafinas cloradas) e óleos sintéticos (p.ex., óleos siliconados), misturas destes vários óleos (3-10%), lecitina de soja. O banho residual é normalmente descartado (efluente).
	Impregnação	Polímeros termoplásticos (resinas) especificamente formulados para espalhamento sobre a superfície dos couros.
	Acabamento	Tintas, misturas a base de ligantes e pigmentos, aplicadas em camadas, sobre os couros. Vários produtos químicos orgânicos compõem estas misturas, como bases ou como diluentes / solventes: acetona, outras cetonas, n-butanol, acetatos de etila, butila e isobutila,

		ácido fórmico, monoclorobenzeno, ciclohexano, etilenoglicol, butilenoglicol, etilbenzeno, percloroetileno, tricloroetilenotolueno, tolueno, xileno etc. Vapores destes produtos são emanados para a atmosfera.
--	--	---

3.5 Resíduos Gerados

Rasps de couro já curtido impregnados com cromo. Resíduos Classificado segundo, ABNT NBR 10004(2004), como resíduo perigoso de classe I, com caráter de periculosidade tóxica e código de identificação K193.

3.6 Destino das águas residuárias (Propagação Via Águas Subterrâneas – PAS)

Devido a desativação da empresa e a não operação de sua Estação de Tratamento de Efluentes e os resíduos contaminados continuarem expostos as ações climáticas, supõe-se que as águas residuárias geradas pela chuva tem como destino:

- Água Superficial
- Infiltração no Solo
- Infiltração em poços

3.7 Tipo de sistema de tratamento de águas residuárias

Desde o encerramento das atividades não há qualquer cuidado com a drenagem contaminada existente na área. Então classifica-se o sistema de tratamento como:

- Inexistente

3.8 Condições de impermeabilização na área

Alguns locais, onde o resíduo contaminado está disposto, existe uma impermeabilização de concreto do próprio pátio onde se localizava a linha de produção, mas apresentando algumas rachaduras e ralos abertos, permitindo que haja infiltração.

Em outro caso, os resíduos se encontram na parte externa do pavilhão em contato direto com o solo.

Área	Condição
Produção	Ruim
Armazenagem de substância	Ruim
Armazenagem de resíduos	Ruim (inexistente)
Tratamento de resíduos	Ruim (inexistente)

Tabela: Condições de impermeabilização na área.

3.9 Impermeabilização da superfície do solo

Como já descrito no item anterior, não existe impermeabilização da superfície do solo. O Solo apresenta caráter argiloso, mas sem definição de sua permeabilidade. Então, classifica-se como:

- Desconhecida

3.10 Existência de vazamentos e/ou infiltrações

Na visita a campo foram constatados alguns vazamentos:

- Estação de Tratamento de Efluentes
- Armazenamento de Resíduos

5. DESCRIÇÃO DA ÁREA E SUAS ADJACÊNCIAS (raio de 1000 metros)

5.1 Substâncias presentes na área (CP2)

Conhecendo o processo produtivo e observando as condições atuais da área, quanto ao armazenamento de produtos, pode-se dizer que estão presentes:

- Confirmados: Cromo, Tanino.
- Estimados: Ácidos e Bases

5.2 Ocupação solo e/ou áreas com bens a proteger (CP3)

Dentro:

- Área industrial
- Área/ Bens de interesse público

Fora:

- Estacionamento (Crível; Avenida Centenário; e Garagem e Pátio de Máquinas da P.M.C)
- Área comercial (Rua Henrique Lage)
- Utilidades (rede de esgoto, telefone, gás, etc.).
- Residencial sem hortas, alta densidade populacional (com número maior que 20 casas).
- Parque, área verde (Praça Santa Bárbara).
- Parque infantil (Casa da Criança e do Adolescente).
- Área de lazer e desportos e/ou circulação (Praça e Igreja Santa Bárbara).
- Escola (Colégio Estadual Coelho Neto; Casa da Criança e do Adolescente; e Instituto de Educação Especial P.M.C.).
- Instituição de saúde (Hemosc e Unidade Básica de Saúde da Santa Bárbara).

5.3 Uso atual da área

- Edificação industrial desativada

5.4 Existência de outra fonte potencial de contaminação na área

- Desconhecido

5.5 Distância até as edificações mais próximas da área (Propagação via ar – PA)

Pelo fato da área estar completamente inserida na área urbana, essa questão se torna bastante importante. As residências estão há menos de 10 metros dos limites do terreno.

- Menor que 50m

5.6 Posição da área no relevo

- Várzea ou planície
- Declividade de 0% a 30%

5.7 Textura predominante do solo (PAS)

O solo foi analisado, de acordo com o percentual de argila e matéria orgânica, foram classificados como solo do tipo franco-arenoso e arenoso. Essa classificação foi realizada pelo IPAT, conforme o Boletim Técnico nº 5, 2ª edição revisada e ampliada do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

5.8 Existência de solo contaminado (confirmado por análise) (Propagação via solo – PS)

- Contaminado, profundidade 0 a 1m.

Ponto de Coleta	Localização	Resultado	Parâmetro
Ponto 01	Ao lado da ETE, parte mais baixa do terreno	198,0 mg/kg	Cromo (Cr)
Ponto 02	Entrada do pavilhão central (centro do terreno)	440,0 mg/kg	Cromo (Cr)
Ponto 03	Ao lado da cancha de disposição dos restos de aparas.	530,0 mg/kg	Cromo (Cr)

5.9 Variação do nível da água subterrânea

- Desconhecida

5.10 Nível sazonalmente mais elevado da água subterrânea (PAS)

Segundo Baird (2002) Os metais pesados acumulam-se freqüentemente na camada superior do solo. Os materiais húmicos, que se encontram na parte orgânica do solo, ou seja, no horizonte O, têm uma grande afinidade pelos cátions de metais pesados, de maneira que os extraem da água que passa através deles por meio de processos de troca iônica. Portanto, define-se que a água subterrânea está:

- Abaixo dos resíduos solo contaminado

5.11 Existência de água subterrânea contaminada por influência da área.

Em relação à esse item, supõe-se que exista em um nível da água subterrânea. Devido a não realização de análise dessa matriz, classifica-se como:

- Desconhecida

5.12 Uso da água subterrânea afetada pela contaminação (PAS)

- Desconhecida

5.13 Contexto hidrogeológico (PAS)

De acordo com Krebs (2004), está presente o aquífero relacionado a Formação Rio Bonito que pode ser de porosidade intergranular, extenso, livre ou confinado. Por estar próximo de uma falha encoberta, comporta-se como aquífero fraturado, com arenitos cinza-esbranquiçados finos a grossos, siltitos e folhelhos carbonosos, com leitos e camada de carvão. A água presente nesse aquífero, originalmente, apresenta boa qualidade, mas, atualmente, sofre restrições pela presença de contaminantes sendo apta para uso industrial(f). A captação por poços tubulares pode ser feita com profundidades variáveis de 40 a 180m.

Outro aquífero presente na área estudada é o relacionado a Formação Palermo, que pode ser de porosidade intergranular, extenso e confinado com camadas de arenitos finos, lenticulares, com argilitos, siltitos e folhelhos pirobetuminosos. Intercalam-se lentes calcíferas e sills de diabásio. A captação é possível por meio de poços tubulares com até 100m de profundidade, com água também apta apenas para uso industrial(f).

5.14 Existência de água superficial contaminada por influência da área (Propagação via águas superficiais – PASP)

- Desconhecida

5.15 Possibilidade de influência direta da área sobre as águas superficiais (PASP)

Para esse item supõe-se que:

- Sim, mas a água não é utilizada para abastecimento, irrigação, pesca ou recreação.

5.16 Possibilidade de enchente na área e uso da água superficial no local (PASP)

Da mesma maneira que no item interior, supõe-se que:

- Sim, mas não utilizada.

5.17 Qualidade do ar do solo na área, confirmada por análise (PA).

- Desconhecida

6. EVENTOS IMPORTANTES/ EXISTÊNCIA DE RISCOS

6.1 Ocorrência de acidentes e/ ou eventos importantes

- Dispersão de poeira contendo contaminantes do local (PS) (PA)
- Danos aos animais (PS) (PA)
- Danos à saúde (PS) (PA)

6.2 Erosão existente

- Inexistente

6.3 Existência de risco em decorrência da contaminação do solo (PS)

- Sim, para saúde de população.
- Sim, para animais
- Sim, para vegetação

6.4 Indicações perceptíveis na superfície do solo (PS)

- Presença do contaminante
- Coloração dos resíduos

6.5 Presença de gases/ vapores nas edificações vizinhas (PA)

- Desconhecida

ANEXO A - Laudos Laboratoriais



Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC
 Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas – IPAT
 Laboratório de Análises de Solos, Corretivos e Fertilizantes

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº: 512/2007		
DADOS DA AMOSTRA		
Data da Coleta: 10/09/2007		Data da entrada no laboratório: 10/09/2007
Cliente: DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL		
Endereço: Av. Universitária, 1105 – Bairro - Universitário – Criciúma – SC		
Atividade da Empresa: Ensino e Extensão		Telefone: (48) 3438-2668
Interessado: Prof. Dr. Carlyle T. Bezerra de Menezes e Acadêmico Carlos Napóle		
Descrição da Amostra: Solo - Amostra 01		
Ponto de Coleta: Pt- 01- Ao lado da ETE, junto ao córrego - Antigo Curtume Dal-Bó – Bairro Santa Bárbara - Criciúma		
Coletores: Valter Feldzmann / Renan Roseng – IPAT		Nº Amostra Lab: S – 534 (23395)
ANÁLISES QUÍMICAS		
Parâmetros	Resultados (%)	Métodos Analíticos
Cromo (Cr)	0,019	Espectrof. Abs. Atômica - Chama
Matéria Orgânica (MO)	12,80	Volumétrico – Oxidação ($K_2Cr_2O_7$)
Teor de Argila	33,0 ⁽¹⁾	Densimétrico
Observações: - Resultados obtidos na amostra seca a $42 \pm 5^\circ C$, - (1) Classificação: Solo franco-arenoso e arenoso, conforme o Boletim Técnico Nº 5, 2ª edição revisada e ampliada. Departamento de Solos – Faculdade de agronomia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.		
		
Criciúma, 25 de outubro de 2007.		
_____ Responsável Técnico Química Teresinha Lúcio - CRQ 13200109		_____ Executor dos Ensaios Téc. Quim. Aline I. Zappellini - CRQ 13401593
Os resultados apresentados no presente relatório se aplicam somente à amostra ensaiada.		

Endereço: Rod. Jorge Lacerda, km 4,5, Bairro Sangão, Criciúma, SC
 Caixa Postal 3167 - CEP 88806-000 - Fone/Fax: 048 4430106/4430037



Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC
 Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas – IPAT
 Laboratório de Análises de Solos, Corretivos e Fertilizantes

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº: 513/2007		
DADOS DA AMOSTRA		
Data da Coleta: 10/09/2007	Data da entrada no laboratório: 10/09/2007	
Cliente: DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL		
Endereço: Av. Universitária, 1105 – Bairro - Universitário – Criciúma – SC		
Atividade da Empresa: Ensino e Extensão	Telefone: (48) 3438-2668	
Interessado: Prof. Dr. Carlyle T. Bezerra de Menezes e Acadêmico Carlos Napóle		
Descrição da Amostra: Solo - Amostra 02		
Ponto de Coleta: Pt-02 - Em frente ao pavilhão central (Curtimento) - Antigo Curtume Dal-Bó – Bairro Santa Bárbara – Criciúma – SC		
Coletores: Valter Feldzmann / Renan Roseng – IPAT	Nº Amostra Lab: S – 535 (23396)	
ANÁLISES QUÍMICAS		
Parâmetros	Resultados (%)	Métodos Analíticos
Cromo (Cr)	0,044	Espectrof. Abs. Atômica - Chama
Matéria Orgânica (MO)	2,76	Volumétrico – Oxidação ($K_2Cr_2O_7$)
Teor de Argila	26,0 ⁽¹⁾	Densimétrico
Observações: - Resultados obtidos na amostra seca a $42 \pm 5^\circ C$. - (1) Classificação: Solo franco-arenoso e arenoso, conforme o Boletim Técnico Nº 5, 2ª edição revisada e ampliada. Departamento de Solos – Faculdade de agronomia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.		
		
Criciúma, 25 de outubro de 2007.		
_____ Responsável Técnico Química Teresinha Lúcio - CRQ 13200109		_____ Executor dos Ensaios Téc. Quim. Aline I. Zappellini - CRQ 13401593
Os resultados apresentados no presente relatório se aplicam somente à amostra ensaiada.		

Endereço: Rod. Jorge Lacerda, km 4,5, Bairro Sangão, Criciúma, SC
 Caixa Postal 3167 - CEP 88806-000 - Fone/Fax: 048 4430106/4430037



Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC
 Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas – IPAT
 Laboratório de Análises de Solos, Corretivos e Fertilizantes

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº: 514/2007

DADOS DA AMOSTRA

Data da Coleta: 10/09/2007	Data da entrada no laboratório: 10/09/2007
Cliente: DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL	
Endereço: Av. Universitária, 1105 – Bairro - Universitário – Criciúma – SC	
Atividade da Empresa: Ensino e Extensão	Telefone: (48) 3438-2668
Interessado: Prof. Dr. Carlyle T. Bezerra de Menezes e Acadêmico Carlos Napóle	
Descrição da Amostra: Solo - Amostra 03	
Ponto de Coleta: Pt- 03- Ao lado da cancha de deposição das raspas de couro curtido - Antigo Curtume Dal-Bó – Bairro Santa Bárbara – Criciúma – SC	
Coletores: Valter Feldzmann / Renan Roseng – IPAT	Nº Amostra Lab: S – 536 (23397)

ANÁLISES QUÍMICAS

Parâmetros	Resultados (%)	Métodos Analíticos
Cromo (Cr)	0,053	Espectrof. Abs. Atômica - Chama
Matéria Orgânica (MO)	4,12	Volumétrico – Oxidação ($K_2Cr_2O_7$)
Teor de Argila	27,0 ⁽¹⁾	Densimétrico

Observações:

- Resultados obtidos na amostra seca a $42 \pm 5^\circ C$.
- (1) Classificação: Solo franco-arenoso e arenoso, conforme o Boletim Técnico Nº 5, 2ª edição revisada e ampliada. Departamento de Solos – Faculdade de agronomia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.



Criciúma, 25 de outubro de 2007.

Responsável Técnico Química Teresinha Lúcio - CRQ 13200109	Executor dos Ensaios Téc. Quim. Aline I. Zappellini - CRQ 13401593
Os resultados apresentados no presente relatório se aplicam somente à amostra ensaiada.	

Endereço: Rod. Jorge Lacerda, km 4,5, Bairro Sangão, Criciúma, SC
 Caixa Postal 3167 - CEP 88806-000 - Fone/Fax: 048 4430106/4430037



Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC
 Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas – IPAT
 Laboratório de Análises de Solos, Corretivos e Fertilizantes

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº: 515/2007

DADOS DA AMOSTRA

Data da Coleta: 10/09/2007	Data da entrada no laboratório: 10/09/2007
Cliente: DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL	
Endereço: Av. Universitária, 1105 – Bairro - Universitário – Criciúma – SC	
Atividade da Empresa: Ensino e Extensão	Telefone: (48) 3438-2668
Interessado: Prof. Dr. Carlyle T. Bezerra de Menezes e Acadêmico Carlos Napóle	
Descrição da Amostra: Raspas de Couro Curtido - Amostra 04	
Ponto de Coleta: Pt- 04 – Dentro da cancha de deposição das raspas de couro curtido - Antigo Curtume Dal-Bó – Bairro Santa Bárbara – Criciúma – SC	
Coletores: Valter Feldzmann / Renan Roseng – IPAT	Nº Amostra Lab: S – 537 (23398)

ANÁLISES QUÍMICAS

Parâmetros	Resultados (%)	Métodos Analíticos
Cromo (Cr)	2,84	Espectrof. Abs. Atômica - Chama
Matéria Orgânica (MO)	52,0	Volumétrico – Oxidação ($K_2Cr_2O_7$)
Teor de Argila	NA	Densimétrico

Observações:

- Resultados obtidos na amostra seca a $42 \pm 5^\circ C$.
- NA = Não Analisado devido às características da amostra.



Criciúma, 25 de outubro de 2007.

 Responsável Técnico
 Química Teresinha Lúcio - CRQ 13200109

 Executor dos Ensaios
 Téc. Quím. Aline I. Zappellini - CRQ 13401593

Os resultados apresentados no presente relatório se aplicam somente à amostra ensaiada.

Endereço: Rod. Jorge Lacerda, km 4,5, Bairro Sangão, Criciúma, SC
 Caixa Postal 3167 - CEP 88806-000 - Fone/Fax: 048 4430106/4430037